

平成元年度 農林水産省補助事業  
日本住宅・木材技術センター事業

# L V L の建築構造材への利用推進 に関する参考文献集

平成2年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター





## はじめに

LVLは、針葉樹の利用が主体で製品歩留まりが高く、短い丸太からでも連続的に長尺の製品がえられるなどの特徴を有しており、今後の資源問題に対応するために極めて有望な製品であり、近い将来木質材料の一分野を担う重要な材料となることが期待されます。しかしながら、現在のLVLの用途は、家具用、建築の造作用が中心で、建築構造材への利用はほとんど進んでいないのが実情です。

そこで、LVLの建築構造材への利用促進を図ることをねらいに、平成元年度の事業として、「LVLの建築構造材への利用推進調査事業」を実施したところです。この資料は、その事業の一環で、「LVLの建築構造材への利用推進に関する参考文献集」としてとりまとめを行ったものです。

なお、本編をとりまとめるにあたって、御指導、御協力を賜った、森林総合研究所 藤井 毅氏、林 知行氏、北海道立林産試験場 森泉 周氏、(株)大鹿振興 荒木五郎氏をはじめ、関係諸氏に心からお礼を申し上げます次第です。

平成2年3月



# LVLの建築構造材への利用推進に関する参考文献集

## 目次

### I 製造システム編

文献リスト .....	3
-------------	---

### II 材料性能編

1. 単板積層材の製造と材質に関する研究(第1報)ー2、3の機械的性質についてー .....	7
有馬孝礼、大熊幹章： 木材工業 28〔6〕(1977)	
2. 単板積層材(LVL)のせん断性能. ....	10
海老原徹： 木材学会誌 27〔1〕(1981)	
3. 単板積層材(LVL)をフランジに使用した組立梁の性能. ....	17
海老原徹： 木材学会誌 28〔4〕(1982)	
4. 単板積層材の強度性能(I)ーラワンLVLの強度性能ー .....	26
藤井 毅： 木材工業 37〔8〕(1982)	
5. 単板積層材の強度性能(II)(完)ー針葉樹LVLのP曲げ強度性能ー .....	34
藤井 毅、鴛海四郎： 木材工業 37〔9〕(1982)	
6. LVL中空材の性能(第1報)ーカラマツLVLを用いた中空柱ー .....	41
大熊幹章、水田吉則： 木材学会誌 28〔12〕(1982)	
7. カラマツLVLのせん断に対する性能. ....	48
森泉 周、北村維朗： 日本木材学会北海道支部講演集 No15,(1983)	
8. カラマツLVLの強度性能(第1報)	
ー小径木カラマツ材の材質と無欠点LVLの曲げ強度ー <抜粹> .....	53
森泉 周、真田康弘、前田典昭、小倉高規： 林産試月報 No384(1984)	
9. 単板積層材の内部構造と曲げの性質. ....	54
又木義博： 木材工業 39〔3〕(1984)	
10. カラマツLVLの水に対する性質(第1報) <抜粹> .....	59
真田康弘、北村維朗、森泉 周、高橋利男： 林産試月報 No387(1984)	
11. 国産針葉樹LVLの曲げ性能. ....	60
李 銓濟、大熊幹章： 木材工業 39〔5〕(1984)	

12. カラマツLVLの強度性能(第2報)―曲げ強度性能― <抜粋> .....	66
森泉 周、真田康弘、前田典昭、小倉高規： 林産試月報 No388 (1984)	
13. カラマツLVLの強度性能(第3報)―せん断強度性能― <抜粋> .....	68
森泉 周、北村維朗： 林産試月報 No390 (1984)	
14. 構造用単板積層材(LVL)の釘着性能. ....	70
藤井 毅： 木材工業 39〔8〕 (1984)	
15. カラマツLVLの強度性能(第4報)―曲げクリープ性能(その1)― <抜粋> .....	76
森泉 周： 林産試月報 No394 (1984)	
16. カラマツLVLの水に対する性質(第2報)―吸・放湿と寸法変化― <抜粋> .....	78
北村維朗、真田康弘、森泉 周： 林産試月報 No396 (1985)	
17. カラマツLVLの水に対する性質(第3報)	
―1年間の屋外暴露による寸法変化と各種保護処理の効果― <抜粋> .....	80
北村維朗、真田康弘、森泉 周： 林産試月報 No398 (1985)	
18. カラマツLVLの水に対する性質(第4報)	
―2年間の屋外ばく露と木口保護処理の効果― <抜粋> .....	82
北村維朗： 林産試場報 1〔7〕 (1987)	
19. カラマツLVLの強度性能に関する研究. <抜粋> .....	84
森泉 周： 林産試験場研究報告 第77号 (1987)	
20. カラマツLVLの水に対する性質(第5報)	
―気象因子が吸/放湿と寸法変化に及ぼす影響― <抜粋> .....	98
北村維朗： 林産試場報 2〔6〕 (1985)	
21. 構造用LVLの曲げ性能に及ぼす単板縦継ぎ方法の影響に関する一考察. ....	101
大熊幹章： 木材工業 44〔6〕 (1989)	
22. 大断面単板積層材の曲げ耐力に関する実験. ....	105
林 邦昭、岡野雄三、井上隆二： GBRC No57 (1.1990)	
23. Strength properties of rotary knife-cut laminated southern pine. <抜粋> .....	114
Moody,R.C., and C.C.Peters.: USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 178 (1972)	
24. Tensile strength of lumber laminated from 1/8-inch-thick veneers. <抜粋> .....	116
Moody,R.C.: USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 181 (1972)	

25. Tensile strength of douglas-fir laminated-veneer lumber. -----	120
Bohlen, J.C.: Forest Prod. J. 24 [1] (1974)	
26. Shear strength of douglas-fir laminated-veneer lumber. -----	125
Bohlen, J.C.: Forest Prod. J. 25 [2] (1975)	
27. Stress-graded hardwood lumber by Press-Lam production. -----	133
Schaffer, E.L., and R.C. Moody.: Forest Prod. J. 27 [2] (1977)	
28. Column strength of parallel laminated veneer and plywood. -----	139
Neubavec, L.W.: Forest Prod. J. 28 [3] (1978)	
29. Press-Lam timbers for exposed structures. <抜粹> -----	144
Youngquist, J.A., D.S. Gromala, R.W. Jokerst, R.C. Moody, and J.L. Tschernitz.	
: American Society of Civil Engineers, Structural Div. 105(7.1979)	
30. Strength of fasteners in parallel-laminated veneer. -----	145
Jung, S.: USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 389 (1981)	
31. Exposure effects upon performance of laminated veneer lumber and glulam materials. -----	164
T. Laufenberg.: Forest Prod. J. 32 [5] (1982)	
32. Properties of parallel-laminated veneer from stress-wave-tested veneers. -----	171
Jung, J.: Forest Prod. J. 32 [7] (1982)	
33. An investigation of the fracture of butt joints in parallel-laminated veneer. <抜粹> --	177
Jung, J., and J.F. Murphy: Wood and Fiber Science 15 [2] (1983)	
34. Parallel-laminated veneer: processing and performance research review. -----	179
Laufenberg, T.L.: Forest Prod. J. 33 [9] (1983)	
35. End jointing of laminated veneer lumber for structural use. -----	187
Youngquist, J.A., T.L. Laufenberg, and B.S. Bryant.: Forest Prod. J. 34 [11,12] (1984)	
36. Performance of Press-Lam bridge: A 5-year load-testing and monitoring program. -----	195
Gromala, D.S., and R.C. Moody.: USDA Forest Service, Res. Pap. FPL-0251,5 (1985)	
37. Performance requirements for exterior laminated veneer lumber. -----	202
Bodig, J., and J. Fyie.: Forest Prod. J. 36 [2] (1986)	

### III 建築構造利用編

1. 構造用単板積層材 (LVL) について。 ----- 211  
大熊幹章： 木材工業 29 [9] (1974)
2. 構造用LVLの製造と利用についての2、3の新しいところみ。 ----- 216  
大熊幹章： AWC O M No.25 (1976)
3. 単板積層材の木質構造への応用。 ----- 221  
皆川 保： 木材工業 32 [9] (1977)
4. 間伐材の木造住宅への利用—湾曲LVLを中心にして— ----- 225  
大熊幹章： 木工機械 No.90 (9.1978)
5. 構造用LVLの利用開発の方向をさぐる。 ----- 228  
大熊幹章： 木材工業 33 [6] (1978)
6. 湾曲LVLの木構造への適用に関する基礎的研究 (第1報)  
—高周波加熱による湾曲LVLの製造とこれを用いた組立梁の曲げ剛性— ----- 232  
佐藤雅俊 大熊幹章： 木材工業 34 [3] (1979)
7. 構造用LVLの利用開発の方向をさぐる (その2) ----- 238  
大熊幹章： 木材工業 35 [3] (1980)
8. 構造用LVLを用いたBOX型材料の建築への適用。 ----- 242  
大熊幹章： 第30回木材学会大会用研究発表要旨集 No.102 (1980)
9. カラマツLVLの用途開発。 ----- 243  
倉田久敬、小倉高規： 林産試月報 No.358 (1981)
10. 単板積層材 (LVL) の製造利用状況。 ----- 251  
荒木五郎： 木工機械 No.112 (5.1982)
11. カラマツ間伐材による林産試型LVLの用途開発。 ----- 254  
真田康弘、高谷典良、田口 崇、野崎兼司、小倉高規： 日本木材学会北海道支部講演集 No.14 (1982)
12. 単板積層材、木製トラスでカラマツの用途開発を目指す  
—明日の木造建築のあり方をも示唆する先端2例。 ----- 258  
加納 昇： 日経アーキテクチャー (24.10.1983)
13. トラスジョイスト社におけるLVLの製造および利用技術。 ----- 266  
S.A.Nelson, 徳田迪夫訳： 木材工業 39 [7] (1984)

14. LVL生産の現状と将来性. -----	269
小倉高規：林業技術 第516号 (1985)	
15. カラマツLVLの用途開発事例. -----	273
高谷典良： 木材工業 40 [3] (1985)	
16. アメリカ合衆国におけるLVLの製造およびこれを利用した新しい木造建築 (1)	
ートラスジョイスト社におけるLVLの製造とLVLの力学的性質ー -----	277
徳田迪夫： 木材工業 40 [9] (1985)	
17. アメリカ合衆国におけるLVLの製造およびこれを利用した新しい木造建築 (2) (完)	
ー許容応力度および建築への具体的な利用例ー -----	281
徳田迪夫： 木材工業 40 [10] (1985)	
18. Structural applications of MICRO-LAM lumber. -----	286
Nelson, S. A. : Civ. Eng. 42 [7] :57 (1972)	
19. Laminated lumber may be more profitable than swan lumber. -----	287
Koch, P. C. : Forest Industries 103 [6] (1976)	
20. Hott off the press -- a USFS bridge. -----	290
Forest Prod. J. 26 [9] (1976)	
21. University of Idaho studium: a MICRO-LAM application. -----	291
Nelson, S. A. : Conf. Pap. An. Civ. Eng. USA(2800):21 (1976)	
22. Design, performance, and installation of a Press-Lam basement beam in a factory-built house. -----	292
Youngquist, J. A., D. S. Gromala, R. W. Jokerst, R. C. Moody, and J. L. Tschernitz.	
: USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 316 (1978)	
23. The design, fabrication, testing, and installation of a Press-Lam bridge. <抜粋> -----	300
Youngquist, J. A., D. S. Gromala, R. W. Jokerst, R. C. Moody, and J. L. Tschernitz.	
: USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 332 (1978)	
IV 農林水産技術会議特別研究成果「針葉樹造林木の単板積層加工利用技術の確立」目次 要約 -----	311





# I 製造システム編



## LVL製造システムに関する文献リスト

1. 有馬孝禮、大熊幹章： 単板積層材（LVL）の製造と材質に関する研究（第2報）—熱板乾燥余熱による単板の接着—。木材工業 30〔8〕（1975）
2. 山本安一、樋口晃司： 単板積層材に関する研究（第1報）多段ホットプレスを使用する単板積層材の製造について。永大産業㈱中央研究所報告 No.1.（1975）
3. 大熊幹章 構造用LVLの製造と利用についての2、3の新しいころみ。AWCOM No.25（1976）
4. 佐々木光、井上章一、間瀬和久、加藤昭二： MOVAMIL—その意義とシステム概要。木工機械 No.91（11.1978）
5. 小倉高規： 新開発の林産試型LVL製造システム。木材の研究と普及、北海道林産技術普及協会 29〔10〕（1981）
6. 小倉高規： カラマツ小径材によるLVLの製造システムについて（I）、（II）。木材工業 36〔12〕, 37〔1〕（1982, 1983）
7. 佐々木光、加藤昭二、田之内寅雄： バックアップ・ロール駆動レースの開発と間伐材小径木LVL化プラントへの活用。木材工業 38〔10〕（1983）
8. プロジェクトチーム： 小径木を原料とするLVLの生産技術の確立に関する研究。林産試験場研究報告第80号（1989）
9. 藤井 毅、林 知行、宮武 敦： 高周波・熱圧併用方法によるLVL製造。木材工業 43〔12〕（1989）
10. Harpole, G. B. 1976. Assessing a continuous process to produce Press-Lam Lumber. Forest Prod. J. 26 (8) 51-56
11. Kunesh, R. H. 1978. Micro-laminated lumber. Forest Prod. J. 28 (5) 41-44
12. Blackman, T. 1978. Stretching the resource veneer laminated into structural "lumber". Forest Industries 105 (11) 66-67
13. Schaffer, E. L., R. W. Jakerst, R. C. Moody, C. C. Peters, J. L. Tschernitz, and J. J. Zahn. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: General summary. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 175. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
14. Bohlen, J. C. 1973. Dimension lumber from lamination of thick rotary-peeled wood veneer. Proceedings of IUFRO Div. 5 meeting, Cape Town and Pretoria, Sep. and Oct., 1973
15. FPL Press-Lam Research Team. 1977. Press-Lam: Progress in technical development of laminated veneer structural products. USDA Forest Service, Res. Pap. 279. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.



## II 材料性能編



# 1 単板積層材の製造と材質に関する研究 (第1報)

—2, 3 の機械的性質について—

有馬 孝礼\* 大熊 幹章\*

## 1. ま え が き

単板積層材 (LV L, Laminated-Veneer Lumber) は厚いロータリー単板を繊維方向に平行に積層接着し、厚板を作製し、幅方向に適当にカットして住宅ユニットの長尺ビーム、柱などに使用しようとするものである。ロータリー単板から板を作製するという点でしばしば積層合板と呼ばれているが単板が直交構成をしておらず、すべて平行構成であるから合板という定義からはずれ、積層材というのが正しいであろう。

さて、この単板積層材の技術的、経済的、長・短所については、Bohlen<sup>1)</sup> によつて Douglasfir 単板積層材の成果の概要で次のように指摘されている。長所とする点は挽きべりのないロータリー単板を使用することによる歩留り向上、単板を縦方向に順次連らねることによつて連続の長尺製品を得ることが可能である点、および木材のもつ材質変動を接着積層することによつて少なくし、欠点による強度低減を小さくする点にある。その反面、接着剤コスト、加工費の増加および単板の縦継ぎ状態と材質の関連が問題となる。

本報告では単板積層材の基礎的実験としてロータリー単板の裏割れ、および単板の縦継ぎと2, 3の機械的性質の関連について検討した。機械的性質はビームとしての性能判定の基礎となる曲げ特性、裏割れの影響の大きいローリングシェアおよび他部材との接合を加味し、裏割れとの関係から釘引抜き、釘接合部の剪断試験を行った。

## 2. 単板積層材の作製

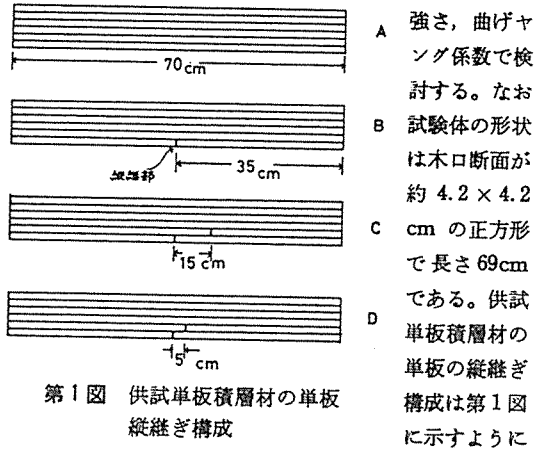
試験に供した単板はラワン (Shorer sp.) ロータリー単板で厚さ約 7 mm、幅 (切線方向) 30 cm、長さ (繊維方向) 70 cm、裏割れ深さ 60~70%、裏割れ間隔 5~6 mm、切削面に対する裏割れの角度約 60° である。接着剤はレゾルシノール樹脂 (Plyophen 6000, 大日本インキ(株)製)、塗付量は約 30g/30×30 cm<sup>2</sup> (両面塗付) で単板を6枚積層し、24 hr. 12 kg/cm<sup>2</sup> で冷圧した。なお単板の積層構成は対称性を保ち、裏割れが表面にでず、しかも強度に影響の大きい表面付近で裏割れの長さが2層

にわたらないために裏割れ面を内側に入れ、対称となるようにした。したがつて中央の接着面は裏割れ面同志の接着となる。できあがつた厚板は幅方向に切断し角材とした。

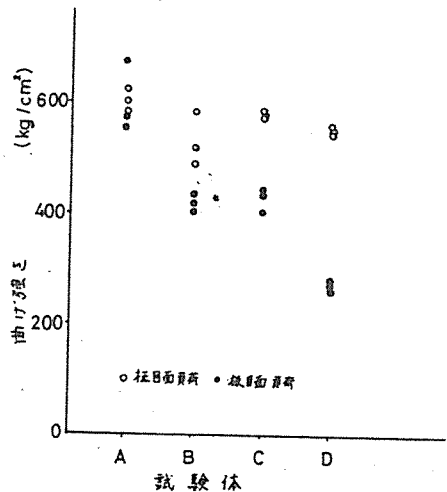
## 3. 単板積層材の機械的性質

### a) 曲げ試験

この試験では単板積層材が単板を縦方向に継ぎ、順次重ねて接着されるので、その縦継ぎの位置関係 (主として隣接する単板の縦継ぎの相対位置) との関連、およびロータリー単板であるために生じる裏割れの影響を曲げ

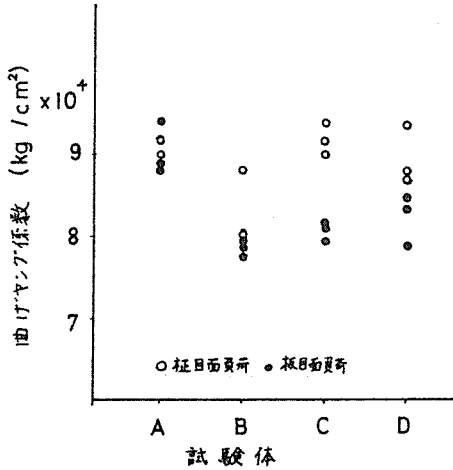


第1図 供試単板積層材の単板縦継ぎ構成  
A, B, C, Dの4種を作製した。曲げ試験はスパン64



第2図 単板積層材の曲げ強さ

\* 東京大学農学部



第3図 単板積層材の曲げヤング係数

cm, 中央集中荷重で行った。また、負荷は、縦継ぎの位置、および裏割れの影響をみるために板目面（接着面に平行な面）、柎目面（接着面に直角な面）の両面とした。第2図に曲げ強さ、第3図に曲げヤング係数の結果を示す。

まず、曲げ強さにおける負荷の面の影響は裏割れの方向と水平剪断の関係から考えると柎目面負荷の方が小さな値を与えるように思われるが、本実験の結果第1図で示した試片Aで比較するとその差異はほとんど認められない。単板の縦継ぎの影響は負荷によつて応力の集中が異なり、板目面負荷の方が影響が大きい。すなわち、板目面負荷の場合BはAにくらべ強度が低下し、さらに2番目の単板の接合部と1番目の接合部が近くなったDはBとあまり差異のない比較的接合間のはなれたCより極度に強度が低くなることが認められる。積層材において、各層の挽材のバットジョイントの位置が強度に影響することは知られており、Fritz<sup>1)2)</sup>によると隣接する層のバットジョイント間の距離はその構成挽板厚さの16倍以上であればその積層材の強度に関係がないと述べている。本実験結果もほぼ類似の関係と思われる。一方、柎目面負荷の場合は縦継ぎによる極度な強度低減は認められない。したがって梁として曲げ応力を受ける場所にいる場合には柎目面を上下に位置させた方が危険が少ないといえるであろう。

各試片の破壊形態をみると、柎目面負荷の場合は裏割れ部分から肉離れを起こし、各層が個々に破壊をする。板目面負荷の場合のAは木理にそつた破壊をし、B、Cでは第1層の縦継ぎ部分が開口し、第2層がAと同様の破壊を起こす。Dは第1層と第2層の接合部を結ぶ接着面付近のはく離れを起こす。

次に曲げヤング係数について検討すると、板目面負荷で曲げ強さでDが極度に低減がみられたがヤング係数ではB、Cとさほどかわらない点を除いては、曲げ強さで認められた傾向と同じである。

光弾性皮膜法によつて各応力下での応力の集中をみると、Aは荷重ヘッド下で圧縮による集中がみられるのに対し、縦継ぎがある場合はその部分に集中がみられ、特にDの場合には対称とならずに2つの接合部を結ぶような形をとることがわかり、破壊形態との対応が明らかである。

#### b) ローリングシエア試験

試片は割裏れが2層に渡っている中央の2層を切り出し、厚さ1.4cm, 剪断面積5cm×4.2cmである。ローリングシエア強さは8.6kg/cm<sup>2</sup>で裏割れを開くように(open type)破壊した。この値は従来合板で得られている値とほぼ同程度である。

#### c) 釘に関する試験

釘の引抜き抵抗試験は第1表に示すように5段階の径の釘で行った。試片は4.2×4.2cmで長さ10cmのものを用いた。打込み方向を板目面、および柎目面で、柎目面の場合は接着層は避けた。また、素材との比較を行うためにはほぼ同比重のBapa, センガワン (Shorea sp.) を対称材として用いた。結果は第2表である。これより明らかになった点は釘径が小さい場合、単板積層材は裏割れの影響によつて引抜き抵抗値が小さくなる。特に釘径1.8cmでは素材より小さく、また板目面の方が柎目面より小さな値をしめし、しかもバラツキも大きい傾向がある。しかし、釘径が大きくなると素材との値の差はほとんどなくなる。

釘を引抜く場合最大応力に達した後に急に抵抗がなく

第1表 釘の引抜き抵抗値 (kg)

		釘径 (打込長)				
		1.8mm (22)	2.2 (22)	2.4 (34)	2.8 (34)	3.4 (34)
板目面	積層材	12	22	24	43	36
	Bapa	22		34		36
	センガワン	17		34	38	
柎目面	積層材	17	20	24	34	34
	Bapa	19		41		36
	センガワン	18		33	43	

第2表 釘打ちによる割れ

		釘径			
		1.8mm	2.2	2.4	2.8
積層材	板目面	-	+	+	+
	柎目面	-	-	+	+
Bapa	板目面	-	-	-	+
	柎目面	-	-	-	+

- : 割れない, + : 割れた

なるか否か、という点は釘径が小さい場合でも素材とほぼ同じく、かなり抵抗を維持しており、スポッとぬける傾向はみられない。釘を打ち込んだ場合に割れが縦方向に進行



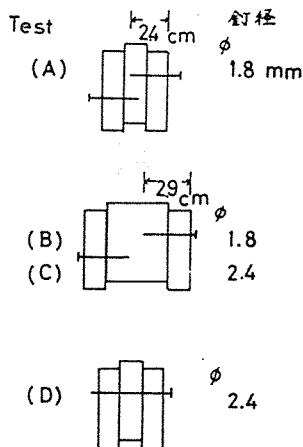
するか否かは釘の引抜き、接合の安定性に直接影響するが、単板積層材の場合裏割れの存在によつてその危険は大きいと思われる。第2表は5cm×4.2cm、厚さ1.4cmの試片の中央に種々の径の釘を打ち込んだ場合に2つに割れたか否かを調べたものである。素材にくらべ、小さい釘径で割れる確率が高く、しかも板目面すなわち割れ面と裏割れ方向が一致している場合は危険性が高い。したがつて端末部分に釘打ちする場合には注意が必要であり、また多くの本数の釘打ちが必要な場合には同一線上に打つことは避けるべきで、大きい径の釘を使用する場合には導き穴を設けるべきであろう。

第3表 釘接合の剪断抵抗値 (kg)

Test		A	B	C	D
積層材	板目	41	55	93	131
	板目	53	58	93	131
Bapa	板目	44	51		120
	板目	52	54		124

ち釘径が小さく、打込み深さが比較的小さい場合には Meyer<sup>(4)</sup> が述べているように釘の引抜き抵抗の影響が考えられ、(B)にくらべ板目面でその値が小さくなっている。釘径の大きい(C)では板目面、板目面の差異はなくなる。二面<sup>(3)</sup> 剪断の(D)でも同じく差異は認められない。ま

第3表は第4図のような釘接合 (A, B, C, D) がなされた場合の最大剪断抵抗値である。単板積層材と素材との挙動にほとんど差異はみられない。一面剪断試験<sup>(1)</sup> (A)のすなわ



第4図 釘接合剪断試験体

文 献

- (1) Bohlen, J. C. : F. P. J., 22-1, 10 (1972)
- (2) Fritz, D. W.\* : The photoelastic coating method applied to the stress analysis of wood, Master's degree thesis, Oregon State Univ., Corvallis (1969) (\* 孫引き)
- (3) 杉山英男 : 建築構造学大系 22 木構造, 304, 彰国社, (1971)
- (4) Meyer, A. : Holz als Roh- und Werkstoff, 15-2, 96 (1957) (1973. 4. 17 受理)

た、負荷につて木材部分の形態変化すなわち、板目面で裏割れ部分に釘が入り割れを進行させ、釘の変形が素材や板目面と異なるのではないかと考えられるが、観察した結果では差はみられず、差異がみられたのは(A)の板目面で釘が折れ曲らず、引抜かれた形を保っている点のみが異なっていた。

## 2 単板積層材(LVL)のせん断性能<sup>\*1</sup>

海老原 徹<sup>\*2</sup>

### Shear Properties of Laminated-veneer Lumber (LVL)<sup>\*1</sup>

Toru EBIHARA<sup>\*2</sup>

In this report, the effect of lathe checks on shear properties of laminated-veneer lumber (LVL) was investigated. Four different types of LVL construction were made using lauan rotary veneer and resorcinol resin without butt joints (Table 2). Horizontally laminated beams (Hor. LVL) and vertically laminated beams (Ver. LVL) were tested in static bending at five different span-to-depth ratios (Fig. 1), and block-shear specimens were tested in compression shear (Fig. 2). The results are summarized as:

1) Calculated values of the pure modulus of elasticity ( $E$ ) and the modulus of rigidity ( $G$ ) of each LVL are shown in Table 3. Results in Table 3 indicate that the  $G$  values of Ver. LVL are forty-four percent lower than the corresponding values of Hor. LVL and that  $G$  values decrease as veneer thickness increases in both types. These can be explained by the direction and the depth of the lathe checks shown in Table 1.

2) Figure 6 shows span-to-depth ratios at which specimens failed in horizontal shear. LVL failed in shear at relatively high span-to-depth ratios. Ver. LVL constructed of 10 mm-thick veneers failed in horizontal shear even at a 15:1 span-to-depth ratio.

3) Calculated shear strength of LVL using the relationship between bending strength ( $\sigma_{bb}$ ) and span-to-depth ratio ( $l/h$ ) in Equation 7 is shown in Table 4. The shear strength of LVL was significantly lower than that of solid wood due to lathe checks. The shear strength of Hor. LVL was reduced twenty-five percent, and the shear strength of Ver. LVL was reduced thirty-three to sixty-two percent. The shear strength of Ver. LVL was considerably lower than that of Hor. LVL, and in Ver. LVL constructed of 10 mm-thick veneers and of 8 mm-thick veneers, the shear strength was one-half of that of similarly constructed Hor. LVL.

4) The shear strength data obtained in block-shear tests shown in Table 5 are approximately equal to the corresponding calculated values in Table 4. Also, the radial shear strength is lower than the tangential shear strength.

5) As lathe checks seriously affect the shear properties of Ver. LVL, its use, especially of that constructed of such thick veneers as 8 and 10 mm, is not recommended for the high shear stress portion of members.

4種類の単板構成のLVLについて、スパン-梁せい比を変えた曲げ試験およびブロックせん断試験を行い、単板の裏割れが関与するLVLのせん断に対する性能を検討した。その結果、裏割れの存在により、垂直積層梁(Ver. LVL)のせん断弾性係数、せん断強度は水平積層梁(Hor. LVL)より低い値を示した。特に厚さ8 mm, 10 mmの厚い単板から構成されるVer. LVLのせん断強度の低下が著しく、このようなLVLの高いせん断力が働くような部位への使用には注意が必要である。

<sup>\*1</sup> Received June 4, 1981. 本報告の一部は第28回日本木材学会大会(1977年4月, 名古屋)において発表した。

<sup>\*2</sup> 農林水産省林業試験場 Forestry and Forest Products Research Institute, PO Box 16, Tsukuba Norin Kenkyu Danchi-nai, Ibaraki 305

### 1. 緒 言

単板積層材(LVL)の特徴の一つとして、構成要素であるラミナに厚剥きのロータリー単板を使用することにより、生産性、製品歩留りの向上を図ることがあげられるが、単板の裏割れがLVLの構造材料としての性能に影響を与える点も少なくなく、横引張強度<sup>1)</sup>、割裂強度<sup>2)</sup>、

裏割れに沿ったせん断強度<sup>3,4)</sup>等裏割れに関係する強度の低いことが指摘されている。また、釘を材端近くに打込んだときの割れの発生する確率が素材に比較して高い<sup>1)</sup>という報告もみられる。

本実験では、スパン-梁せい比を変えた曲げ試験により、LVLのせん断弾性係数、水平せん断強度を求め、これらに及ぼす単板の裏割れの影響を調べ、併せてブロックせん断強度の結果から、LVLのせん断に対する性能を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試LVL

試験用LVLは実験室において製造したが、その製造条件は次のとおりである。

#### 2.1.1 単板

直径約72cmのイエロウセラヤ(*Shorea sp.*)原木よりロータリー切削した4, 6, 8, 10mmの4種類の厚さの単板を使用した。単板の品質をTable 1に示した。裏割れ率(単板厚さに対する割れの深さの比)は単板が厚くなるほど大きく、裏割れの間隔は各単板厚さの約1/2を示した。また、裏割れの進入角度は単板が厚くなると大きくなり、裏割れが単板表面に対し直交するようになる。

Table 1. The quality of lauan veneer used to make laminated-veneer lumber (LVL).

$t_n$ (mm)	$t_a$ (mm)	$c$ (percent)	$d$ (mm)	$\theta$ (degree)	SG
4	4.00	58	2.1	55	0.49
6	5.92	66	3.4	66	0.46
8	7.82	71	4.8	73	0.47
10	9.70	69	4.3	70	0.48

$t_n$  : Nominal veneer thickness

$t_a$  : Actual dry veneer thickness

$c$  : Average lathe check depth

$d$  : Average lathe check interval

$\theta$  : Average lathe check angle

SG : Specific gravity in air dry

#### 2.1.2 製造方法

製造方法はBohlenの提唱する熱圧法<sup>5)</sup>によった。すなわち、内部の2層を熱圧し、その接着層が硬化後、その両側に1枚ずつ接着し、その後順次両側に追加して接着積層を行った。接着剤はレゾルシンノール樹脂接着剤(大日本インキ化学工業製, plyophen 6000)を使用し、塗布量は250 g/m<sup>2</sup>とした。熱板温度100℃、圧縮圧10 kg/cm<sup>2</sup>とし、圧縮時間は厚さ1mmに対して原則として30 secとした。

#### 2.1.3 単板構成

Table 2に示したように、4種類の単板構成のLVL

Table 2. Discription of experimental LVL.

Specimen type	$n$	$t$ (mm)	$D$ (cm)
A	4	10	3.78
B	5	8	3.87
C	6	6	3.48
D	9	4	3.53

$n$  : Number of lamination

$t$  : Nominal lamination thickness

$D$  : Actual LVL thickness

を作製した。そのさい、単板の組合せは、単板の裏割れ面が内側にくるように重ねた。したがって中央接着層では、裏割れ面同志の接着となっている。なお製造したLVLの寸法は90 cm(繊維方向)×10 cm(切線方向)である。

### 2.2 試験方法

#### 2.2.1 曲げ試験

単板の裏割れが水平せん断に及ぼす影響をみるため、スパン( $l$ )と梁せい( $h$ )の比を変え、中央集中荷重により曲げ試験を行った。本実験にはTable 2に示した4種類の単板構成のLVLを使用した。LVLはすべてバットジョイントのないものである。

製造したLVLより幅(切線方向)4 cmに切断し、曲げ試験に供した。また曲げ試験体の長さは( $l+5$ ) cmとし、20℃、65%RHの恒温恒湿室内に1ヶ月以上放置した。なお、LVLを梁として使用する場合、荷重方向が接着層と直交する水平積層梁(Horizontally laminated beam, 以下Hor.LVLと記す)、および荷重方向が接着層と平行な垂直積層梁(Vertically laminated beam, 以下Ver.LVLと記す)としての使用が考えられるので、この両者について曲げ試験を行った(Fig. 1)。

スパン-梁せい比 $l/h=3, 6, 10, 15, 20$ として、各3~6体のLVLについて比例限度内の荷重を荷重し、曲げヤング係数を測定した。試験機は島津(株)製のオートグラフIS-5000を用いた。たわみの測定は、スパン中央で試験体下面に取り付けたダイヤルゲージによった。その後、曲げ破壊係数を求めるため最大荷重まで荷重し

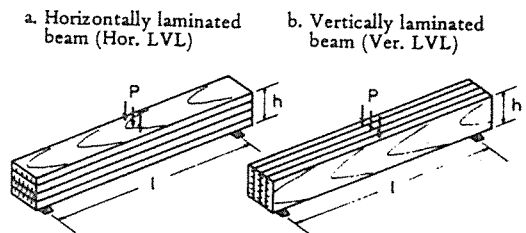


Fig. 1. Two types of LVL beams.

た。このさい、 $l/h=3$ では荷重ヘッドの試験体へのめり込みが大きいため、最小スパン-梁せい比を4.5とした。なお、荷重ヘッドの形状はJIS Z 2113によった。またType C (Table 2)のLVLでは、 $l/h=8$ においても最大荷重まで負荷し曲げ破壊係数を求めた。

2.2.2 圧縮試験

曲げ試験後、各単板構成のLVLについて、破壊点から離れた位置から2 cm (積層方向)×2 cm (切線方向)×4 cm (繊維方向)の形状の圧縮試験体を採用し、LVLの圧縮強度を求めた。

2.2.3 ブロックせん断試験

各単板構成のLVLからFig. 2に図示したブロックせん断試験体を採用しせん断強さを求めた。せん断面が繊維方向および接着層に平行なブロックせん断試験体(板目面せん断)では、せん断面が裏割れ面-裏割れ面 (loose-to-loose, Fig. 2-a), 裏割れ面-裏割れない面 (tight-to-loose, Fig. 2-b)の接着層およびラミナの中央 (Fig. 2-c)になるような3種類について試験を行った。またローリングシア-については、裏割れを開く方向 (Fig. 2-e)と閉じる方向 (Fig. 2-f)の両者についてせん断強さを求めた。

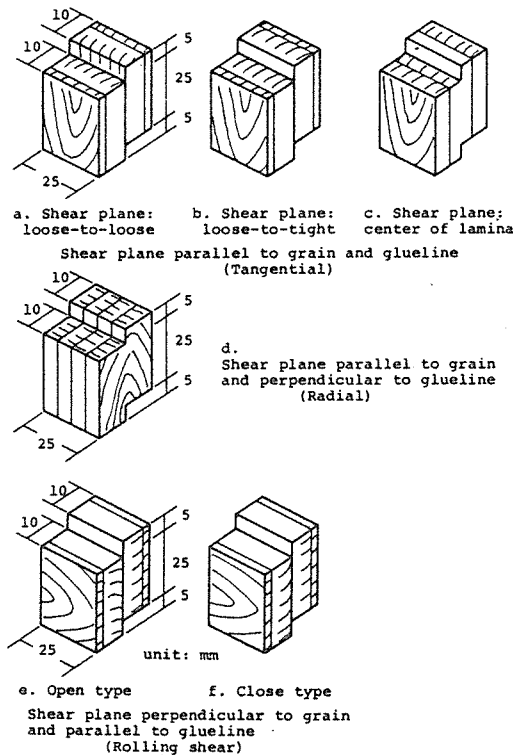


Fig. 2. LVL block-shear specimen orientation and dimensions.

3. 実験結果と考察

3.1 LVLのせん断弾性係数

各スパン-梁せい比において、せん断によるたわみを考慮せずにみかけの曲げヤング係数 $E'$ を求めた。みかけの曲げヤング係数 $E'$ とスパン-梁せい比 $l/h$ との関係をFig. 3に図示した。図から、Ver. LVLよりHor. LVLの方が $E'$ は大きいことがわかる。また、厚い単板から構成されるType A, BのLVLで $E'$ の $l/h$ の減少にとまなう低下が大きい。このことは、Type A, Bの4, 5 plyのLVLのせん断弾性係数が小さいことを示している。Fig. 3に示した $E'$ と $l/h$ の関係から、Wangaad<sup>9)</sup>, Biblis<sup>7, 8)</sup>等が用いた方法により、LVLの真の曲げヤング係数 $E$ とせん断弾性係数 $G$ を決定した。すなわち、 $E'$ と $l/h$ の間には次式が成立する。

$$\left(\frac{1}{2} \frac{l}{h}\right)^2 = \frac{0.3}{G} + \frac{1}{E} \left(\frac{1}{2} \frac{l}{h}\right)^2 \quad (1)$$

(1)式より、 $(1/2 \cdot l/h)^2/E'$ を縦軸に、 $(1/2 \cdot l/h)^2$ を横軸にとると、 $y$ 切片より $G$ 、直線の傾きより $E$ が求まる。Fig. 4にType BのLVLの結果を例示した。最小自乗法により、各単板構成のLVLについて直線式を求めた。そのさい、相関係数はすべて0.99以上の値を示し直線関係は良好であった。Table 3に上述の方法により求めた $E$ と $G$ の値を示した。Table 3から、本実験に用いたLVLの真の曲げヤング係数は、単板構成によらず

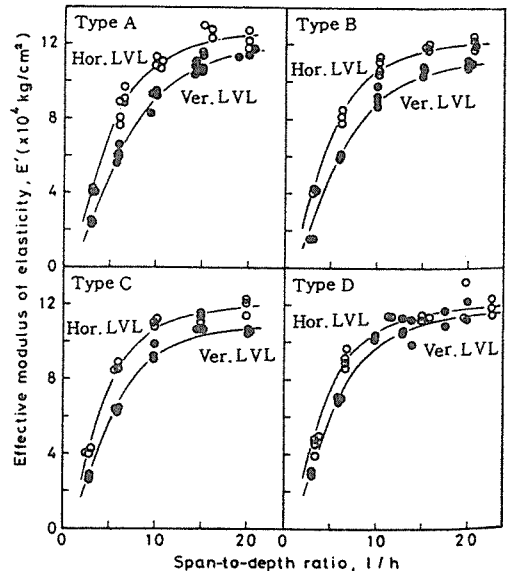


Fig. 3. Effective moduli of elasticity ( $E'$ ) of LVL at five span-to-depth ratios ( $l/h$ ).

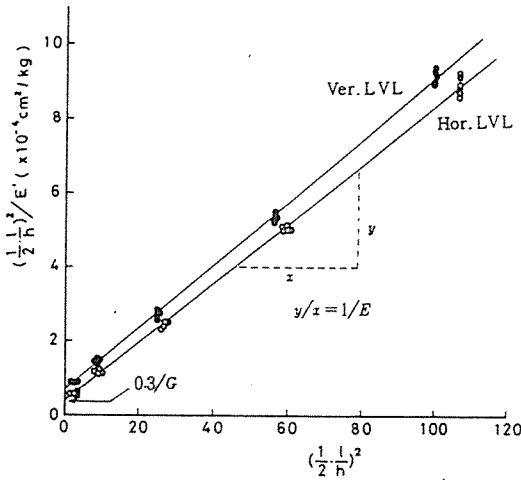


Fig. 4. Method used for the determination of the pure modulus of elasticity and the modulus of rigidity (data for Type B LVL).

Table 3. Average elastic properties in static bending of Hor. LVL and Ver. LVL.

Type of LVL	$E_{15}^{2)}$ ( $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ )	$E^{3)}$ ( $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ )	$G^{4)}$ ( $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ )	$E/G$
Hor. LVL				
A	120	130	7.93	16.4
B	117	126	8.39	15.0
C	116	124	9.04	13.7
D	116	124	9.63	12.9
Ver. LVL				
A	109	127	4.00	31.7
B	104	119	4.50	26.4
C	102	113	5.60	20.2
D	110	123	5.58	22.0

1) See Table 2

2) Modulus of elasticity at a 15:1 span-to-depth ratio

3) Pure modulus of elasticity

4) Modulus of rigidity

ほぼ一定値を示すことがわかる。平均すると、Hor.LVLで $126 \times 10^3$ 、Ver.LVLで $121 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ であり、僅かにHor.LVLの方が大きい値を示した。

Table 3 に示したせん断弾性係数 $G$ の値をみると、各単板構成のLVLで、Ver.LVLの $G$ の値はHor.LVLの約56%の値であった。Table 1 に示したように、裏割れは単板表面に対し $60^\circ \sim 70^\circ$ の傾きをもっているため、Ver.LVLでは裏割れの方向とせん断面がほぼ一致している。これにより、Ver.LVLでは $G$ の値が低いものと思われる。またHor.LVL、Ver.LVLともに、構成単板の厚さが厚くなると $G$ の値は減少する傾向がみられた。Table 1 の裏割れ率から、Ver.LVLでは厚い単板から構成されるLVLほど水平せん断に抵抗する有効面積が

小さくなるのがわかる。このことがせん断弾性係数の値に影響を及ぼしていると思われる。Hor.LVLでは、その理由は明らかでないが、同様に裏割れが関与していると思われる。

### 3.2 せん断強度

木材梁ではせん断強度に寸法効果が存在することが認められており、Huggins<sup>9)</sup>はせん断スパン-梁せい比が大きくなると終局せん断強度は減少することを指摘している。各単板構成のLVLでせん断破損を示した試験体について、せん断強度( $\tau_{max} = 3Q_{max}/2bh$ ,  $Q_{max}$ :最大せん断力,  $b$ :試験体の幅)を計算し、せん断スパン-梁せい比( $a/h$ )との関係をFig. 5に示した。本実験のLVLの結果についても、 $a/h$ が大きくなると $\tau_{max}$ の減少が認められた。また、 $\tau_{max}$ はHor.LVLの方がVer.LVLより大きい値を示した。さらに、せん断強度はせん断面積、せん断容積の関数としても表わされている<sup>10~12)</sup>が、ここでは最大せん断応力説に基づいた金の理論<sup>13)</sup>を

用いて、LVLが梁として使用される際のせん断強度 $\tau_b$ を求めた。以下にその方法を述べる。

中央集中荷重の場合の曲げ破壊係数 $\sigma_{bb}$ と $h/l$ との関係をFig. 6に図示した<sup>13)</sup>。曲げ破壊係数は梁が破壊したときの最大曲げモーメント $M_{max}$ を断面係数 $Z$ で割ったものである。Fig. 6に示される各領域での曲げ破壊係数は次式で示される<sup>13)</sup>。

a. 塑性域せん断破損の生じる場合

$$\text{曲げ破壊係数 } \sigma_{bb} = \frac{3\sigma_{cb}}{1 + \frac{h}{l} \frac{Q_{cb}}{\tau_b}} \quad (2)$$

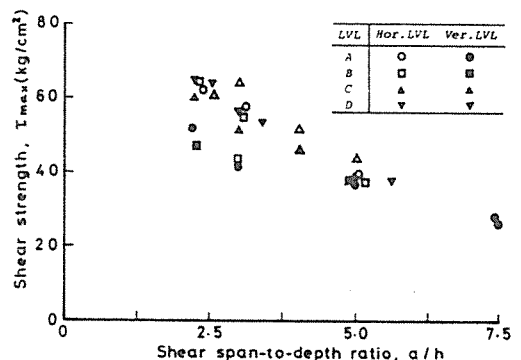


Fig. 5. Effect of shear span-to-depth ratio on the shear strength of LVL.

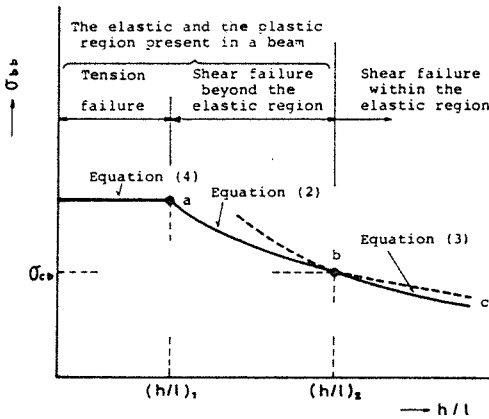


Fig. 6. Theoretical relationship between bending strength ( $\sigma_{bb}$ ) and depth-to-span ratio ( $h/l$ ).

ここに、 $\sigma_{cb}$  : 圧縮強度、 $\tau_b$  : せん断強度である。

b. 弾性域せん断破損が生じる場合

$$\text{曲げ破壊係数 } \sigma_{bb} = \frac{2\tau_b}{h} \quad (3)$$

c. 引張破損の生じる場合

$$\text{曲げ破壊係数 } \sigma_{bb} = \frac{3r-1}{r+1} \sigma_{cb} \quad (4)$$

ここに、 $r = \sigma_{tb} / \sigma_{cb}$  ( $\sigma_{tb}$  : 引張強度)である。

また塑性域せん断破損、弾性域せん断破損が生じる  $l/h$  の限界はそれぞれ次式で与えられる。

$$\left(\frac{h}{l}\right)_1 = \frac{4}{3r-1} \cdot \frac{\tau_b}{\sigma_{cb}} \quad (5)$$

$$\left(\frac{h}{l}\right)_2 = 2 \cdot \frac{\tau_b}{\sigma_{cb}} \quad (6)$$

本実験におけるLVLの曲げ破壊係数 $\sigma_{bb}$ と $h/l$ の関係を図7に図示した。図中の白めきの点は引張により、黒めきの点はせん断により破損の生じたことを示しているが、LVLは比較的大きいスパン-梁せいでせん断破損を起した。Type AのLVLでは、Ver. LVLは $l/h=15$ で3体の試験体のうち2体がせん断破損を起し、Hor. LVLは $l/h=10$ からせん断破損が生じた。Type B, Type CのLVLではVer. LVL, Hor. LVLともに $l/h=10$ からせん断破損を起した。またType DのLVLでは、Ver. LVLのうち1体が $l/h=10$ でせん断破損を示したが、他は全て $l/h=6$ でせん断破損を起した。参考までに、厚さ1/2インチのサザンパイン単板を4ply積層したVer. LVLの小試験体の曲げ試験<sup>3)</sup>( $l/h=14$ )においても、試験体の2/3が水平せん断により破損している。

せん断破損を起したLVLの破損状態を図8に示し

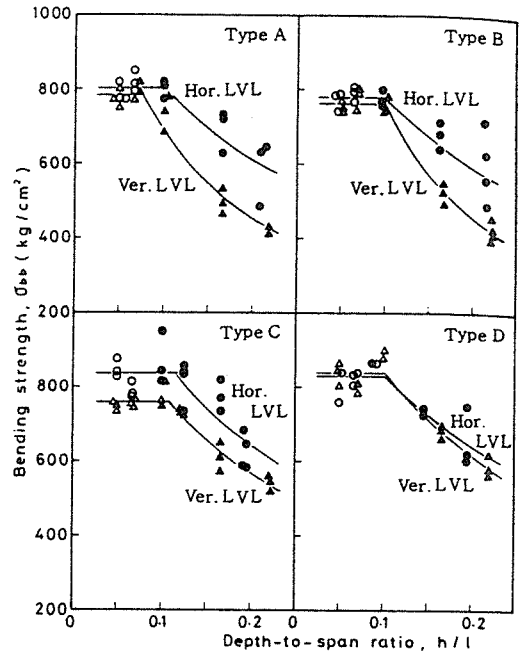


Fig. 7. Bending strength ( $\sigma_{bb}$ ) of LVL at five depth-to-span ratios.

○, △ : tension failure,  
●, ▲ : shear failure.

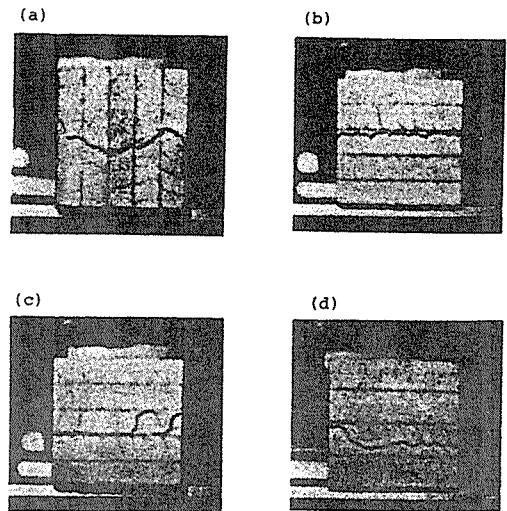


Fig. 8. Examples of horizontal shear failures in LVL.

(a): Ver. LVL, (b)-(d): Hor. LVL.

た。Ver. LVLでは破壊面が裏割れを伝わるように走っている(a)。Hor. LVLでは破壊面に一定の傾向がみられず、接着層付近で破壊が起る場合(b)、接着層から裏割れに破壊面が伝わる場合(c)、破壊面が裏割れの先端

を伝わる場合 (d) 等がみられた。

次にせん断破損を示した試験体の曲げ破壊係数 ( $\sigma_{bb}$ ) と  $l/h$  の関係から LVL のせん断強度  $\tau_b$  を求めた。(2) 式を変形し、直線関係に変換した。

$$\frac{\left(\frac{l}{h}\right)}{\sigma_{bb}} = \frac{1}{3\tau_b} + \frac{1}{3\sigma_{cb}} \left(\frac{l}{h}\right) \quad (7)$$

(7) 式より、縦軸に  $(l/h)/\sigma_{bb}$ 、横軸に  $l/h$  をとると、 $y$  切片より  $\tau_b$ 、直線の傾きより  $\sigma_{cb}$  が求まる。せん断破損を起した LVL ではすべて塑性域せん断破損が生じたとして、 $(l/h)/\sigma_{bb}$  と  $l/h$  の関係をプロットした。Fig. 9 に Type C の LVL についての結果を示した。各単板構成の LVL について最小自乗法により直線式を求め、 $\tau_b$ 、 $\sigma_{cb}$  を算出した。また引張破損を起した試験体の曲げ破壊係数の平均値を引張破損時の曲げ破壊係数  $\sigma_{bb}$  と

した。得られた結果を Table 4 に示した。また曲げ試験後採取した圧縮試験体から求めた圧縮強さの値を同時に Table 4 に示した。

Table 4 のせん断強度  $\tau_b$  をみると、Hor. LVL では構成単板の厚さによらずほぼ一定値を示しているのに対し、Ver. LVL では厚い単板から構成されている LVL で  $\tau_b$  が小さい傾向がみられる。また Ver. LVL の方が Hor. LVL より  $\tau_b$  は小さく、厚い単板から構成される 4 ply, 5 ply の Ver. LVL の  $\tau_b$  の値は単板構成の Hor. LVL の約 1/2 であった。これらはせん断弾性係数で述べたのと同様の理由によるものと思われる。素材 (イエロウセ

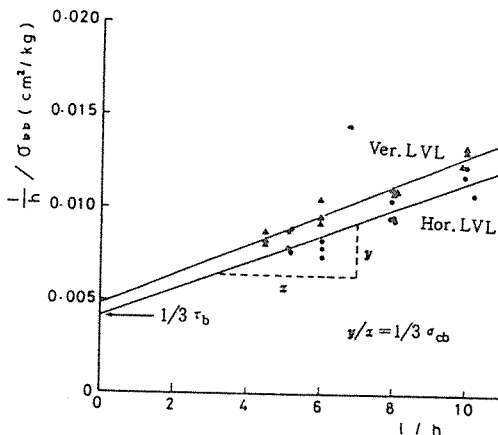


Fig. 9. Method used for the determination of the shear strength and the compression strength of LVL (data for Type C LVL).

Table 4. Results of shear strength and compression strength of LVL determined from Equation (7).

Type of <sup>1)</sup> LVL	$\sigma_{bb}$ <sup>2)</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cb}$ <sup>3)</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau_b$ <sup>4)</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cb}/\tau_b$	$\sigma_c$ <sup>5)</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )
Hor. LVL					
A	803	389	85.6	4.54	474
B	779	371	84.8	4.38	455
C	837	463	80.5	5.75	458
D	830	397	93.4	4.25	466
Ver. LVL					
A	784	478	44.2	10.8	474
B	762	712	38.7	18.4	455
C	760	416	69.8	5.96	458
D	840	443	77.7	5.73	466
Yellow <sup>6)</sup> seraya	928	484	115	4.21	—

<sup>1)</sup> See Table 2

<sup>2)</sup> Bending strength

<sup>3)</sup> Compression strength

<sup>4)</sup> Shear strength

<sup>5)</sup> Obtained in compression tests

<sup>6)</sup> Taken from Reference 14)

ラヤ) のせん断強度<sup>14)</sup> と比べると、LVL では裏割れの存在によりかなりの低下がみられ、Hor. LVL で素材の約 75%, Ver. LVL で 38~67% の  $\tau_b$  の値であった。厚い単板 (8 mm, 10 mm) から構成される Ver. LVL で  $\tau_b$  の低下が特に顕著であり、このような LVL の高いせん断応力を受けるような部位への使用には注意が必要である。

Table 4 に示した曲げ破壊係数  $\sigma_{bb}$  をみると、Hor. LVL と Ver. LVL の  $\sigma_{bb}$  に差がみられない。また  $\sigma_{bb}$  は Type D (9 ply) の LVL で若干大きな値が得られており、これは積層効果によるものと思われる。(7) 式から求めた圧縮強さ  $\sigma_{cb}$  は、Type B の Ver. LVL の結果を除いて圧縮試験体から求めた値 ( $\sigma_c$ ) と比べ同等かそれ以下の値であった。

次に、(5) 式から塑性域せん断破損の生じる限界のスパン-梁せい比 ( $l/h$ ) を求めた。LVL の圧縮強さ  $\sigma_{cb}$  は圧縮試験体から求めた圧縮強さの値を平均し、 $\sigma_{cb} = 466$  kg/cm<sup>2</sup> とした。また、各単板構成の LVL の  $\sigma_{bb}$  の値と  $\sigma_{cb}$  を (4) 式に代入して求めた  $r$  の値を平均し、 $r = 2.12$  とした。本方法により推定した塑性域せん断破損の生じる限界の  $l/h$  の値は Type A~D の Hor. LVL ではそれぞれ 7.3, 7.4, 7.8, 6.7, Ver. LVL ではそれぞれ 14.1, 16.1, 8.9, 8.1 であった。Hor. LVL では低めの値、すなわち危険側の値を与えているが、Ver. LVL では実験結果とほぼ同様の値を与えた (Fig. 7 参照)。

### 3.3 ブロックせん断強さ

Table 5 にブロックせん断試験体 (Fig. 2) から求めた

Table 5. Shear strength of LVL obtained in block-shear tests.

Type of LVL <sup>1)</sup>	Shear strength (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Tangential			Radial	Rolling shear	
	a <sup>2)</sup>	b <sup>2)</sup>	c <sup>2)</sup>	d <sup>2)</sup>	e <sup>2)</sup>	f <sup>2)</sup>
A	83.0	56.5	96.2	59.8	22.2	14.7
B	96.0	86.9	89.9	76.5	—	—
C	89.1	83.2	95.2	59.5	13.0	14.7
D	94.5	99.8	83.0	70.9	—	—

<sup>1)</sup> See Table 2<sup>2)</sup> See Fig. 2

せん断強さを示した。本実験では、繊維方向および接着層に平行方向のせん断(板目面せん断)の場合、せん断面の異なる3種類の試験体間のせん断強さに差は認められなかった。また板目面ブロックせん断強さはTable 4の曲げ試験から求めたせん断強さと等しい値を示した。

繊維方向に平行で接着層に直交方向のせん断(柁目面せん断)の場合、板目面せん断強さより低い値を示した。これは曲げ試験から求めたせん断強さの結果と同様である。またTable 4のVer. LVLのせん断強さと比較し、Type A, Bの柁目面ブロックせん断強さは大きい値を示している。これはブロックせん断試験ではせん断面が規制されているのに対し、曲げ試験の場合には最も弱い面がせん断破壊面となることによるものと推察される。

ブロックせん断によるローリングシア強さは板目面、柁目面せん断強さと比べ非常に低い値を示した。構造材としてLVLを使用する場合、このような力が働かないよう注意しなければならない。

#### 4. ま と め

4種類の単板構成のLVLについて、スパン-梁せい比を変えた曲げ試験、およびブロックせん断試験を行い、単板の裏割れが関与するLVLのせん断に対する性能を検討し、次の結果を得た。

1) 曲げ試験時のみかけの曲げヤング係数  $E'$  とスパン-梁せい比 ( $l/h$ ) の関係から、LVLの真の曲げヤング係数  $E$ 、せん断弾性係数  $G$  を求めた。Ver. LVLの  $G$  の値は裏割れの存在により低い値を示し、Hor. LVLの約56%の値であった。また、Hor. LVL, Ver. LVLともに構成単板の厚いLVLほど  $G$  の値は小さい傾向がみられた。

2) LVLは比較的高い  $l/h$  でせん断破損を起し、特

に厚さが10mmの単板からなるVer. LVLは  $l/h=15$  でも水平せん断により破壊した試験体がみられた。

3) 曲げ破壊係数と  $l/h$  の関係から求めたLVLのせん断強さ  $\tau_b$  も  $G$  と同様にVer. LVLの方がHor. LVLより低く、8, 10mmの厚い単板で構成される5 ply, 4 plyのVer. LVLの  $\tau_b$  は同じ構成のHor. LVLの  $\tau_b$  の1/2であった。またLVLの  $\tau_b$  は素材と比べかなりの低下を示し、Hor. LVLで素材の75%, Ver. LVLで38~67%の  $\tau_b$  であった。

4) ブロックせん断強さは曲げ試験から算出したせん断強さとはほぼ同様の値を示した。

5) 本実験の結果からせん断に対する性質を考慮した場合、単板の厚さは6mm以下が望ましく、厚い単板から構成されるVer. LVLの高いせん断力が働くような部位への使用には注意が必要である。

#### 謝 辞

本研究は東京大学農学部にて在職中に行った実験をとりまとめたものであり、本研究を行うにあたり、ご指導、ご協力をいただいた杉山英男教授、大熊幹章助教授および木質材料科学教室の諸氏に感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) J. F. Lutz, H. H. Haskell and R. H. McAlister: *For. Prod. J.*, 12 (5), 218 (1962)
- 2) R. M. Echols and R. A. Currier: *For. Prod. J.*, 23 (2), 45 (1973)
- 3) E. L. Schaffer, R. W. Jokerst, R. C. Moody, C. C. Peters, J. L. Tschernitz and J. J. Zahn: USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 175 (1972)
- 4) J. C. Bohlen: *For. Prod. J.*, 25 (2), 16 (1975)
- 5) J. C. Bohlen: *For. Prod. J.*, 22 (1), 18 (1972)
- 6) F. F. Wangaad: *For. Prod. J.*, 14 (6), 256 (1964)
- 7) E. J. Biblis: *For. Prod. J.*, 15 (2), 81 (1965)
- 8) E. J. Biblis: *For. Prod. J.*, 19 (6), 47 (1969)
- 9) M. W. Huggins, J. H. L. Dalmer and E. N. Aplin: *Eng. J.*, 49 (2), 32 (1966)
- 10) F. J. Keenan: *For. Prod. J.*, 24 (9), 63 (1974)
- 11) J. Longworth: *For. Prod. J.*, 27 (8), 19 (1977)
- 12) A. T. Quaile and F. J. Keenan: *Wood Science*, 11 (1), 1 (1978)
- 13) 杉山英男: "木構造", 彰国社, p. 55 (1971)
- 14) 農林省林業試験場: "木材工業ハンドブック", 丸善, p. 237 (1971)



### 3 単板積層材 (LVL) をフランジ に使用した組立梁の性能<sup>\*1</sup>

海老原 徹<sup>\*\*</sup>

#### The Performance of Composite Beams with Laminated-veneer Lumber (LVL) Flanges<sup>\*1</sup>

Toru EBIHARA<sup>\*\*</sup>

Laminated-veneer lumber (LVL) was used as tension and compression flanges of I and box beams with plywood shear webs. Eight types of LVL were fabricated as flange materials using 10 mm and 6 mm thick lauan veneer in the laboratory (Fig. 1). Construction details of I and box beams are shown in Fig. 2 and Table 1. The beams were constructed by gluing LVL and plywood together with resorcinol resin. I and box beams were tested under two-point loading. The observed results are summarized as:

1) The I beams failed in shear of plywood webs. On the other hand, in almost all box beams, failure occurred in the tension flanges and was associated with butt joints in the LVL (Fig. 7).

2) The observed ultimate load ( $P_{max}$ ) and the load at the allowable deflection of  $l/300$  ( $P_{l/300}$ ) are shown in Fig. 6.  $P_{max}$  of box beams increased with increasing butt joint spacing. However,  $P_{max}$  was affected also by the distance between the web joint and the butt joint in the flange LVL. The ratio of  $P_{max}$  to  $P_{l/300}$  was about 2.5 for I beams and 2.2~3.1 for box beams. This results in an estimated factor of safety against the load at the allowable deflection of over 2.0.

3) The observed flexural rigidity of box beams was comparable to that of the beam with lumber flanges and was not affected by the butt joint spacing in the LVL flange (Table 2). The flexural rigidity of the box beams calculated using properties of the individual elements was in close agreement with the observed values.

4) The maximum bending stress occurring in box beams which failed in tension of the LVL flanges ranged from 297 to 570 kg/cm<sup>2</sup> with an average of 421 kg/cm<sup>2</sup> (Table 2). This indicates that the appropriate allowable stress in tension for LVL with butt joints corresponds to the value obtained by multiplying the allowable stress for lumber by 0.8.

5) The allowable total load of I and box beams calculated in accordance with the ordinary design method of plywood beams was compared with the observed ultimate load (Table 3). The ratio of the ultimate to the allowable load of box beams which failed in tension of the LVL flanges ranged from 4.6 to 7.8; therefore, the allowable total load seems to be underestimated.

単板積層材(LVL)の構造的利用方法の一つとして、組立梁のフランジ材にLVLを使用した。厚さ10mmの単板から3, 4, 6 ply, 6mmの単板から5 plyのLVLを製造し、これをフランジに使用した長さ260cm、梁せい22.5cmのIビーム、ボックスビームについて曲げ試験を行った。本実験のボックスビームでは、殆どがフランジLVLの引張により破壊したが、最大荷重と $l/300$ のたわみ荷重の比から安全な梁であることが認められた。また、フランジの引張により破壊した梁に発生した最大曲げ応力値から、バットジョイントをもつLVLの許容引張応力度は現行の20%減の値が妥当であること、組立梁の設計方法から求めた許容荷重が過少評価されていることが示された。

<sup>\*1</sup> Received August 28, 1981. 本報告の一部は第27回日本木材学会大会(1977年京都)において発表した。

<sup>\*\*</sup> 農林水産省林業試験場 Forestry and Forest Products Research Institute, PO Box 16, Tsukuba Norin Kenkyu Danchi-nai, Ibaraki 305

## 1. 結 言

単板積層材(LVL)が北米で開発されて以来年月が経過するが、未だ構造材料としての地位が確立していないように思われる。その理由の一つとして、LVLの特徴を生かした用途が開発されていないことが挙げられる。LVLの構造的な使用を考える場合、バットジョイントをもつことから、曲げ材としては垂直積層梁(Ver. LVL)として使用する方が有利である。また、ラミナである単板に裏割れの存在することにより、素材に比べせん断強度がかなり低い<sup>1)</sup>ことから、高せん断力の働く部位へは使用できない。さらに、LVLは単板をエンドジョイントすることにより、長尺なものが得られることを考えあわせると、構造的利用法の一つとして組立梁のフランジ材としての使用が考えられる。本実験では、フランジにLVLを用いた組立梁の性能を調べ、LVLのフランジ材としての使用の可能性を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用材料

2種類の厚さ(6mm, 10mm)のレッドメランチ(*Shorea sp.*)単板を用いて、実験室にてLVLを製造し組立梁のフランジ材に供した。6mm単板, 10mm単板の比重は各々0.73, 0.62, 平均裏割れ率は各々72%, 78%であった。本実験に使用した単板の比重は高く, 10mm単板ではめぼれが著しく, かなり表面の荒れた状態であった。

Fig. 1に示すように、積層数, バットジョイント間隔を変え8種類のLVL(幅11cm, 長さ270cm)を製造した。接着剤はレゾルシノール樹脂(大日本インキ化学K.K., Plyphen 6000)を使用し, 冷圧および熱圧Bohlen法<sup>2)</sup>の2通りの製造方法によった。そのさい単板のバットジョイントを階段状に配し, 同一断面内の一層のみにバットジョイントが存在するようにしたが, Type FのLVLはType BのLVLを重ねた構成になっており, バットジョイントが同一断面内の2層中に存在する。バットジョイント間隔は単板厚さの20倍, 30倍, 40倍および60倍を基準としたが, 使用した単板の長さの制限をうけ29倍, 38倍になったものもある。製造したLVLを幅方向に2~3等分しフランジ材とした。梁の組立て前に分銅載荷により曲げヤング係数を測定した(中央集中荷重, スパン240cm)。

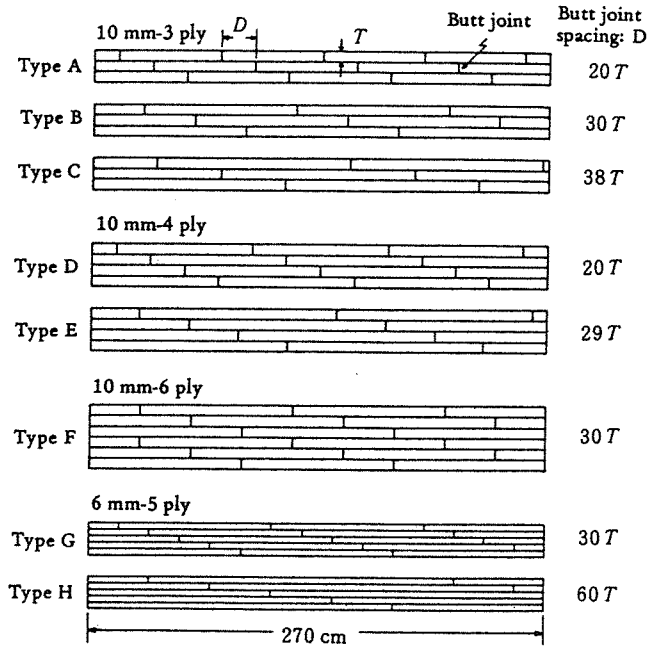


Fig. 1. Construction layouts of laminated-veneer lumber (LVL) used as flange materials of I beams and box beams.

ウェブ材には、厚さ9, 12mmのJAS構造用合板(1類, 91cm×182cm)を使用した。この合板を幅方向(91cm)に4等分し, 4枚のウェブ用合板を供した。225cm×182cmの合板についてフランジ材と同様の方法で曲げヤング係数を求めた。測定したフランジLVL, ウェブ合板の曲げヤング係数をTable 1に示した。

### 2.2 試験体の作製

Fig. 2に示すような形状の梁せい22.5cm, 長さ260cmのIビーム, ボックスビームを作製した。試験体の組立ては, 接着によった。レゾルシノール樹脂を使用し釘打ち仮止め後, 一昼夜冷圧した。このとき, フランジLVLの接着層とフランジ-ウェブ間の接着層が平行になるように, すなわち垂直積層LVLとして使用した。また, ウェブ合板の表板の繊維方向がフランジの長手方向と平行になるようにし, ウェブの継手はスチフナを用いてジョイントし, スプラインプレートは使用しなかった。スチフナには, ウェブ継手部で幅8.8cm, それ以外では幅5cmのベイツガを使用した(Fig. 2)。

フランジLVL, ウェブ合板を組合せ, Iビーム5種類, ボックスビーム11種類の組立梁を試験に供した。なお, Iビームでは1種類につき1体, ボックスビームでは1種類につき2体, 合計27体の梁を作製し曲げ試験を行った。Iビーム, ボックスビームの断面寸法をTable 1に示した。No. 8以外のボックスビームでは,

Table 1. Dimensions in cross-section and modulus of elasticity in bending of flange and web materials.

Beam number	Flange				Web	
	Type <sup>1)</sup>	Breadth $b^{4)}$	Depth $d^{4)}$	MOE $E_t$	Thickness $t^{4)}$	MOE $E_w$
	LVL	(cm)	(cm)	( $10^3 \text{kg/cm}^2$ )	(cm)	( $10^3 \text{kg/cm}^2$ )
I beam						
1	B	5.60	5.04	171	0.93	95
2	B	5.71	2.97	172	0.93	95
3	B	5.71	4.98	157	1.20	69
4	B	5.73	3.01	154	1.20	69
5	W <sup>2)</sup>	6.00	5.00	109	0.93	95
Box beam						
6-1	A	2.90	5.00	154	1.83	112
6-2	A	2.81	4.98	141	1.86	102
7-1	B	2.87	5.04	158	1.86	95
7-2	B	2.84	4.98	159	1.84	160
8-1	B <sup>3)</sup>	2.86	5.03	163	1.83	112
8-2	B <sup>3)</sup>	2.79	4.97	152	1.85	107
9-1	C	2.90	5.01	164	1.83	112
9-2	C	2.76	4.98	140	1.85	101
10-1	B	2.87	2.99	171	1.86	95
10-2	B	2.78	2.99	160	1.86	113
11-1	D	3.80	5.00	170	1.83	112
11-2	D	3.79	4.97	157	1.77	137
12-1	E	3.85	5.03	163	1.83	112
12-2	E	3.79	4.98	165	1.85	119
13-1	G	2.96	5.04	217	1.83	112
13-2	G	2.94	5.00	203	1.83	112
14-1	H	3.07	5.04	210	1.83	112
14-2	H	2.88	4.98	217	1.85	130
15-1	F	5.72	5.01	151	2.40	69
15-2	F	5.68	4.99	157	2.44	144
16-1	W <sup>2)</sup>	3.00	5.00	119	1.83	112
16-2	W <sup>2)</sup>	3.00	5.03	147	1.83	112

Notes: 1) See Fig. 1.

2) Lumber (hem-fir) flange.

3) Butt joints in webs are not staggered.

4) See Fig. 2.

フランジの両側でウェブ合板の継手部が一致しないように、継手部を80 cm離して配置した。No.8のボックスビームでは、試験体中央にウェブ合板の継手部が存在し、フランジの両側でウェブの継手部が一致している。また比較のため、ベイツガをフランジに用いたIビーム(No.5)、ボックスビーム(No.16)を製作し、試験に供した。

### 2.3 試験方法

Fig.3に示すように、容量10 tonの油圧式アムスラー型試験機を使用し、スパン240 cmの3等分点に集中荷重(2点)を加えることにより曲げ試験を行った。そのさい、スパン中央点のたわみ、荷重点下のたわみをデジタ

ルダイヤルゲージ(小野測器K.K., 精度1/100 mm)を用い測定した。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 荷重-たわみ曲線

曲げ試験における荷重-スパン中央点のたわみ曲線をFig.4, Fig.5に示した。ボックスビームについては、試験体2体のうち1体のみの結果を示したが、他の1体についてもFig.5と同様の傾向の曲線を示した。単板構成、断面寸法の等しいLVLをフランジにもつボックスビームの荷重-たわみ曲線はバットジョイント間隔によ

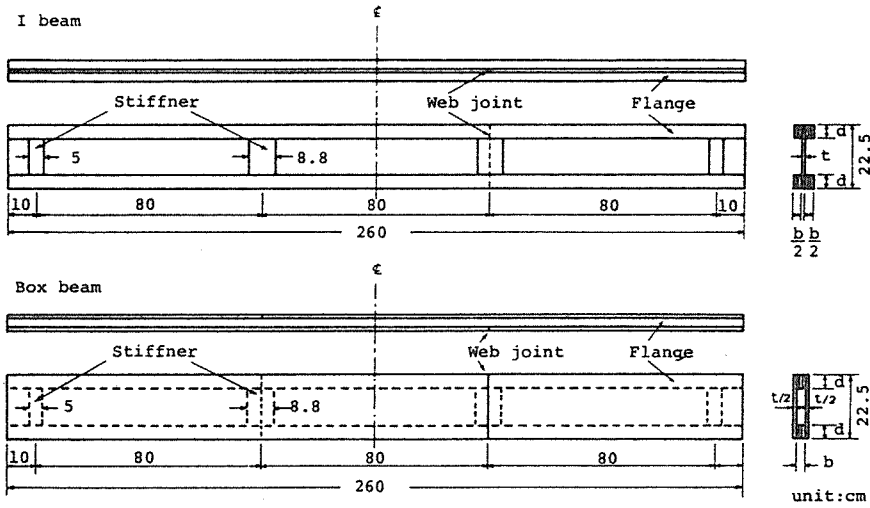


Fig. 2. Construction details of I beam and box beam with LVL flanges and plywood webs.

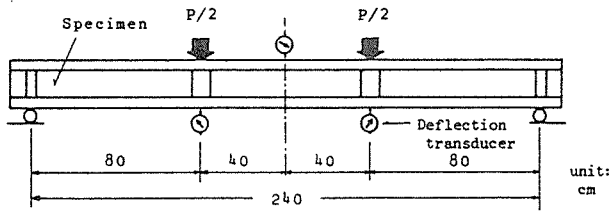


Fig. 3. Method of bending test for I beams and box beams with LVL flanges and plywood webs.

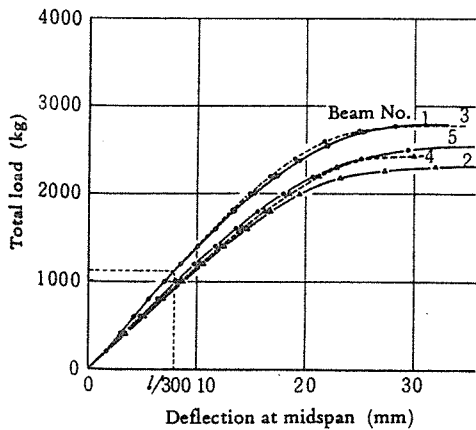


Fig. 4. Load-deflection curves of I beams.

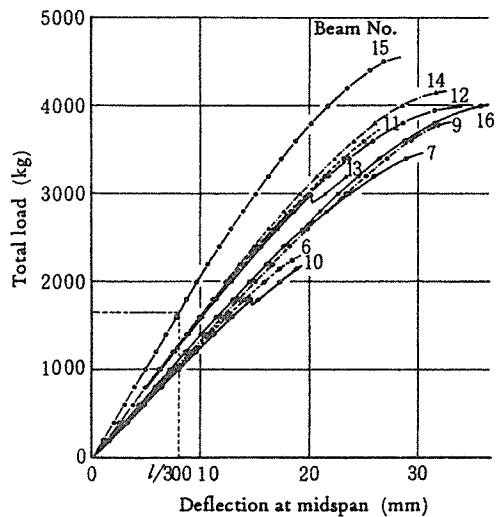


Fig. 5. Load-deflection curves of box beams.

らずほぼ同一付近に存在しており、剛性が等しいことが示されている。またフランジの引張で破壊したボックスビームの荷重-たわみ曲線は最大荷重まで比較的直線を呈する傾向がみられた。

3.2 最大荷重および  $l/300$  のたわみ荷重

たわみ制限をスパン ( $l$ ) の  $1/300$  とし、最大荷重 ( $P_{max}$ ) および  $l/300$  のたわみ荷重 ( $P_{l/300}$ ) についての結果を Fig. 6 に示した。Fig. 6 に同時に破壊の形態を示したが、本実験で現われた梁の破壊形態は次のようであった。

1) I ビームはすべてウェブ合板の水平せん断により破壊した。この場合、最大荷重に達してその状態がしばらく維持される傾向がみられた。

2) ボックスビームでは、殆どの試験体がフランジ LVL のバットジョイント部の引張により破壊した (Fig. 7)。破壊はバットジョイント間を伝わるように起ったが、フランジ LVL 中のバットジョイントとウェブ継手部の距離の小さい梁では、ウェブ継手部も同時に外れた (Fig. 7, (a), (b))。特に No. 6, No. 11 のボックスビームでは両者の位置が一致しており、破壊はこの点から発生した。フランジのバットジョイントとウェブ継手部とが離

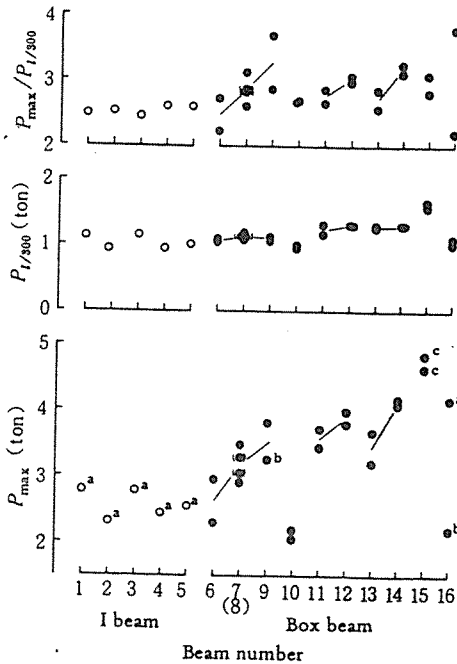
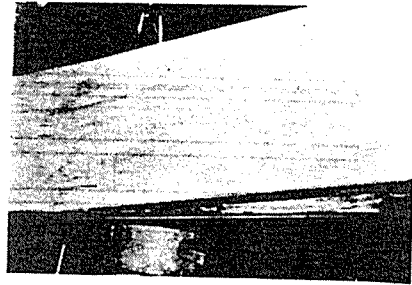


Fig. 6. Ultimate load ( $P_{max}$ ) and load at allowable deflection of  $l/300$  ( $P_{l/300}$ ) of I beams and box beams with LVL flanges.

- Notes: <sup>a</sup> Horizontal shear failure in web.  
<sup>b</sup> Delamination in flange-web joint.  
<sup>c</sup> Rolling shear failure in web.  
 The other beams failed in tension of LVL flanges.

(a)



(b)



(c)



(d)

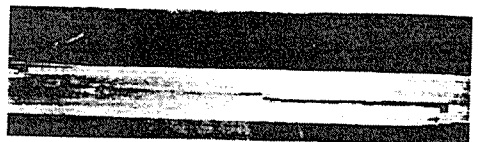


Fig. 7. Tension failure of LVL flanges in box beams.

- (a): No. 6 beam, (b): No. 7 beam, (c): No. 8 beam, (d): No. 9 beam ((b)-(d): view from tension side).

れている試験体では、フランジとウェブが同時に破壊し、梁として完全な破壊を示した (Fig. 7, (c), (d))。

3) フランジとウェブ間の接着層の剥離により破壊した試験体のみられたが (No. 9-1, No. 16-1), 十分強度が発揮されなかった。

4) No. 15 のボックスビームでは合板のローリングシヤにより破壊が生じた。

Fig. 6 に示した最大荷重をみると、単板構成、断面寸法の等しい LVL をフランジにもつボックスビーム (Nos. 6~9, Nos. 11~12, Nos. 13~14) 間の最大荷重は、LVL 中のバットジョイント間隔が大きくなると増加する傾向を示したが、破壊形態で述べたように、フランジ LVL の最外層中のバットジョイントとウェブ合板の継手部との距離も最大荷重に影響を及ぼしており、適正なバットジョイントの避距は見出されなかった。また、同一断面寸法であるが単板構成の異なる LVL をフランジとするボックスビーム間の最大荷重を比較すると、6 mm-5 ply の LVL をフランジとするボックスビーム (Nos. 13-14) の最大荷重は 10 mm-3 ply の LVL をフランジとする梁 (Nos. 6~9) より大であり、10 mm-4 ply の LVL を

フランジをもつ梁(Nos. 11~12)と同等の値を示した。これは本実験に用いた6mm単板の比重が高いこと、および積層数の多いことによるものと思われる。

$l/300$ のたわみ荷重( $P_{l/300}$ )をみると、 $P_{l/300}$ はLVL中のバットジョイント間隔によらず一定の値を示しており、また本実験のLVLをフランジとする梁は、ベイツガフランジの梁と同等以上の値を有している。 $P_{max}$ と $P_{l/300}$ の比をみると、 $l/300$ のたわみ制限による使用荷重に対して、Iビームで2.5倍前後、ボックスビームで2.2~3.1倍の安全率が存在することがわかる。 $P_{max}/P_{l/300}$ が全て2以上の値を示したことから、本実験のLVLをフランジとする梁は安全な梁であると考えられる。

3.3 曲げ剛性

本実験の場合計算による<sup>3)</sup>と、中央たわみに占めるせん断たわみの割合は、Iビームで約50%、ボックスビームで25~30%であった。せん断たわみの全体たわみに占める割合が大きく、これを無視することができない。荷重点間の相対たわみより曲げ剛性の実測値を求めTable 2に示した。また、Table 1のフランジ材、ウェブ材の曲げヤング係数、断面寸法を用いて算出した計算曲げ剛性の値をTable 2に示した。このさい、断面2次モーメントの計算にあたり、合板はスパンに平行な繊維をもつ層だけを計算に入れた。

曲げ剛性の実測値と計算値の比をみると、Iビームでは実測値がやや低い値を示しているが、ボックスビームでは0.90~1.17の範囲にあり、計算から曲げ剛性を予測できるといえる。また、LVLをフランジとするボックスビームの曲げ剛性はLVL中のバットジョイントの間隔によらず一定であり、バットジョイント間隔は組立梁の曲げ剛性に影響を及ぼさなかった。また、寸法型式210の枠組材のヤング係数を $100 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ とすると、その曲げ剛性は約 $411 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ であり、本実験のLVLをフランジとする梁の曲げ剛性はこの値を上回っており、曲げ剛性に関して

Table 2. Observed and calculated flexural rigidity and maximum calculated stress in I beams and box beams with LVL flanges.

Beam number	Flexural rigidity ( $10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ )		Ratio <sup>3)</sup>	Maximum stress ( $\text{kg/cm}^2$ )		
	$(EI)_o$ <sup>1)</sup>	$(EI)_c$ <sup>2)</sup>		$f_t$ <sup>4)</sup>	$f_s$ <sup>5)</sup>	$f_r$ <sup>6)</sup>
I beam						
1	553	797	0.69	256	85.0*	6.9
2	495	602	0.82	277	65.7*	8.7
3	553	743	0.74	251	65.7*	7.0
4	501	548	0.91	287	53.7*	8.9
5	453	555	0.82	209	78.4*	6.1
Box beam						
6-1	478	447	1.07	374*	48.0	5.3
6-2	422	393	1.07	297*	36.8	4.1
7-1	515	439	1.17	392*	46.2	5.5
7-2	528	486	1.09	396*	57.4	5.5
8-1	483	437	1.11	428*	53.4	5.9
8-2	429	419	1.02	402*	49.1	5.5
9-1	481	470	1.02	420	52.6	5.9
9-2	405	386	1.05	504*	61.8	6.8
10-1	423	363	1.17	350*	31.1	5.4
10-2	439	430	1.02	348*	34.0	5.2
11-1	630	604	1.04	374*	55.1	6.9
11-2	578	576	1.00	379*	62.6	7.0
12-1	576	591	0.98	403*	60.9	7.5
12-2	545	587	0.93	426*	63.6	7.8
13-1	554	603	0.92	510*	58.9	7.3
13-2	537	565	0.95	442*	51.6	6.3
14-1	584	605	0.91	545*	65.2	8.1
14-2	545	593	0.92	570*	66.7	8.0
15-1	760	758	1.00	392	58.0	10.9*
15-2	768	853	0.90	318	56.3	8.8*
16-1	434	377	1.15	246	36.0	3.6
16-2	473	444	1.07	505	67.6*	7.4

- Notes: 1) Observed flexural rigidity from 80 cm span;  $(EI)_o = l^3/432 \cdot P/\delta_d$ ;  $l$ =span length,  $P$ =total load,  $\delta_d$ =relative deflection between load points.
- 2) Calculated flexural rigidity.
- 3) Ratio of calculated to observed flexural rigidity.
- 4) Bending in flange.
- 5) Horizontal shear in web.
- 6) Flange-web shear (rolling shear).
- \* Associated with failure of beam. See Fig. 6.

は210材に代替しうる。

3.4 組立梁中に生じた最大応力

次の各式により組立梁中に発生した最大応力の値を計算した<sup>4),5)</sup>。

フランジ外層繊維の曲げ応力

$$f_t = \left( \frac{Mh}{2EI} \right) E_t \tag{1}$$

$$\overline{EI} = E_t I_t + E_w I_w \quad (2)$$

ここに、 $M$ : 曲げモーメント、 $h$ : 梁せい、 $E_t, E_w$ : フランジ、ウェブのヤング係数、 $I_t, I_w$ : フランジ、ウェブの中立軸に関する断面2次モーメントである。

ウェブに生じる水平せん断応力

$$f_s = \frac{V(\overline{EQ})}{t(\overline{EI})} \quad (3)$$

$$\overline{EQ} = E_t Q_t + E_w Q_w \quad (4)$$

ここに、 $V$ : せん断力、 $t$ : ウェブの合計厚さ、 $Q_t, Q_w$ : フランジ、ウェブの中立軸に関する断面1次モーメントである。

フランジ-ウェブ間に生じるせん断応力

$$f_r = \frac{V(E_t Q_t)}{2d(\overline{EI})} \quad (5)$$

ここに、 $d$ : フランジせいである。

(1), (3), (5)式より破壊時に梁に発生した各応力の値を計算し、Table 2に示した。フランジの引張により破壊した梁について最大曲げ応力の値をみると、厚さ10 mmの単板から構成されるLVLをフランジに用いた梁では297~504 kg/cm<sup>2</sup> (平均389 kg/cm<sup>2</sup>)、厚さ6 mmの単板からなるLVLをフランジとする梁では442~570 kg/cm<sup>2</sup> (平均517 kg/cm<sup>2</sup>)を示した。最大荷重で述べたように、フランジLVL中のバットジョイント間隔が増すと最大曲げ応力も大きくなる傾向がみられる。また、No.7とNo.10のボックスビームに生じた曲げ応力を比較すると、フランジせいの小さい梁に発生した最大曲げ応力値は若干低い値を示している。さらに、No.6とNo.11, No.7とNo.12およびNo.15の最大曲げ応力を比較すると、3 plyと4 ply, 6 plyのフランジLVLに発生した最大曲げ応力値に差はみられなかった。

PDS<sup>6)</sup>では引張部材中にバットジョイントが存在する場合には、その許容引張応力度として20%減の値を用いている。ラワンの許容引張応力度を180 kg/cm<sup>2</sup><sup>7)</sup> (短期)とし、これに0.8を掛けてバットジョイントをもつLVLの許容引張応力度を144 kg/cm<sup>2</sup>と仮定した。フランジの引張により破壊したボックスビームでは、この梁に発生した最大曲げ応力と許容引張応力度との比は、10 mm単板からなるLVLをフランジとする梁で2.1~3.5、6 mm単板からなるLVLをフランジとする梁で3.1~4.0の範囲にあった。このことから本実験の範囲では、バットジョイントをもつLVLの許容引張応力度として、現行の値を20%減じた値はほぼ妥当な値であると考えられる。

ウェブ合板の水平せん断およびローリングシアにより破壊した梁に生じた水平せん断応力、ローリングシア応力の値は、それぞれ53.7~85.0 kg/cm<sup>2</sup>、8.8~10.9 kg/

cm<sup>2</sup>を示した。これは平嶋の結果<sup>8)</sup>と同程度の値であった。

### 3.5 許容荷重

米国の設計方法<sup>9)</sup>により、本実験の梁の許容荷重を求めた。それによると、対称断面をもつ組立梁の許容抵抗モーメントは次式で与えられている。

$$M = \frac{F_t I_n}{0.5 h} \quad (6)$$

ここに、 $M$ : 抵抗モーメント、 $F_t$ : フランジ材の許容応力度、 $I_n$ : 連続しており、スパンに平行な繊維をもつ材料の正味断面2次モーメント、 $h$ : 梁せい。

$I_n$ の計算において、ウェブ合板では、スパンに直交方向の繊維をもつ層を無視し、またNo.8以外のボックスビームの片側ウェブを無視した。Iビーム、No.8のボックスビーム(ウェブ継手部が同一断面内に存在)では、ウェブ合板は $I_n$ に寄与しないとされた。また、フランジLVLの $I_n$ はPDS<sup>6)</sup>に従い計算した。すなわち、ある断面でバットジョイントが存在するラミナの全断面を無視する。さらに隣接ラミナにバットジョイントが存在し、ジョイント間の距離がラミナの厚さ( $T$ )の50倍以下の場合、次の係数を掛け隣接ラミナの有効断面とした。

バットジョイント間隔	30T	20T	10T
有効係数	90%	80%	60%

圧縮の場合にはバットジョイントによる強度低減はないものと仮定し、フランジLVLの許容圧縮応力度を140 kg/cm<sup>2</sup><sup>7)</sup> (短期)とした。前述の2割減じた許容引張応力度の値と比較し、 $F_t = 140$  kg/cm<sup>2</sup>とした。またフランジにベイツガを使用した梁については、 $F_t = 160$  kg/cm<sup>2</sup><sup>7)</sup> (上級構造材、短期)を採用した。

ウェブの水平せん断により決まる許容せん断荷重は次式<sup>9)</sup>から求まる。

$$V = \frac{F_v I_t t}{Q} \quad (7)$$

ここに、 $V$ : 許容せん断荷重、 $F_v$ : 合板の許容せん断応力度(24 kg/cm<sup>2</sup><sup>7)</sup>、短期)、 $I_t$ : スパンに平行な繊維をもつ材料の断面2次モーメント(ウェブ、フランジがバットジョイントされていても計算に含める)、 $t$ : ウェブ合板の合計厚さ、 $Q$ : スパンに平行な繊維をもつ材料の中立軸に関する断面1次モーメント(ウェブ、フランジがバットジョイントされていても計算に含める)。

また、合板のローリングシアにより決定される許容せん断力は次式<sup>9)</sup>で与えられている。

$$V = \frac{2F_s d I_t}{Q_t} \quad (8)$$

ここに、 $F_s$ : 合板の許容ローリングシア応力度、 $d$ : 集中を考慮し50%低減させる(4 kg/cm<sup>2</sup><sup>7)</sup>、短期)、

フランジせい,  $Q_f$ : フランジの中立軸に関する断面1次モーメント(バットジョイント層も計算に含める)。

以上の値を用いて(6), (7), (8)式から許容荷重を計算し Table 3 に示した。

表より, 2種類のIビームを除いてその他の梁では, 抵抗モーメントより求めた許容荷重が最も低い値を示している。フランジの引張により破壊したボックスビームについて, 最大荷重( $P_{max}$ )と許容荷重( $P_a$ )の最小値との比をとると, 10mm単板から構成されるLVLをフランジとする梁(No.6~No.12, No.15)では4.6~7.8, 6mm単板から構成されるLVLをフランジとする梁では4.7~6.0の範囲にあった。本実験に使用したラワン単板

の比重が高かったことを考慮し, 許容応力度を1.3倍に割り増しても, 全体として3.5~6.0の安全率が存在することになり, 許容荷重が過少に評価されているきらいがある。

また, 実験値から推定される許容荷重を比例限度荷重,  $\frac{2}{3} P_{max}$ ,  $P_{1/300}$ のうちの最小値とすると, 本実験の場合,  $P_{1/300}$ が最小値を示した。No.16のベイツガをフランジとするボックスビームでは $P_a$ と $P_{1/300}$ の値がほぼ一致しているのに対し, LVLフランジのボックスビームでは $P_a$ は $P_{1/300}$ の0.46~0.65の値であり, 実験値と比較してもLVLをフランジとするボックスビームの抵抗モーメントから求まる許容荷重は過少のように思われる。

Table 3. Allowable total load of I beams and box beams with LVL flanges calculated in accordance with the design method of plywood beams<sup>2)</sup>.

Beam number	Ultimate load $P_{max}$ (kg)	Allowable load, $P_a$ (kg)			Ratio <sup>1)</sup>
		Bending	Horizontal shear	Flange-web shear	
I beam					
1	2790	830	790	1590	3.5
2	2310	610	850	1060	3.8
3	2780	840	1010	1620	3.3
4	2430	620	1080	1110	3.9
5	2520	1680	790	1570	3.2
Box beam					
6-1	2950	510	1500	1990	5.8
6-2	2290	500	1520	2000	4.6
7-1	2900	560	1520	2010	5.2
7-2	3480	550	1500	1980	6.3
8-1	3290	420	1500	2000	7.8
8-2	3040	410	1510	2000	7.5
9-1	3240	580	1500	1990	5.6
9-2	3810	560	1500	2000	6.8
10-1	2040	450	1580	1450	4.6
10-2	2180	430	1580	1450	5.0
11-1	3440	740	1510	1860	4.7
11-2	3720	730	1450	1830	5.1
12-1	3790	800	1510	1860	4.8
12-2	3990	780	1530	1850	5.1
13-1	3670	690	1500	1990	5.3
13-2	3210	680	1500	1980	4.7
14-1	4060	740	1500	1970	5.5
14-2	4170	690	1510	1980	6.0
15-1	4820	1020	1990	1810	4.7
15-2	4630	1010	2020	1800	4.6
16-1	2190	990	1500	1970	2.2
16-2	4150	1000	1500	1980	4.2

Notes: 1) Ratio of the lowest value of allowable load to ultimate load.

2) Reference 9).

本実験条件のとき, 枠組壁工法用製材の許容荷重( $M=F_f \cdot Z$ ,  $Z$ : 断面係数)は, 寸法型式208材で860 kg, 210材で1400 kgである。LVLをフランジとするボックスビームの抵抗モーメントより計算される許容荷重はこれらの値より低いが,  $P_{1/300}$ と比較すると, No.6~No.14の梁は208材, No.15の梁は210材と同等以上の許容荷重を有している。

#### 4. まとめ

厚さ10mmの単板から3, 4, 6ply, 6mmの単板から5plyのLVLを製造した。そのさい, バットジョイントを階段状に配した。このLVLをフランジに使用した長さ260cm, 梁せい22.5cmのIビーム, ボックスビームについて曲げ試験を行い, 次の結果を得た。

1) Iビームはすべてウェブ合板のせん断により破壊した。ボックスビームでは殆どがフランジLVLのバットジョイント部の引張により破壊した。

2) 最大荷重( $P_{max}$ )と $1/300$ のたわみ荷重( $P_{1/300}$ )の比は, Iビームで2.5, ボックスビームで2.2~3.1を示し,  $1/300$ のたわみ制限による使用荷重に対して全て2以上の値をもつことから, LVLをフランジに使用した梁は安全な梁であると考えられる。またボックスビームでは,  $P_{max}$ はLVL中のバットジョイント間隔が大きくなるが増加する傾向がみられたが,  $P_{max}$ はまたウェブの継手部とフランジLVL中のバ



ットジョイント間の距離にも影響をうけた。

3) ボックスビームの曲げ剛性は、フランジLVLのバットジョイント間隔によらず一定の値を示し、また同一断面のベイツガをフランジとするボックスビームと同等の曲げ剛性であった。さらに、本実験のLVLをフランジとする組立梁は寸法型式210の枠組材の曲げ剛性以上の値を有していた。

4) フランジLVLの引張により破壊したボックスビームに発生した最大曲げ応力の値から、バットジョイントをもつLVLの許容引張応力度は現行の値の20%減の値が妥当であると思われる。

5) 現行の設計方法から計算した許容荷重と最大荷重の比は、フランジLVLの引張により破壊したボックスビームでは4.6~7.8の範囲にあり、許容荷重が過少に評価されているきらいがみられた。

#### 謝 辞

本実験は東京大学農学部在職中に行った実験をとりまとめたものであり、実験を行うにあたりご指導、ご協力

いただいた杉山英男教授、大熊幹章助教授、木質材料学教室の皆様へ感謝の意を表する次第である。

#### 文 献

- 1) E. L. Schaffer, et al.: USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 175 (1972)
- 2) J. C. Bohlen: *Forest Prod. J.*, 22 (1), 18 (1972)
- 3) A. G. H. Dietz: "Engineering Laminates", John Wiley and Sons, 240 (1949)
- 4) U.S. Forest Products Laboratory: "Wood Handbook", Agric. Handbook No. 72 (1974)
- 5) E. C. Ozeltun and J. A. Baird: "Timber Designer's Manual", Crosby Lockwood Staples, Chapter 8 (1977)
- 6) The American Plywood Association: Plywood design specification (1976)
- 7) 日本建築学会: "木構造設計規準・同解説"(1973)
- 8) 平嶋義彦: 林試研報, 第294号(1977)
- 9) The American Plywood Association: Design of plywood beams, Plywood design specification, Supplement 2 (1974)

## 4 単板積層材の強度性能 (I)

### —ラワン LVL の強度性能—

藤 井 毅\*

#### はじめに

わが国において単板積層材 (LVL : Laminated Veneer Lumber) の研究開発が始められたのは 10 数年前である。その後官民の試験研究も進み、LVL の生産量およびその製造企業も着実に増加し、昭和 55 年度実績で 5~6 万 m<sup>3</sup>、10 数企業に達している。また、昭和 53 年には一般用 LVL の JAS が制定されている<sup>1)</sup>。

しかし、その用途は造作用に限定されており、開発当初に予想された生産量には程遠く、今後構造用途への進出による需要拡大が期待されている。そのためには比較的低質な丸太をも含めて、高歩留り、高能率の製造工程を開発するとともに、裏割れやバットジョイントなど固有の強度低減因子をもつ LVL 製品の製造基準、JAS、許容応力度等による品質保証を実現しておかねばならない<sup>2)</sup>。

これまで LVL の強度性能に関する試験は内外を問わず数多くなされておき、一般用 LVL の JAS 化とあわせて構造用 LVL の検討も進められたが、当時構造用需要の少ないこともあって JAS 化は見送られた。しかし、近年建築構造材や産業部材に品質の安定した LVL を使用したいという要求が急増している。この要求に対して、(財)日本住宅・木材技術センターでは、“LVL 需要開発委員会” (山井良三郎委員長) を設置して、製造基準、JAS、許容応力度の実現に向けて、既往の強度試験データの整理と針葉樹 LVL の製造および強度試験を実施してきた<sup>3)</sup>。

本稿は、上記委員会の検討作業を参考にして、LVL の強度性能の概要を示すとともに、許容応力度の誘導に対する一試案としてとりまとめたものである。前者は主としてラワンを、後者は針葉

樹を対象としている。これに対するご意見、ご批判を賜われれば幸甚である。

#### 1. LVL の強度性能の特徴

LVL の強度性能に関する試験は、北米ではダグラスファー、サーザンパインなど針葉樹が多いのに対して、わが国ではラワン類を対象としているものが多い。これらの強度性能を個別に検討する前に、他の木質軸材と比較してみると、LVL には次のような差異が認められる<sup>3)</sup>。

- 同じ原材料を使用した場合製材に比べて各種の強度性能のバラツキが少ない。
- 各強度性能間の関係比が製材や集成材とはかなり異なる。
- 単板厚と積層数、製品寸法、縦使いと平使い等の相違によって強度性能が変動する。
- 縦つぎ (バットジョイント) の数と配置によって強度性能が著しく異なる。
- 単板の裏割れ等による横方向、せん断、釘着に対する性能低下が著しい。

これらに対する資料は少なくないが、先発の北米においても、たとえば許容応力度の設定を目標として、系統的、定量的に検討された例は少ない。また、許容応力度等の誘導を行う場合、わが国で実施されたものに依拠せざるを得ない面もあるので、本稿では資料収集範囲を国内に限定する。

#### 2. 曲げ強度性能

##### 製材との比較

同じ丸太を使用した場合の製材と LVL の性能を比較した例は少ないが、バットジョイント (以下 BJ と略す) のないスライス単板を用いたカラマツ LVL の曲げ強度性能の比較を第 1 表に示す<sup>4)</sup>。なお、LVL の断面は約 50 mm × 50 mm で、スパン 700 mm の中央集中荷重方式である。

\* 農林水産省林業試験場集成加工研究室

第1表 カラマツ LVL の曲げ強度性能

LVL の 単板構成法	試料 数	曲げヤング係数 (t/cm <sup>2</sup> )			曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )		
		14mm	10mm	6mm	14mm	10mm	6mm
原形再現	6	106	98	112	699	615	643
容積重	3	110	134	130	646	800	829
節径比	3	102	125	132	675	816	889
ヤング係数	3	112	125	131	719	820	856
無作意(水平)	3	112	116	122	699	839	765
無作意(垂直)	3	114	112	124	754	678	810
無欠点製材	42	113			968		

試験結果を要約すると次のとおりである。

- 原木再現構成の LVL の性能の単板厚による差は少なく、無欠点製材と比較すると（強度比）約 2/3 で、節径比 0.2~0.3 の製材の強度比とはほぼ一致している。
- 容積重、節径比、ヤング係数の上位単板を外層配置した場合、単板厚が薄いほど（積層数が多いほど）集成材と同様の積層による欠点分散効果が上がり、6mm 単板構成の強度比は 0.9 に達している。
- 無作意構成の場合、単板厚および荷重方向による差異は少なく、強度比は 0.70~0.85 である。

一般のロータリーレースによる LVL では、その製造工程中に単板の選別配置を導入することは困難と思われる反面、低質な剝芯が取り除かれるので、上記の無作意構成の場合と同等もしくは幾

分高い性能を期待できるであろう。

### 樹種による相違

現在まで集積されたデータの最も多い曲げ強度性能について、樹種群に分類して第1図に示す<sup>3)</sup>。なお、LVL は実用寸法に近く、積層数4プライ以上、BJ がいないか、あっても同一断面内で2プライ以上離れているものに限定した。

曲げヤング係数の場合、BJ のある LVL でも、ないものよりはやや低いが、スギを除けば集成材と同等もしくは幾分高い。また、大雑把にみれば、LVL の樹種間の差異は製材および集成材の樹種間の比率に近似している。

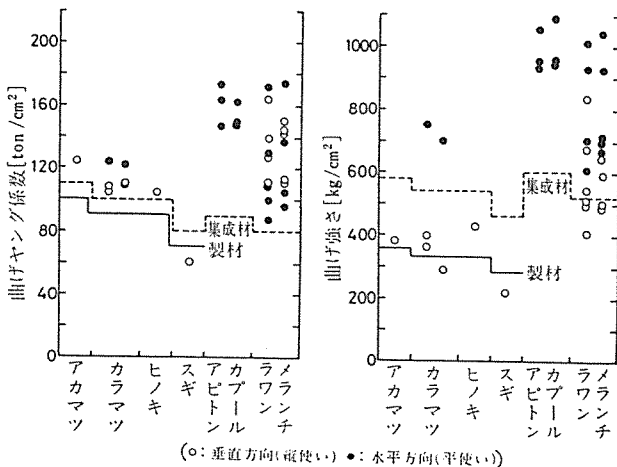
一方、曲げ強さの場合、BJ のある LVL はないものよりかなり低く、一部は製材より低いものに対して、BJ のない LVL は集成材より低いものは皆無である。また、樹種間差は、曲げヤング係数の場合と同様に、製材および集成材の樹種間比に近似している。なお、製材および集成材の基準値については後に詳述する。

### バットジョイントによる強度低減

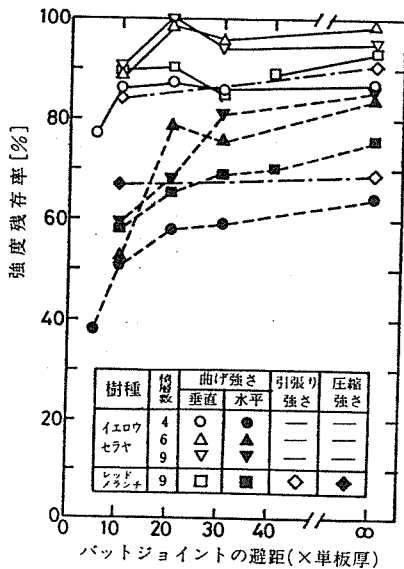
構造部材として LVL を使用する場合 3~4m の長さが必要とされるが、このような長さの単板を得ることは困難であるため、多少の強度低減があっても BJ を採用するのが普通である。

実際の LVL の製造工程を考えると、BJ の数と配置は一定のパターンをとらざるを得ない。したがって、多種多様なパターンの中から、最外層とその隣層の場合と、同一断面内に対称に配置されている場合の BJ による強度低減率を知れば、要求性能に応じた断面設計がある程度可能となる。これらに関するラワン類の試験結果を第2図と第3図に示す<sup>5),6)</sup>。

最外層に BJ がある場合、特に引張側に存在するときに強度低減が著しく、しかも隣層の BJ との避距によってもその低減率が異なっている。第2図によれば、38~40mm 角、4~9 プライの LVL では、垂直荷重に対して BJ 避距 10~20倍以上ですでに隣層に BJ がいないものの低減率とほぼ等しく、



第1図 LVL の曲げヤング係数および曲げ強さ



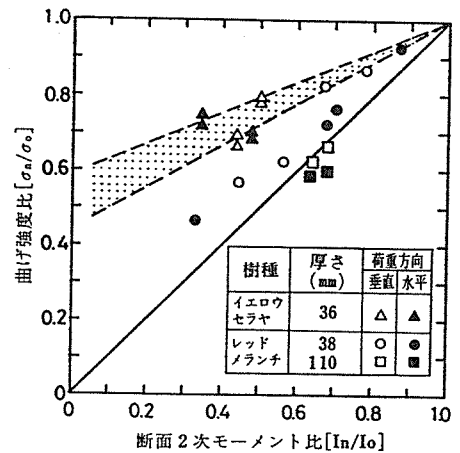
第2図 バットジョイントの避距と強度残存率

4 プライでも 0.85 程度の強度比を示している。一方、水平荷重に対しては 20 倍程度まで低減傾向が著しいが、30 倍以上ではあまり変化なく、4 プライでも 0.60 以上の強度比を示し、最外層のみに BJ があるものとの差異は 5% 以内である。

一方、同一断面内の BJ が対称に近い配置で、しかも隣接する単板ラミナの避距が 30 倍以上の場合、BJ のない LVL と比較すると、引張最外層に BJ があるとき低減が著しく、BJ の数の増加に伴って強度比が激しく低減している。第3図によれば、36~110 mm 角、6~28 プライのラワン類の LVL では、110 mm 厚 28 プライの強度比が BJ を欠損断面とみなした断面 2 次モーメント比  $I_n/I_0$  に比較的近いのに対して (実線)、36 mm 厚、6~9 プライの強度比はむしろ引張側の BJ のみを欠損断面とみなした  $I_n'/I_0$  に近似しており (点線)、38 mm 厚、9 プライの強度比は  $I_n/I_0$  と  $I_n'/I_0$  との間である。

以上のように、節等の欠点の少ないラワン類でも、単板および製品の品質と寸法によって、強度比の近似計算に対する適合度に少なからぬ差異が認められるので、現時点では BJ の強度低減率に対する評価は実験値に依拠するほかないと考える。

また、BJ による曲げヤング係数の低減についてはデータを示していないが、強度比の場合と同



第3図 LVL のバットジョイントによる強度低減

様、寸法と試験方法によって低減率にかなりの差異があるので、38 mm 角以下、スパン/はりせい比が 14 倍以下では低減率が少なくないことを指摘するにとどめる。

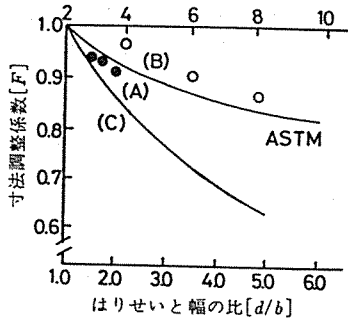
#### 断面寸法による強度低減

枠組壁工法構造用製材の場合、同材料でも断面寸法によって曲げ強さが変動することが知られており、ASTM D-245-70 には寸法調整係数  $F = (b/d)^{1/9}$  が導入されている。幅  $b$  に対してせい  $d$  の大きいはりの曲げ強さは正方形断面の曲げ強さに  $F$  を乗じて求められる。LVL に対するこの種のデータはきわめて少ないので、38 mm 厚のラワン類について他の目的で実施された試験データから、試料および試験方法の相違を調整しないまま、 $F$  を逆算して第4図に示す<sup>7)</sup>。

$d/b$  比の小さく、BJ のないもの (A) に対する ASTM 式の適合度は比較的高いのに対し、中央部に BJ のあるもの (B) の  $F$  値は ASTM 式より幾分高めである。このほか水平せん断破壊を含めたもの (C) の実験式は ASTM 式よりかなり低い。

#### 切り欠きによる強度低減

木構造設計規準では<sup>8)</sup>、切り欠きのある単一曲げ材に対して有効断面係数  $z_e$  を規定しているが、最大曲げモーメントの生ずる付近に切り欠きがあって、荷重に対して圧縮側の場合、 $z_e$  は切り欠き部の正味断面係数とし、引張側の場合の  $z_e$  はこの 45% としている。これらの係数を非切り欠



第4図 LVL の寸法調整係数

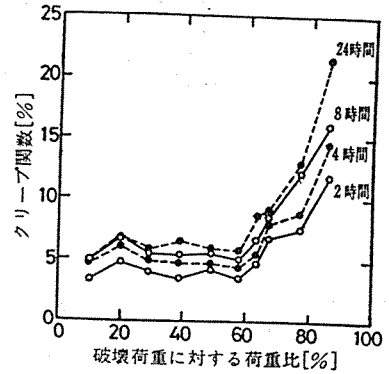
第2表 LVL ばりの切り欠きによる強度低減

切り欠き位置	切り欠き方向	荷重方向	切り欠き比率	強度比	
				曲げヤング係数	曲げ強さ
中央	圧縮側	垂直	1/3	0.48	0.39
			1/2	0.26	0.22
	引張側	垂直	1/3	0.53	0.28
			1/2	0.31	0.18
両端	圧縮側	垂直	1/3	0.74	0.58
			1/2	0.52	0.45
	引張側	垂直	1/3	0.76	0.38
			1/2	0.51	0.22
		水平	1/3	0.75	0.31
		水平	1/2	0.53	0.19

き部の断面係数と比較すると、圧縮側の 1/3 切り欠きは 0.44, 1/2 は 0.25, 引張側の 1/3 切り欠きは 0.20, 1/2 は 0.11 となる。

105 mm 角のラワン LVL のスパン 1500 mm の中央部にはり幅と同じ長さの切り欠きのある場合と、スパン 1000 mm の両端にはり幅の 2 倍の長さの切り欠きがある場合の圧縮側および引張側切り欠き比 1/3 および 1/2 のときの非切り欠き部材に対する曲げヤング係数および曲げ強さに対する強度比を第 2 表に示す<sup>9)</sup>。

中央部切り欠きの場合、曲げ強さに対する強度比は、垂直方向が水平方向より、圧縮側が引張側よりそれぞれ 10~30% 高く、上記の木構造設計標準の推奨値と比べると、圧縮側切り欠きでは 15~35% 危険側、引張側切り欠きでは 25~70%



第5図 クリープ関数と荷重比

安全側となっている。両端部切り欠きの場合、中央部と比較すると、圧縮側が 1.52~2.04 倍、引張側が 1.22~1.36 倍の強度比となっている。

#### 長期継続荷重による強度低減

曲げクリープに関する試験は数例しかなく、最長期間のものでも 2 か月間に過ぎない。この試験によれば、幅 88 mm, せい 160 mm, スパン 2700 mm のラワン LVL に曲げ応力 90 kg/cm<sup>2</sup> に相当する水平方向の 3 等分点 2 点荷重をかけた場合、1392 時間後のはり中央のクリープたわみの初期たわみに対する比率（クリープ関数）は 25~29% である<sup>7)</sup>。

第 5 図は幅 30 mm, せい 40 mm, スパン 900 mm のラワン LVL の短時間のクリープたわみを示している。クリープ関数と破壊荷重に対する載荷荷重の比率との実験式の変曲点は、荷重継続時間に関係なく、荷重比の 60% 付近にある。杉山の提案<sup>11)</sup>によれば、この荷重比 60% をクリープ限度荷重とみなすことができる<sup>7)</sup>。

### 3. 引張および圧縮強度性能

#### 縦引張強さおよび縦圧縮強さ

BJ のある 9 プライのラワン LVL の JIS 縦引張および縦圧縮試験の一例を第 3 表に示す<sup>4)</sup>。なお、引張試験片の中央通直部断面は幅 38 mm, 厚さ 5 mm, 圧縮試験片は幅、厚さとも 38 mm で、いずれも中央部に BJ が配置されている。

引張の場合、BJ のある LVL のないものに対する強度比はかなり低く、特に外層に BJ があるものの低下が顕著で、1 層おきに BJ が配置され

第3表 LVL の引張強さおよび圧縮強さ

樹種 比重 含水率	バットジョイントの有無*	引張強さ		圧縮強さ	
		最大応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	強度比	最大応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	強度比
レッド メラランチ 0.53 11.2	0	954	1.00	576	1.00
	(1)	780	0.72	503	0.97
	1	660	0.68	495	0.91
	(2), 3	642	0.67	458	0.78
	(3), 2	559	0.55	468	0.78
	(4), 1	431	0.50	369	0.63
	5, 1	319	0.35	428	0.71

\* 前の数字は同一断面内のバットジョイントの個数で ( ) 内の数字は外側単板にバットジョイントがない場合の個数である。後の数字はバットジョイントにはさまれている非ジョイント単板の層数である。

ていると強度比は 0.35 まで低下している。また、同じ BJ 配置の曲げ強度比より 10~30% 低く、BJ を欠損断面とみなした断面積比よりも 10~25% 低い。

これに対して、BJ のある LVL の圧縮強度比は比較的高く、上記の 1 層おきの BJ 配置でも強度比は 0.63 である。同じ BJ 配置の他の応力状態と比較すると、引張強度比より 15~100%、曲げ強度比より 5~50% それぞれ高い。また、断面積比と比較すると、BJ が少ないものは近似しているが、多いものは 50~60% 圧縮強度比が高くなっている。

横圧縮強さ

38~40 mm 厚のラワン LVL の全面、材中、材端に横圧縮荷重をかけた場合の材せい の 5% 圧縮変形時の圧縮応力を第 4 表に示す<sup>4),7)</sup>。

5% 変形時の圧縮応力は、部分圧縮の場合、材中と材端の差異はほとんどないが、垂直方向よりも水平方向が 20% 程度大きい。また、全面圧縮応力は、部分圧縮に比べて 25~35% 低いが、垂直水平の方向差はきわめて少ない。

一方、縦圧縮強さと比較すると、部分圧縮の場

第4表 LVL の横圧縮強さ

樹種	含水率 (%)	比重	荷重方向	横圧縮強さ (kg/cm <sup>2</sup> )		
				全面	材中	材端
レッド メラランチ	10.1	0.54	垂直	63	86	87
	10.3	0.54	水平	65	102	101
ラワン	14.4	0.51	垂直	—	70	73
	13.9	0.50	水平	—	83	85

合は 1/6~1/7、全面圧縮の場合は 1/8~1/10 にそれぞれ相当する。

長柱の座屈強さ

長さ約 3 m の LVL に対する長柱圧縮試験が 2 例あるが、一方は細長比 89 の部材に偏心荷重をかけており、他方は細長比 71~110 の部材に中心荷重をかけている。2 例の試験結果から座屈係数を逆算し、木構造設計規準記載の座屈係数  $\omega$  (改正前) と比較して第 5 表に示す。なお、偏心荷重の場合の座屈荷重の計算は Southwell の方法によった<sup>4),7)</sup>。

試験値  $\omega'$  の規準座屈係数  $\omega$  に対する適合度は、偏心荷重の場合 1.06~1.24、中心荷重の場合 1.01~1.11 で、いずれも垂直方向より水平方向の方が幾分高い。このように適合度がかかなり高いので、積層方向や断面寸法によって多少の差異はあるが、この程度の細長比の LVL の長柱設計に対しては、普通構造物 (製材) と同じ座屈係数を用いても実用上さしつかえないと思われる。

4. せん断性能

接着力および縦せん断強さ

単板切削時の裏割れ等によって、LVL の接着力および縦せん断強さは集成材や製材より幾分低いのが普通である。フェノールおよびレゾルシノール樹脂接着剤を用いた LVL の合板類似の引張

第5表 LVL の長柱 (3m) の座屈強さ

樹種	比重	バットジョイントの有無	座屈方向	ヤング係数 (t/cm <sup>2</sup> )	縦圧縮強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	細長比	座屈係数 (試験値/計算値)	荷重位置
レッド メラランチ	0.54	無	垂直	128	468	85	1.11	中心
			水平	124		71	1.03	
	0.56	2層おき	垂直	157	576	110	1.04	中心
			水平	150		93	1.01	
ラワン	0.51	無	垂直	151	544	89	1.13	2cm
			水平	110			361	

第6表 LVL の接着力およびせん断強さ

樹種 (接着剤)	含水率 (%)	比重	単板厚 (mm)	条件	加力層	接着力または せん断強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	試験法
ラワン (フェノール)	10	0.62	4.2 (ロータリ)	常態 煮沸	接着層 〃	51	引張りせん断 〃
						34	
カラマツ (フェノール)	10	0.50	4.0 (ロータリ)	常態 煮沸	接着層 〃	51	引張りせん断 〃
						36	
カラマツ (レゾルシノール)	8.2	0.52	6, 10, 14 (スライズド)	常態 煮沸	接着層 〃	54	引張りせん断 〃
						35	
ラワン (フェノール)	10	0.60	5.8 (ロータリ)	常態 煮沸	接着層 〃	88	ブロックせん断 〃
						57	
レッドメランチ (フェノール)	8.0	0.53	4.2 (ロータリ)	常態 煮沸	接着層 〃	97	ブロックせん断 〃
						88	
						90	
						70	
						39	
						25	
カラマツ (フェノール)	10	0.50	4.0 (ロータリ)	常態 煮沸	接着層 〃	84	ブロックせん断 〃
						41	
カラマツ (レゾルシノール)	8.0	0.52	6, 10, 14 (スライズド)	常態 〃	板目 〃	125	ブロックせん断 〃
						129	
						34	
						24	

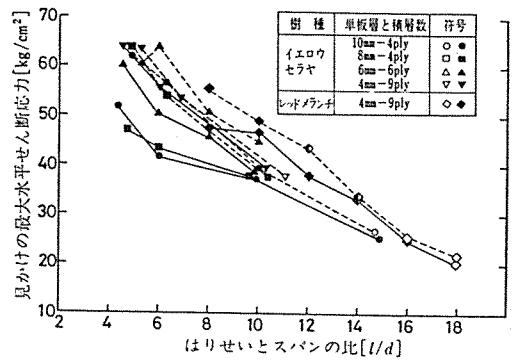
せん断および集成材類似のブロックせん断試験の結果を集約して第6表に示す<sup>4)</sup>。なお、試験条件は常態および煮沸処理で、せん断面は接着層、積層面(垂直)、板目面(水平)、ローリングシア面である。

ブロックせん断接着力は常態で 84~97 kg/cm<sup>2</sup>で、この値は集成材の JAS の適合基準値を上回っている。引張せん断接着力はブロックせん断接着力の 50~65% である。また、煮沸処理によって接着力は 10~30% 低下している。

一方、せん断強さは 70~129 kg/cm<sup>2</sup> で積層面と板目面で多少差があるが、いずれも同材料の製材と比較すると 10~30% 低い。ローリングせん断強さは積層面および板目面の 1/2~1/4 である。

はりの水平せん断強さ

スパン ( $l$ ) に対してせい ( $d$ ) の大きいほうが曲げられると、はりは曲げ破壊せず、水平せん断破壊を起こす。製材に比べてせん断強さの低い LVL では、 $l/d$  がかなり大きいところから水平せん断破壊を生ずる。ラワン LVL の中央集中荷重方式の曲げ試験から、せい一定としてスパンを変えた場合と  $l/d$  一定として断面寸法を変えた場合



第6図 LVL の最大水平せん断応力

第7表 LVL の最大水平せん断応力

樹種 (含水率)	荷重 方向	試験体 の寸法	最大応力 (kg/cm <sup>2</sup> )		変動比
			曲げ	水平 せん断	
レッド メランチ (0.55 11.0~ 12.1%)	垂直	202	450	75	1.00
		204	336	56	0.75
		206	280	47	0.62
		208	265	44	0.59
	水平	200	474	79	1.00
		204	491	82	1.04
		206	465	78	0.98

の見かけの最大水平せん断応力を第6図と第7表に示す<sup>9), 10)</sup>。

はりせい 38~50 mm 一定の場合、 $l/d$  の増加に伴って水平せん断破壊から曲げ破壊に移るが、この移行点は  $l/d=8\sim 12$  で、そのときの見かけの最大せん断応力は  $35\sim 45 \text{ kg/cm}^2$  である。この値はブロックせん断強さの約  $1/2$  に相当する。

一方、 $l/d=4$  一定の場合、すべて水平せん断破壊するが、断面寸法によって最大せん断応力が異なる。せいを公称 2 インチ一定として幅を 2~8 インチに変えても最大せん断応力がさほど変化しないのに対し、幅一定としてせいを変えると最大せん断応力が著しく低下し、 $35\sim 40 \text{ kg/cm}^2$  に収束していく傾向にある。

5. 釘着性能

釘引抜き耐力

樹種、比重、含水率、寸法等の被打釘材の条件、釘の種類、寸法、打釘速度、打込み長さ等の打釘条件、打釘から試験までの時間、試験方法、引抜き速度等の試験条件によって、引抜き耐力に大きな差異がみられる。ラワン LVL に対する打込み長さ 1 cm 当たりの引抜き耐力を第8表および第10表に示す<sup>3), 7), 12)</sup>。なお、製材の値は同比重材

第8表 LVL の釘引抜き耐力

樹種 (比重)	釘の種類	打釘面	釘径 (mm)	引抜き耐力 (kg/cm)		
				LVL	製材	
ラワン (0.50)	スクリュー ネイル	板目面	4.5	49.2	49.0	
		積層面	4.5	44.2	49.0	
	コモン ネイル	板目面	2.8	11.4	16.9	
			3.7	18.3	22.4	
		積層面	4.1	23.7	24.8	
			4.1	24.3	24.8	
	ラワン (0.47)	普通釘	板目面	1.8	5.5	10.0
				2.2	10.0	—
2.4				7.1	10.0	
2.8				12.6	—	
3.4				10.5	10.5	
積層面			1.8	7.7	8.6	
			2.2	9.1	—	
			2.4	7.1	12.1	
			2.8	10.0	—	
			3.4	10.0	10.5	

第9表 LVL の釘せん断耐力

樹種 (比重)	釘の種類	側板	打釘面	釘径 (mm)	せん断耐力 (kg)	
					LVL	製材
ラワン (0.46)	スクリュー ネイル	鋼板 4.5mm	板目面	4.5	349	—
			積層面	4.5	315	—
			木口面	4.5	302	—
	コモン ネイル	鋼板 4.5mm	板目面	4.1	304	289
			積層面	4.1	294	289
ラワン (0.47)	普通釘	LVL 14 mm	板目面	1.8	55	51
				2.4	93	—
				2.4	131*	120*
			積層面	1.8	58	54
				2.4	93	—
				2.4	131*	124*

(無印は1面せん断, \*印は2面せん断)

の試験値または次式によって推定した。

$$\frac{\text{最大耐力 (kg)}}{\text{(打込み長さ cm)}} = 485 \times (\text{絶乾比重})^{2.5} \times (\text{釘径 cm})$$

LVL のすべての引抜き耐力は釘径および長さの増加に伴って上昇しているが、釘の種類および寸法にかかわらず、積層面と板目面との差異は少なく、木口面はこの  $1/2\sim 3/4$  である。また、製材と比較すると、N50未満の小さい普通釘では LVL の方がかなり低いが N50 以上の普通釘、コモンネイル、スクリューネイルでは製材同等もしくは幾分低い。

釘せん断耐力

釘のせん断耐力も、引抜き耐力の場合と同様に被打釘材、打釘、試験条件によってかなり大きな差異があるが、このほか側材の種類と厚さによっても影響を受ける。ラワン LVL の板目面に対する1面および2面せん断耐力を第9表に示す<sup>7), 12)</sup>。なお、製材の値は同比重材の試験値または次式によって推定した。

$$\text{最大耐力 (kg)} = (\text{木材の圧縮強さ (kg/cm}^2\text{)}) \times 3.2 \times (\text{釘径 cm})^{1.8}$$

釘長 90 mm のスクリューネイルの1面せん断耐力は 302~349 kg で、板目面が最も高く、積層面がこれより 10% 程度低く、木口面は 15% 程度低い。釘長 90 mm のコモンネイルの1面せん断耐力は 294~304 kg で、スクリューネイルより 10% 程度低いが、製材よりは幾分高く、板目面と積層面の差異はきわめて少ない。釘長 29 mm



第 10 表 LVL の打釘による割れと釘引抜き耐力

樹種 (比重)	打釘面	釘長	割れの頻度 (10 本当たり)					引抜き耐力 (kg/cm)	
			材端からの距離 (釘径 $d$ の倍数)					LVL	製材
			2.5 $d$	5.0 $d$	7.5 $d$	10 $d$	15 $d$		
レッド メ ラン チ (0.55)	板目面	N50	10	10	10	9	0	25.5	24.0
		CN50	10	10	10	7	0	25.3	24.3
		CN65	10	10	10	8	0	30.1	28.7
		CN75	10	10	9	8	0	33.2	32.3
		CN90	10	10	10	6	0	36.8	35.9
	積層面	N50	10	10	3	0	0	25.0	24.0
		CN50	10	10	6	3	0	24.8	24.3
		CN65	10	10	10	1	0	27.0	28.7
		CN75	10	10	8	2	0	38.4	32.3
		CN90	10	10	10	7	0	37.6	35.9
	木口面	N50	8	0	—	—	—	15.4	—
		CN50	10	0	—	—	—	16.0	—
		CN65	10	0	—	—	—	16.7	—
		CN75	10	0	—	—	—	18.3	—
		CN90	10	1	—	—	—	17.7	—
ベイ マツ (0.59)	板目面	N50	10	10	6	0	0	29.8	29.7
		CN50	10	10	9	4	1	33.8	30.0
		CN65	10	8	7	1	0	34.4	35.5
		CN75	10	10	10	6	0	32.9	39.8
		CN90	10	10	8	4	0	37.6	44.1
	積層面	N50	10	10	9	6	1	23.5	29.7
		CN50	10	10	10	7	2	25.2	30.0
		CN65	10	10	7	5	1	30.2	35.5
		CN75	10	10	10	9	3	27.4	39.8
		CN90	10	10	10	9	2	31.0	44.1
	木口面	N50	5	0	—	—	—	18.3	—
		CN50	6	0	—	—	—	20.5	—
		CN65	7	0	—	—	—	19.9	—
		CN75	5	0	—	—	—	21.2	—
		CN90	10	1	—	—	—	22.3	—

および 45 mm の普通釘の場合、1 面および 2 面せん断耐力は、いずれも幾分製材より高く、板目面と積層面との差異はきわめて少ない。

打釘による割れ

裏割れをもつ LVL は製材に比べて打釘による割れの程度と頻度が大きい。ラワンおよびベイマツ LVL の打釘による端面の貫通割れの頻度を第 10 表に示す<sup>3)</sup>。

いずれの場合も、釘長および釘径の増大と材端までの距離の減少に伴って、打釘による LVL 端面の貫通割れの頻度が増加している。板目面の場合、打釘表面より裏面の方が割れが大きく、端距

10  $d$  までは割れ頻度が高いが、15 倍ではほとんど材端面の貫通割れは現われない。積層面も板目面と同傾向にあるが、ベイマツの 15  $d$  では少数材端面割れがみられる。木口面は 5  $d$  でも材端面割れはほとんど現われない。

木構造設計規準では、製材に普通釘を打込む場合、端距 15  $d$ 、側距 5  $d$  を推奨しているが、上記試験結果をみるかぎり、LVL に普通釘およびコモンネイルを打込む場合、製材と同等もしくは幾分長い端距および側距をとることが望ましい。

(1982.6.17 受理)

## 5 単板積層材の強度性能 (Ⅱ) (完)

— 針葉樹 LVL の曲げ強度性能 —

藤井 毅\*・篤海四郎\*\*

### 6. 針葉樹 LVL の強度性能

#### 針葉樹 LVL の特徴

これまで、主としてラワン類を対象として、LVL を構造的に利用する場合に必要な試験データを整理した。これらのデータから、多少不明確なところもあるが、ラワン類 LVL の強度性能の概要とその構造的利用に対する指針がある程度明らかにされたと思う。

これに対して、針葉樹 LVL に関する試験データはきわめて少なく、一部はラワン類のデータの読み換えが可能であるとしても、多くは新たに試験を実施してその性能を確認しておくことが必要である。すなわち、針葉樹 LVL にはラワン類 LVL と比べて次のような原材料および製造上の差異が存在するために追試が必要である。

- a. 丸太の径が比較的小さく、小径まで単板切削する。その結果、単板の長さが相対的に短くなるため、BJ の頻度が高くなる。
- b. 節等の欠点を含むため、これによる強度低減が著しく、しかも BJ による低減が相乗される。
- c. 歩留りおよび能率向上のため外周駆動式のベニヤレースを用いることが多いので、ラワン類に比べて裏割れや面あかさなどの単板品質が劣っている。
- d. 厚単板の乾燥および熱圧積層接着には高温、長時間を要するので、比較的比重の低い針葉樹ではこれに伴う単板および LVL の厚さ減りが著しい。

#### 許容応力度

これまで LVL の用途は造作用に限定されており、その用途には主としてラワン類が使用され

てきた。しかし、構造用途、特に建築部材への利用を考えるならば、製材や集成材の利用状況からみて、針葉樹を対象とせざるを得ない。

ところで、ユーザー側からみると、LVL を構造用途に使用する場合、製造基準、JAS、許容応力度等が整備されていることが前提となるが、現在いずれも未整備で、その早急な整備が望まれている。しかるに、原材料、製造、性能、用途のいずれの面をとらえても不確定の要素が多く、短期間に合板や集成材のレベルに達することは難しい。

しかし、多種多様な LVL の中から、現時点でユーザーの要求が多く、しかも新たな製造システムの開発を要しないものに限定して、LVL の許容応力度等に不可欠な要素のみを対象とすれば、その整備には必ずしも長期間を要しない。

以下の針葉樹 LVL の試験はこの方針に沿って実施したものである。さしあたって、既存のベニヤレースで切削可能な約 4 mm 厚の単板を熱圧方式の限界と思われる約 40 mm 厚まで積層した LVL を対象とし、用途としてはジョイストやパネル芯材を想定している。

### 7. 針葉樹 LVL の材料と試験方法

#### 原材料と製造方法

本試験に供した針葉樹 LVL はソ連カラマツ、ベイマツ、アカマツ、ベイツガ、ベイモミ、エゾマツの 6 樹種で、その丸太の径は、ベイツガ 50~60 cm、ベイモミ 60~70 cm、その他の樹種 30~50 cm である。品等は素材等級 2 等以上で、節径 50 mm 以下の単板を採取し得るものとした。

LVL の製造は 3 工場に依頼したが、その製造条件は第 11 表に示すとおりである。

単板の品質は、スピンドル式のソ連カラマツおよびエゾマツの裏割れ角度、密度、深さがそれぞ

\* 農林水産省林業試験場集成加工研究室

\*\* (財)日本住宅・木材技術センター

第 11 表 針葉樹 LVL の製造条件

製造条件	樹 種	ソ連カラマツ エゾマツ	ベイマツ アカマツ ベイ	ツ ツ ガ	ベイモミ
		単板 切削	ロータリース 単板長さ (mm) 単板厚さ (mm)	スピンドル式 660~1 220 3.7	外周駆動式 1 350 3.3
単板 乾燥	ドライヤー 乾燥温度 (°C)	熱ロール式 170	ネット式 220~230	ジェット式 170~180	
積層 接着	接着剤	フェノール樹脂	フェノール樹脂	フェノール樹脂	フェノール樹脂
	両面塗布量 (g/m <sup>2</sup> )	400	444	400	400
	圧縮圧 (kg/cm <sup>2</sup> ) 熱圧温度 (°C)	10 140	10 140	10 175	10 175
LVL 原板	積層数 (プライ)	11	13	13	13
	原板長さ (mm)	3 600	4 500	3 900	3 900
	原板厚さ (mm)	38	41	44	44

れ 60~75 度, 4~5 本/cm, 30~60%  
で, 特にエゾマツの裏割れ深さが 30~  
40% と少ない。これに対して, 外周  
駆動式の他の樹種の裏割れはそれぞれ  
70~90 度, 3~4 本/cm, 60~80% で,  
密度が比較的少ない反面, 角度が 90  
度に近く, 深さも大きい。

単板乾燥は一般的な 3 方式を用い  
た。そのうちベイマツ, アカマツ, ベ  
イツガは 220~230°C の高温で乾燥し  
た。また, 積層接着はフェノール樹脂  
接着剤を用いて一般的な熱圧条件で実  
施したが, ベイモミは 175°C の比較的  
高温で熱圧した。なお, 乾燥~熱圧工程中の単板  
の厚さ減りは 5~9% で, 平均 7% である。

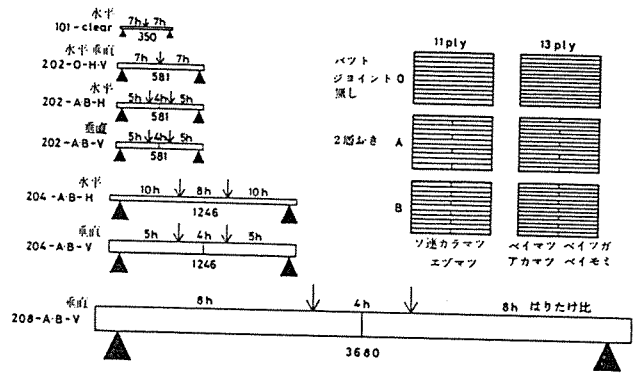
曲げ試験方法

無欠点製材および 202~208 の LVL の曲げ  
試験の試験体の寸法, BJ の配置, 加力方法を  
第 7 図に示す。

無欠点製材 (101-clear) の場合, 原木丸太の  
樹心から 30 mm ごとに 25 mm 角の試験片を採  
取し, 木表側から中央集中荷重をかけた。

LVL の単板厚は樹種間に多少差があり, 積層  
数もソ連カラマツおよびエゾマツの 11 プライに  
対して, その他の樹種は 13 プライである。BJ  
の配置は 2 層おきと 1 層おきとし, 11 プライの  
2 層おき以外は対称配置とした。

LVL の曲げ試験は第 7 図の下から上の順に実  
施した。すなわち, まず 2 層および 1 層おきに



第 7 図 LVL の曲げ試験方法  
(試験片の記号: 前-部材寸法, 中-パットジョイント, 後-荷重方向)

BJ のある 208 の垂直方向 (縦使い) の試験を  
実施し, その非破壊部から 204 および 202 を採  
取し, 垂直方向と水平方向 (平使い) の試験を行  
った。BJ のあるものはそれをはさんだ 2 点荷重  
方式で, BJ のない部分から採取した 202 は中  
央集中荷重方式でそれぞれ加力した。スパン中央  
点のたわみから見かけの曲げヤング係数を測定す  
るとともに, 比例限度応力および最大応力 (曲げ  
強さ) を記録した。

なお, 試験体の個数は LVL の各単位 10 体  
ずつ, 無欠点製材は各樹種 30~50 体である。

8. 針葉樹 LVL の曲げ試験結果

曲げヤング係数

針葉樹 6 樹種の LVL の曲げヤング係数 E を  
部材寸法別, 荷重方向別, BJ の配置別に整理し

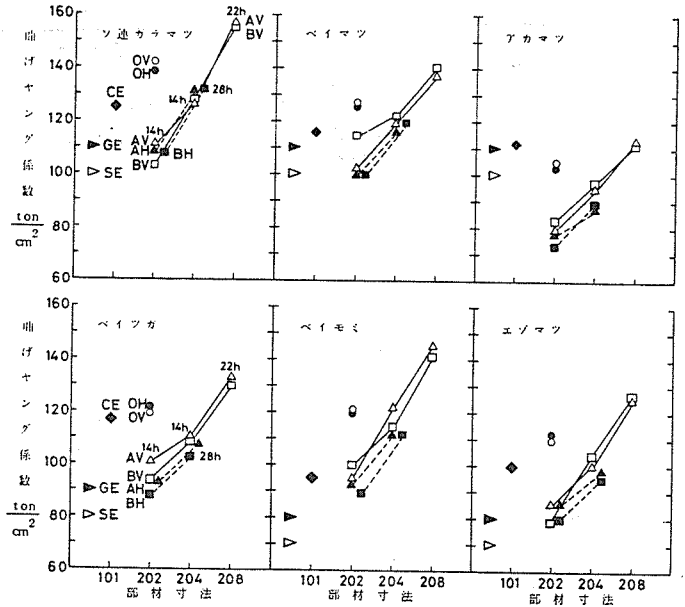
て第8図に示す。また、比較のため供試丸太ならびに普通構造材(製材)および構造用集成材の曲げヤング係数を同図に付記する。なお、丸太の  $CE$  は前記の標準曲げ試験による数値、製材の  $SE$  および集成材の  $GE$  は木構造設計規準<sup>8)</sup>に記載の数値である。

第8図の無欠点製材の曲げヤング係数  $CE$  および曲げ強さ  $CS$  は WOOD handbook<sup>13)</sup> および木材工業ハンドブック<sup>14)</sup>に記載の数値と近似しており、供試 LVL の丸太の基礎強度はおおむね平均的なものとみなしてもよい。

BJ のない 202 の垂直方向と水平方向の  $E$  はおおむね等しいが、これらと  $CE$  と差異は樹種によってかなり異なる。すなわち、アカマツでは  $E$  が  $CE$  より低いのに対して、その他の樹種の  $E$  は  $CE$  と同等もしくはそれよりかなり高い。この差異は LVL と無欠点材との含水率差(約+2.5%)、乾燥・熱圧による厚さ減り(約-7%)、単板の品質(節径 50 mm 以下)などに起因する。このうち前の2因子による補正を行えば、 $E$  と  $CE$  はおおむね近似してくる。ただし、アカマツは補正後も差異が残るが、この傾向は集成材でも認められており、節等の単板の欠点による低減が他の樹種に比べて大きいことによると思われる。

BJ のある 202 の  $E$  はないものに比べて 20~30% 低い、その低減率の BJ の数と配置による差異は明確ではない。一方、荷重方向による差異はかなり明確で、どの樹種も垂直方向の方が水平方向より 5~10% 高い。

部材寸法が 202 から 208 に増加するのに伴って、すべての樹種の見かけの  $E$  が 50% 程度上昇している。すなわち、部材寸法が小さい場合、BJ による低減影響が大きく、しかもせん断弾性係数の低い針葉樹 LVL ではスパン/はりせい比 ( $l/d$ ) が 14 倍でもせん断付加たわみが大きいに対して、部材寸法が大きい場合 ( $l/d=22\sim 28$ )、BJ およびせん断付加たわみの影響が相対的



第8図 LVL の曲げヤング係数  
(O:パットジョイントなし, A:2層おき, B:1層おき)  
(V:垂直荷重, H:水平荷重, h:はりせい)

に小さくなっているためであろう。なお、見かけの  $E$  から逆算したせん断弾性係数は  $E$  の  $1/30\sim 1/40$  である。

製材の  $SE$  および集成材の  $GE$  と LVL の  $E$  とを比較すると、ソ連カラマツ、ベイツガ、ベイモミ、エゾマツ LVL は下限の 202 でも集成材と同等もしくは幾分高く、ベイマツ LVL はこれより低く、製材と同程度である。これに対して、アカマツ LVL は 204 でも製材より低く、208 でやっと集成材なみである。しかし、204 以上を実用寸法と考えれば、アカマツを除いて、他の樹種の LVL の曲げヤング係数は集成材同等とみなしてもさしつかえない。

#### 曲げ強さ

針葉樹6樹種の LVL の曲げ強さ  $\sigma_{max}$  を部材寸法別、荷重方向別、BJ の配置別に整理して第9図に示す。また、比較のために供試丸太、製材、集成材の曲げ強さを同図に付記する。なお、供試丸太の  $CS$  は前記の標準曲げ試験による数値、 $BS$  は製材の各樹種群の基準強さ、製材の  $SS$  および集成材の  $GS$  は  $BS$  に強度比 0.45 および 0.67 を乗じた数値である。

第9図のように、ソ連カラマツを除いて  $CS$  と

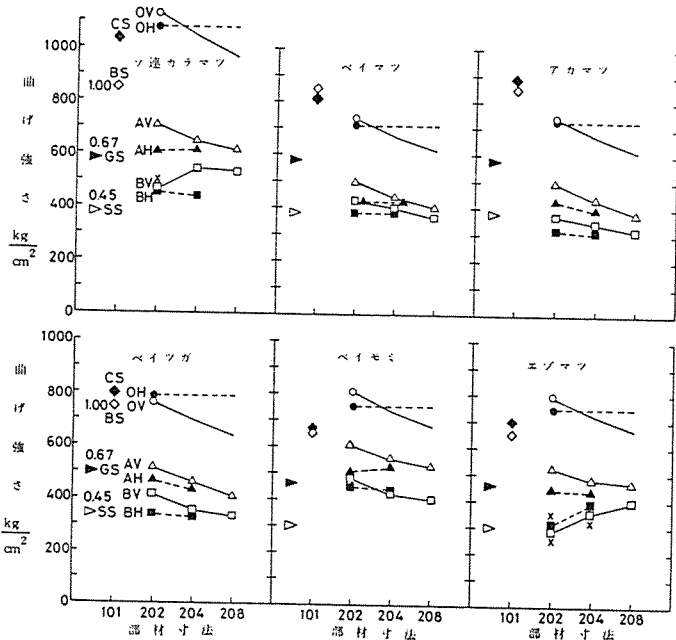
BS が近似していることから、供試丸太は各樹種群の平均的な曲げ強さを有すると考えてよい。なお、ソ連カラマツの CS が BS より高いのは一般的な傾向で、供試丸太が特に高強度であったわけではない。

BJ のない 202 の  $\sigma_{max}$  は、垂直方向の方が水平方向より、幾分高い。これらを CS と比較すると、ソ連カラマツ、ベイモミ、エゾマツでは LVL の方が高いのに対し、ベイツガでは同等、ベイマツおよびアカマツでは CS の方が高い。 $\sigma_{max}$  と CS との差異は、曲げヤング係数の場合と同様に、含水率差、厚さ減り、単板品質に起因するが、このうち単板の節等が LVL の強度低減に特に寄与し、その影響の大きいベイマツおよびアカマツの  $\sigma_{max}$  の低下が著しい。

BJ のある 202 の  $\sigma_{max}$  についても、2層おきの配置に対して集成材の GS と、1層おきに対して製材の SS とをそれぞれ比較すれば、上記の BJ のない 202 の  $\sigma_{max}$  と CS との間にみられる樹種差と同様の関係が認められる。この定量的検討は後で詳しく行うので、ここでは、垂直と水平の方向差が BJ のないものよりかなり拡大していることを指摘するにとどめる。なお、ソ連カラマツおよびエゾマツの1層おきに BJ のある 202 の中には、節と BJ との相乗効果によって、極端に強さの低いもの (×印) が含まれているので、切り使い等の小断面で使用する場合には注意を要する。

部材寸法が 202 から 208 に増大するに従って、垂直方向の  $\sigma_{max}$  は大幅に低下していくのに対して、水平方向の  $\sigma_{max}$  の変化は少ない。BJ のない場合の垂直方向の低減率が枠組壁工法構造用製材の寸法調整係数  $F=(b/d)^{1/9}$  と同等であると仮定し、これと BJ のある場合とを比較すると、BJ の有無にかかわらず低減傾向はよく近似している。この定量的検討も後にゆずる。

以上の LVL と製材および集成材との比較から、11~13 プライの針葉樹 LVL の場合、アカ



第9図 LVL の曲げ強さ  
(O:バットジョイントなし, A:2層おき, B:1層おき)  
(V:垂直荷重, H:水平荷重)

マツを除けば、204 以上の実用寸法では1層おきに BJ があっても製材に近い曲げ強さがあり、2層おきの垂直方向はこれより 10~20% 高く、BJ のないものは集成材よりも高めの曲げ強度を期待し得ると考えてもよい。

### 9. LVL の曲げ許容応力度

#### 長期曲げ許容応力度の誘導方法

LVL といえども木質材料であることには違いないので、製材や集成材と類似の許容応力度の誘導方法を採用せざるを得ない。製材の長期曲げ許容応力度の場合、無欠点材の基準強さに欠点による低減係数 (強度比)、バラツキによる統計的下限係数、比例限度または安全係数、長期荷重換算係数を順次乗じていく誘導方法を採用している<sup>3)</sup>。また、枠組壁工法構造用製材の場合、上記の係数のほかに寸法調整係数を追加しており<sup>15)</sup>、構造用集成材の場合、上記の欠点低減係数のかわりにラミナの品質と積層数による強度比を導入している<sup>16)</sup>。

LVL の場合、上記のすべての係数のほかに単板の厚さ減りによる増加係数と BJ による低減

第 12 表 長期曲げ許容応力度の誘導 (13 プライ)

$$f_{lb} = F_0 \times k_t \times k_v \times k_l \times k_j \times k_s \times \alpha \times \beta \times r$$

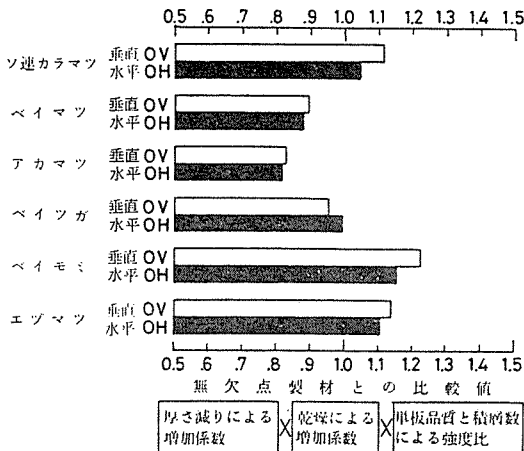
長期曲げ許容応力度	無欠点製材の基準曲げ強さ	厚さ減りによる増加係数	単板品質と積層数による強度比	荷重方向による調整係数	バットジョイントによる調整係数	部材寸法による調整係数	バラツキによる下限係数	比例関係安全係数	長期許容換取係数
			水平荷重 (平使い) H 0.90 垂直荷重 (縦使い) V 0.94	A 2 層おき H 0.60 V 0.68 B 1 層おき H 0.50 V 0.54	A 2 層おき (%)(202) (18) 0.70 (204) (204) 0.75 (208) (208) 0.82	(202) 0.70 (204) 0.75 (208) 0.81		(0.60)	
	(7%)	(0.25, 5cm)	H 1.15 V 1.07	H 1.00 V 1.11					
	曲げ強度比	H 水平荷重 (平使い) A 2 層おき B 1 層おき	0.49 (202) 0.49 (204) 0.49 (208)	0.45 (202) 0.45 (204) 0.45 (208)	V 垂直荷重 (縦使い) A 2 層おき B 1 層おき	0.64 (202) 0.51 (204) 0.58 (208) 0.53 (208)	(15) 0.75	(0.67)	(0.50)

係数を導入する必要があると考える。以上の係数を整理して、LVL の長期許容応力度の誘導方法を示せば第 12 表のように表わされる。これらの係数はいずれも理論的に決定することは難しく、実験的に求めざるを得ない。そこで、前記の試験結果と既往の試験データに基づいて、上記の誘導方法の適否の検討と各係数の試算を行ってみる。

単板品質と積層数による強度比  $k_v$

無欠点製材と BJ のない LVL の曲げ強さを比較すれば、集成材と同様に、単板品質と積層数による強度比を逆算することができる。ただし、LVL の場合熱圧に伴う厚さ減りと乾燥による増加分の補正が必要である。BJ のない 202 LVL と無欠点製材の比較を第 10 図に示す。

無欠点製材との比較値の 6 樹種の平均は、水平方向が 0.99、垂直方向が 1.03 である。この水平方向比較値の 0.99 を厚さ減り 7% に対する



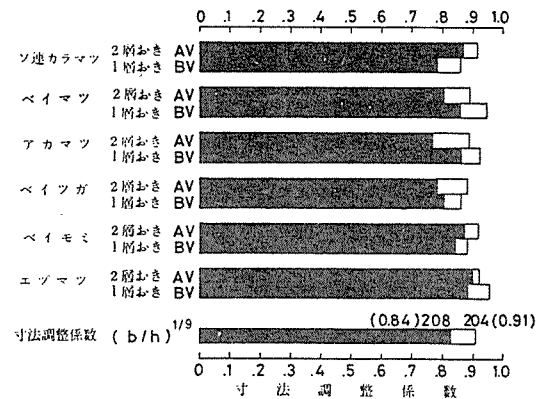
第 10 図 単板品質と積層数による強度比

増加係数 ( $k_t$ ) 1.15 と含水率差 2.5% に対する増加係数 1.10 で除すると、単板品質と積層数による強度比 ( $k_v$ ) 0.79 が得られる。この数値は節径比 1/4 以下のラミナを 13 層積層したときの集成材の強度比に近似している。

一方、垂直方向比較値 1.03 を厚さ減り 7% に対する増加係数 1.07 と含水率差 2.5% に対する増加係数 1.10 で除すると、強度比 0.88 が得られる。この値は上記の水平方向強度比 0.99 より 11% 高いので、水平方向から垂直方向への調整係数 ( $k_l$ ) として 1.11 を導入する。この妥当性を裏付ける既往のデータは少ないが、前記のカラマツ LVL の場合にこの調整係数に近い値が得られている。

寸法調整係数  $k_s$

枠組壁工法構造用製材に採用されている寸法調整係数  $F$  の LVL への適用の可能性を検討するために、BJ が 2 層おきおよび 1 層おきにある 204 および 208 と 202 の垂直方向の曲げ強さを



第 11 図 寸法調整係数 (白抜き: 204, 黒塗り: 208)

比較して第 11 図に示す。

BJ が 2 層おきにある場合、6 樹種の  $k_j$  の平均は 204 が 0.90, 208 が 0.83, 1 層おきの場合、204 が 0.91, 208 が 0.84 である。これらの値は枠組壁工法構造用製材の 204 および 208 の  $F$  の 0.91 および 0.84 とほぼ一致している。したがって、204, 208 以外の寸法部材をも含めて、LVL に対して枠組壁工法構造用製材の寸法調整係数を準用してもさしつかえないであろう。

バットジョイントによる

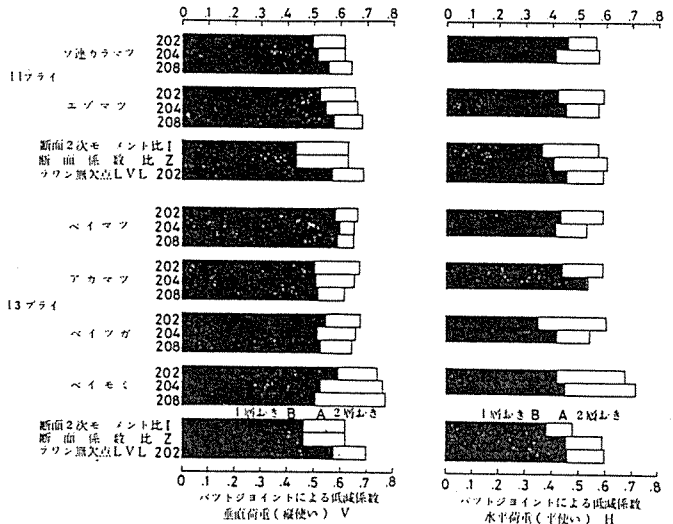
低減係数  $k_j$

上記の寸法調整係数によって垂直方向の 204 および 208 の曲げ強さを 202 の曲げ強さに換算した上で、BJ のある LVL のないものに対する比較を第 12 図に示す。なお、参考に BJ を欠損断面とみなした断面 2 次モーメント比  $I_n/I_0$ 、断面係数比  $Z_n/Z_0$  ならびに前記のラワン 9 プライ LVL の低減係数  $\sigma_n/\sigma_0$  を付記しておく。

11 プライの場合の  $k_j$  の平均値は、垂直方向の 2 層おき、1 層おき、水平方向の 2 層おき、1 層おきの順に 0.65, 0.54, 0.57, 0.43 で、13 プライの場合、それぞれ 0.68, 0.54, 0.60, 0.50 である。

上記の試験による  $k_j$  と  $I_n/I_0$ ,  $Z_n/Z_0$ ,  $\sigma_n/\sigma_0$  とを比較すると、垂直方向の場合、2 層おきの  $k_j$  はベイモミは除けば  $I_n/I_0 = Z_n/Z_0$  と比較的近似し、ラワンの  $\sigma_n/\sigma_0$  より幾分低めであるのに対して、1 層おきの  $k_j$  は  $I_n/I_0$  より 10% 以上高く、ラワンの  $\sigma_n/\sigma_0$  より 10% 程度低い。一方、水平方向の場合、2 層おきおよび 1 層おきの  $k_j$  は  $I_n/I_0$  よりはるかに高く、 $Z_n/Z_0$  およびラワンの  $\sigma_n/\sigma_0$  に比較的近似している。

以上のように、BJ による  $k_j$  を試算する基準として  $I_n/I_0$ ,  $Z_n/Z_0$  のいずれを選んでも、樹種、積層数、BJ の配置にかかわらず十分な適合度を得ることは難しい反面、同種の断面寸法および BJ の配置のラワンの  $\sigma_n/\sigma_0$  と  $k_j$  が比較的近似している。したがって、現時点では  $k_j$  を近似計算によって求めるより試験値を採用した方が安全



第 12 図 バットジョイントによる低減係数 (白抜き: 2 層おき, 黒塗り: 1 層おき)

かつ有利であると考える。

バラツキによる下限係数  $\alpha$

第 12 表のように BJ のない 202 の曲げ強さの変動係数の平均 15.8% に対して、BJ のある 202 は 18.0%, 204 は 14.2%, 208 の垂直方向は 10.9% である。これらの変動係数を危険率 5% の下限係数に換算すると 0.74, 0.70, 0.77, 0.82 となる。

したがって、204 以上を実用寸法と考えて、幾分余裕をみると、集成材と同等の 0.75 を下限係数とすることが妥当ではないかと考える。

安全係数  $\beta$

第 12 表のように、製材や集成材に比べて、LVL の比例限度は高く、しかも部材寸法の増加に伴って上昇していくが、比例限度後の変形量はさほど小さくなく、粘りが少ないので、LVL の安全係数  $\beta$  としては製材および集成材と同じ 0.67 を採用する方が安全であると考える。

長期荷重換算係数  $\gamma$

第 5 図のように、ラワン LVL のクリープ限度荷重を破壊荷重の 60% とする試験データもあるが、データの少ない現時点では、製材や集成材とのかい離を避けて、長期荷重換算係数  $\gamma$  を一応 0.50 としておく。

増減係数の整理

針葉樹 LVL の曲げ試験結果に基づいて、許

容応力度の誘導に関連する係数を整理してみる。BJが2層おきおよび1層おきにある13プライのLVLの例を第12表に示す。なお、上段は試験結果から得た増減係数をそのまま作表したもの、下段前半は製材や集成材との比較のため5つの係数を集計したもの、後半は204以上の実用寸法に対して調整したものである。

第12表でみる限り、BJが1層おきにあるLVLでも、208の垂直方向を除いて普通構造材の曲げ強度比0.45を上回っているが、集成材の曲げ強度比0.67を越えるものはない。したがって、LVLの曲げ許容応力度は製材と同等と考えるを得ない。しかし、この場合、実際にはもう少し厚い単板を使い、積層数や厚さ減りも少なく、強度比も低い樹種もあるので、BJは2層おきに制限する方が安全であろう。その反面、製造工程で単板の品質やBJの配置を厳しく規制すれば、集成材同等の許容応力度を期待することも不可能ではないと考える。

おわりに

ラワンLVLの既往の強度性能データの収集整理と針葉樹LVLの曲げ試験から、多少不明確なところもあるが、LVLを構造的に利用していく上で必要な知見と許容応力度に対する見通しを得ることができたと考える。これらを製材および集成材と比較して示せば次のとおりである。

(1) BJのない部分の基礎強度性能のうち、引張強さ、曲げ強さ、縦圧縮強さ、ヤング係数は集成材なみ、横圧縮は製材なみ、せん断強さおよびせん断弾性係数は製材より幾分低い。

(2) BJがあっても2層以上離せば、引張強さ、曲げ強さ、縦圧縮強さは製材と同程度で、その他の性能はBJのない部分と変わらない。

(3) 切り欠き、長柱圧縮、曲げクリープに対しては製材とおおむね等しいとみなしてもよいが、水平せん断および釘着に対しては場合によっては製材より幾分低めとした方が安全である。

(4) 長期曲げ許容応力度の誘導方法として、無欠点製材の基準曲げ強さに、厚さ減り、単板品質と積層数、荷重方向、バットジョイント、部材寸法、バラツキ、安全率、長期継続荷重による係数を相乗する方法を提案したが、この方法は

LVLの製造および性能の実態によく適合しているものと思われる。

以上のように、LVLの強度性能に対するデータの集積がかなり進んでいると思われるので、今後は製造基準等の整備を急ぎ、JASおよび許容応力度の認定に向けての作業を推進することが肝要である。この実現がLVLの需要拡大の上でも大きな力となるであろう。

おわりに、本稿執筆にあたり、LVL需要開発委員会の委員の方々の貴重な資料およびご意見を賜り、試験体製造にあたっては会員のメーカーのご協力を頂いたので、ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 農林水産省告示第106号：単板積層材の日本農林規格(1978)
- 2) 日本住宅・木材技術センター：構造用LVLの需要開発(中間報告1)(1981)
- 3) 同上：同上(中間報告2)(1982)
- 4) 農林水産技術会議事務局：研究成果107(1978)
- 5) 藤井 毅ら：構造用LVLの強度試験1(日本木材加工技術協会LVL委員会提出資料)(1975)
- 6) 海老原徹：東京大学学位論文(1981)
- 7) 高宮庄一：合板・積層材の構造部材への利用開発に関する研究(1982)
- 8) 日本建築学会：木構造設計規準・同解説、丸善(1973)
- 9) 藤井 毅ら：構造用LVLの強度試験2(日本木材加工技術協会LVL委員会提出資料)(1976)
- 10) 海老原徹：木材誌、27-11(1981)
- 11) 杉山英男：建築構造学大系22、木構造、彰国社(1971)
- 12) 有馬孝禮ら：木材工業、28-6(1973)
- 13) U. S. D. A. FTL：WOOD handbook(1974)
- 14) 林業試験場：木材工業ハンドブック、丸善(1982)
- 15) 建設省建築研究所：総合技術開発プロジェクト、小規模住宅の新施工法の開発(1979)
- 16) 藤井 毅：木材工業、35-2(1980)

(1982.7.9 受理)

訂正

本誌前号の「単板積層材の強度性能(I)」の第1図(p.4)の図版説明を下記の如く訂正いたします。

誤	正
(○：垂直方向(縦使い) ●：水平方向(平使い))	(○：BJ2層おき ●：BJなし)等樹種群内、前が垂直方向、うしろが水平方向である。



## 6 LVL中空材の性能(第1報)

### カラマツLVLを用いた中空柱\*1

大熊幹章\*\*，水田吉則\*\*

## Performance of Box Members of Laminated Veneer Lumber (LVL) I.

Box type posts of LVL made of larch veneers\*1

Motoaki OKUMA\*\* and Yoshinori MIZUTA\*\*

It is very important to find effective uses for low grade timbers such as softwood thinnings. Logs of Japanese larch (*Larix leptolepis*) grown in Hokkaido were rotary cut and were converted into 30 mm LVL (laminated veneer lumber) by hot pressing. These boards were then cut to 102 mm and 46 mm widths and assembled into Box type LVL posts of 102 mm square with a 46 mm square hollow portion at the center of the cross section.

Properties of this Box type post (B-post) were tested and data was discussed comparing with those of the ordinary LVL post (LVL solid type post or S-post). The results are summarized as follows:

- (1) Deformations (cup or twist) of both S- and B-posts generally are small, especially in B-post.
- (2) Both S- and B-posts have values of more than  $10^5$  kg/cm<sup>2</sup> in Young's modulus and meet the requirements of structural members.
- (3) The B-post shows almost same value as that of the S-post in buckling strength when the slenderness ratio of the post becomes large. This fact shows that the existence of the hollow space in the B-post has no bad effect on the strength of the post when in practical use.
- (4) The B-post is lighter in weight than the S-post, and the development of the B-post has led to the saving of wood resources.
- (5) Moreover, the B-post has various other merits such as the case and the convenience of manufacturing and the possibility of the use of the hollow core.

カラマツ単板を熱圧縮して厚さ約30mmのLVL板を作り、これを幅方向に切断して断面をBox型に組み立てたLVL-中空柱(B柱)を製造し、その性質を通常のLVL-Solid柱(S柱)と比較した。次の結果が得られた。

- (1) B柱の反り、変形は極めて少ない。
- (2) S, B柱とも  $10^5$  kg/cm<sup>2</sup> 以上のMOEを保持する。
- (3) 細長比が大きい場合、B柱とS柱の座屈強度はほぼ同等とみなせる。
- (4) B柱はS柱に比べて軽量で、省資源的にも意義が大きい。
- (5) その他製造上、中空部の利用などB柱のメリットは大きい。

\*1 Received May 26, 1982. 本報告は第31回日本木材学会大会(1981年4月, 東京)において発表した。

\*2 東京大学農学部 Faculty of Agriculture, the University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113

### 1. 緒 言

単板積層材(以下LVLと呼ぶこととする)は、比較的厚い単板を繊維方向を互いに平行にして積層接着したブロック材で、合板不適丸太等の低質丸太の有効利用を実現しながら、高歩留り生産、集成効果による強度のバラ

ツキの減少が期待でき、合板工場の新しい展開の方向として、ここ数年大きな関心を寄せられているものである。しかし、現在では製材品とのコストの競合、製造法の未確立、何にどのよう使うかという用途面の問題などの理由により、生産、利用とも大きな伸展を示していない。

LVLの種々の特徴を生かす利用法が検討されているが、今一つ決め手がないのが現状である<sup>3,4)</sup>。

LVLの本来の使い方は、これを大量生産、大量消費の材料と考え、建築用構造材として用いることであろう。すなわち、低質丸太からLVLを能率よく、低コストで製造し、これを柱、梁材として一般住宅の中に系統的に取り込む方法を検討しなければならない。

ここではその一つの方向として、カラマツ単板を熱圧縮接着して厚さ30mmのLVL原板を製造し、これを幅方向に裁断して、断面をロの字型に組み立て、2次接着して製造するLVL中空柱を取り上げ、その材質を検討した。

## 2. LVL原板について

### 2.1 LVL原板の製造

現在の技術レベルでは、十分な強度と耐久性を持った接着製品を能率よく製造するためにはホットプレスによる熱圧法を採用せざるを得ない。この場合、圧縮時間の制約から、製造されるLVLの厚さは30mmが限度と考えられる。ここではこのLVL板をLVL原板と呼ぶことにする。LVL原板は次のようにして製造した。

#### 2.1.1 単板

単板用原木は、35年生の北海道産造林カラマツ丸太



Fig. 1. Surface appearance of rotary-cut larch veneer.

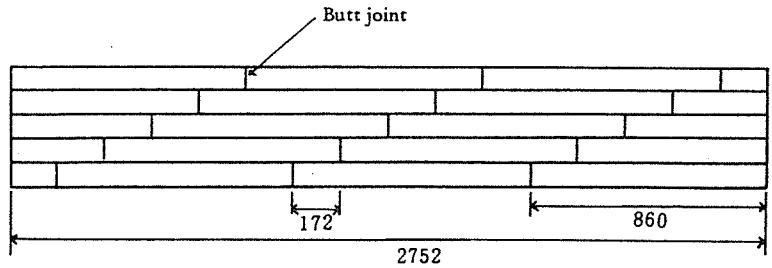


Fig. 2. Veneer construction of LVL specimen. (unit mm)

で、末口直径は30~38cmであった。原木は長さ91cmに玉切り、通常の方法で6mm単板にロータリ切削された。寸法を切断調整し、長さ86cm、幅90cmの単板を多数得た。なお、単板の対原木歩留りは平均61.2%であり、むき芯はすべて直径12.5cmとした。

単板の外観をFig.1に示す。腐れなどは見うけられないが、節は多数存在し、直径2cm以上の節の出現は86cm×90cmの単板内に平均6個程度であった。裏割れは平均で、裏割れ密度1.5個/cm、裏割れ角度は面に対して60度、裏割れ深さ3.1mm(単板厚さに対して52%)であった。

#### 2.1.2 単板構成

上記の単板を用いて、長さ275cm、幅90cm、厚さ29mmのLVL板を製造するが、単板の構成はFig.2に示すように5枚合せ、隣接する単板の縦つき部(Butt joint)の距離を172mm(単板厚さの約29倍)とし、同一断面に二つのジョイント部分が存在しないように配置した。なお、単板の組み合せはランダムに行い、節等の欠点については全く考慮しなかった。

#### 2.1.3 圧縮

接着剤は水溶性フェノール樹脂(大日本インキ化学工業(株)製、プライオーフェンHD-2130W)を用いた。圧縮条件は、冷圧:12kg/cm<sup>2</sup>で1時間、熱圧:12kg/cm<sup>2</sup>、140℃で約30分である。

上記により、厚さ29mm、幅900mm、長さ2750mmのLVL板を35枚製造したが、この板をLVL原板と呼ぶことにする。

## 2.2 LVL原板の性質

### 2.2.1 反り、ねじれ

カラマツ製材品は、一般に旋回木理のために乾燥によってねじれなどの変形を生じやすい。LVLでは素材を単板化し、再構成するのでこのような変形の発生は少なくなるものと考えられる<sup>3)</sup>が、一方では合板と異なり、単板はすべて繊維を平行にして接着されるため、直交層がなく、幅反りを生じやすいとも言われている。

次のように測定を行った。

LVL原板を幅500mmに切断した。500mm×2750mmの板を被測定体とし、熱圧製造後3ヶ月間実験室に放置しておいたのちの変形を測定した。対角線方向、長さ方向および幅方向について最大矢高 $h_0$ を測定し、基準長さ $L$ に対する比 $r$ を計算した。

すなわち、

$$r = \frac{h_0}{L} \times 100 (\%)$$

LVL原板10枚について測定したが、各方向についての $r$ の平均値は対角線方向には0.35%, 幅方向には0.435%, 長さ方向には0.146%となった。

幅方向の $r$ が最も大きな値を示し、大きな反りを生じている。LVLでは繊維に直交する方向の反り(通常は幅方向になるので、いわゆる幅反り、Cup)が大きく、90cmの長さに対して約4mmの矢高の反りを生じていることになる。対角線方向の変形 $r$ も大きく、90cm×180cm板に換算すると平均で約7mmの矢高の反りを生じていることになる。これらの変形は合板に比べて明らかに大きく、LVLの平面性は実用上問題となる。

すなわち、LVLでは幅方向(単板繊維に直交する方向)の反りおよびねじれ変形が生じやすく、この点から板状材料として用いるよりは、幅を狭くした棒状製品として、繊維方向の強さを最大限に利用する方向が望ましいと考える。

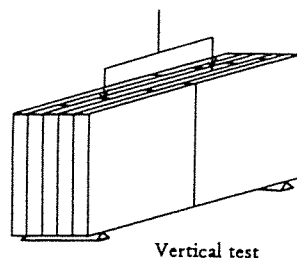
### 2.2.2 曲げ

LVLは短尺単板をButt jointによって縦つぎすることによって製造されているので、これを構造材として力を受ける部材に使用すると、単板縦つぎ部に応力集中が生じ、破壊強さ、ヤング係数とも製材品よりも低減することが予想される。ここではLVL原板について曲げ試験を行い、検討した。

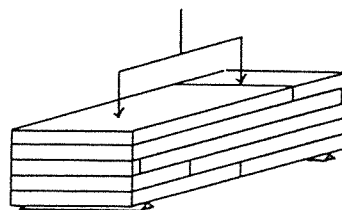
#### (a) 試験体、実験方法

試験はFig. 3に示すように荷重方向と単板積層方向との関係からHorizontal, Verticalの2方向について行った。すなわち、荷重が接着層面に鉛直となる場合をHorizontal試験(H試験)、平行になる場合をVertical試験(V試験)とした。又、そのように荷重がかかる試験体をそれぞれH試験体、V試験体と呼ぶことにする。

試験体の形状はH試験体では断面が60mm×29mm(高さ)、長さ800mmであり、V試験体



Vertical test



Horizontal test

Fig. 3. Two types of bending tests – vertical and horizontal.

では断面が逆になり、幅29mm、高さ60mm、長さ1375mmとした。スパン長さと試験体の高さとの比はH試験体で23倍、V試験体では18倍である。荷重方法は3等分点4点荷重とした。なお、Fig. 3には曲げ試験体の単板縦つぎの位置関係も示してある。H試験体では、スパン中央引張側にButt jointを配置するという最も厳しい条件で試験を行っている。30枚のLVL原板からH、V試験体各1本ずつ採取したので試験体個数は合計60体である。

#### (b) 実験結果

測定結果をTable 1に示す。次のことが認められる。

曲げ強さについては、H試験体はV試験体よりはるかに小さな値を示す。Fig. 3に見るようにH試験体におい

Table 1. Bending test results of LVL specimens.

Specimen	Modulus of rupture (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulus of elasticity (10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	Specific gravity
Horizontal	Mean	301	Mean 0.52 Max. 0.56 Min. 0.47 $r$ 0.027 $n$ 60
	Max.	430	
	Min.	154	
	$r$	70	
	$n$	30	
Vertical	Mean	414	
	Max.	552	
	Min.	265	
	$r$	74	
	$n$	30	

$r$  : Standard deviation.

$n$  : Number of tested specimens.

てはスパン中央引張側に Butt joint 部が存在し、この切り欠き部に応力が集中し、小さな荷重で破壊に至る。一方V試験体では、引張側には試験体の幅の1/5の切り欠き部が存在するが、これは最外側のものを除いて内側から健全な単板で補強されており、曲げ強さに与えるその影響は小さい。両試験体とも全ての破壊は Butt joint 部から発生している。

ヤング係数については、H、V両試験体で差はないとみなしてよいように思われる。ただV試験体の方が値の変動がやや小さくなっているようである。

さて、北海道林産試験場においてはカラマツ造林木製材品の強度に関して幅広く実験を行っているが、文献<sup>1)</sup>によれば、径14~39cmの丸太から製材した204材のうち、格外品を除いた56本について、気乾状態での曲げ強さの平均値として400 kg/cm<sup>2</sup>(変動の範囲158~812 kg/cm<sup>2</sup>)、ヤング係数97000 kg/cm<sup>2</sup>(54000~149000 kg/cm<sup>2</sup>)の数値を得ている。これらの数値はLVLのV試験体とほぼ同じである。値の変動に関しては、LVLの方がはるかに小さい。このような実大製材品では節などの欠点が存在するものも多いためである。ちなみに無欠点小試験体の曲げ強さとして同文献では平均値で750 kg/cm<sup>2</sup>としている。

以上のことから、節などの欠点の多いカラマツ造林木は製材品として使用するよりも、これを単板化してLVLとなし、Verticalな曲げ荷重を受けるような使い方をすることが、材料の許容応力度を考えた時に有利である<sup>2)</sup>ことが認められた。

### 3. LVLを用いた柱の製造と性能試験

#### 3.1 柱の製造

厚さ29mmのLVL原板は、2次接着して10cm角の柱材に転換した。この場合にFig.4に見るように原板を4枚積層接着した通常の柱(Solid type, 文中S柱とする)の他に、断面をロの字型に組み立てた中空柱(Box type, B柱とする)を製造した。

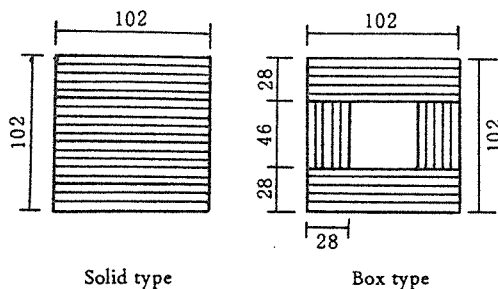


Fig. 4. Cross sections of LVL posts. (unit mm)

#### 3.1.1 S 柱

LVL原板を幅105mmに切断し、これを4枚重ね、フェノール・レゾルシノール樹脂(大日本インキ化学工業製プライオーフェンMD-5111)を用いて接着した。原板が圧縮にずれるのを防ぐため側面を数ヶ所治具で固定しながら圧縮しており、圧縮圧力は12 kg/cm<sup>2</sup>である。接着完了後LVL柱はプレーナーで102mm角に仕上げた。このようにして長さ275mの実大の柱を28本製造した。

#### 3.1.2 B 柱

LVL原板から幅105mmおよび47mmの2種の部材を切断し、これをFig.4に示すようにロの字型に組み立てた。一部のものについては、中空部にスペーサーを入れ、側面から軽くネジで押えつけながら上下方向に圧縮して接着を行ったが、圧縮完了後スペーサーが抜けにくいものが見られた。そこで他のものについては、まず底部と側部にスペーサーを入れて圧縮接着し、凹型にこしらえ、次にスペーサーをはずして上部をのせ、圧縮する2段階圧縮を行った。スペーサーを中空部に入れて側面から部材を締めることによって原板の反り、ねじれなどが押え込まれ、変形のない中空柱が得られる。接着完了後プレーナーで102mm角(長さ275m)に仕上げた。製造本数は30本である。

### 3.2 LVL柱の各種性能

S柱28本、B柱30本の性能について次の試験を行った。

#### 3.2.1 反り、ねじれ、外観について

圧縮直後の柱について変形を測定したが、S、B両タイプとも変形は認められなかった。プレーナー仕上げを行ったのち、それぞれ2本ずつを屋外に1ヶ月放置したが、反り、ねじれは殆ど認められなかった。特にBタイプでは全く変形は認められなかった。LVL原板に存在していた反り、ねじれは、2次接着によって柱に組み上げられることによって完全に押え込まれてしまう。中空柱の利点であろう。

プレーナー仕上げをしたLVL柱は裏割れが表面に露出しており、そこへフェノール樹脂が浸透しているためその存在がはっきりと分り美観上問題である。1ヶ月の屋外暴露によって裏割れによる目切れ部が浮き上がり、全般的に表面荒れがすすむ。

#### 3.2.2 曲げ試験

製造した柱をそのまま試験体として用い、3等分点4点荷重により曲げ試験を行った。この時、LVL原板の試験と同様にS、B両タイプともHorizontal, Verticalの各方向から荷重するH試験、V試験の両試験を行い、全試験体(Sタイプ28体、Bタイプ30体)について曲げ

ヤング係数  $E$  を測定した。このとき、最大たわみがスパンの  $1/600$  である  $4\text{mm}$  以下におさえるため  $150\text{kg}$  で除荷した。

実験結果を Table 2 に示す。なお、この表には柱の比重も示してある。この表において B タイプ柱の  $E$  および気乾比重は断面を  $102\text{mm}$  角として計算した見掛けの (材料としての) 値である。

Table 2. Modulus of elasticity and specific gravity of LVL posts.

Specimen		Modulus of elasticity ( $10^8\text{ kg/cm}^2$ )	Specific gravity
Solid type	H	117 (8.2)	0.53
	V	118 (8.3)	
Box type	H	103 (9.0)	0.42
	V	102 (8.8)	

H : Horizontal specimen.

V : Vertical specimen.

( ) : Standard deviation.

Number of tested specimen: 30.

#### (a) 曲げヤング係数 ( $E$ )

ヤング係数の測定に当っては、中央たわみから荷重点たわみを差し引いた、いわゆる純曲げによるたわみを用いている。次のことが認められる。

S タイプ、B タイプとも H 方向、V 方向で  $E$  に差が認められない。このことは H 試験体の引張側最外側に存在する Butt joint が  $10\text{cm} \times 10\text{cm}$  程度の断面になると低荷重下の変形にはあまり影響を与えないことを示す。

S タイプの  $E$  は 1 割程度 B タイプのそれよりも大きな値を示す。両者の断面 2 次モーメントは S タイプでは  $I_S = 913\text{cm}^4$ 、B タイプは  $I_B = 876\text{cm}^4$  であるから  $I_B / I_S = 0.96$  となり B タイプの S タイプに対する  $E$  の減少は断面 2 次モーメントの減少よりも大きい。この理由については明確でないが、B タイプでは H 試験体も V 試験体も最外側に欠損部が連続して存在しており、中空部があるために引張側外側に発生する応力が S タイプの場合よりも大きくなり、この Butt joint 欠損部の影響を大きく受け、 $E$  が S タイプより断面 2 次モーメントの比以上に低下するものと考えられる。

いずれにせよ、S タイプはもとより B タイプでも  $10\text{万 kg/cm}^2$  程度のヤング率を示し、これは北林産試がカラマツ 204 材 (製材品) について測定した  $97000\text{kg/cm}^2$  の値<sup>1)</sup> と殆ど同じであり、構造材として十分な曲げ剛性を持つものと考えられる。なお、標準偏差は全体で約  $8600\text{kg/cm}^2$  であり極めて小さなものであった。

#### (b) 比重

柱の比重は、B タイプで  $0.42$ 、S タイプで  $0.53$  であっ

た。B、S 両柱の断面積から当然の結果である。中空柱がムク柱に対して約  $20\%$  軽量であることは施工上大きな長所となる。又、 $20\%$  の材を節約していることになり、極めて意義のあることと考える。

#### 3.2.3 座屈強度

柱は過大な鉛直力を受けると座屈破壊をおこす。ここでは柱の細長比を変えて両端ピン支持による座屈試験を行った。S 柱 12 本、B 柱 13 本の  $10.2\text{cm}$  角柱について長さを  $155\text{cm}$  から  $275\text{cm}$  までほぼ  $10\text{cm}$  間隔で変えて切断し、試験体とした。

試験体の座屈方向は曲げヤング係数の小さな方向に座屈するように両端支持部のナイフエッジをセットした。柱の両端部は支点治具ボックスの中に隙間なくおさまるが破壊時にはずれることのないように 4 本のボルトで固定した。この際、ナイフエッジの回転軸は柱の中心線上に位置している。試験装置を Fig. 5 に示す。

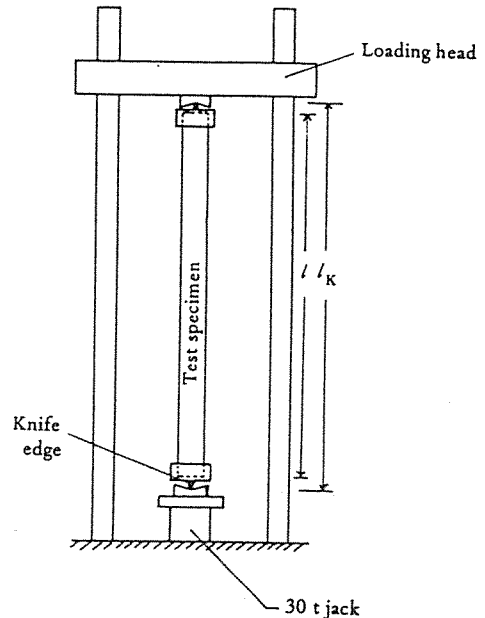


Fig. 5. Outline of buckling test.

$l$  : Specimen length.

$l_K$  : Buckling length.

細長比と座屈応力度との関係を Fig. 6 に示す。なお、細長比  $\lambda$ 、座屈応力度  $F_K$  は次式によって算出した。

$$\lambda = l_K / i$$

ここに、 $l_K$  : 座屈長さ、

$$i = \sqrt{I/A} : \text{断面 2 次半径}$$

$A$  : 断面積

$$F_K = P_{\max} / A$$

$P_{\max}$  : 破壊荷重

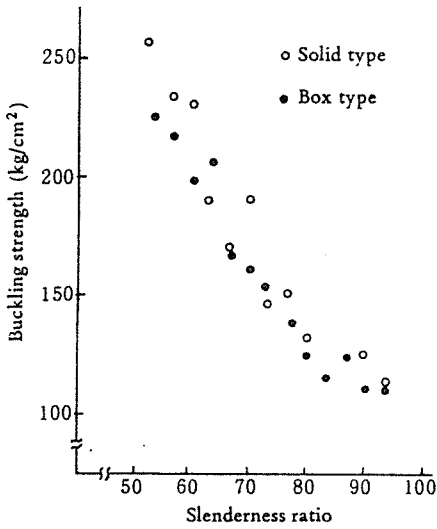


Fig. 6. Relationship between buckling strength and slenderness ratio.

この場合もBタイプについては中空部の欠損を考慮せず見掛けの値で示している。次のことが認められる。

破壊時の中央部の横方向たわみは長さ2.7mの柱で約8cmであり、S、Bタイプとも同程度であった。又、破壊はすべて中央付近のButt joint部から発生している。

Sタイプ、Bタイプとも細長比λが増加すると50<λ<80の範囲では座屈応力度F<sub>K</sub>は直線的に減少する。最小自乗法によって次の式が求められた。

$$S \text{タイプ: } F_K = (1 - 0.008\lambda) \times 425 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$B \text{タイプ: } F_K = (1 - 0.008\lambda) \times 397 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

細長比が20<λ<100において許容応力度F<sub>0</sub>を圧縮応力度F<sub>C</sub>から求めるオメガ法は次式で与えられるが、

$$F_0 = (1 - 0.007\lambda) \times F_C$$

これは本実験で求められた式ときわめて類似している。

BタイプとSタイプのF<sub>K</sub>は同じλにおいて全般的にBタイプの方が低い値を示すが、その差は大きなものではない。Table 3にλ=57, 94の柱について両者の実験値を比較して示すとほぼ同程度の値が得られているが、これは両者の断面2次半径が同程度の数値を示すことから当然であろう。

細長比が小さくなるとF<sub>K</sub>は圧縮強さσ<sub>C</sub>に近づく。このσ<sub>C</sub>についてはBタイプはSタイプより実質部の断面積が少ないから当然小さな値を示すはずであるが、Fig. 6においてもその傾向が見られる。又、λが大きくなると柱は純粹の座屈で破壊することになり、断面2次半径のほぼ等しいSタイプとBタイプのF<sub>K</sub>は一致してくるがFig. 6でもその傾向が認められる。

#### 4. まとめ(S柱とB柱の比較)

以上LVLを用いたS柱と中空柱(B柱)の性能試験を行ったが結果をまとめると次のようになる。

①柱の反り、ねじれなどの変形は一般に少なく、とくにBタイプについてはLVL原板に存在した変形がロの字型に組み立てられることによって押え込まれ全く認められない。

②座屈試験においてBタイプ柱の2次接着面の破壊は全く認められなかった。Bタイプでは2次接着面は板目面と柁目面接着になり通常の圧縮によって良好な接着が得られ接着部が欠陥にならない。

③曲げヤング係数についてはBタイプがSタイプよりやや低い値を示すがその差は1割程度である。Bタイプの平均値は100,000 kg/cm<sup>2</sup>を越えており、バラツキも少なく構造材料として十分な曲げ剛性をもつものと考えられる。

④S柱、B柱の重量を比較するとB柱は約20%軽量であり、このことは柱の施工上又それを用いた住宅の構造耐力上大きな長所となる。さらに木材資源の節約という意義も大きい。

⑤座屈強度は細長比が大きくなるとS柱とB柱はほぼ同程度の値を示す。これは両者の断面2次半径に殆ど差がないことから当然である。

以上のようにS柱とB柱に性能上の差は認められなかった。LVLによる中空柱が通常のLVL柱(ムク柱)と比較して性能上同じであるのなら、中空柱は軽量であること、省資源的であること、製造がより容易であること、さらに中空部の利用が考えられること<sup>5)</sup>(パイプ、コードのスペース、通風孔としての利用、中空部を利用した新しい仕口、継手の開発など)などS柱にない多くの長所

Table 3. Buckling properties of Solid type and Box type posts.

Post	Buckling length (cm)	Radius of gyration (cm)	Slenderness ratio	Max. load (ton)	Buckling strength (kg/cm <sup>2</sup> )
Solid type	168	2.96	57	23.2	221
	277	2.94	94	11.8	112
Box type	168	2.95	57	24.9	238
	276	2.96	94	11.9	115

を保持していることから、その開発に大きな期待が寄せられる。そして中空柱はLVLの持つ特性、なかでも低質丸太の利用、大量生産工業製品であるという特徴をも実現している。なお、中空柱は製材品、集成材からは製造が困難であり、実際上はLVLでしか実現できないことに注意すべきである。

#### 謝 辞

カラマツ単板の切削、LVL原板の製造について種々面倒をみていただいた北海道林産試験場の皆様、および

実大試験体の作製をしていただいた東大林産学科の会田武郎、土屋欣也両氏に深く感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 倉田久敬他4名：林産試験場研究報告No. 67, 4~33 (1978)
- 2) J. P. Stump 他2名：Forest Prod. J., 31 (4), 34-39 (1981)
- 3) 佐々木 光：木材工業, 33 (8), 8~12 (1978)
- 4) 大熊幹章：木材工業, 36 (11), 61~66 (1981)
- 5) 大熊幹章：森林文化研究, 1 (1), 63~67 (1980)

## ア カラマツ LVL のせん断に対する性能

北海道立林産試験場 森泉 周・北村維朗

### 1. はじめに

LVLの特徴の一つとして、構成要素である単板に厚削きのロータリー単板を使用することにより、生産性、製品歩留りの向上を図ることがあげられる。単板の裏割れがLVLの構造材料としての性質に影響を与える点も少なくなく、横引張強度<sup>1)</sup>、割裂強度<sup>2)</sup>、裏割れに沿ったせん断強度<sup>3)</sup>等裏割れに関係する強度の低いことが懸念される。

そこで本試験では林産試験場で現在標準的に製造されたカラマツLVLについて、スパン・梁せい比および梁せいを変えた曲げ試験を行い、せん断弾性係数と水平せん断強度を求め、併せてブロックせん断強度試験の結果から、LVLのせん断に対する性能を検討した。

### 2. 供試材と試験法

#### 2.1 LVLの製造

一連のLVL製造試験に用いたものと同一の美瑛産の造林カラマツ間伐材を使用した。ロータリー切削した4mm厚の単板を用いて、高周波接着によるButt Joint(BJ)を持つ通常のLVL(以下normal LVLと記す)とBJの無い長さ45cmのLVL(以下clear LVLと記す)を製造した。

LVLの曲げ強度性能は既報<sup>4)</sup>で報告したように、辺材部と心材部の構成単板により大きな差があるため、辺材：心材=7：3に混合したLVLを製造した。

#### 2.2 試験法

曲げ試験：LVLを梁として使用する場合、荷重方向が接着層と平行する垂直積層梁(Vertically laminated beam, 以下Ver. LVLと記す)および直交する水平積層梁(Horizontally laminated beam, 以下Hor. LVLと記す)としての使用が考えられるので、この両者について中央集中荷重で曲げ試験を行った(Fig.1)。

曲げ試験の条件をTable 1に示す。試験体寸法は、巾を38mmに固定し梁せいをclear LVLでは4段階、normal LVLでは5段階変えた。試験体は各条件で

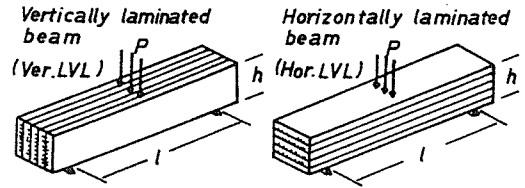


Fig. 1 Two types of LVL beams.

Table 1 Condition of bending test.

	Specimen dimension		Span-to-depth ratio $l/h$	
	$h$ (mm)	$b$ (mm)		
Clear LVL (non BJ)	25	38	4. 6. 8. 10. 12. 16.	Ver.
	38	38	4. 6. 8. 11.	Ver. Hor
	64	38	4.	Ver.
	89	38	4.	Ver. Hor
Normal LVL (with BJ)	38	38	4.	Ver.
	64	38	4.	Ver.
	89	38	4. 6. 9. 12. 16. 20.	Ver. Hor*
	1125	38	4.	Ver.
	150	38	4. 12.	Ver.

\*Hor.  $l/h=4.6$

10~15体の範囲である。normal LVLの隣接するBJの間隔は11.25cmで3層おきに存在している。Ver. LVLでは積層数が10plyになったため、3個のBJ部を、Hor. LVLでは最外層のBJ部を荷重点下においた。

圧縮試験：圧縮試験体は、曲げ試験終了後に採取した。試験体寸法は梁せいの大きさが異なるため、試験体長を梁せいの3倍とした。

ブロックせん断試験：Fig. 2に図示した形状、寸法の試験体を採取し、ブロックせん断試験を行った。(c)のローリングシアーについては裏割れの開く方向と閉じる方向の区別はしなかった。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 せん断弾性係数

clear LVLおよびnormal LVLの曲げ試験結果をTable 2およびTable 3に示す。各 $l/h$ において、せん



Table. 2 Results of bending test for clear LVL.

Type of LVL	h (mm)	b (mm)	A <sub>s</sub> <sup>1</sup> (cm <sup>2</sup> )	l/h	τ <sub>max</sub>		σ <sub>s</sub>		E' <sup>3</sup>		Failure form	
					average (kg/cm <sup>2</sup> )	s(n)/s(38) <sup>2</sup>	average (kg/cm <sup>2</sup> )	s(n)/s(38)	average (ton/cm <sup>2</sup> )	s(n)/s(38)		
Ver. LVL	25	38	19.0	4	85.7 (81.2-90.8)	1.161	684 (648-725)	1.114	54 (45-60)	0.939	shear	
				6	64.2 (55.5-72.1)	0.870	770 (660-867)	1.254	79 (76-84)	1.383	tension 7 shear 3	
				8	52.0 (46.4-52.0)	0.705	816 (729-920)	1.328	95 (88-106)	1.659	tension	
				10	41.7 (38.0-41.7)	0.565	819 (748-819)	1.334	105 (95-116)	1.839	tension	
				12	35.0 (31.8-39.0)	0.474	833 (752-927)	1.357	109 (102-117)	1.899	tension	
		38	38	28.5	4	73.8 (65.6-83.8)	1.000	596 (530-677)	1.000	57 (54-63)	1.000	shear
	5				59.8 (52.1-65.5)	0.810	703 (612-770)	1.180	80 (73-85)	1.404	shear	
	8				48.7 (43.8-54.0)	0.660	810 (719-887)	1.359	102 (95-109)	1.789	tension 9 shear 5	
	11				36.7 (32.9-42.0)	0.497	820 (725-929)	1.376	115 (110-125)	2.018	tension	
		64	38	48.6	4	69.6 (62.6-75.6)	0.943	572 (514-621)	0.960	53 (47-59)	0.930	shear
	89				38	67.6	63.0 (57.3-69.6)	0.854	526 (478-581)	0.883	58 (55-62)	1.018
	Hor. LVL	38	38	28.5	4	74.0 (72.0-80.6)	1.000	581 (565-633)	1.000	57 (50-64)	1.000	shear
					6	60.0 (53.9-65.4)	0.811	684 (614-745)	1.177	77 (69-90)	1.351	shear
					8	49.1 (38.9-52.9)	0.664	777 (617-837)	1.337	98 (92-103)	1.719	tension 6 shear 4
					11	37.3 (29.2-41.2)	0.504	800 (626-883)	1.377	113 (105-120)	1.982	tension 9 shear 1
89		38	67.6	4	58.7 (52.9-61.0)	0.793	475 (508-449)	0.818	50 (39-56)	0.877	shear	

\*1 A<sub>s</sub>: Sheared area, A<sub>s</sub> = a · b, a: sheared span  
 \*2 s(n)/s(38): Strength ratio for h and b=38  
 \*3 E': Effective modulus of elasticity

断によるたわみを考慮せずみかけの曲げヤング係数 E' を求めた。l/h を変えた試験体は、clear LVL では Ver. LVL の梁せい 25, 38 mm Hor.LVL の梁せい 38 mm, normal LVL では、Ver. LVL の梁せい 89 mm のものの 4 種類である。各試験体条件で、l/h=10 前後から l/h の減少に伴って E' は急激に低下している。E' の低下の傾向は各条件間で差異がなかった。

E' と l/h の関係から Wangaard<sup>9)</sup>, 海老原<sup>9)</sup>等が用いた方法により、LVL の真のヤング係数 E とせん断弾性係数 G を決定した。すなわち、E' と l/h の間に次式が成立

する。

$$\frac{\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{l}{h}\right)^2}{E'} = \frac{0.3}{G} + \frac{1}{E} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{l}{h}\right)^2$$

(1/2 · l/h)<sup>2</sup>/E' を縦軸に、(1/2 · l/h)<sup>2</sup> を横軸にとると、γ 切片より G、直線の傾きより E が求まる。最小 2 乗法により、各条件の LVL について直線式を求めた。Table 4 に上述の方法により求めた E と G の値を示す。本試験に用いた LVL の E は 125~138 ton/cm<sup>2</sup> の値であり、clear LVL では Ver. LVL と Hor. LVL で差が無

Table 4 Average elastic properties in bending test of Ver. LVL and Hor. LVL.

Type of LVL	$h$ (mm)	Pure $E$ (ton/cm <sup>2</sup> )	$G$ (ton/cm <sup>2</sup> )	$E/G$
Ver.	25	130	7.3	17.8
	38	138	7.8	17.6
	89*	125	6.6	18.9
Hor.	38	129	6.9	18.7

$b=38\text{mm}$

\*: normal LVL

せん断破損を起したLVLの破損状態を Fig. 3 に示す。Ver. LVL では破壊面が裏割れを伝わるように走っている(a)。Hor. LVL では破壊面に一定の傾向が見られず、接着層附近で破壊が起る場合(b)、接着層から裏割れに破壊面に伝わる場合(c)等がみられる。

clear LVLのせん断破損を示した試験体から、最大せん断応力説に基づいた金の理論<sup>9)</sup>を用いて、LVLが梁として使用されるときにせん断強度 $\tau_0$ を求めた。この方法については海老原が詳細な報告<sup>9)</sup>をしており、ここでは結果についてのみ示す。

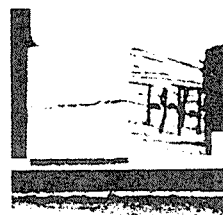
Table 5 に曲げ試験から求めたせん断強さ $\tau_0$ と圧縮強さ $\sigma_{cb}$ 、引張破損を起した試験体の曲げ破壊係数の平均値を引張破損時の曲げ破壊係数 $\sigma_{bb}$ として示す。また圧縮試験体から求めた圧縮強さの平均値も同時に Table 5 に示す。圧縮試験の詳細は後日報告する。圧縮強さ、せん断強さおよび曲げ破壊係数とも Ver. LVL のほうが Hor. LVL より多少大きかった。圧縮強さ値は圧縮試験によるものと差がなかった。せん断強さ値はブロックせん断試験によるもの(結果を Fig. 4 に示す) Ver. LVL (ブロックせん断試験の radial 方向), Hor. LVL (同 tangential 方向)ともほぼ等しい値であった。素材の場合、短スパンの曲げ試験から求めたせん断強さはブロックせん断試験によるものより大きいといわれているが<sup>10)</sup>ここでは差が認められない。この傾向は LVL 特有のものであるかどうかを今後検討する必要がある



(a) : Ver, LVL



(b)



(c) : Hor, LVL

Fig. 3 Examples of horizontal shear failures in LVL.

う。

$l/h=4$ に固定した場合、梁せいを大きくするとみかけの最大せん断強さは低下した (Table 2 および Table 3)。clear LVL の場合では Ver. LVL および Hor. LVL ともすべてせん断破損をしたが、normal LVL の場合ではすべて引張破損をした。clear LVL の曲げ試験から得られたせん断強さから判断すると、normal LVL は BJ による断面欠損で曲げ破壊係数が低いため、せん断破損にいたらなかったと考えられる。Bohlen は 6 ply で 1 個の BJ が入った LVL ではせん断破損が生じており、最大せん断強さは BJ の無いものと同一で、BJ はせん断強さ

Table 5 Results of shear strength and compression strength of LVL determined from bending test.

Type of LVL	$\sigma_{bb}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cb}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cb}/\tau_0$	$\sigma_{cb}^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Ver.	820	434	94	4.167	432
Hor.	805	410	90	4.556	432

\* Obtained in compression test

く、BJを有する normal LVL も同程度の値を示しており、 $E$ はBJに影響されないと考えられる。 $G$ は6.6~7.8 ton/cm<sup>2</sup>の値であり、 $E$ に比べて多少その差が大きいが、各試験条件間のばらつき巾として考えることも可能であり、clear LVL と normal LVL とで明確な差があるとは考えられない。また  $E/G$  は、17.6~18.9の値であり、沢田は本邦産の針葉樹材について  $E_L/G_{L,R} = 17, E_L/$

$G_{L,T} = 22$ としている<sup>7)</sup>が、本試験で用いた LVL の値はほぼその範囲内に入っている。

### 3.2 せん断強度

木材梁ではせん断強度に寸法効果が存在することが認められており、Huggins<sup>8)</sup>、海老原<sup>9)</sup>等はせん断スパン-梁せい比 ( $a/h = 1/2 \cdot l/h$ ) が大きくなると終局せん断強さは低下することを指摘している。みかけの最大せん断強さ ( $\tau_{max}$ ) と曲げ破壊係数 ( $\sigma_b$ ) を Table 2 および Table 3 に示してあるが、本試験でも同様の傾向が認められた。clear LVL の梁せい 38 mm の試験体を見ると  $\tau_{max}$  は、Ver. LVL の方が Hor. LVL よりも多少大きかった。Ver. LVL では  $a/h = 2$  および 3 で全試験体、4 で 14 体中 5 体、Hor. LVL では  $a/h = 2$  および 3 で全試験体、4 で 10 体中 4 体、5.5 で 10 体中 1 体がせん断破壊を示した。これらの結果は、林産試型 LVL では Hor. LVL のほうが Ver. LVL よりもせん断性能が劣ることを示している。

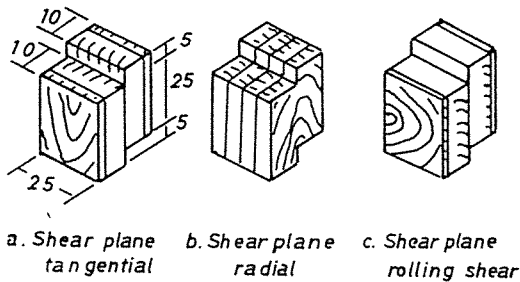


Fig. 2 LVL block-shear specimen orientation and dimensions

Table 3 Results of bending test for normal LVL.

Type of LVL	h (mm)	b (mm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	l/h	$\tau_{max}$		$\sigma_b$		$E^*$		Failure form		
					average (kg/cm <sup>2</sup> )	s(n)/s(38)*	average (kg/cm <sup>2</sup> )	s(n)/s(38)	average (ton/cm <sup>2</sup> )	s(n)/s(38)			
Ver. LVL	38	38	28.9	4	65.5 (57.4-67.3)	1.000	516 (459-546)	1.000	42 (39-45)	1.000	tension		
	64	38	48.6	4	59.0 (53.3-64.6)	0.901	465 (420-509)	0.901	42 (36-46)		tension		
	89	38	67.6	4	52.9 (44.9-60.5)	0.808	436 (366-498)	0.845	44 (38-53)	1.048	tension		
					101.5	6	38.2 (32.7-42.0)	0.583	470 (403-517)	0.911	69 (65-74)	1.649	tension
					152.2	9	28.9 (25.5-32.6)	0.441	491 (434-554)	0.952	97 (87-101)	2.310	tension
					202.9	12	20.6 (18.1-23.7)	0.315	507 (445-583)	0.983	104 (99-112)	2.476	tension
					270.6	16	15.2 (13.7-16.1)	0.200	497 (451-527)	0.963	108 (97-116)	2.571	tension
	338.2	20	13.1 (10.8-13.7)	0.200	510 (445-561)	0.988	117 (114-121)	2.786	tension				
	112.5	38	85.5	4	47.2 (39.7-52.4)	0.721	381 (321-423)	0.738	44 (38-46)	1.048	tension		
	150	38	114.0	4	41.4 (37.7-45.0)	0.632	332 (302-361)	0.643	44 (41-50)	1.048	tension		
342.0					12	16.7 (14.9-20.6)	0.255	402 (397-484)	0.779	130 (107-138)	2.857	tension	
Hor. LVL	89	38	67.6	4	45.8 (38.7-51.6)		384 (325-429)		47 (40-54)		tension		
					101.5	6	38.7 (29.5-46.9)		403 (337-484)		65 (62-71)		tension

\* : see Table 2

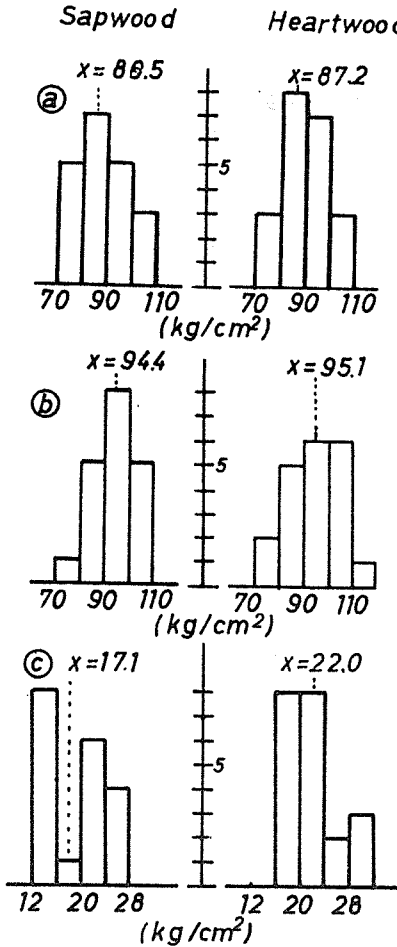


Fig. 4 Shear strength of LVL Obtained in block-shear test.

に影響しないと報告<sup>11)</sup>している。これは林産試型 LVL に較べると BJ による断面欠損が小さいため、曲げ破壊係数が相対的に大きいことによるものと考えられる。

### 3.3 ブロックせん断強度

ブロックせん断試験結果を Fig. 4 に示す。④、⑥の試験体では辺材 LVL と心材 LVL で強度値に差がなかったが、③の試験体では辺材 LVL は心材 LVL に比べて強度値は小さかった。曲げ破壊係数では心材 LVL は辺材 LVL に比べて 75% 程度しかない<sup>9)</sup>が、せん断強度ではほとんど差がなく、むしろ心材 LVL の方が大きめである。この原因としては、心材 LVL では辺材 LVL に比べて純粹せん断破壊が生じにくかったことと心・辺材で裏割れの形態が異なることなどが考えられる。後者については、

裏割れが強度値に最も影響すると考えられる③の値が辺材 LVL で小さいことから推定される。③の値は④、⑥の値に比べて、20% 程度の値しかなく、LVL にこのような力が働く使い方には注意が必要であろう。

## 4. ま と め

(1)  $l/h$  の変化から求めたせん断弾性係数と真のヤング係数は、それぞれ 7 ton/cm<sup>2</sup>、130 ton/cm<sup>2</sup> 前後の値であり、BJ によるこれらの係数の低下は明確には認められなかった。

(2) clear LVL では、せん断破損が Ver. LVL で  $l/h=8$  前後から、Hor. LVL で  $l/h=11$  前後からせん断破損を生じたが、normal LVL では  $l/h=4$  でもせん断破損は生じなかった。

(3) clear および normal LVL とともに  $l/h$  および梁せいが大きくなるとみかけの最大せん断強さが低下した。

(4) 金の理論を用いて、曲げ試験からせん断強さと圧縮強さを求めたが、その値は、せん断強さは、ブロックせん断試験による値と、また圧縮強さは、圧縮試験による値とよく一致した。

(5) ブロックせん断強度ではローリングシアアの値が小さく、tangential および radial 方向の値の 20% 程度であった。

## 文 献

- 1) J. F. Lutz, H. H. Haskell and R. H. McAlister : For. Prod. J. 12 (5), 218 (1962)
- 2) R. M. Echols and R. A. Currier : ibid, 23 (2), 45 (1973)
- 3) E. L. Schaffer, R. W. Jakerst, R. C. Mooly, C. C. Peters, J. L. Tscherndtz and J. J. Zahn : USDA Forest Service Res. Pap. FPL 175 (1972)
- 4) 森泉 周, 真田康弘, 前田典昭, 小倉高規 : 林産試月報投稿中
- 5) F. F. Wangaard : For. Prod. J. 14(6), 256 (1964)
- 6) 海老原 徹 : 木材学会誌 27, 788 (1981)
- 7) 沢田 稔 : 林試報 No. 105 (1958)
- 8) M. W. Huggins, J. H. L. Dalmer and E. N. Aplin : Eng. J. 49 (2), 32 (1966)
- 9) 杉山英男 : "木構造" 彰国社 p. 55 (1971)
- 10) A. T. Quaile and F. J. Keenan : Wood Sci. 11 (1), 1 (1978)
- 11) J. C. Bohlen : For. Prod. J. 25 (2), 16 (1975)

## 8 カラマツLVLの強度性能(第1報)

—小径木カラマツ材の材質と無欠点LVLの曲げ強度—

森 泉      周 真 田 康 弘  
前 田 典 昭\*<sup>1</sup>   小 倉 高 規\*<sup>2</sup>

### The Strength Properties of Japanese Larch LVL ( I )

The Wood Quality of Small Japanese Larch Logs  
and the Bending Strength of Clear LVL

Shu MQRIZUMI      Yasuhiro SANADA  
Noriaki MAEDA      Takami OGURA

We examined the range of juvenile wood and the relationship between the juvenile wood and the heartwood in Japanese larch logs 16 to 20 centimeters in diameter. First, we measured lathe checks produced in cutting rotary veneer by taking notice of the difference in wood quality and cutting diameter, and then we examined the effects of the lathe checks on strength properties. We found it nearly impossible to define clearly the range of the juvenile wood in the logs by using a quality index, but we recognized that the breadth of the juvenile area from the pith coincided with that of the heartwood. This might lead to a conclusion that when used as industrial material, the juvenile wood is almost equal to the heartwood. The lathe check depth of the veneer increased as the cutting diameter decreased, but as to the lathe check frequency there was no difference between each factor. The MOR of LVL was reduced by 15 percent and the MOE by 5 percent because of the effects of the lathe checks.

LVL用小径木カラマツ材(径級16~20cm)における未成熟材部の範囲と心材の関係を調べた。材質差と切削径に注目してロータリー単板の切削時に発生する裏割れを測定した。あわせて、裏割れの強度性能への影響を検討した。

原木における未成熟材部の範囲は、材質指標では明確に特定できなかったが、未成熟材部の髄からの距離が心材の距離と一致した。したがって工業材料とした場合未成熟材部=心材部と考えられた。単板の裏割れ率は切削径が小さくなるにつれて大きくなったが、裏割れ密度は各因子間差異がなかった。裏割れの影響により曲げ強さは15%、ヤング係数は5%低下した。

## ⑨ 単板片積層材の内部構造と曲げの性質\*

又 木 義 博\*\*

### Internal Structure and Bending Properties of Laminated-Veneer Strip Lumber

Yoshihiro MATAKI

Faculty of Agriculture, Kyushu University

For the purpose of developing a tentative laminated-veneer strip lumber, each of the waste veneers of 0.75 to 3.0 mm thick was cut into strips of 7.5 to 20 cm length parallel to the grain and 2 to 4 cm width. The water-soluble phenolic resin adhesive was spread on the air-dried strips in the amount of 200 g/m<sup>2</sup> or less. Subsequently to the formation of the mats by aligning and assembling the glue-spread strips in parallel to the grain in the various patterns, they were pressed at several pressure levels of 5 to 20 kg/cm<sup>2</sup> under the condition of 140°C and 60 sec/mm.

The laminated-veneer strip lumber, in which the strips of 0.75 to 1.5 mm thick are lap-jointed, is very excellent in bending properties (Table 1, Figs 4 and 5) because of having a much compact structure (Figs 2 and 3). For the lumber of over 2-mm-thick strips, the butt-joint structure has better bending properties than the lap-joint one (Fig. 4).

In the bending of the sandwich construction with the layers of 0.75-or 1.5-mm-thick strips on both faces of the core of 3.0-mm-thick strips, the abnormal strain behavior can become so restrainable (Fig. 7 and Photo. 5-B) that its bending properties are readily improved (Table 2 and Fig. 6), although the behavior is easy to occur at the end of strip on the tensile-side surface while bending the lumber only of 3.0-mm-thick strips (Fig. 7 and Photo. 5-A).

### 緒 言

低質丸太や小径丸太からの乱尺で寸足らずの単板屑を有効利用するため、繊維方向を比較的長くして短冊状に裁断した乾燥済みの単板片に接着剤を添加し、配列堆積後、加熱圧縮して成板する。これを単板片積層材と仮称する。基本的には単板片の繊維方向を平行にそろえて配列し、構造用としての性質を与えて LVL と配向性パーティクルボード<sup>1)</sup>との中間的な材料とすることを目的としている。

この材料では、LVL の場合に比して、構成要素間の接合部が繊維方向とその直交方向とに多数分布すること

や、パーティクルボード<sup>2)</sup>に比してきわめて大型の厚い構成要素を配向させることを特徴としているため、構成要素である単板片の形状寸法、配列様式、層構成および熱圧時の圧縮圧力などが内部構造の形成、ひいてはその性質を強く支配するものと予測される。

したがって、この研究においては、まず、これらの主要因に基づく内部構造の形成と主な機械的性質である静的曲げ、特に曲げにおける単板片間の継目部分の変形挙動について明らかにした。

### 1. 研究方法

meranti (*Shorea* spp.) の乾燥済みで含水率約 9~11 % の合板用丸剥ぎ単板を厚さ 0.75~3.0 mm の範囲で 7 種類準備した。それらを丸のこで繊維方向 7.5~20.0

\* 日本木材加工技術協会第 1 回年次大会(1983. 10)にて発表

\*\* 九州大学農学部

cm, その直交方向 2~4 cm の範囲で数段階の寸法に裁断して単板片を用意した。接着剤は樹脂率 46%, 粘度 0.9 ポイズの合板用の水溶性フェノール樹脂接着剤を用いた。

所要量の単板片に接着剤を 180~200 g/m<sup>2</sup> の分量で均一に噴霧塗付した。そして、あらかじめ用意した配列用型紙と照合しながら迅速な手作業によって広さ 40 cm × 40 cm の 3 mm 厚ステンレス当板上に単板片を所定の配列様式で堆積した。

加熱圧縮は熱板温度 140°C, 熱圧時間 60 sec/mm とし、圧縮圧力を 5~25 kg/cm<sup>2</sup> で数段階採り、主に 15 kg/cm<sup>2</sup> にした。

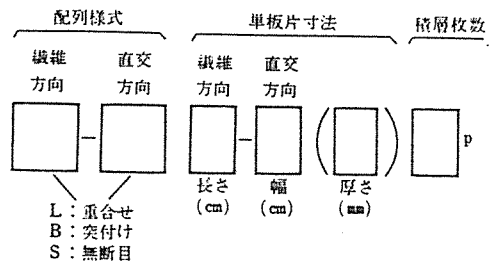
一種類のみ単板片で構成された積層材のみならず、薄片と厚片の交互堆積構造、薄片から成る表層と厚片から成る芯層のサンドイッチ構造やクロスバンド構造などの積層材も製造した。これらの積層材の側面と木口面からそれぞれ照射方向を 7 mm 厚にした試片を切り取り、それらに 30 kV-10 mA-90 sec の条件で軟 X 線を照射して写真に撮った。そして、単板片の変形や継目部の固定状態、単位断面積当りの間隙面積（間隙率）および単板片の破断状態などを観察測定した。

積層材の繊維方向の静的曲げ試験はスパン 15~35 cm

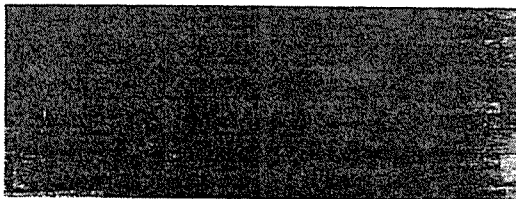
の中央集中荷重の単純梁で行い、曲げヤング係数  $E$ , 比例限度応力  $\sigma_p$  および破壊係数  $\sigma_m$  を求めた。さらに、曲げにおける積層材の引張側最外縁部に構成された単板片の表面における長さ中央部と接合部（第 7 図）に生ずる繊維方向のひずみをストレンゲージを貼付けて実測した。一方、同じ断面で同じヤング係数を持ち、継目のない均質な材料を想定し、その曲げにおいて同じ各部位の曲げ応力に伴うひずみの理論計算値を求めた。これに対する積層材における実測値の比、すなわち曲げ応力増大に伴うひずみ比の変化過程を求め、曲げにおける単板片端部のはく離による破壊進行状態を調べた。

## 2. 結果と考察

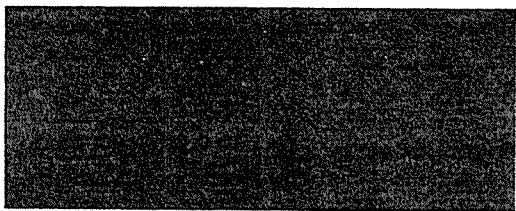
単板片の配列様式として、第 1 図に示すように、繊維方向とそれに直交方向に対しそれぞれ重合せ L, 突付け B および無継目 S の 3 種、それを構成する単板片の寸法



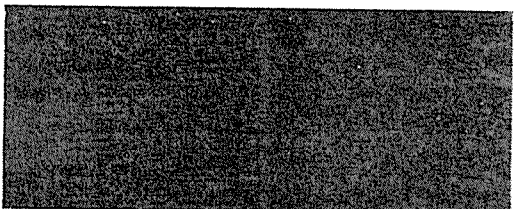
第 1 図 単板片積層材の内部構造の表示



(A) B-L 15-3 (1.5) 12 p



(B) L-B 15-3 (1.5) 12 p

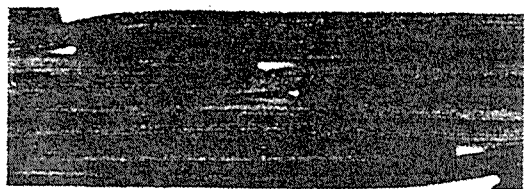


(C) L-L 15-3 (1.5) 12 p

写真 1 各種配列様式の単板片積層材面

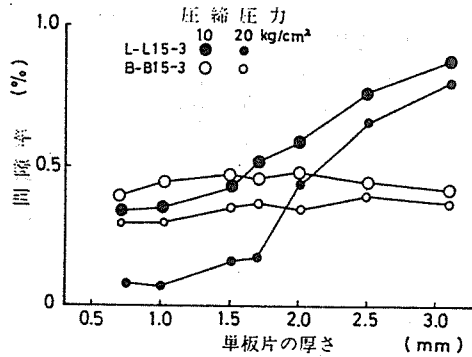


(A)



(B)

写真 2 突付け配列 (A) と重合せ配列 (B) の側断面 (軟 X 線照射)

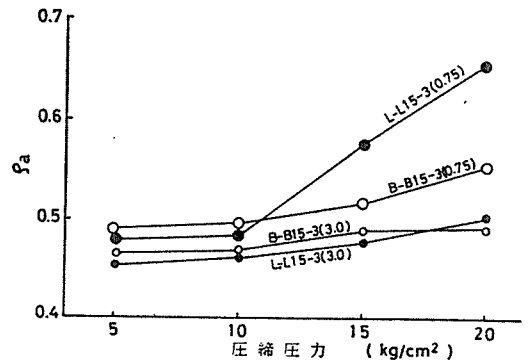


第2図 各種配列様式の積層材における構成単板片の厚さと間隙率との関係

を長さ、幅および厚さ、さらには積層枚数などを連記して基本的な単板片積層材の構造を表わした。たとえば、写真1に代表的な二、三の配列様式をとった単板片積層材の材面を示す。

### 2.1 内部構造の形成

配列様式との関係を調べると、突付け配列の場合は積層材中において、ほぼ直線状に連なった層を形成する。突付け部での間隙の程度は単板片端部木口同士または側面端部同士の切口整合、配列時の突付け精度などで決まる(写真2-A)。一方、重合せ配列では、重合せられた単板片が段違いの堆積をしているため、熱圧時の圧縮圧力が単板片端部とその付近に集中的にかかることによって曲げ変形を受けて固定され、単板片端部とその近傍は局部的に永久圧縮変形をして高密度化する。そして、厚い単板片の重合せ配列における上下の単板片間にはさまれた端部では厚さに相当する間隙が長さ方向に先細り状に伸び<sup>3)</sup>、有効接着面積を損失する状態が強く現われる(写真2-B)。短くて幅の狭い単板片による構成ほど内部間隙は多くなるが、特に単板片の厚さと内部構造形成の関係は密接である。すなわち、第2図に示すように、単位断面積当りの間隙率は突付け配列の場合には厚さに関せずほぼ一定である。しかし、重合せ配列では圧縮圧力の効果が薄片で著しいことから明らかなように、薄片に



第3図 薄片または厚片構成の各配列様式における比重と熱圧の圧縮圧力との関係

おいて熱圧時の永久変形の固定が強く起きるために著しく間隙が縮減する。しかし、厚片においてはその変形固定が困難であり、有効接着面積が減り、突付けよりも大きな間隙率を示す。

次に、木口断面における内部構造をみると、幅方向重合せの場合に薄片構成での波状の曲げ変形と類似の変形が厚片構成でも認められ、繊維に直交方向においては単板片がかなり十分に変形固定される状態を示す(写真3)。

熱圧の圧縮圧力増大によって気乾比重  $\rho_a$  は高まるが、特に薄片での圧縮圧力の効果は顕著である(第3図)。そして、厚片構成での  $20 \text{ kg/cm}^2$  以上の高圧縮圧力で製造された積層材では、重合せの端部同士が接近した部分にはさまれた単板片において局部的な曲げせん断に基づく破断を起こしている場合もある(写真4)。

### 2.2 静的曲げの性質

比較的薄い、1.5 mm 厚の単板片での各種の配列様式をとった積層材において、長さ方向(繊維方向)に継目なしの S-ではいずれの幅方向の配列様式においても  $E$ 、 $\sigma_p$  および  $\sigma_m$  とも大きな値をとり、次に長さ方向に重合せ L-では高比重化して S-の場合につく値をとり、長さ

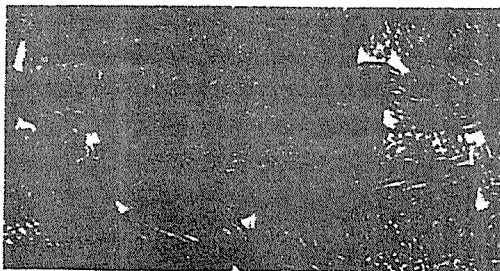


写真3 3.0 mm 厚片の重合せ配列による積層材の木口断面(軟X線照射)

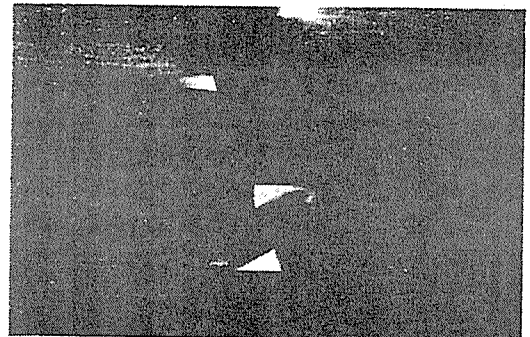


写真4 高圧縮圧力  $20 \text{ kg/cm}^2$  で製造された厚片・重合せ配列の積層材における内部破断(軟X線照射)



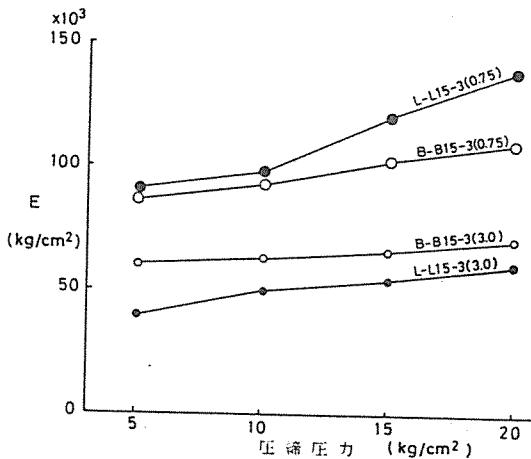
第1表 1.5 mm 厚の単板片から成る各種の配列様式をとった 12-ply 単板片積層材の曲げの性質

配列様式	$E$	$\sigma_p$	$\sigma_m$	$\rho_a$
S-Ln-3	124	530	1 095	0.56
S-Bn-3	120	591	1 103	0.55
S-S(LVL)*	121	608	1 061	0.54
<hr/>				
B-L 15-3	98	398	565	0.53
B-B 15-3	100	368	570	0.51
B-S 15-n	101	374	561	0.52
<hr/>				
L-L 15-3	108	426	706	0.59
L-B 15-3	104	409	612	0.58
L-S 15-n	112	456	805	0.59

n : 継目なしで制限寸法なし

\* : 継目なしの LVL

$E, \sigma_p, \sigma_m$  および  $\rho_a$  : 曲げヤング係数 ( $10^3 \text{ kg/cm}^2$ ), 曲げ比例限度応力 ( $\text{kg/cm}^2$ ), 曲げ破壊係数 ( $\text{kg/cm}^2$ ), および気乾比重



第4図 薄片または厚片構成の各配列様式における積層材の曲げヤング係数 ( $E$ ) と熱圧の圧縮圧力との関係

方向突付け B-で最も低い値を示す (第1表)。

ところで、第4図でも明らかなように、圧縮圧力が高いほど  $E$  は増大するが、特に薄片構成の重ね配列でその傾向が著しい。そして、いずれの圧縮圧力においても薄片構成では重ねの方が大きな  $E$  を示し、厚片構成では逆に突付けの方が大きな  $E$  を示す。

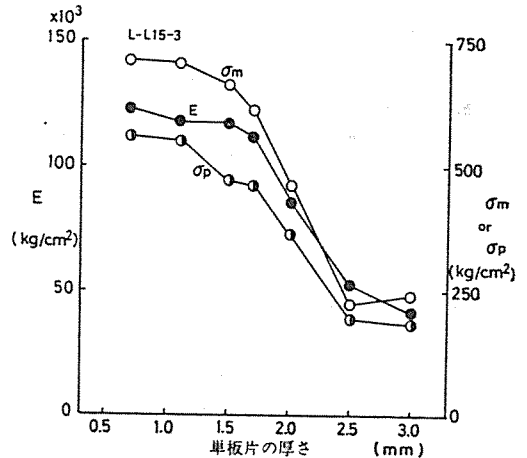
単板片の寸法、特に厚さの影響は、間隙率との関係で察せられるように、L-L 配列の場合に特に大きく、 $E, \sigma_p$  および  $\sigma_m$  も厚さ 1.5~2.5 mm 間で急変する傾向を示す (第5図)。単板片の長さの影響は 7.5~20.0 cm の実験範囲内では長いほどやや増大する程度であるが、幅の影響は厚片構成において比較的顕著に現われる。

次に、積層数の増加、特に 6 ply までにおいて曲げの

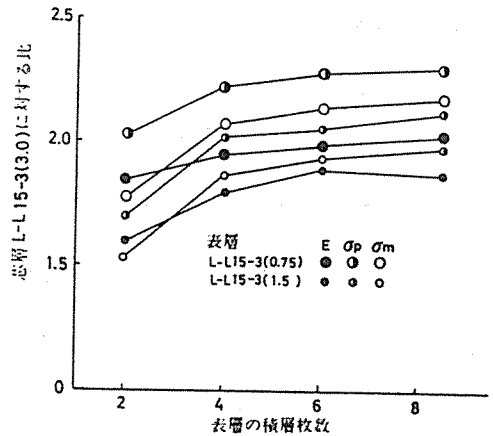
第2表 サンドイッチ構造と交互堆積構造との曲げの性質

	表層	芯層	$E$	$\sigma_p$	$\sigma_m$
サイン ドチ	L-L 15-3(0.75)6 p,	(3.0)8 p	124	542	805
	L-L 15-3(1.5)3 p,	(3.0)8 p	95	486	734
1層ごと堆積			$E$	$\sigma_p$	$\sigma_m$
交積	L-L 15-3(0.75)12 p,	(3.0)8 p	98	479	613
互層	L-L 15-3(1.5)6 p,	(3.0)8 p	72	417	561

$E, \sigma_p$  および  $\sigma_m$  : 第1表に同じ

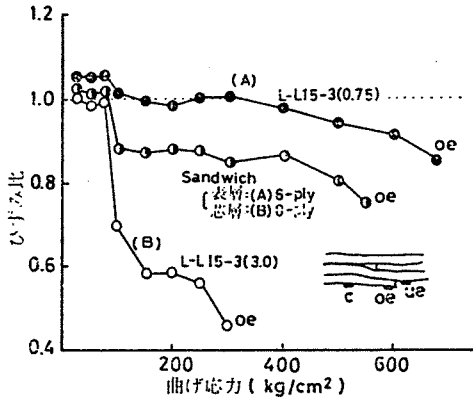


第5図 重ね配列 L-L 15-3 における構成単板片の厚さと積層材の曲げの性質との関係



第6図 薄片・重ね配列の表層と厚片・重ね配列の芯層から成るサンドイッチ構造積層材にて、その芯層に相当する積層材に対する曲げの性質の比が表層の積層数によって受ける効果

性質が明確に向上する。層構成の効果を調べると、繊維方向長さ 15 cm、幅 3 cm で 0.75 mm の薄片と 3.0 mm の厚片との交互堆積による両方向重ね L-L の積層では、3.0 mm 厚の単板片のみの構成に比して 1.5~



第7図 薄片・重合せ配列 (A), 厚片・重合せ配列 (B) の各種層材および表層 (A)・芯層 (B) のサンドイッチ構造積層材の曲げ引張側最外縁部 oe 部における曲げ応力に対するひずみ比の変化過程

2.0 倍に曲げの性質が向上する (第2表)。特に、低い圧縮圧力で製造した場合にその効果が大きい。また、芯層を 3.0 mm の厚片で L-L 配列とし、表層を 0.75 mm または 1.5 mm の薄片で L-L 配列としたサンドイッチ構造での表層の積層数の増加に伴う芯層に対する増強度はいずれも 4 ply 以上で大きな値をとる (第6図)。このサンドイッチ構造と前述の交互堆積構造との曲げの性質を比較すると前者の方が優れた性質を示す (第2表)。さらに、合板のように繊維方向直交の三層クロスバンド構造として、表層を薄片・重合せ配列、芯層を厚片・重合せ配列で構成させた積層材では表層繊維方向に平行ならびに直交方向のいずれの曲げにおいても合板に比較的近い強度値を示す。

### 2.3 曲げにおける単板片の変形挙動

前述したように、各単板片積層材と同じ曲げヤング係数で同じ断面をもつ無継目の均質材料の曲げひずみの理論計算値に対する積層材におけるその実測値の比の曲げ応力増大に伴う変化過程を求めた。このひずみ比が1の場合を基準にして変形ひずみの挙動を検討すると、曲げの応力増大に対するひずみ比の変化は外縁部を構成する単板片の継目部 oe, ue および中間部 c などでその様相が異なる。特に oe 部は応力増大とともにひずみ比の低減傾向が鋭く、なかでも、厚い単板片構成においてこの傾向が大きい (第7図)。これは、厚い単板片構成では、曲げ破壊へ至る際に引張側外縁部で単板片端部が写真 5-A で示すようにはく離破壊へ進んで行く傾向による。

そこで、薄単板片を重合せで表層に構成し、芯層に厚単板片を構成させてサンドイッチ構造にすれば、第7図のように曲げの異常なひずみ変化過程が著しく消去され、

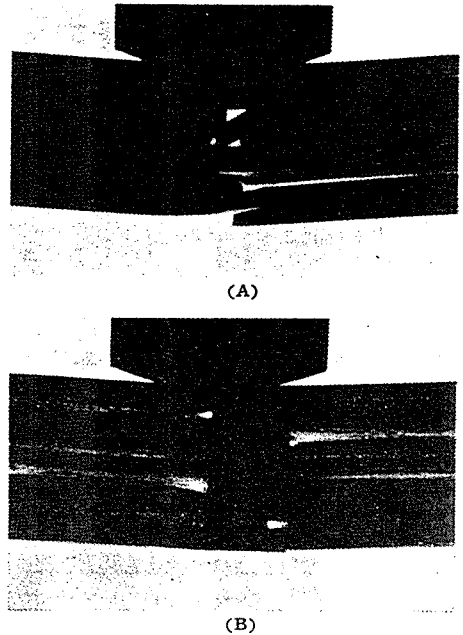


写真 5 厚片・重合せの単板片積層材 (A) とそれに薄片・重合せの表層を構成させたサンドイッチ構造積層材 (B) との曲げ破壊進行状態 (軟X線照射)

写真 5-B で明らかなように曲げ破壊へ至るはく離現象がかなり抑制され、曲げの性質が向上する。

## 結 語

厚さ 1.5 mm 以下の比較的薄い単板片を重合せ配列した積層材では、熱圧における圧縮圧力の効果がよく、変形固定のよい内部構造が形成され、優れた曲げの性質を示す。それより厚い単板片の構成では、突付け配列の方が重合せ配列より曲げの性質がよい。

特に、薄片・重合せの表層と厚片・重合せの芯層とのサンドイッチ構造ならびにクロスバンド構造では、厚片・重合せのみの積層材にて現われる曲げにおける引張側最外縁での平板片端部のはく離進行によって生ずる異常変形ひずみが著しく消去され、曲げの性質が向上する。

## 文 献

- 1) William T. Simpson : Wood Science, Vol.10, No.2, pp.68~71 (1977)
- 2) Craig E. Shuler, Robert A. Kelly : F. P. J., Vol.26, No.6, pp.24~28 (1976)
- 3) Theodore L. Laufenberg : F. P. J., Vol.33, No.9, pp.21~28 (1983)

(1984.1.8 受理)

# 10 カラマツLVLの水に対する性質 (第1報)

真田 康弘 北村 維朗\*  
森 泉 周 高橋 利男

## The Hygroscopicity and Water-Absorption of Japanese Larch LVL ( I )

Yasuhiro SANADA  
Shu MORIIZUMI

Tadao KITAMURA  
Toshio TAKAHASHI

Tests were performed on samples of Japanese larch LVL to know their hygroscopicity and water-absorption. The method of manufacturing the LVL examined in this report was developed by Hokkaido Forest Products Research Institute. The report contains water absorption quantity, saturation-drying repetition, and exposure. Water absorption and swelling were smaller with the heartwood LVL than with the sapwood LVL, and in the exposure tests, the heartwood had very small swelling. Residual swelling occurred in both the sapwood and the heartwood.

林産試験場で開発した製造システムにより造られたカラマツ単板積層材(LVL)の吸湿吸水性を求め、辺材と心材それぞれからなるLVLを用いて、吸水量、吸水—乾燥繰り返し及び屋外暴露試験を実施した。その結果、心材LVLは辺材LVLに比べ吸湿、吸水をしにくく膨張率も小さいこと、辺材LVL、心材LVLとも半径方向の膨張が乾燥後も一部残留すること、心材LVLは屋外暴露における重量変化率、寸度変化率が小さいことなどが認められた。

### 4. まとめ

- 1) 心材LVLの吸水量は心材素材に比べ、木口面では約1.7倍だが、柾目面及び板目面の差は少ない。
- 2) カラマツLVLの吸湿吸水性は辺材と心材で大きく異なる。心材LVLは辺材LVLに比べ、吸湿吸水をしにくく、膨張率も小さい。
- 3) 吸水—乾燥を繰り返した場合、吸水による膨張及び重量増加と時間の関係は、初回と2回目以降の吸

水の間で異なった傾向を示す。

- 4) 辺材LVL、心材LVLとも吸水による半径方向の膨張は、乾燥後も一部残留する。
- 5) 屋外暴露試験における含水率は、心材LVLで最高24%程度、心材LVLで最高13%程度であった。心材LVLの寸度変化及び重量変化はかなり少ない。

# 1 1 国産針葉樹 LVL の曲げ性能\*

李 銓 濟\*\*・大熊 幹 章\*\*

## Bending Properties of LVL made from Domestic Softwood

Jun Jae LEE, Motoaki OKUMA  
Faculty of Agriculture, Tokyo University

Laminated veneer lumber (LVL) is an inherently efficient use of low grade logs, such as thinnings, and has become gradually to arouse the industry's interest in Japan. In believing that LVL must grow into one of the important wood based materials in near future, the another fundamental experiments on the mechanical properties of LVL were undertaken. Results obtained are summarized as follows;

(1) The failure patterns could be classified into three types in the bending test of the specimen composed of two layers of veneer with butt joints of various joint spacing, namely 1) failure along the glue line, 2) failure at the butt joint just under the loading point and 3) failure at another butt joint which is apart from the loading point. It means that the strength of LVL is influenced by those of the glue line and the veneer besides the end joint spacing of veneers.

(2) In bending test of 3-6 ply specimens prepared by larch rotary veneers, it was also recognized that the failure initially propagated vertically to the span for the specimen, in which the early wood came on the tip of the butt joint of outer veneer. On the other hand, the failure propagated horizontally for the specimen, in which the late wood came on the tip of the butt joint. Maximum bending moment of the latter was greater than that of the former.

(3) MOE and MOR of 204 sized LVL made from small size rotary veneers cut from thinnings of Sugi, Hinoki and larch were investigated. MOE of LVL is as same as that of the sawn timber of the same species, however, MOR is much lower than the value of the sawn timber. It is caused by the existence of butt joints in LVL. On the other hand, coefficients of variance of LVL is smaller than those of the sawn timber. This is one of the significance of manufacturing LVL.

### はじめに

LVL という言葉を聞いてからすでに十余年になるが、当初考えられたほどの製造、利用の伸びは見られないようである。しかし、資源問題、家具、住宅の生産性向上、質的向上への要請、ラワン合板工場の将来性などに関連して一般用を中心にして着実に生産は増加している。最近では構造用 LVL の登場を望む胎動も感じられる。

LVL が近い将来、木質材料の一分野を担う重要な材料になるとの考えのもとに、住宅・木材技術センターを中心に資料の収集、実験が進められており、構造用 LVL に関する技術的検討も進展していると考えてよからう。

ここでは、国産針葉樹間伐材による LVL を中心に基礎的実験を行ったので報告したい。構造用 LVL 確立の一助になれば幸いである。なお、一部の実験は林野庁、南洋材等代替原料開発促進事業<sup>2)</sup>の補助を受けて行った。関係各位に深謝する次第である。

さて、我が国の木材工業は、東南アジアを中心にした

\* 本研究の一部は第 32 回日本木材学会大会 (京都, 1983) において発表した。

\*\* 東京大学農学部

原木産地国からの輸入丸太の上に成り立ってきたと言えよう。ところが最近では原木産地国における自国木材工業の育成、資源保護の動きがますます強まり、丸太の輸出規制、価格高騰となって現われてきており、原木確保に大きな不安が生じてきている。

一方、我が国の木材資源については、戦後拡大造林された人工林は 1 000 万 ha にのぼり、その大半はいまだ弱齡であるが、これらが本格的な伐期に達する昭和 70 年以降には、諸条件が変らないとして約 8 000 万 m<sup>3</sup>/年の供給能力をもつという。その中には間伐材を含めて小径低質材も多く含まれよう<sup>3)</sup>。これらの造林木を何としても使いこなさなければならない。

すなわち、国産造林木、できることならその低質部分からの製品製造が今強く望まれている。ここに LVL が登場してくる。

## 1. LVL の強度発生単位——2 プライ単板積層物の曲げ

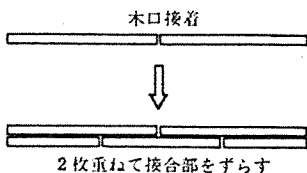
### 1.1 LVL の強度発生メカニズム

まず、LVL の強度発生メカニズムについて簡単に考察する。

すべての木質材料は再構成材料である。これを構成する単位をエレメントと呼ぶことにすると、エレメントの大きさは、原料の大きさに当然左右されるが、できる範囲で大きく取った方が製品の製造エネルギーが小さくなり、性能は向上する。今、原料として小径丸太が与えられているのであるから、用意するエレメントとしては削片やファイバーではなく単板を考えるべきである。

この場合、間伐材等の小径で曲りの多い丸太を能率よく、また歩留り高くロータリー切削するためには、切削長さを短くせざるを得ない。すなわち、得られる単板は繊維方向に短い短尺単板であり、これを製品に構成していくには単板の縦つぎが不可欠になる。

単板の縦つぎは木口接着となり、現在の技術では工場生産ラインで常に安定した接合効率（ノジョイント単板と同程度か、それ以上の強度を保持すること）を得ることは困難であろう。したがって第 1 図に示すように、単板の繊維方向を平行にして、縦つぎ部を厚さ方向に階



第 1 図 LVL の強度発生メカニズム

段状にずらして重ねた単板積層物を強度発生単位とせざるを得ない。LVL はまさにこの単板積層の原理に基づいた一軸材料（一方向に強い棒状製品）である。

### 1.2 2 プライ LVL の曲げ破壊性状

強度発生の最小単位として 2 プライ積層物（2 プライ LVL）を取り上げ、両単板層に存在する縦つぎ部の距離（避距）を変化させて試験片を作り、曲げ性状を考察した。

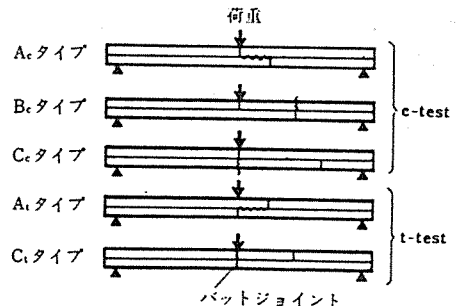
#### (1) 供試材料

北海道林産試験場製の厚さ 1.0, 2.2, 3.5 mm のラワン単板を繊維方向を平行にして 2 枚ずつ重ね（等厚構成）、熱圧接着した。なお、ラワン単板を使用したのは春夏材の差、節の存在等の影響をできるだけ避け、曲げ性状に与える縦つぎ部の影響のみを抽出するためである。相隣る単板間の縦つぎ部（バットジョイント——突き付け）の避距  $D$  を  $D=5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120$  mm と変化させ、合計 30 種類のサンプルを用意した。使用した単板の大きさは 45 cm × 45 cm で、節などの欠点のないものを選んだ、バットジョイントの隙間は 1 mm 以下にした。

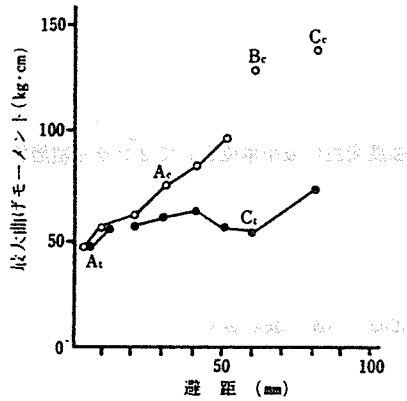
#### (2) 実験方法

各サンプルより長辺方向が繊維方向に一致するようにして幅 50 mm、長さ 170~350 mm の短冊状の試験片を裁断したが、このとき試験片の長さ方向の中央に表裏どちらか一方の縦つぎ部が一致するようにした。

20°C、65% RH の恒温恒湿室内に 1 か月以上放置して含水率を調整したのち、同室内で中央集中荷重方式により曲げ試験を行った。この際、第 2 図に示すように荷重点直下に縦つぎ部を一致させるが、縦つぎ部が圧縮側に来る場合と引張側に来る場合に分けて試験を行った。前者を c-test、後者を t-test と称することにす。なお、スパンは原則として厚さ 2.0 mm の LVL については厚さの 60 倍、厚さ 4.4 mm については 28 倍、厚さ 7.0 mm については 25 倍と、それぞれの厚さの試験体について一定としたが、一部  $D$  の大きいものに



第 2 図 2 プライ LVL の曲げ試験と破壊のタイプ  
---: 破壊箇所



第3図 2プライ LVL (幅 50 mm) の最大曲げモーメント (2.2 mm 単板使用の場合)

○: c-test, ●: t-test  
A<sub>c</sub>, B<sub>c</sub>, C<sub>c</sub>, A<sub>t</sub>, C<sub>t</sub>: 破壊のタイプ (第2図参照)

ついでにはスパンをより大きくとり (せん断の影響は小さくなる) 避距が長い場合でも一方の縦つき部が支持点から内側に 30 mm 以上離れるように調整した。

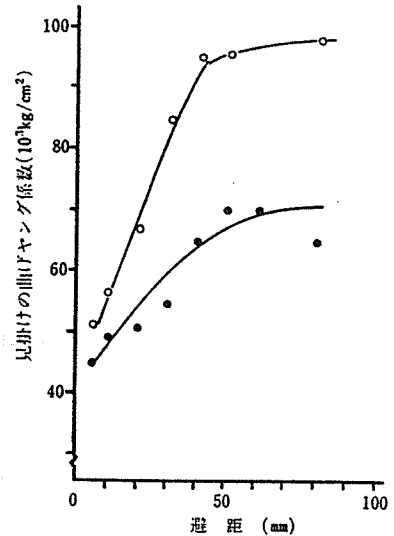
### 1.3 実験結果と考察

曲げ試験を行い、たわみと最大荷重を測定し、見掛けの曲げヤング係数 MOE と最大曲げモーメント  $M_0$  を求めた。第3図、第4図に 2.2 mm 単板使用のサンプルについての結果を縦つき間距離  $D$  を横軸にとって示した。各点は8個の試験片についての平均値である。なお、他の2種類の単板厚さの試験片についての結果は 2.2 mm 単板のそれとほぼ同様なので省略する。

#### (a) 破壊形状について

試験片の破壊形状は縦つき部の避距  $D$  および荷重点下の縦つき部の位置 (c または t-test) によって変化した。それらは第2図に示すように分類することができた。すなわち、c-test においては接着層のせん断破壊を示す場合 (A<sub>c</sub> タイプ)、荷重点下でない方の縦つき部の上部の単板が曲げ破壊する場合 (B<sub>c</sub> タイプ)、荷重点直下の縦つき部の下部の単板が曲げ破壊する場合 (C<sub>c</sub> タイプ) の3種類であり、t-test では縦つき部間の接着層がせん断破壊する場合 (A<sub>t</sub> タイプ) および荷重点直下の上部の単板が曲げ破壊する場合 (C<sub>t</sub> タイプ) の合計5つのタイプである。最大曲げモーメント  $M_0$  と避距  $D$  との関係を示す第3図においては、上記の破壊形状別に分類してプロットした。

各試験片がどのようなタイプの破壊をするかは、接着層に働くせん断応力、縦つき部に発生する曲げ応力の大きさとそれらに対する接着層、単板の強さとの関係によって定まるわけであり、それらの相互関係が試験片の厚さ (単板の厚さ) および縦つき間の避距によって変化する



第4図 2プライ LVL の見掛けの曲げヤング係数 (2.2 mm 単板使用の場合)

○: c-test, ●: t-test

るのである。

#### (b) 最大曲げモーメントについて

各試験片において破壊形状が異なるため、破壊強さを算出するのは困難である。また避距  $D$  によってスパンの長さを調整したために破壊荷重そのもので各試験片間の強度比較を行うことも正しくない。そこでここでは、最大曲げモーメントを指標とすることにした。すなわち、試験片中央にかけうる最大荷重を曲げモーメントに換算し、試験片幅 50 mm 当りの耐えうる最大曲げモーメントを求めたわけである。

第3図を見ると次のことが認められる。

- 避距  $D$  が小さいと c, t-test のどちらの場合でも接着層破壊が生じる。この場合の  $M_0$  は単板破壊を生ずる B, C タイプの場合の  $M_0$  よりも常に小さい。
- 接着層破壊を示す場合 (A<sub>t</sub>, A<sub>c</sub>) の  $M_0$  は  $D$  が増加するとともに直線的に増大する。これは  $D$  とともに接着面積も直線的に増加するためである。
- $M_0$  は c-test の場合よりも t-test の場合の方が常に小さい。したがって、最も危険な場合として引張側中央に縦つき部があり、そこに集中荷重が働く場合を想定して材料設計を行えばよいことになる。

● すなわち、避距  $D$  は製品が接着層破壊から単板破壊に移行する点 (t-test の場合  $D=20$  mm, 単板厚さの約 10 倍) を越えていなければならない。

いずれにせよ、LVL の基本単位となる 2プライ LVL については、避距は単板厚さの 10 倍以上取らねばならないが、接着層の強さ、単板の強さが複雑に関係してお

り、避距はさらに十分に安全を見て大きくとるべきであろう。

(c) 見掛けのヤング係数について

縦つぎ部のある試験片の曲げ変形は厳密に見れば初等理論に基づく弾性変形をしていないので、通常の計算式による MOE の算出には問題があるが、スパンの異なる試験片間のため特性を比較するために（見掛け）のヤング係数を算出した。

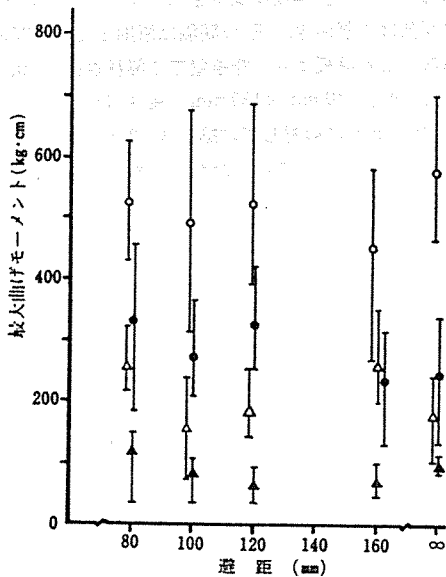
第4図を見ると、t-test は c-test より常に小さい MOE を与えること、さらに  $D$  とともに MOE は増加するが、 $D=50$  mm（単板厚さの約 25 倍）を越えると一定となることが認められる。

2. カラマツ LVL の曲げ性状

すでに述べたように LVL の主要原木としては針葉樹造林木が対象となろう。ここではカラマツ単板で LVL を作り、曲げ特性に及ぼす縦つぎ部の影響を考察した。

2.1 供試材料

直径 10~30 cm のカラマツ間伐材丸太からロータリー切削した厚さ 2.2 mm 単板（東洋プライウッド（株）製）を用い、3、4、5、6 プライの LVL を製造した。単板は 50 cm × 50 cm の寸法のもので、節などの欠点をできるだけ避けた。LVL の一方の最外層単板と第 2 層単板に縦つぎ部（バットジョイント）をおいたが、両者の間隔（避距  $D$ ）を 80、100、120、160 mm および  $\infty$  と 5 種類に変化させた。なお、 $D=\infty$  は第 2 層



第5図 カラマツ LVL（幅 50 mm）の最大曲げモーメント（平均値と範囲）  
○：6プライ、●：5プライ、△：4プライ、▲：3プライ

に縦つぎ部がないことを示す。

2.2 実験方法

最外層単板の縦つぎ部が長さ方向の中央に来るようにして長さ 450 mm、幅 50 mm の短冊状の試験片を各種類 5 個ずつ裁断した。試験片は含水率を調整した後、中央部の縦つぎ部が引張側に来るようにしてスパン 400 mm で中央集中荷重方式により曲げ試験を行い、破壊荷重から最大曲げモーメントを求めた。

2.3 実験結果と考察

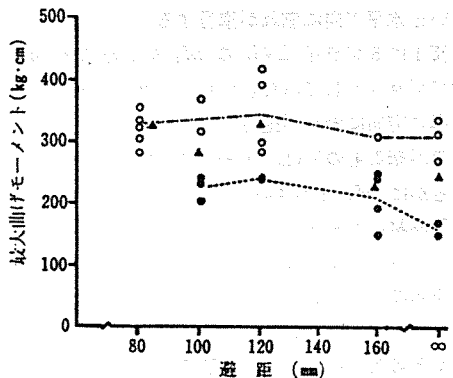
最大曲げモーメント  $M_0$  と避距  $D$  との関係を第5図に示す。この図においては、同一条件の試験片 5 個についての平均値とバラツキの範囲を示している。この図より次のことが認められる。

- 平均値のみを見れば、 $D$  を 80 mm 以上（単板厚さの 36 倍以上）に取れば、プライ数に関係なく、 $M_0$  はほぼ一定値を示し、第 2 層に縦つぎ部のないもの（ $D=\infty$ ）と同等の性能を有する。すなわち第 2 層の縦つぎ部の影響はなくなる。この結果は従来の実験結果と同じである。

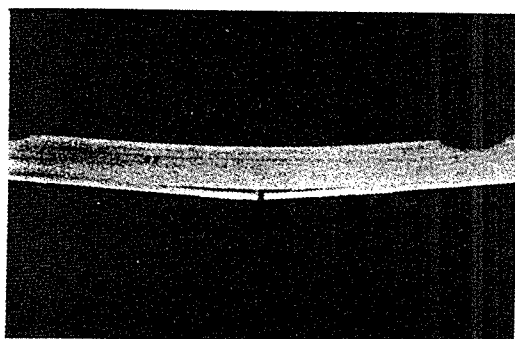
- プライ数が増加すると  $M_0$  は増大する。 $M_0$  は最大荷重と関係するから、プライ数が増して試験片が厚くなると大きくなるのは当然である。

- $M_0$  の変動幅が従来のラワン単板のもの比べてきわめて大きい。

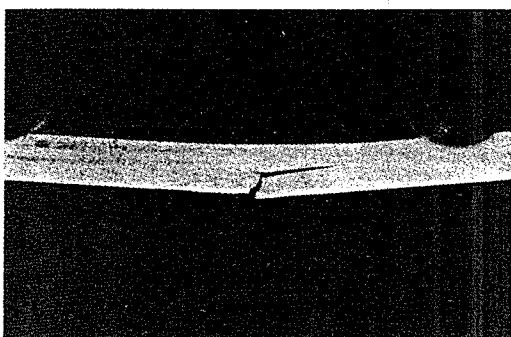
カラマツ LVL の強度のバラツキが大きくなる原因を知るために試験片の破壊状態を仔細に観察してみた。破壊は 2 種の形態に分類できる。すなわち、試験片の引張側中央に存在する縦つぎ部の先端から垂直に（厚さ方向に）初期割れが進行するものと、縦つぎ部の先端から水平に（スパン方向に）割れが進行するものとに分類でき



第6図 5プライカラマツ LVL（幅 50 mm）の最大曲げモーメントと初期破壊の形態  
○：初期破壊が水平方向に進む場合  
●：初期破壊が垂直方向に進む場合  
△：平均値



(a) 初期破壊が水平方向に進行する (バットジョイント底部に夏材)



(b) 初期破壊が垂直方向に進行する (バットジョイント底部に春材)

写真 1 2種類の破壊型

た。第6図に典型的な両者の破壊状況の写真を示す。

このような破壊状態の違いは、縦つぎ部の先端(底部)に夏材部が来るか、春材部が来るか、あるいは両者の割合によって決定されるようである。すなわち、縦つぎ部の底部にカラマツ単板の春材部が来ると、あるいは春材部の割合が多いと厚さ方向に初期割れが進行し、縦つぎ部の底部に夏材部が来ると、あるいは夏材部の割合が多いと水平方向に割れが進行する。

写真1に5プライ LVL の  $M_0$  を2種の破壊形態に分けてプロットしてみた。明らかに2グループに分けられ、厚さ方向に割れが進行するもの(縦つぎ部の底部に春材部が来るもの)は、水平方向に割れが進んだものよりはるかに  $M_0$  は小さい。

針葉樹材のロータリー単板では、単板の厚さ方向に春材部、夏材部が交互に繰り返して出現するから、縦つぎ部の底部にどちらかが来る確率は、春材、夏材の含有率に一致するであろう。同様なことが節の存在についても言えると考えられ、これらの事について更に実験を進める必要がある。カラマツ等の針葉樹材による LVL では、ラワン LVL に比較して、縦つぎ部周辺の組織構造による強度のバラツキが大きいに十分に注意しなければならない。

### 3. 針葉樹造林木による LVL の曲げ性能<sup>2)</sup>

今後大量に生産されるであろう針葉樹造林木の有効利用を目的として、これを LVL に転換し、曲げ性能を検討した。

#### 3.1 供試材料

単板樹種はスギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツである。このうちアカマツ以外はいわゆる間伐木である。それぞれの原木について記述する。

スギ：岐阜県神岡産 すべて 3m 材で末口径 10~13cm

ヒノキ：愛知県三河産 すべて 3m 材で末口径 8~12cm

カラマツ：長野県辰野産 すべて 4m 材で末口径 12~14cm

アカマツ：島根県飯石産 2.2m 材；末口径 18~38cm, 3m 材；末口径 20~28cm, 4m 材；18~30cm

スギ、ヒノキ、カラマツ原木は長さ 53cm に玉切りし、小型ロータリーレースで剥き芯径約 50mm までロータリーカットし、厚さ 2.2m, 寸法 50cm×50cm の単板を多数得た。一方、アカマツ原木は長さ 110cm に玉切りし、通常のレースで切削したのち、同じく 50cm×50cm の単板に裁断した。

上記の単板から 19 プライの LVL 原板をニリア樹脂接着剤を用いて熱圧製造した。全単板の繊維方向を平行に積層している。単板の縦つぎはバットジョイントで、縦つぎ部は1層おき、その間隔は原則として 250mm である。この原板より、枠組壁工法製材規格の 208 材に準じて、断面 40mm×189mm, 長さ 4m (アカマツ LVL は 2m) に製材して試験体を得た。試験体個数は各樹種 16 体ずつである。なお、アカマツ LVL は日新林業(株)、他は東洋プライウッド(株)名古屋工場で製造されたものである。

#### 3.2 実験方法

スギ、ヒノキ、カラマツの3種類については材長を 3m に切断し、スパン 2600mm で単純支持して三等分点2点荷重の曲げ試験を行った。アカマツも同様の試験法によったが、スパンは 1800mm とした。なお、試験はすべて Vertical 試験(接着層面が荷重方向に平行—たて使い)で行っている。

#### 3.3 実験結果および考察

曲げヤング係数  $E$  および曲げ強さ  $\sigma$  の平均値と変動係数を第1表に示す。同表には比較のためにスギ間伐素材のヤング係数の値も示す。スギ素材は 105mm×105mm の製材柱についての測定値でこの材は LVL 製造



第1表 国産針葉樹材による LVL の曲げ性能

樹種	ヤング係数 (10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )		曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	
	LVL	素材	LVL	素材
スギ	88.9(0.05)	60.8(0.15)	283(0.12)	—
カラマツ	115(0.05)	114*	290(0.11)	952*
ヒノキ	124(0.04)	78*	423(0.13)	666*
アカマツ	100(0.05)	110*	367(0.07)	906*

\* 文献<sup>5)</sup>による値。  
( ) 内は変動係数を示す。  
LVL の値は 16 体の平均値。

に用いた丸太と同一ロットのものである。また、他の 3 樹種については文献<sup>6)</sup>より素材の  $E$ ,  $\sigma$  を引用してのせたが、この値は主伐材でしかも無欠点材についての値である。

第1表を見ると次のことが認められよう。

●  $E$ ,  $\sigma$  の両方について、ヒノキが一番大きな値を示し、スギが最も小さい。スギ LVL では特に未成熟材部の影響が大きいであろう。

● スギ製材品の  $E$  は 60 800 kg/cm<sup>2</sup> と低めであるが、これから製造した LVL では  $E$  は 89 000 kg/cm<sup>2</sup> と約 4 割上昇している。また変動係数も 0.15 から 0.05 へ減少している。第3章で針葉樹 LVL の縦つぎ部周辺の木材組織による性能のバラツキに関する実験結果を得ているが、製材品に存在する節等による影響の方が大きく、ここに間伐材の LVL 製品化の意義が存在するようである<sup>5)</sup>。

● 造林木から作られた LVL 全体について、樹種に関係なく  $E$  の変動係数は 0.05 程度であり、 $\sigma$  のそれはやや大きく約 0.10 である。これらの数値は、それぞれの素材についての値より小さいことは明らかであり、針葉樹 LVL もラワン LVL と同様に材質の変動の少ない材料と言えよう。

●  $\sigma$  については、素材の文献のデータが主伐材で、しかも無欠点材についての値であるとしても、LVL の値はそれらよりもかなり低い数値をとる。

● 破壊箇所は、スパン中央ないしは荷重点直下付近で

単板のバットジョイントが集中する部分であり、このことから  $\sigma_b$  は単板の接合方法および接合部の配置に大きく左右されると考えられる。

#### 4. まどめ

以上、間伐材等小径丸太から得られる短尺単板を縦つぎして製造する LVL の材質に関する基礎的実験を行い、次のような結果を得た。

- (1) LVL の強度発生単位となる 2 プライ LVL (ラワン単板使用) の曲げ試験を行い、破壊時の(最大)曲げモーメントは、単板縦つぎ部の避距のほか、接着層強さ、単板の強さ等が複雑に関係することを認めた。
- (2) LVL の主要な原料となる針葉樹単板を用いた LVL (カラマツ単板使用) の曲げ試験によって、単板縦つぎ部周辺の春、夏材の存在状態が性能に大きな影響を与え、性能の変動を大きくしていることを知った。
- (3) スギ、ヒノキ、カラマツ間伐材から得た短尺単板による 208 材 LVL の曲げ試験を行い、ヤング係数は素材と同等かそれを上回る値を示すが、曲げ強さは低下すること、一般に素材よりも材質の変動が小さくなることを認めた。

#### 文 献

- 1) 日本住宅・木材技術センター：LVL 委員会昭和 57 年度報告書 (1983)
- 2) 日合連：南洋材等代替原料開発促進事業昭和 56 年度、同 57 年度報告書 (1982, 1983)
- 3) 左達一也：木材工業, 27 (11), 27~31 (1981)
- 4) 有馬孝礼・大熊幹章：木材工業, 28 (6), 19~21 (1973) など
- 5) C. E. Antonides: Characteristics and applications of Micro=Lam LVL, Preprint of ASCE meeting (1982) など
- 6) 中井 孝・山井良三郎：日本産主要 35 樹種の強度的性質, 林試研報 No.319 (1983)

(1984. 2. 18 受理)

# 1. 2 カラマツLVLの強度性能 (第2報)

— 曲げ強度性能 —

森 泉      周 真田 康 弘  
前 田 典 昭\*<sup>1</sup>   小 倉 高 規\*<sup>2</sup>

## The Strength Properties of Japanese Larch LVL (II)

— Bending Strength Properties —

Shu MORIIZUMI      Yasuhiro SANADA  
Noriaki MAEDA      Takami OGURA

A series of strength tests are being performed to know allowable unit stresses for Japanese larch LVL. This paper reports on the bending properties of the LVL. Static bending tests were performed on actual-size specimens of both vertically-laminated beams (Ver.LVL) which had five different depths of 56 mm to 150 mm and horizontally-laminated ones (Hor.LVL) which and only one depth of 89 mm. The results are summarized as follows:

(1) The bending properties of the LVL depend on the mixing ratio of sapwood and heartwood veneer. A negative correlation is recognized between the ratio of sapwood veneer and the average veneer thickness of the final products, and this makes it possible to estimate the bending properties of a product upon the basis of the average veneer thickness.

(2) According to the average veneer thickness of the products, the bending properties of the Ver.LVL are classified into three grades; under 3.7 mm for the first grade, 3.7 mm to 3.8 mm for the second, and over 3.8 mm for the thick. According to how sapwood and veneer are arranged, the bending properties of the Hor.LVL are grouped into three. In the first group, the tension side consists of the sawpwood alone; in the second, the sapwood and the heartwood are arranged in crosswise-alternating layers; in the third, the tension side is composed of the heartwood alone.

(3) The coefficient of the dimension regulation of ASTM can be applied to the relationship between the bending strength and the depth. The ratio of bending strength reduction, which depends on the butt joints of the LVL, can be calculated with the butt joints of the tension side taken for the loss section.

(4) It is possible to say that the prediction of the bending strength from an modulus of elasticity is more precise for LVL than for sawed lumber.

カラマツLVLの許容応力度を設定するために、一連の強度試験を行っている。LVLの曲げ強度性能の検討した結果についての報告である。

Ver. LVLでは5条件の梁せい(56—150mm)の実大サイズの試験について静的曲げ試験をまた、Hor. LVLでは1条件(89mm)について行った。

結果を要約すると以下のようである。

(1) LVLの曲げ強度性能は辺材単板と心材単板の混合比によって変わる。辺材単板率と仕上り製品の平均単板厚の間に負の相関関係が存在するため、曲げ強度性能は平均単板厚を基準にして評価できる。

(2) Ver. LVLの曲げ強度性能は製品の平均単板厚によって3つのグレードに分けられる。すなわち第1は3.7mm以下、第2は3.7—3.8mm、第3は3.8mm以上。Hor. LVLの曲げ強度性能は、辺材単板と心材単板の混合比によって3つのグレードに分けられる。すなわち第1は引張り側に辺材単板のみ配置、第2は辺材単板と心材単板を交互に配置、第3は引張り側に心材単板のみ配置。

(3) 曲げ強さと梁せいの関係ではASTMの寸法調整係数が適用できる。LVLのバットジョイントに依存した曲げ強度低減比は引張り側のバットジョイントを欠損断面として計算できる。

(4) ヤング係数からの曲げ強さの予測はLVLの方が製材より正確に推定しうる。

#### 4. まとめ

林産試験型LVLを構造材として利用するためには、許容応力度を設定することが不可欠である。その基礎データを得ることを目的として、林産試験場で現在標準的に製造されているカラマツLVL(実大ジョイント材)の曲げ強度性能について検討した。結果をまとめると次のようになる。

(1) 辺・心材単板の混合比により Ver. LVLの曲げ強度性能は異なり、辺材単材のみでは心材単板のみに比べて、曲げ強さで1.7倍、ヤング係数で1.3倍程度になる。

(2) 製造ラインで辺・心材単板の分離を考える場合製品の平均単板厚と辺材単板率が負の相関関係を示しており、製品管理上平均単板厚を基準にして強度性能の予測が可能である。Ver. LVLの曲げ強度性能は平均単板厚を基準にして、3つのグレードに分けられる。Hor. LVLでも辺・心材単板の混合で3つのグレードに分けられるが、それらの強度値は Ver. LVLの95%程度の値である。

(3) 梁せいと曲げ強度の関係ではASTMの寸法調整係数が適用できる。Ver. LVLで、BJによる強

度低減は引張側のBJを欠損断面として計算できる。無欠点LVLに対し、実大材の強度値はBJにより0.85、節等の欠点により0.85~0.90程度になり、全体として25%程度小さくなる。

(4) 製材に比べて曲げ強度のバラツキが小さい。曲げ強さの平均値は製材より多少小さ目であるが、ヤング係数の平均値は大き目である。曲げ強さとヤング係数の関係は、製材より相関関係がよく、ヤング係数からの曲げ強さの予測は、より精度よく推定しうる。

# カラマツLVLの強度性能 (第3報)

—せん断強度性能—

森 泉      周 北 村 維 朗\*

## The Strength Properties of Japanese Larch LVL (III)

—The shear strength properties—

Shu MORIIZUMI      Tadao KITAMURA\*

A series of strength tests have been made to determine allowable unit stresses for Japanese larch LVL. This paper reports on the shear properties of the LVL. Two types of LVL constructions were made; one had butt joints-Normal LVL-and the other did not-Clear LVL-. Static bending tests were performed with vertically-laminated and horizontally-laminated beams in six different span-to-depth ratios, i.e.  $l/h$ , and in five different depths. Compression shear tests were also carried out with block-shear specimens. The results are summarized as follows:

(1) The modulus of rigidity ( $G$ ) and the pure modulus of elasticity ( $E$ ) of each LVL, calculated from the relationship between the effective modulus of elasticity ( $E'$ ) and  $l/h$ , were  $7 \text{ ton/cm}^2$  and  $130 \text{ ton/cm}^2$  respectively.

(2) The Ver. LVL with the Clear LVL failed in horizontal shear force at  $l/h=8$ , and the Hor. LVL with the same construction at  $l/h=11$ . On the other hand, either the Ver. LVL or the Hor. LVL with the Normal LVL did not fail in shear force even at  $l/h=4$ .

(3) The apparent maximum shear strength ( $\tau_{\max}$ ) of the Clear LVL and the Normal LVL decreased in accordance with the increase in  $l/h$  and depth.

(4) The shear strength of the LVL was calculated from the relationship between the bending strength and  $l/h$ . Both the shear strength and the compression strength were in good agreement with the results of the block-shear and the compression tests respectively.

(5) The  $\tau_{\max}$  when the  $l/h$  was 4 was predicted on the basis of the sheared area. It was approximately  $38 \text{ kg/cm}^2$  for the 2-by-12 beams with the Clear LVL, and  $30 \text{ kg/cm}^2$  for the ones with the Normal LVL.

(6) In the block-shear tests, the tangential shear strength was found to be more or less smaller than the radial shear strength, and the rolling shear strength almost 80% smaller than both the tangential and the radial shear strengths.

林産試験場で現在標準的に製造されたLVLについて、スパン—梁せい比 ( $l/h$ )及び梁せいを変えた曲げ試験を行い、LVLのせん断に対する性能を検討した。結果を以下に示す。

$l/h$ の関係から求めたせん断弾性係数及び真のヤング係数は、それぞれ  $7 \text{ ton/cm}^2$ ,  $130 \text{ ton/cm}^2$ 前後の値であり; Butt joint (以下BJと記す)によるそれらの係数の低下は認められなかった。Clear (BJの無いもの) LVLでは、Ver. LVLで  $l/h=8$ , Hor. LVLで  $l/h=$

11からせん断破損を生じたが、Normal LVL (BJの有るもの)では $l/h = 4$ でもせん断破損が生じなかった。Clear及びNormal LVLとも $l/h$ 及び梁せいが大きくなるとみかけの最大せん断強さ ( $\tau_{max}$ ) は低下した。せん断面積法で推定した212材の  $\tau_{max}$  はClear LVLで  $38\text{kg}/\text{cm}^2$ , Normal LVLで  $30\text{kg}/\text{cm}^2$  程度になった。

#### 4. まとめ

林産試験場で現在標準的に製造されたカラマツLVLについて、スパン—梁せい比及び梁せいを変えた曲げ試験を行い、せん断弾性係数と水平せん断強さを求め、併せてブロックせん断強度試験の結果から、LVLのせん断に対する性能を検討した。得られた結果を以下に示す。

1) スパン—梁せい比 ( $l/h$ ) の関係から求めたせん断弾性係数と真のヤング係数の値は、それぞれ  $7\text{ton}/\text{cm}^2$ ,  $130\text{ton}/\text{cm}^2$  前後の値であり、BJによるこれらの係数の低下は明確には認められなかった。

2) Clear LVLでは、Ver. LVLで  $l/h = 8$  から、Hor. LVLで  $l/h = 11$  からせん断破損を起こしたが、Normal LVLでは、 $l/h = 4$  でもせん断破損を起こさなかった。

3) Clear 及びNormal LVLとも  $l/h$  及び梁せいが大きくなるとみかけの最大せん断強さは低下した。

4) 金の理論を用いて、曲げ試験からせん断強さと圧縮強さを求めたが、せん断強さはブロックせん断試験による値と、圧縮強さは圧縮試験による値とよく一致した。

5) せん断面積法を用いて、 $l/h = 4$  の場合のみかけの最大せん断強さを予測したが、Clear LVLでは212材で  $38\text{kg}/\text{cm}^2$  程度、Normal LVLでは  $30\text{kg}/\text{cm}^2$  程度と推定された。

6) ブロックせん断強さではローリングシアアの値が小さく、他方向の値の20%程度であった。

## 1 4 構造用単板積層材 (LVL) の釘着性能

藤井 毅\*

### はじめに

わが国において単板積層材 (LVL:Laminated Veneer Lamber) の製造が開始されたのは 10 数年前である。その後、建材、家具、楽器、建具等への利用が進み、LVL の生産量およびその製造企業も着実に増加し、昭和 58 年度実績で約 5 万  $m^3$ 、15 社に達している。また、昭和 53 年には一般用 LVL の JAS が制定されている。

このように、造作用の LVL の生産量は徐々に伸びているが、開発当初に予想された大量生産にはほど遠い状況にある。これは、効率的な製造システムがまだ確立されていないこともあるが、大量の需要が期待される構造用途に対して、オープンに使用可能な基盤、たとえば製造基準、JAS、許容応力度等が未整備であることも障害となっている。これに対しては、(財)日本住宅・木材技術センターの“構造用 LVL 需要開発委員会”(大熊幹章委員長)を中心として、製造基準等の実現に向けて作業が積み重ねられているので、遠からず成案をみるものと思われる<sup>1)</sup>。

ところで、LVL を構造部材として用いる場合、材料強度とともに接合強度の確認が不可欠であるが、釘着性能をはじめとする LVL の接合に対する試験データはきわめて少なく、その的確な評価を下し得る状況にほど遠く、早急なデータの集積が望まれている<sup>2)</sup>。

本試験研究は、上記委員会の製造基準等の検討作業と関連を持ちながら、構造用 LVL の釘着性能について、ディメンションランバーサイズ (厚さ 36~42 mm) の LVL にコモンネイルを打釘した場合の割れ、引抜き抵抗を実験的に求めることにより、接合部の設計にあたって必要な釘の配置や許容耐力に対する基礎資料を提供しようとするものである。

なお、LVL の製造にあたっては、永大産業 K.K. 皆川保生氏、住建産業 K.K. 尾崎充彦氏をはじめ多数の方々のご援助をいただき、釘着性能試験の実施に際しては林業試験場 土橋進一氏のご協力をいただいた。ここに、関係各位に対して深く謝意を表する。

### 1. 材料と試験方法

#### 1.1 供試丸太の概要

本試験に用いた原木はラワンとベイマツの 2 樹種で、その丸太径は、ラワンが 60~70 cm、ベイマツが 30~50 cm である。単板切削に先立ち、丸太両端から 25 mm×25 mm×40 mm の試験片 50~75 個を採取し、乾燥後 JIS 曲げ試験を行った。樹心部から樹皮部にかけてかなりの性能差がみられるが、これらの平均値は次のとおりである。ラワンの気乾比重は 0.50、曲げヤング係数は  $124 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、曲げ強度は  $834 \text{ kg/cm}^2$  で、ベイマツはそれぞれ 0.54、 $118 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、 $828 \text{ kg/cm}^2$  である。

#### 1.2 単板の切削と乾燥

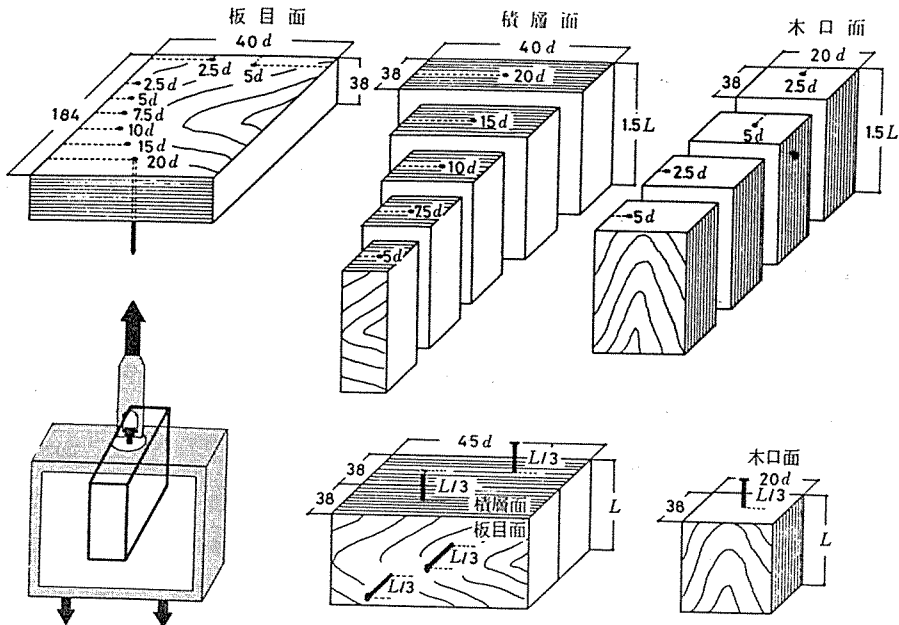
ラワンの単板切削にはスピンドル式のロータリベニヤレースを用い、単板厚は 4.2 mm で、裏割れの角度が 50~60 度、深さが 55~65%、間隔が 1.5~2.5 mm である。単板乾燥はネット式ドライヤを用い、乾燥温度は 170~180°C である。一方、ベイマツは、外周駆動式のベニヤレースを用い、単板厚が 3.3 mm、裏割れ角度が 70~90 度、深さが 65~80%、間隔が 2.5~3.5 mm で、ネット式ドライヤの乾燥温度は 220~230°C である。

#### 1.3 LVL の製造

LVL の製造、すなわちラワンおよびベイマツ単板の積層接着には、構造用合板製造に多用されているものと同種のフェノール樹脂接着剤を用い、単板の表面粗さや裏割れの状態が比較的良好なラワンに対する接着剤の両面塗布量を約  $350 \text{ g/m}^2$  とし、その状態が良くないベイマツに対しては  $400\sim 450 \text{ g/m}^2$  とした。圧縮接着はホットプレスをを用いたが、その熱圧条件は両樹種とも同じで、圧縮圧力が約  $10 \text{ kg/cm}^2$ 、熱圧温度が 140°C である。なお、製造後約 1 か月経過時の接着層のブロックせん断試験結果によれば、接着力は  $60\sim 120 \text{ kg/cm}^2$  を示しており、おおむね良好な接着が実現されていることが確認されている。

LVL 製品の積層数、厚さ、気乾比重の平均値は、ラワンがそれぞれ 9 プライ、36.5 mm、0.54、ベイマツが 13 プライ、41.4 mm、0.59 である。したがって、単板あるいはひき材と比較すると、乾燥や熱圧による 3.5~4.0

\* 農林水産省林業試験場木材部



第1図 LVLの打釘割れおよび引抜き試験体 (単位: mm)

第1表 釘の種類と寸法

釘の種類	長さ $L$ (mm)	直径 $d$ (mm)
N 50	50	2.8
CN 50	50	2.8
CN 65	63	3.3
CN 75	76	3.7
CN 90	88	4.1

%の厚さ減りと、接着剤塗布や熱圧による10%程度の比重の上昇が認められる。

#### 1.4 打釘による割れの測定

上記のような製造条件で作製した2樹種のLVLについて、第1表に示すような形状寸法の普通鉄丸釘1種類と枠組壁工法用コモンネイル4種類を用いて、第1図に示すような打釘割れおよび引抜き試験体をおのおの10体ずつ作製した。これら試験体の打釘本数は合計2300本である。

打釘割れ試験では、LVLの板目面、積層面、木口面に5種類の釘を材端から釘径の2.5~20倍離して打ち込み、約1週間後に、打釘表面、裏面、木口端面の割れの長さや頻度を測定した。なお、打釘表面には釘頭が十分密着するまで打ち込まれているが、裏面には板目面打釘の場合のみ釘が貫通し、積層面および木口面打釘の場合には釘先端が材せいの約2/3のところ止まっている。

#### 1.5 釘の引抜き試験

第1図のように、板目面および積層面の引抜きの場合

は、同一試験体の隣接する2面におおの2本ずつ、木口面の場合は材中央に1本の釘を、それぞれ釘長の約2/3まで打ち込んだ。板目面の場合は材厚が不足するので、CN65より長いものに対してはLVL2枚合わせとした。また、試験体の寸法は、材端、材縁、釘間の距離の不足による引抜き耐力の低下がないように十分大きかった。

引抜き試験は、第1図のような治具を介して、材料試験機によって引張力を負荷した。なお、試験機の変位速度は毎分1mmである。

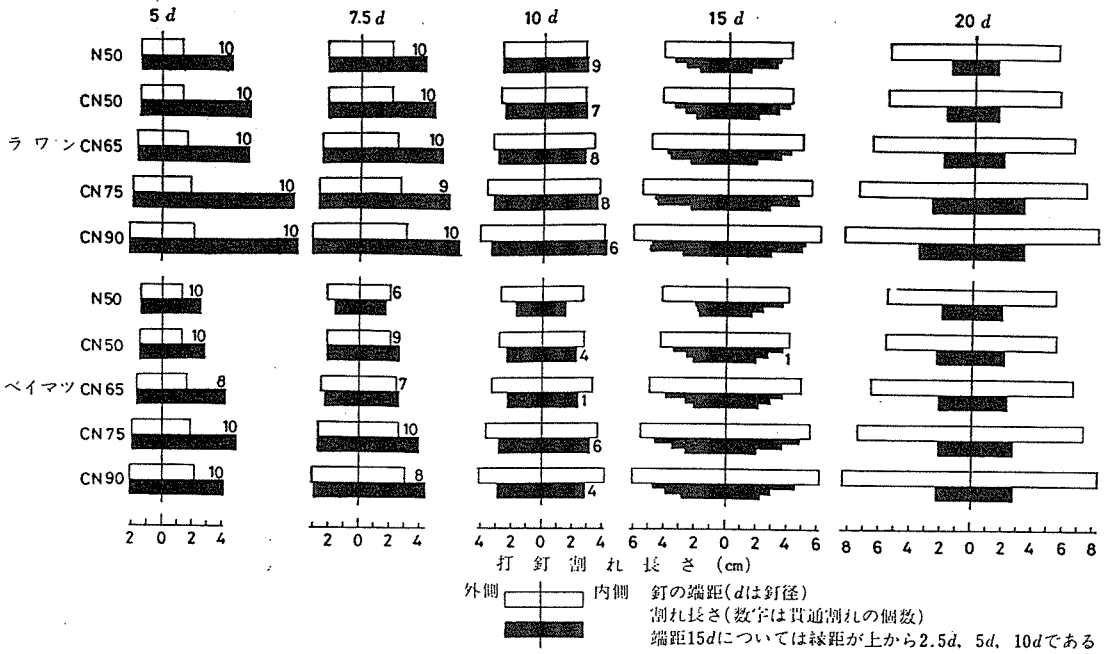
## 2. 結果と考察

ラワンおよびベイマツの2樹種のLVLの打釘割れ試験と引抜き試験の結果を、打釘面別、釘径または釘長別、端距別に整理して、第2~5図に示す。なお、図中に示す値はすべて10試験体の平均値である。

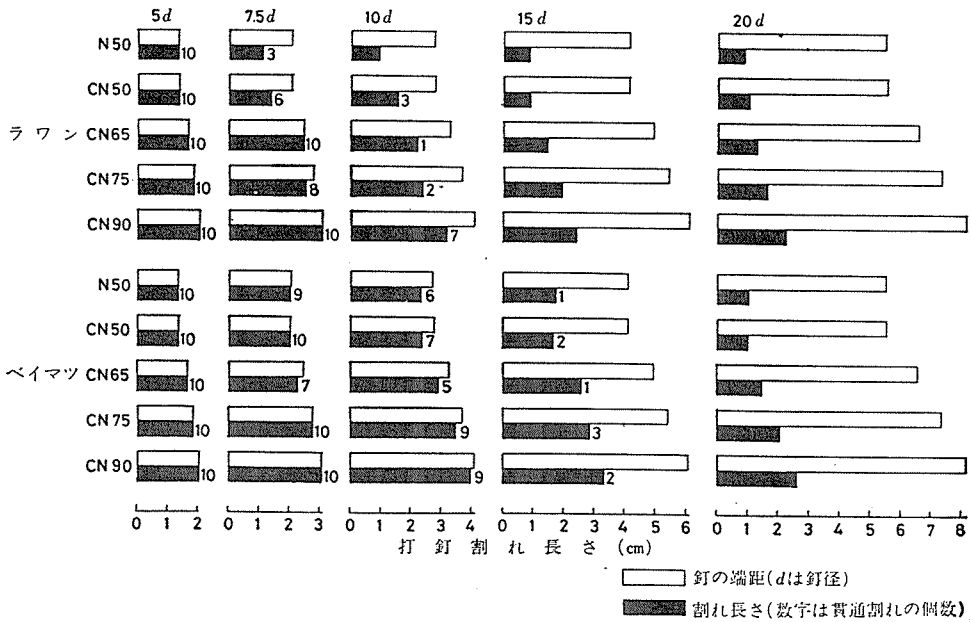
### 2.1 打釘による板目面の割れ

36~42mm厚の供試LVLにN50より長い釘を打ち込むと、裏面まで貫通し、木目に沿って割れを生ずるが、その長さは打釘表面より裏面の方が長い。また、打釘位置から材端面までの距離が近い場合、木口端面に貫通割れを生ずる。そこで、端距の短い方を外側とし、長い方を内側として、LVL裏面の割れ長さを端距と比較して第2図に示す。

板目面の割れは、釘長あるいは釘径の増加に伴って、その長さを増しているが、長さおよび増加率はともにべ



第2図 LVL の板目面の打釘割れ



第3図 LVL の積層面の打釘割れ



イマツよりラワンの方が大きい。

外側の割れは、端距が短い場合材端まで達して、木口面に貫通割れを生じ、ラワンの  $7.5d$  およびベイマツの  $5d$  までその頻度は 100% に近いが、それ以上ではしだいに頻度が減少し、 $15d$  では貫通割れは生じていない。一方、内側の割れは、端距  $5d \sim 7.5d$  すなわち貫通割れの頻度が最も高い場合にその長さが最も大きく、それ以上では減少していき、 $6d \sim 8d$  程度の長さに収束する傾向にある。また、縁距が  $2.5 \sim 5.0d$  のように近い場合にも内外側の割れが増大している。

### 2.2 打釘による積層面の割れ

積層面への打釘は、LVL 表面中央に材せいの約  $2/3$  まで打ち込んでいるため、裏面の割れはなく、内外側の区別もないので、表面の内外側の割れ長さの平均値を第 3 図に示す。

積層面の割れも、釘径あるいは釘長の増加に伴って、その長さを増しているが、板目面の場合と異なって、長さおよび増加率はともにラワンよりベイマツの方が大きい。

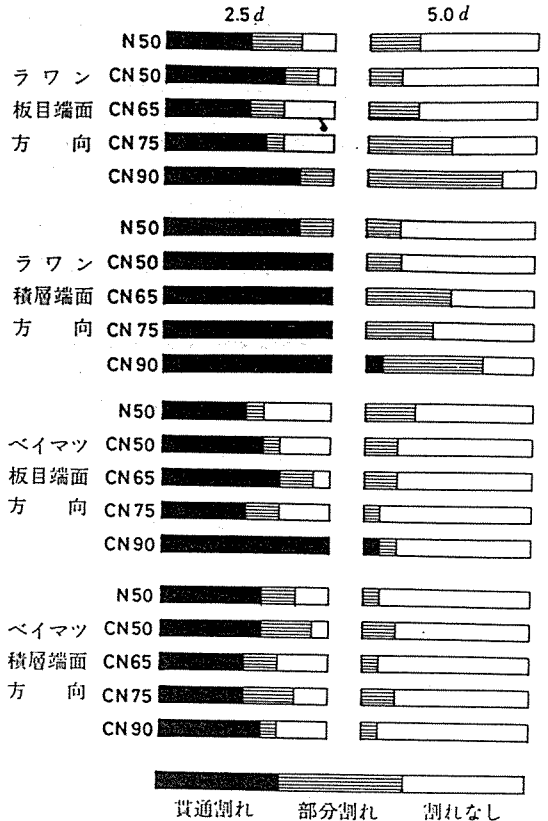
木口端面の貫通割れも、ラワンの  $5d$  およびベイマツの  $7.5d$  の端距まで、その頻度が 100% に近く、それ以上では減少していくが、ベイマツは  $15d$  でも少数貫通割れを生じている。また、割れ長さが最大となるのは、板目面打釘の場合より幾分か大きい端距  $7.5d \sim 10d$  で、それ以上の端距では割れ長さは減少していき、 $4d \sim 6d$  程度の長さに収束する傾向にある。

ところで、木構造設計規準<sup>3)</sup>によれば、釘の端距、間隔、縁距をそれぞれ  $15d$ 、 $12d$ 、 $5d$  以上にとることを推奨している。この推奨値とラワンおよびベイマツ LVL の板目面および積層面の打釘割れ試験値とを比較すると、端距  $15d$  ではベイマツの積層面、間隔  $12d$  では両樹種の板目面、縁距  $5d$  では両樹種の板目面でそれぞれ LVL 端面への貫通割れや釘相互間の割れの連結のおそれが多少あるものと思われる。

しかし、建築用または産業用に使用する場合、その部材寸法とくに長さは本試験体よりはるかに大きく、打釘割れも試験値より幾分減少することが期待されること、製材品の乾燥後の割れの顕著な状況などを勘案すると、LVL に対する釘配置の推奨値としては、製材品と同等でもよいと考えられる。ただし、高い応力が作用する接合部に対しては、端距  $20d$ 、間隔  $15d$ 、縁距  $7.5d$  以上とすることが望ましい。

### 2.3 打釘による木口面の割れ

木口面への打釘は、板目面または積層面の端面から  $2.5d$  および  $5d$  の位置に、材せいの約  $2/3$  のところまで打ち込んでいる。木口表面の割れの有無、ならびに



第 4 図 LVL の木口面の打釘割れ頻度

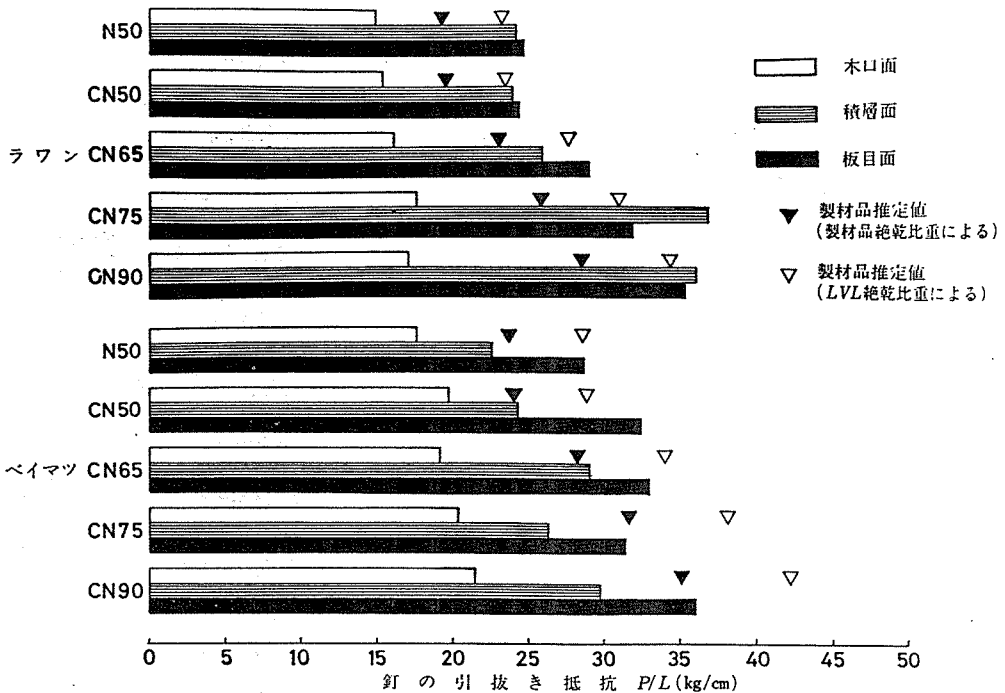
板目面または積層面まで達する貫通割れの頻度を第 4 図に示す。

木口面の割れは、釘径あるいは釘長の増加に伴って、その長さを増しており、その増加率はラワンでは釘径の増加比を上回っているのに対し、ベイマツでは釘径増加比とおおむね等しい。

板目端面または積層端面まで木口面の割れが貫通する頻度も、釘径の増加に伴って、高くなる傾向にあるが、ベイマツの積層端面への貫通割れの頻度の変化は少ない。

端距が  $2.5d$  の場合、ラワンの板目端面方向およびベイマツの両方向の貫通割れの頻度は CN 90 を除けば 50% 前後であるが、ラワンの積層端面方向は全数に近い貫通割れを生じている。これに対して、 $5d$  の場合、両樹種とも貫通割れはほとんどないが、ラワンの部分割れの頻度が釘径増に伴って高くなっているのに対して、ベイマツでは変化が少なく、むしろ幾分低下している。

木構造設計規準等には<sup>3)</sup>、木口面への打釘の場合の釘の端距、間隔、縁距に対する推奨値はないが、上記の試験結果をみるかぎり、いずれも  $5d$  程度の距離をとれば、



第5図 釘の引抜き抵抗

支障がないものと判断される。

#### 2.4 LVL の引抜き抵抗

LVL の木口面、積層面、板目面に対する引抜き抵抗すなわち打込み長さ 1 cm 当たりの引抜き耐力を、製材品の推定値と比較して第5図に示す。なお、製材品の引抜き抵抗は、米国内産試験場提唱の次式によって計算した<sup>3),4)</sup>。

$$\text{引抜き抵抗} = \frac{\text{最大耐力 } P(\text{kg})}{\text{打込み長さ } L(\text{cm})} = 485 \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) \times (\text{絶乾比重 } R_0)^{2.5} \times \text{釘径}(\text{cm})$$

上式中の  $R_0$  には、ラワンおよびベイマツの製材品(原材料)と LVL (製品)の数値を代入して、2種類の  $P/L$  を計算した。なお、木構造設計規準の釘引抜き許容耐力は上式から誘導されている。

板目面、積層面、木口面の引抜き試験結果を比較すると次のように要約される。

釘径あるいは釘長の増加に伴って、すべての引抜き抵抗  $P/L$  が上昇しているが、その上昇量は、板目面または積層面に比べて、木口面が幾分少ない。

ラワンでは、多少の大小があるが、板目面と積層面の  $P/L$  がおおむね等しいのに対して、ベイマツではすべて板目面の  $P/L$  の方が積層面のそれより 20~30% 大きい。また木口面の  $P/L$  は、ラワンでは板目面と積層面

の平均値の 1/2~2/3、ベイマツでは 2/3~3/4 である。

板目面と積層面の  $P/L$  の平均値は、釘径の小さいときはベイマツの方が大きく、釘径が大きいたときはラワンの方が大きい。木口面の  $P/L$  は、釘径の大小にかかわらず、10~20% ラワンよりベイマツの方が大きい。

LVL の製品の  $R_0$  に相当する推定値  $P/L$  と比較すると、ラワンの板目面および積層面の試験値はおおむねこの値に等しいのに対して、ベイマツの試験値はこれより低く、とくに釘径の大きい場合は 20~30% 低い。しかし、製材品の  $R_0$  に相当する推定値  $P/L$  と比較すると、ラワンの試験値はこれより 20~30% 高く、ベイマツの試験値も、釘径の大きい積層面を除けば、これと同等もしくは幾分高めとなっている。

以上の LVL の試験結果と製材品との比較計算とから LVL の板目面および積層面へ打った釘の短期許容引抜き耐力については、木構造設計規準で推奨している製材品に対する許容耐力と同等と考えても差し支えないものと思われる<sup>3)</sup>。ただし、これは 3~4 mm 厚の単板を 9~13 層積層して製造した LVL に限定して言えることで、これより厚い単板、あるいは積層数が少ない LVL に対してはさらに検討を要する。

また、LVL の長期引抜き許容耐力については、吸放湿による寸法変化が製材品よりかなり大きいこともあり、

別個に検討することが必要であろう。

### ま と め

ラワン9プライ 36.5 mm 厚およびベイマツ 13 プライ 41.4 mm 厚の構造用 LVL の板目面、積層面、木口面の打釘割れおよび釘引抜き試験を行った。主な結果を要約すると、

- 1) 板目面および積層面への打釘では、端距  $10d$  まで木口端面への貫通割れを生じるが、それより大きい端距では割れは減少し、その長さは  $6d\sim 8d$  に収束する。したがって、LVL の釘の配置は、製材と同様に、端距  $15d$ 、間隔  $12d$ 、縁距  $5d$  程度とすればよい。
- 2) 木口面への打釘では、端距  $2.5d$  では板目端面または積層端面への貫通割れを生ずるが、 $5d$  ではほとんど生じないので、釘の端距は  $5d$  以上とするのが望ましい。

- 3) 板目面および積層面の釘引抜き耐力は、ラワンでは近似しているが、ベイマツでは板目面の方が  $20\sim 30\%$  高い。また、製材品の推定値と比較すると、ラワン LVL の釘引抜き耐力は  $20\sim 30\%$  高く、ベイマツ LVL はほぼ等しいので、LVL に対して木構造設計標準の製材の釘打抜きの短期許容耐力を準用しても差し支えないであろう。
- 4) 木口面の釘引抜き耐力は、ラワンでは板目面と積層面の平均値の  $1/2\sim 2/3$ 、ベイマツでは  $2/3\sim 3/4$  である。

### 参 考 文 献

- 1) 日本住宅・木材技術センター：構造用 LVL の需要開発、昭和 56, 57, 58 年度報告書 (1981, 1982, 1983)
- 2) 藤井 毅：木材工業, 37-8~9, (1982)
- 3) 日本建築学会：木構造設計標準・同解説, 丸善 (1973)
- 4) U. S. D. A. FPL : WOOD handbook (1974)  
(1984. 6. 20 受理)

# 1 5 カラマツLVLの強度性能 (第4報)

—曲げクリープ性能 (その1) —

森 泉 周

## The Strength Properties of Japanese Larch LVL (IV)

—Bending creep properties (Part 1) —

Shu MORIIZUMI

A series of strength tests are being performed to determine an allowable unit stress for Japanese larch LVL. This paper reports on the bending creep properties of LVL. The creep tests were performed on small specimens and actual-size (2 × 4) specimens of both LVL and sawed lumber. The results are summarized as follows:

(1) The stress level at the creep limit was about 0.45 of the break stress in LVL, and 0.55 in the sawed lumber. Within the creep limit, the relative creep of LVL was about 1.5 times as large as that of the sawed lumber. The N values of the creep curves,  $\delta_c(t) = At^N$ , were almost the same for each stress level, and the N value was 0.23 in LVL and 0.27 in the sawed lumber.

(2) The relative creeps had a uniform magnitude, whether LVL had butt joints or not. At a low moisture content, the relative creep in the heartwood veneer LVL was larger than that in the sapwood, but in the sapwood veneer LVL it was larger than in the heartwood with a high moisture content.

(3) The N values of the creep curves in LVL and the sawed lumber were almost the same for every depth. Within the creep limit, the relative creep was larger in LVL than in the sawed lumber, with the small specimens. With the actual-size specimens, however, LVL and the sawed lumber had almost the same relative creep.

(4) The magnitude of the relative creep of LVL was recognized to be affected by the dimension of the specimens; the relative creep became smaller, according as the depth became larger.

カラマツLVLについて、試験体寸法を変えて曲げクリープ試験を行い、LVLのクリープ性能を検討した。得られた結果を以下に示す。

クリープ限度は、LVLでは破壊応力の0.45前後、製材では0.55前後であり、クリープ限度内のLVLの相対クリープ量は製材より1.5倍程度大きく、クリープ曲線の定数N値は、LVLでは0.23、製材では0.27である。Butt Jointの有無にかかわらず、LVLの相対クリープ量は一定であり、異なった含水率における相対クリープ量は低含水率では心材単板LVLの方が大きいが高含水率では辺材単板の方が大きい。実大試験体では、LVLと製材で相対クリープ量はほぼ等しい。試験体寸法が大きくなるとLVLの相対クリープ量は小さくなり、寸法効果の影響が認められる。

#### 4. まとめ

林産試験場で現在標準的に製造されたカラマツLVLについて、試験体寸法を変えて曲げクリープ試験を行い、LVLのクリープ性能を検討した。得られた結果を以下に示す。

(1) クリープ限度応力は、LVLでは破壊応力の0.45前後、製材では0.55前後であり、クリープ限度内の相対クリープ量はLVLのほうが製材より1.5倍程度大きかった。クリープ曲線、 $\delta_c(t) = A t^N$ の定数N値は、各応力レベルで同一であり、LVLでは0.23、製材では0.27であった。

(2) LVLの相対クリープ量は、BJの有無にかかわらず一定であった。異なった含水率における相対クリープ量は、低含水率では心材単板LVLのほうが大きい、高含水率では辺材単板のほうが大きかった。高湿下の相対クリープ量は製材に比べて大きいものと思われる。

(3) クリープ曲線の定数N値は、梁せいが大きくなっても、LVL及び製材とも同一であった。クリープ限度内のLVLの相対クリープ量は、小試験体では製材より大きい、実大試験体では製材と同程度であった。

(4) LVLの相対クリープ量に対して寸法効果が認められ、梁せいが大きくなると相対クリープ量は急激に小さくなった。

# 16 カラマツLVLの水に対する性質 (第2報)

—吸・放湿と寸度変化—

北村 維朗 真田 康弘\*<sup>1</sup>  
森 泉 周\*<sup>2</sup>

## Moisture Concerning Properties of Karamatsu LVL\* (II)

— Dimensional changes in moisture absorption and loss —

Tadao KITAMURA Yasuhiro SANADA  
Shu MORIIZUMI

Some specimens of laminated veneer lumber (LVL) composed of Karamatsu (Japanese larch) sapwood or heartwood were tested for their moisture absorbing and emitting behaviors as well as for their dimensional changes in thickness and width under different hygroscopic conditions. It was recognized that there were five constants characterizing the whole aspect of the moisture absorption and loss. They were (1) the initial absorbing or losing rate ( $R_0$ ), (2) the decreasing constant of the absorbing or losing rate ( $K$ ), (3) the critical moisture content ( $W_c$ ), (4) the stationary absorbing or losing rate ( $R_c$ ), and (5) the equilibrium moisture content ( $W_e$ ). ( $K$ ) was found to be constant under a certain hygroscopic condition. The dimensional expansion rate for one percent increase in moisture content was approximately 20 percent greater in thickness than in width with the sapwood LVL, while it was about 15 percent smaller in thickness than in width with the heartwood LVL. Little difference was observed in width expansion between the sapwood and the heartwood LVL. The shrinkage rate tended to be larger in width dimension, though smaller in thickness, than the expansion rate. The tendency was more remarkable in the heartwood LVL than in the sapwood. The quantity of moisture absorption or loss tended to become greater when absorption and drying alternated, but the quantity was recognized to remain unchanged in the expansion and the shrinkage caused by a unit moisture change.

辺材単板のみと心材単板のみで構成したカラマツLVLの吸・放湿挙動と、それに伴う寸度の動きを追跡した。

吸・放湿速度を試料の含水率状態に対してプロットすると、一定の勾配をもって速度が低下する領域と、一定の速度で推移する領域の2つに区別されることが明らかとなった。このことによつてLVLの吸・放湿挙動は初期速度 ( $R_0$ )、減率速度定数 ( $K$ )、臨界含水率 ( $W_c$ )、恒率速度

---

\*第1報 (林産試験場月報 1984年4月号 No387) の英文タイトル 「The Hygroscopicity and Water-Absorption of Japanese Larch LVL」を当標題に改題する。

(Rc), 平衡含水率 (We), の5個の定数によって推定が可能であることが分かった。

この外この試験で明らかとなったことは;

- I) 減率速度定数 (K) は試料が同一の温湿度環境に置かれるならば, 試料の別によらず一定の値を示す。
- II) 吸湿水分1%当たりの寸度増加率(平均膨脹率)は辺材LVLでは積層方向(半径方向)の方が板目幅方向(接線方向)より20%ほど大きく, 心材LVLでは積層方向は板目幅方向より15%ほど小さい。板目幅方向の平均膨脹率は心材と辺材で大きな差はない。
- III) 放湿による平均収縮率は板目幅方向では平均膨脹率より大きくなり, 積層方向では平均膨脹率より小さくなる。この傾向は辺材LVLにおいて特に強く現れる。
- IV) 吸湿と放湿を繰り返した場合, 吸・放湿水分量は次第に拡大し, 収縮量, 膨脹量も次第に拡大するが, 単位量の吸・放湿水分が与える膨脹・収縮量には拡大は認められない。

## 5. まとめ

カラマツLVLについて吸・放湿性とそれに対応する寸度との関係が明瞭となれば, LVLの実用上のトラブルは大いに軽減され, 応用範囲はより広いものとなるだろう。

今回の実験の結果は以下のようにまとめられる。

- 1) LVLは吸湿性, 放湿性ともに極めて規則性の高い挙動を示し, 吸・放湿速度は水分変化に対して一定の低下率によって変化する「減率域」と一定の速度によって吸・放湿を行う「恒率域」の2つの段階によって区分されることが明らかになった。
- 2) 減率域において吸・放湿速度の水分状態に対する変化率 (K) は, 温・湿度環境が一定ならば材料による差はなく, ほぼ一定の値を示し, 辺材LVLと心材LVLがほとんど同じ値を示した。
- 3) 辺・心材の吸・放湿速度の違いは吸湿の場合, 初期吸湿速度 (Ro), 放湿の場合, 恒率放湿速度 (Rc) によって決定的である。
- 4) 吸湿水分1%当たりの寸度増加率(平均膨脹率)は辺材の方が心材より大きい, 辺材では半径方向の方が接線方向より20%ほど大きく, 心材では半径方向は接線方向より15%ほど小さい。接線方向の平均膨脹率は心材と辺材で大きな差はない。
- 5) 放湿による平均収縮率は接線方向では平均膨脹率より大きくなり, 半径方向では平均膨脹率より小さくなる。この傾向は辺材LVLにおいて特に強く現れる。
- 6) 吸湿と放湿を繰り返した場合, 吸・放湿水分量は次第に拡大し, 収縮量, 膨脹率も次第に拡大する傾向は認められるが, 6回までの繰り返しの範囲では単位量の吸・放湿水分が与える膨脹・収縮量には拡大を認められない。
- 7) 恒率域-減率域の臨界含水率 (Wc), 恒率吸・放湿速度 (Rc), 初期吸湿速度 (Ro) については, そのバラツキの範囲とこれを決定する要因について更に検討を要する。

# 17 カラマツLVLの水に対する性質 (第3報)

—1年間の屋外暴露による寸度変化と各種保護処理の効果—

北村 維朗 真田 康弘\*<sup>1</sup>  
森 泉 周\*<sup>2</sup>

## Moisture Concerning Properties of Karamatsu LVL (III)

—Twelve months' outdoor exposure tests —

Tadao KITAMURA Yasuhiro SANADA  
Shu MORIIZUMI

After receiving different kinds of protecting treatment, the specimens of Karamatsu (Japanese larch) LVL were exposed to outdoor conditions for twelve months. The total linear expansion of the LVL specimens with no protecting treatment was about 3.5% for the depth size, and about 1.8% for the width size when they were composed of only sapwood veneers, and about 1.2% for both sizes when they were composed of only heartwood veneers.

Without the protecting treatment, about half of the total expansion took place in either the first or the second month of the outdoor exposure period. During the hot/warm season, the specimens did not absorb much moisture and yet showed considerable expansion. On the other hand, during the cold season they obtained much moisture but showed little expansion.

Treatment with different coating materials was effective to different extents for repelling moisture and stabilizing the LVL's dimensions. The effect of a coating material, however, was not proportional to the amount of the material applied.

The specimens with a resin impregnated as much as several tens percent did not show extreme results. Of all the coating materials tested, the Varnish of Synthetic Resin was the most effective. The samples showed expansion as small as one percent in the depth direction, when the resin was applied over their surface after they had been dipped in the material.

カラマツLVLに数種の保護処理を加えて屋外に12カ月暴露し、その間の重量と寸度の変化推移を比較して以下の結果を得た。

① 保護処理なしLVLの12カ月の吸・放湿と膨張収縮は基本的には次の3つの形態に分類される。

I) 暴露開始後1~2カ月の間は急激な重量増加と、年間膨張量の約半分を占める寸度増



を与える。

Ⅱ) 温暖期には細かな吸・放湿、膨張・収縮を繰り返しながらも、全体的には大幅な重量変化はないものの、寸度増は極めて大きい。

Ⅲ) 寒冷期には著しい重量増を示しながらも、寸度の変化はほとんどない。

- ② 塗料(または保護剤)による表面被覆はⅠ)の段階の寸度増加を抑制する効果が大きい。
- ③ 塗料樹脂成分を多量に強制含浸させる場合、有効なのは表面付近に存在する数パーセントの樹脂分で、それ以上に樹脂分を与えても耐湿性の大きな向上は望めない。
- ④ 塗料を十分に含浸させた上に更に表面被覆を加えると耐湿性は著しく向上する。
- ⑤ 供試した数種の塗料または保護剤のうち「特殊合成樹脂ワニス」はもっとも効果が高かった。

## 5. まとめ

カラマツLVLの12カ月の屋外暴露試験の結果、屋外暴露下のカラマツLVLは一般的にその含水率状態と寸度の膨張・収縮量が比例せず、気象の影響を強く受けながら吸・放湿および寸度変化を行うということが分かった。

無処理カラマツLVLの吸・放湿および寸度の増減挙動は、暴露期間と季節に関連して以下の3つの基本型に代表される。

- Ⅰ) 暴露開始後1~2カ月の間は気象の影響にかかわらず含水率を増大し、年間最大膨張量の約半分に相当する大きな寸度増をもたらす。
- Ⅱ) 2月、3月から9月、10月の温暖期には吸・放湿、膨張・収縮を細かく繰り返しながらも、マクロに見れば大きな吸湿・放湿はなく、それにもかかわらず寸度を大きく増加させる。
- Ⅲ) 10月、11月から1月、2月の寒冷期には多量の水分が吸収または付着するが、この水分は寸度の増加には関与しない。

Ⅰ), Ⅱ), Ⅲ)の基本型は心・辺材の別、積層厚方向、幅方向の別にかかわらず通用するが、年間の最大膨張量は辺材LVLの積層厚方向で3.5%、幅方向で1.8%、心材LVLは積層厚方向、幅方向ともに1.3%程度である。

塗料または保護剤で表面を被覆すると、暴露初期における重量増加は無処理と同様であるが、これによる寸度の増加が非常に小さく、獲得された水分はLVL

内部に深く浸入して寸度膨張に寄与することなく、極く表面に近いところに滞っているのみであると想像される。全体的には年間最大膨張量を引き下げる効果は持っているが、上述のⅡ), Ⅲ)の気象的な影響は無処理の場合と同様である。

塗料または保護剤樹脂を多量に強制的に含浸させた場合は期待された程の効果はなく、とくに表面被覆に見られたような暴露初期の寸度変化抑制効果がほとんど見られなかった。加減圧処理によって樹脂成分を34%も含浸させた場合も、単純浸せきによって3%弱しか含浸しなかった場合に比して、とくに優れた効果は得られなかった。

保護剤溶液中に浸せきして樹脂成分を十分に含浸させたのち、更に表面塗料を加えるのは確かに効果的であり、年間最大膨張率は積層厚方向寸度で辺材LVLの場合は無処理LVLの約4分の1であった(特殊合成樹脂ワニスの場合)。この場合は暴露初期における寸度変化が効果的に抑制されている。

以上の経験から、樹脂成分を多量に含浸させても耐候性の向上は期待される程のものではなく、むしろ表面に近く存在する比較的少量の樹脂成分が耐候性には有効であり、また表面に被膜状に存在する樹脂成分は極めて効果的に機能することが分かった。

暴露試験は更に継続中であり、2年目の結果によって、より正確な情報が期待される。

# 18 カラマツLVLの水に対する性質(第4報)

— 2年間の屋外ばく露と木口保護処理の効果 —

北村 維朗

## Moisture-Concerned Properties of Karamatsu LVL (IV)

—The effects of end-grain sealing in two years' outdoor exposure—

Tadao KITAMURA

Several samples of karamatsu, Japanese larch, LVL were weathered outdoors for about two years, and it was found that the samples continued to gain moisture in a period from August/September through December/January but to lose the moisture in a period from January/February through July/August. It was also found that their dimensions, roughly speaking, varied in a direct proportion to the addition of the moisture.

Some portions of the dimensions which had expanded in the previous wet season were not recovered in the following dry season. This unrecoverable expansion occurred particularly in the depth direction of sapwood laminates. The seasonal change in both moisture and dimension was found to be smaller in the LVL composed of heart-wood veneer than in the LVL composed of sapwood veneer.

The end-grain sealing was found to have as protective an effect as the total surface coating with a polyurethane resin, the moisture addition being limited to one-fifth of that of unprotected samples.

カラマツ中径材の辺材と心材から別々に調製したLVL(単板; 4mm)を2年間屋外にばく露し、その間に付加水分と寸度(構成単板の厚さ方向と幅方向)の増減を追跡した。また、両木口を撥水性保護剤で塗装した試料と全表面をポリウレタン塗料で塗装した試料についても同様な観測を行い、両処理の保護効果を調査した。

- 1) 辺材LVLは冬期には最大(初期重量の)25%まで吸水/湿し、後続の夏期にはそのうち23%を放湿した。その間の単板厚さ方向(H-方向)の寸度は最高3.5%付加したが、後続の夏期には1.3%回復し、2.2%が残留した。
- 2) 心材LVLはこれに比して、吸水/湿量、付加寸度もはるかに少なかった(それぞれ辺材LVLの40%と30%)。
- 3) 撥水性保護剤を両木口に塗装すると、防水/湿性は著しく向上し、ポリウレタン塗料の全表面塗装と同程度の効果が認められた。
- 4) いずれの処理によっても、吸/放湿性を著しく軽減することができるが、それによって非回復性の付加寸度(スプリングバック)と付加水分に比例して増加する付加寸度のいずれも2分の1(辺材, H-方向)に軽減することができる。

## 5. 結 論

カラマツLVLの需要を安定的に定着させるためには、この材料の諸性能について、その初期物性が十分に明らかになる必要があるが、同時に耐久性に関する情報も必要である。また同時に経済的な手段で耐久性を改善することも緊要である。

木質材料の劣化は吸/放湿現象に関係するところが多いと思われるが、カラマツの辺材単板と心材単板（4mm厚）を別々にLVLに構成し、2年間の屋外ばく露による吸/放湿と寸度（構成単板の厚さの方向と幅の方向）の変化挙動を観察した。また同時に、両木口を水性保剤で処理した試料と全表面をポリウレタン塗料で塗装した試料もばく露し、これらの処理の効果を評価し、以下のような結果を得た。

無処理のカラマツLVLについて

- 1) 辺材単板で構成されたLVLは1年目の冬に最大25%（初期重量に対して）まで吸湿し、翌年夏には22%放湿して付加水分3%にまで低下した。
- 2) 吸湿による寸度変化は、構成単板の厚さ方向（H-方向）で大きく、最大3.5%程の寸度付加があった。この寸度付加は翌年夏の乾燥によっても元にもどらず、H-方向の場合は2.3%の付加寸度が残留した。
- 3) 辺材LVLの構成単板の幅方向（B-方向）の寸度は、季節的变化はH-方向の同様なパターンであるが、最大付加はH-方向の半分程度である。またこの方向の寸度は、最乾期にはわずかながら（0.2%）元の寸度より減少する傾向が認められた。
- 4) 心材単板で構成されたLVLは、吸/放湿性は辺材LVLに比べてはるかに（約40%）小さく、寸度付加もはるかに（約30%）少なかった。

保護処理を行った試料について

- 5) 木口みの塗料処理は、防水/湿性に関して全表面塗装処理と同等の効果を有し、無処理試料の吸湿量の40%以下に達した。
- 6) 木口処理と全面塗装は同様にスプリングバック性膨張（翌年乾燥期に回復しない量）を約半分に、水分に比例して変化する寸度も約半分に止めることができた。

7) 付加水分に比例して変化する寸度の単位付加水分当たりの変化量は処理、無処理とも差がないと思われるが、ばく露中の輻射エネルギー等の影響を受けるとも思われる。

8) 無処理試料、保護処理試料のいずれについても、年々寸度を増加していくという傾向は確認されなかった。

# 19 カラマツLVLの強度性能に関する研究

森 泉 周

## 目 次

1. 諸 論	1
2. 既存の研究の概要	2
3. 林産試型LVLの概略と原木の資質	4
3.1 はじめに	4
3.2 林産試型LVL製造プラントの概略	4
3.3 供試LVL用原木の材質とLVLの製造	5
4. 機械的性質(1)	7
一曲げ, 引張, 圧縮強度性能	
4.1 はじめに	7
4.2 供試材料	7
4.3 曲げ強度性能	7
4.3.1 供試材料と試験法	7
4.3.2 結果と考察	8
4.4 引張強度性能	17
4.4.1 供試材料と試験法	17
4.4.2 結果と考察	19
4.5 圧縮強度性能	24
4.5.1 供試材料と試験法	24
4.5.2 結果と考察	25
4.6 三者の強度性能の関係	27
5. 機械的性質(2)	31
一せん断強度性能	
5.1 はじめに	31
5.2 供試材料と試験法	31
5.3 結果と考察	32
6. 機械的性質(3)	40
一曲げ長期荷重性能	
6.1 はじめに	40
6.2 供試材料と試験法	40
6.3 結果と考察	42

7. LVLの長期許容応力度の推定 .....	55
7.1 はじめに .....	55
7.2 曲げ長期許容応力度の推定 .....	55
7.3 推定した長期許容応力度 .....	58
8. 摘 要 .....	60
謝 辞 .....	62
文 献 .....	63
Résumé .....	67

## 8. 摘要

林産試験場で新たに開発した、中・小径木用LVL製造プラント（第1図）から製造したLVLについて、構造用材料として使用する観点から、その基本的強度性能を検討した。供試したLVLは、製造プラントでそのまま製造したものを基本系LVL（第3図）とし、単板の厚さや長さを変えたLVL（第4図）も製造した。4章で曲げ、縦引張、縦圧縮および部分圧縮強度性能、5章でせん断強度性能、6章で曲げ長期許容荷重性能を検討し、7章でLVLの長期許容応力度の推定を行った。

得られた結果の主な事項を以下に記す。

### （1） 中・小径カラマツ材の材質

本プラントは原木末口径16～20cmを対象としており、針葉樹材特有の未成熟材部が含まれる可能性があり、樹幹内の材質指標を調べ、かつ原木の心材化距離を測定した。その結果上記の原木の範囲では、工業材料としてみた場合、未成熟材部=心材材部とみなしても良いと判断された。この点に留意して、以後の試験結果の検討を行った。

### （2） 曲げ、縦引張および圧縮強度性能

#### i) 曲げ強度性能

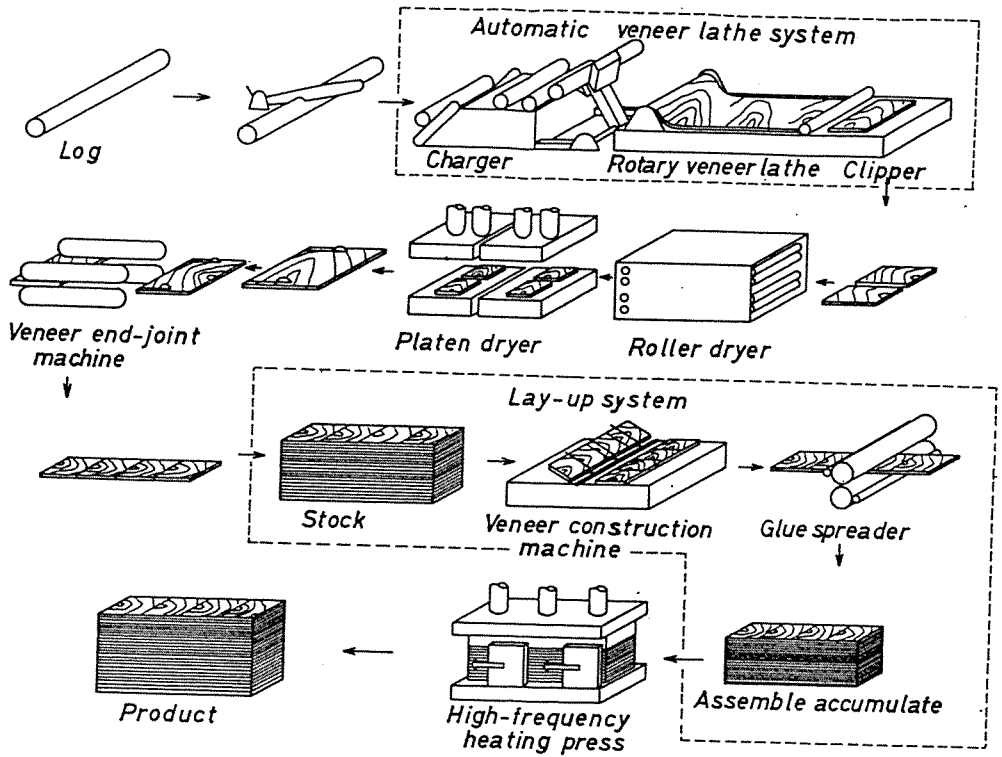
基本系LVLの曲げ強度性能は辺材単板と心材単板の混合比によって変わった（第5表）。辺材単板率と仕上がり製品の平均単板厚さの間に負の相関関係が存在し、曲げ強度性能は平均単板厚さを基準として評価できた。Ver. LVLの曲げ強度性能は製品の平均単板厚さによって3つのグレードに分けられた（第6図）。すなわち第一は3.7mm以下、第二は3.7～3.8mm、第三は3.8mm以上。Hor. LVLでは、辺・心材単板の混合法によって3つのグレードに分けられる（第6表）。すなわち第一は引張側に辺材単板のみ配置、第二は辺・心材単板を交互に配置、第三は引張側に心材単板のみ配置。曲げ破壊係数と梁せいの関係ではASTMの寸法調整係数が適用できた。LVLのバットジョイントに依存した曲げ破壊係数低減率は引張側のバットジョイントを欠損断面として式（1）で計算できる。製材に比べて曲げ強度値のバラツキは小さかった（第11図）。ヤング係数からの曲げ破壊係数の予測はLVLのほうが製材より正確に推定しうる。製造条件を変えたLVLでは単板厚さが薄くなるのに伴って、強度値は大きくなった。2.5mm以下の単板を使用した場合、上級製材の値を越え、2mm厚さの辺材単板のみでは集成材以上であると考えられた。

#### ii) 縦引張強度性能

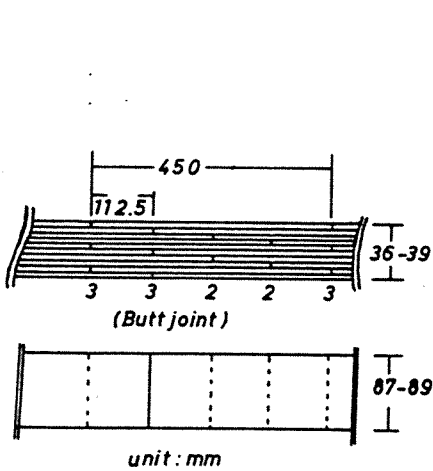
基本系LVLの縦引張強度性能は辺材単板と心材単板の混合比によって変わった（第10表）。縦引張強度性能は曲げと同様に製品の平均単板厚さによって3つのグレードに分けられた。曲げ破壊係数に対して、引張破壊係数が大きいものほど、低減割合は大きかった。ヤング係数は曲げよりも多少大きかったが、これは、曲げの場合せん断によるたわみが含まれているためである。LVLのバットジョイントに依存した縦引張破壊係数低減率は大きい、バットジョイント位置により低減率に差があった。すなわち、最外層部の場合では、それによる低減は相対的に大きく、内層側の場合では、相対的に小さかった（第11表）。製造条件を変えたLVLでは曲げ性能と同様な傾向が認められた。製材との関係も曲げ性能と同様であるが、曲げに対する破壊係数の大きさはLVLで75%程度、製材で60%程度とLVLのほうが大きかった。

#### iii) 圧縮強度性能

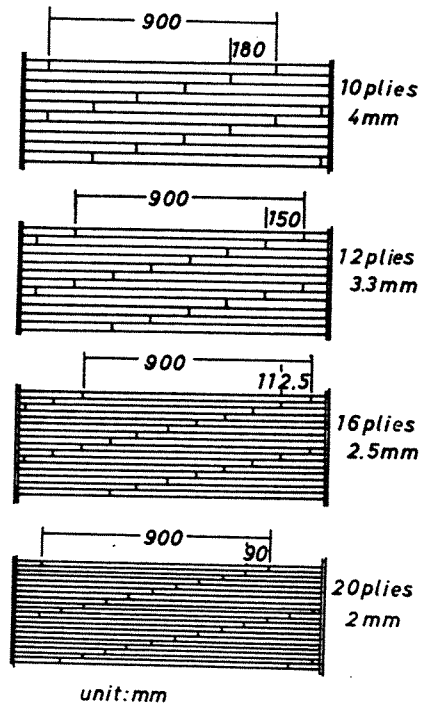
LVLの縦圧縮強度は辺・心材単板の混合比によって差異がなかった（第15表）。縦圧縮破壊係数は製材の1.5倍程度で、曲げや縦引張破壊係数に比較してバラツキも小さく、非常に安定した性能であるといえる。また、中間柱、長柱の座屈についても製材より優れていると考えられる。部分圧縮についても製材より優れている。



第1図 林産試型LVLの製造システム  
 Fig.1 Concept of LVL manufacturing process by Hokkaido Forest Prod. Res. Inst.



第3図 Ver. LVLの形状  
 Fig.3 Form of Ver. LVL specimen.



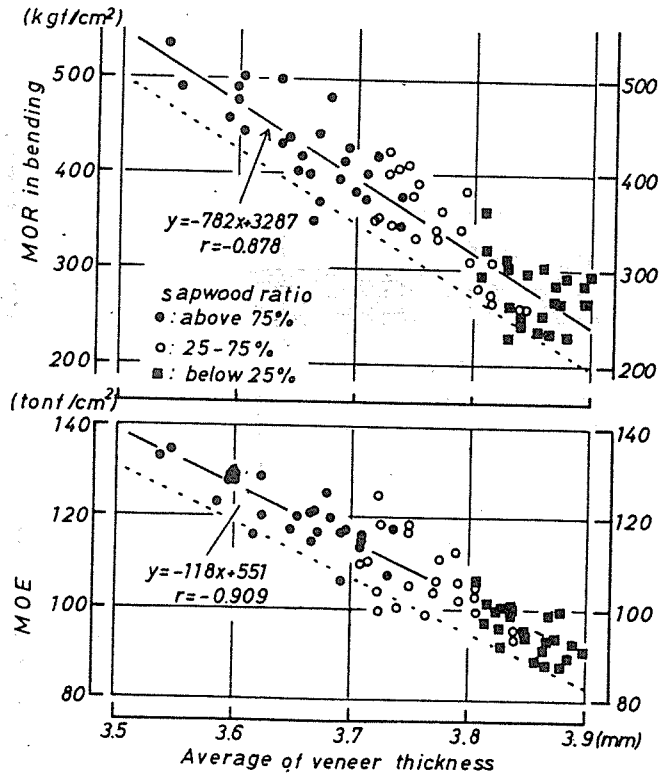
第4図 試験体の形状  
 Fig.4 Forms of LVL specimens in various manufacture-condition.

第5表 辺・心材単板混合比別 Ver. LVLの曲げ試験結果

Table 5. Results of bending test for standard Ver. LVL, to the mixing ratio of sapwood to heartwood veneers.

Mixing ratio: sap:heart		Average	S. D. <sup>d)</sup>	C. D. <sup>g)</sup>	Value of		5% <sup>h)</sup> exclusion limit
		$\bar{x}$	S	(%)	max.	min.	
Total	$\sigma_{bb}$ <sup>a)</sup>	356	88	24.6	537	229	211
	$E_e$ <sup>b)</sup>	110	13.2	11.9	134	88	88
	$E_f$ <sup>c)</sup>	105	12.0	11.7	128	86	85
	r <sup>d)</sup>	0.54			0.57	0.51	
1.0:0	$\sigma_{bb}$	467	42	8.9	537	399	398
	$E_e$	125	5.5	4.6	134	115	116
	$E_f$	120	4.6	4.0	128	108	112
	$\sigma_{bp}/\sigma_{bb}$ <sup>e)</sup>	0.76			0.88	0.70	
	r	0.55			0.57	0.53	
0.7:0.3	$\sigma_{bb}$	357	21	6.6	379	319	323
	$E_e$	114	2.4	2.3	117	110	110
	$E_f$	101	2.1	2.0	104	98	98
	$\sigma_{bp}/\sigma_{bb}$	0.81			0.85	0.77	
	r	0.53			0.53	0.53	
0.5:0.5	$\sigma_{bb}$	334	25	8.3	363	295	303
	$E_e$	116	1.9	1.8	118	113	113
	$E_f$	113	2.3	2.3	117	111	109
	$\sigma_{bp}/\sigma_{bb}$	0.84			0.89	0.78	
	r	0.55			0.55	0.54	
0.3:0.7	$\sigma_{bb}$	298	11	4.2	321	278	280
	$E_e$	101	3.6	3.9	106	96	95
	$E_f$	93	3.1	3.7	96	87	88
	$\sigma_{bp}/\sigma_{bb}$	0.88			0.95	0.86	
	r	0.52			0.52	0.51	
0:1.0	$\sigma_{bb}$	272	27	10.5	326	229	228
	$E_e$	96	4.6	5.0	103	88	88
	$E_f$	95	4.8	5.0	102	89	87
	$\sigma_{bp}/\sigma_{bb}$	0.94			0.99	0.89	
	r	0.53			0.56	0.51	

- a): modulus of rupture (MOR) in bending (kgf/cm<sup>2</sup>)
- b): modulus of elasticity, edge wise (tonf/cm<sup>2</sup>)
- c): modulus of elasticity, flat wise (tonf/cm<sup>2</sup>)
- d): air dried density
- e): proportional limit
- f): standard deviation
- g): coefficient of deviation
- h):  $\bar{x} - 1.65S$



第6図 平均単板厚さと曲げ破壊係数の関係

Fig. 6 Relationships between average veneer thickness and bending strength of Ver. LVL.

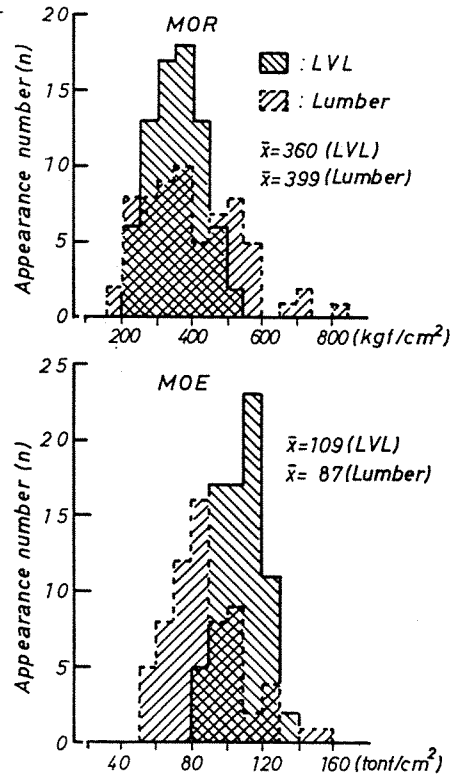


第6表 Hor. LVLの曲げ試験結果

Table 6. Results of bending test for standard Hor. LVL.

		Total	① <sup>a)</sup>	②	③
No. specimen		45	15	15	15
r	$\bar{x}$ <sup>a)</sup>	0.55	0.56	0.54	0.54
Eb ( $\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$ )	$\bar{x}$	105	118	105	92
	S. D. <sup>b)</sup>	12.1	8.5	6.7	5.5
	C. D. (%) <sup>c)</sup>	11.5	7.2	6.3	5.9
	5% excl. <sup>d)</sup>	85	104	94	83
	max.	124	124	113	102
	min.	82	104	94	82
$\sigma_{bb}$ ( $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ )	$\bar{x}$	327	406	329	256
	S. D.	72.1	42.2	30.9	21.9
	C. D. (%)	22.1	10.1	9.4	8.5
	5% excl.	208	338	278	220
	max.	470	470	380	295
	min.	215	335	273	215
$\sigma_{bp}$ ( $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ )	$\bar{x}$	282	338	275	234
	S. D.	37.8	25.5	25.4	19.0
	C. D. (%)	13.4	7.5	9.2	8.1
	5% excl.	220	296	233	203
	max.	379	379	310	265
	min.	214	298	234	214
$\sigma_{bp}/\sigma_{bb}$	$\bar{x}$	0.86	0.83	0.85	0.91
	S. D.	0.042	0.036	0.029	0.030
	C. D. (%)	4.9	4.4	3.4	3.3
	5% excl.	0.79	0.77	0.81	0.86
	max.	0.97	0.94	0.96	0.97
	min.	0.78	0.78	0.80	0.87

- a)  $\bar{x}$  : average
- b) S. D. : standard deviation
- c) C. D. : coefficient of deviation
- d) 5% excl. : 5% exclusion limit ( $\bar{x} - 1.65S$ )
- e) : ①, tension side consists of sapwood only  
 ②, sapwood and heartwood are arranged alternately  
 ③, tension side consists of heartwood only



第11図 Ver. LVLと204材の曲げ強度分布  
 Fig. 11 Bending strength distributions of Ver. LVL and 2-by-4 dimension lumber.

第10表 辺・心材単板混合比別LVLの縦引張試験結果  
 Table 10. Results of tensile tests parallel to grain in standard LVL for the mixing ratios of sapwood to heartwood of veneer assemblies.

		Total 10 plies	Sapwood veneer only	Heartwood veneer only	Mixed	24 plies
No. specimen		45	15	15	15	24
$r$	$\bar{x}^a)$	0.56	0.57	0.56	0.56	0.55
$E_t$ $\left(\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}\right)$	$\bar{x}$	116	127	104	117	115
	S. D. <sup>b)</sup>	13.9	11.4	10.5	7.3	7.5
	C. D. (%) <sup>c)</sup>	12.6	9.4	10.6	6.5	7.2
	5 % excl. <sup>d)</sup>	93	108	87.1	105	103
	max.	151	151	128	127	125
	min.	91	110	91	105	104
$\sigma_{tb}$ $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$	$\bar{x}$	262	311	219	256	252
	S. D.	48.7	34.5	19.2	27.3	23.6
	C. D. (%)	18.1	11.1	8.8	10.7	9.4
	5 % excl.	180	254	187	211	213
	max.	354	354	246	278	289
	min.	184	278	184	203	210
$\sigma_{tp}$ $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$	$\bar{x}$	250	298	214	244	241
	S. D.	81.8	18.2	29.7	26.0	29.2
	C. D. (%)	32.7	6.1	13.8	10.7	12.1
	5 % excl.	163	268	165	201	193
	max.	317	317	230	257	263
	min.	162	272	162	203	198
$\sigma_{tp}/\sigma_{tb}$	$\bar{x}$	0.96	0.94	0.98	0.97	0.98
	S. D.	0.055	0.037	0.018	0.030	0.027
	C. D. (%)	5.7	3.9	1.9	3.1	2.8
	5 % excl.	0.87	0.88	0.95	0.92	0.94
	max.	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99
	min.	0.88	0.88	0.94	0.92	0.93

a)–d) : see Table 6.

第11表 ジョイント位置の異なるLVLの縦引張試験結果  
 Table 11. Results of tensile tests parallel to grain of standard LVL for difference of joint position.

		①	②	③	④
No. specimen		15	10	10	④
$r$	$\bar{x}^a)$	0.56	0.55	0.56	0.54
$E_t$ $\left(\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}\right)$	$\bar{x}$	117	114	103	96
	S. D. <sup>b)</sup>	7.3	9.6	2.8	7.9
	C. D. (%) <sup>c)</sup>	6.5	8.8	2.7	8.7
	5 % excl. <sup>d)</sup>	105	98	98	83
	max.	127	127	107	104
	min.	105	102	97	85
	$\bar{x} / \bar{x}_{④}$		0.974	0.880	0.821
$\sigma_{tb}$ $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)$	$\bar{x}$	256	235	183	178
	S. D.	27.3	18.2	29.1	26.7
	C. D. (%)	10.7	8.4	15.9	15.0
	5 % excl.	211	188	135	134
	max.	272	257	221	207
	min.	203	184	139	138
	$\bar{x} / \bar{x}_{④}$		0.918	0.715	0.695

a)–d) : see Table 6., ①–④ : see Fig. 13.

第15表 縦圧縮試験結果

Table 15. Results of compressive tests parallel to grain both in LVL and lumber.

		Total 10 plies	Sapwood veneer only	Heartwood veneer only	Mixed	24 plies	No joint LVL	Lumber
No. specimen		90	30	30	30	24	10	24
r	$\bar{x}$ <sup>a)</sup>	0.54	0.55	0.53	0.54	0.55	0.59	0.50
$E_c$ ( $\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$ )	$\bar{x}$	115	127	100	119	113	120	
	S. D. <sup>b)</sup>	18.7	8.8	9.0	9.2	8.9	9.1	
	C. D. (%) <sup>c)</sup>	16.2	5.2	7.5	7.7	7.9	7.6	
	5 % excl. <sup>d)</sup>	84	116	85	104	98	105	
	max.	135	135	112	130	128	132	
min.	86	118	86	97	99	107		
$\sigma_{cb}$ ( $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ )	$\bar{x}$	445	450	458	427	432	560	335
	S. D.	33.5	25.8	38.8	27.7	17.9	31.5	80.0
	C. D. (%)	7.5	5.7	8.4	6.5	4.2	5.6	23.8
	5 % excl.	390	408	393	382	402	508	203
	max.	539	516	538	476	461	625	505
min.	370	405	401	370	394	503	225	
$\sigma_{cp}$ ( $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ )	$\bar{x}$	325	332	322	322	335	398	
	S. D.	33.9	34.2	32.3	23.6	30.6	33.9	
	C. D. (%)	10.5	10.3	10.0	7.3	9.1	8.5	
	5 % excl.	269	276	269	283	285	342	
	max.	383	369	383	349	362	434	
min.	261	267	274	261	283	348		
$\sigma_{cp}/\sigma_{cb}$	$\bar{x}$	0.73	0.73	0.70	0.74	0.73	0.71	
	S. D.	0.048	0.054	0.049	0.027	0.041	0.018	
	C. D. (%)	6.5	7.3	7.0	3.6	5.6	2.6	
	5 % excl.	0.65	0.64	0.62	0.70	0.64	0.68	
	max.	0.81	0.81	0.79	0.79	0.80	0.75	
min.	0.64	0.65	0.64	0.71	0.63	0.67		

a) - d) : see Table 6.

### iii) 三者の強度性能の関係

無欠点小試験体LVLの場合、破壊係数は $\sigma_{tb} > \sigma_{bb} > \sigma_{cb}$ の関係になるが、基本系LVL試験体の場合、 $\sigma_{cb} > \sigma_{bb} > \sigma_{tb}$ の関係になる。破壊係数の低減割合は縦圧縮、曲げ、縦引張の順で大きくなった。実大製材では $\sigma_{bb} > \sigma_{cb} > \sigma_{tb}$ の関係が認められた。曲げ破壊に關しては、無欠点材とは異なり、引張側が一次的に關与していると考えられる(第24図)。

#### (3) せん断強度性能

スパン-梁せい比 ( $l/h$ ) の関係から求めたせん断弾性係数と真の曲げヤング係数は、それぞれ  $7 \text{ tonf/cm}^2$ 、 $130 \text{ tonf/cm}^2$  程度であり、バットジョイントによるこれらの係数の低減は認められなかった。無ジョイントLVLでは、Ver. LVLで  $l/h = 8$  から、Hor. で  $l/h = 11$  からせん断破損を起こしたが、~~基本系LVLでは  $l/h = 4$  でもせん断破損を起~~~~したが~~、基本系LVLでは  $l/h = 4$  でもせん断破損を起こさなかった。金の理論を用いて、曲げ試験からせん断破壊係数と縦圧縮破壊係数を求めたが、せん断破壊係数はブロックせん断による値と、縦圧縮破壊係数は圧縮試験による値とよく一致した(第23表)。せん断面積法を用いて、 $l/h = 4$  の場合の見掛けの最大せん断破壊係数を予測したが、無ジョイントLVLでは212材で  $38 \text{ kgf/cm}^2$  程度、基本系LVLでは  $30 \text{ kgf/cm}^2$  程度と推定された(第34図)。ブロックせん断破壊係数ではローリングシア値が小さく、他方向の値の20%程度であった。

#### (4) 曲げ長期荷重性能

小試験体におけるクリープ限度応力は、LVLで破壊応力比の45%程度、製材で55%程度であった(第38図)。クリープ曲線  $\delta_c(t) = At^N$  の定数N値は、各応力比で同一であり、LVLで0.23、製材で0.27であった。LVLの相対クリープ量はバットジョイントの有無にかかわらず一定であった。基本系LVLの実大試験体では、応力比によるクリープ限度の関係は見いだせなかった(第40図)。クリープ試験継続中に破壊した試験体は、最初に引張側で破損が発生し、クリープ破壊に至った(第42図)。高応力比のクリープ試験体では、クリープ履歴の影響を受けて、クリープ試験後にヤング係数が低下する傾向が認められた。通常の室内に放置したクリープ曲線は変動したが、この変動は絶対湿度を指標とすると説明しやすい。クリープ曲線の定数N値はLVLと製材とも梁せいにかかわらず同一値であった。LVLの相対クリープ量に対して寸法効果が認められ、梁せいが大きくなると相対クリープ量は小さくなった(第47図)。実大試験体のクリープ曲線の実験式から、推定したクリープ破壊応力比はクリープ期間50年で、50%前後であり、クリープによる低減は1/2を取るのが適切であると判断される(第48図)。

#### (5) 長期許容応力度の推定

曲げ長期許容応力度は次式で推定した。

$$lf_b = A \times k_4 \times \alpha \times \beta \times \gamma = F_a \times \alpha \times \beta \times \gamma$$

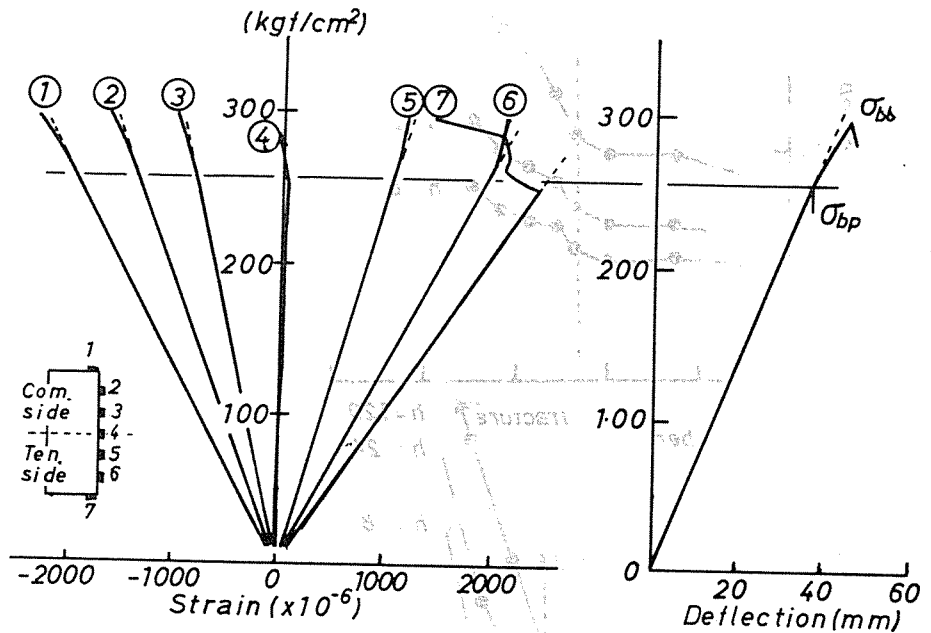
$$A = 1.167 \cdot F_1 - 157$$

$$F_1 = F_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3$$

$F_0$  : 無欠点材の基準曲げ破壊係数

$F_a$  : 実大材の曲げ破壊係数

$k_1$  : 心材単板率による低減係数

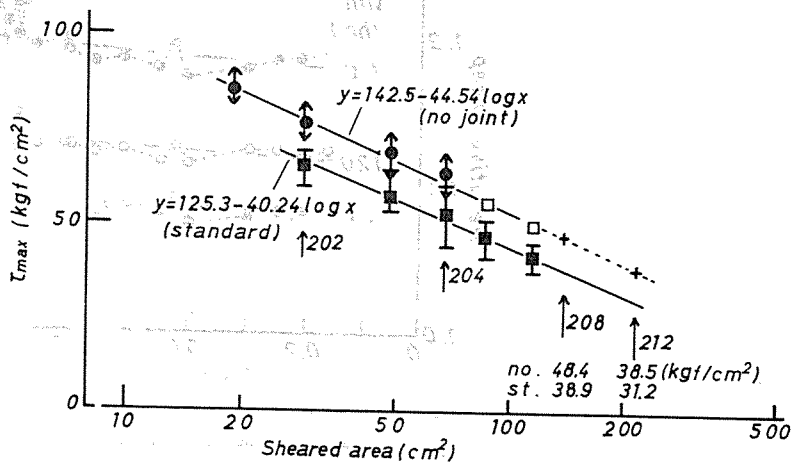


第24図 曲げ試験における応力-ひずみおよびたわみ曲線の例  
 Fig. 24 Examples of stress-strain and stress-deflection curves in bending for standard LVL.

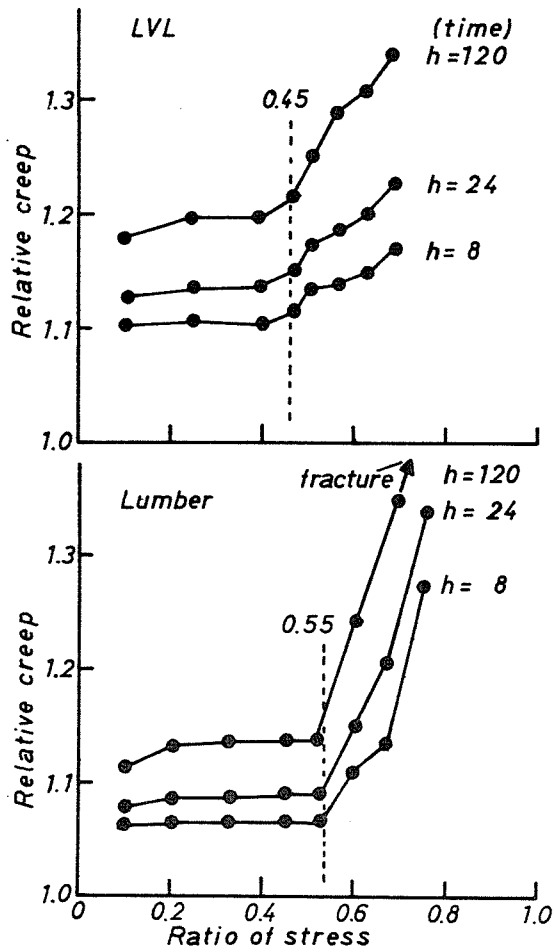
第23表 曲げ試験から決定された縦圧縮とせん断破壊係数の関係  
 Table 23. Values of shear and compressive strength of LVL's determined from bending tests.

Type of LVL	$\sigma_{bb}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cb}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\tau_b$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{cb}/\tau_b$	$\sigma_{cb}^{a)}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
Ver.	820	434	94	4.167	432
Hor.	805	410	90	4.556	432

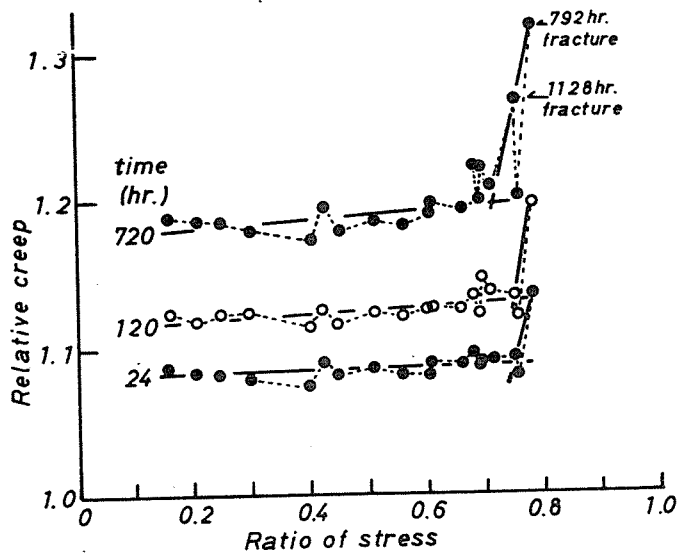
a) : from compressive test.



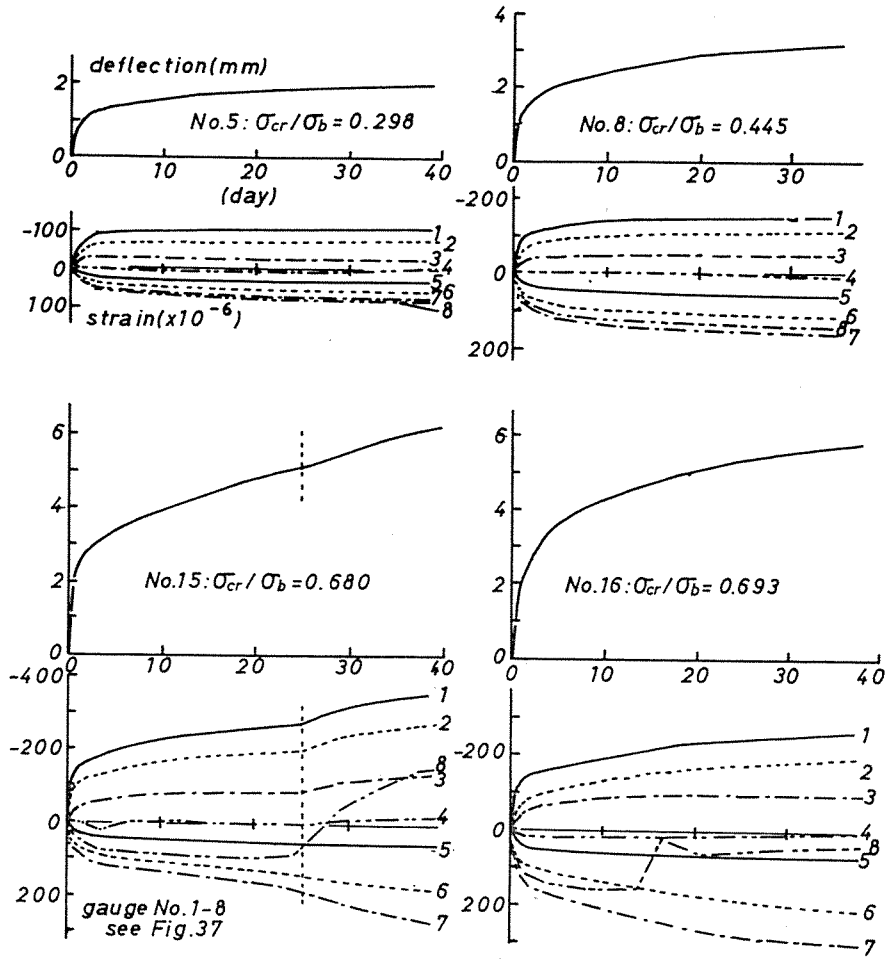
第34図 見掛けの最大せん断破壊係数とせん断面積の関係  
 Fig. 34 Relationships between shear-area and effective shear strengths.



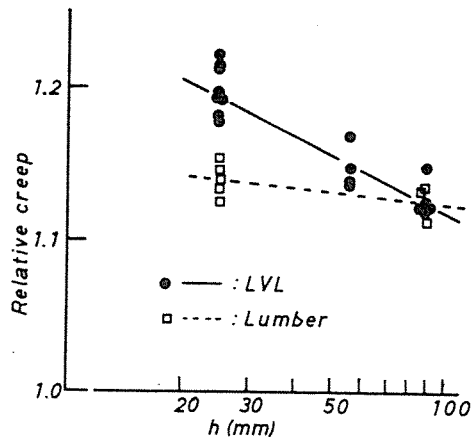
第38図 小試験体の応力比と相対クリープの関係  
 Fig. 38 Relationships between ratio of stress and relative creep for small specimens.



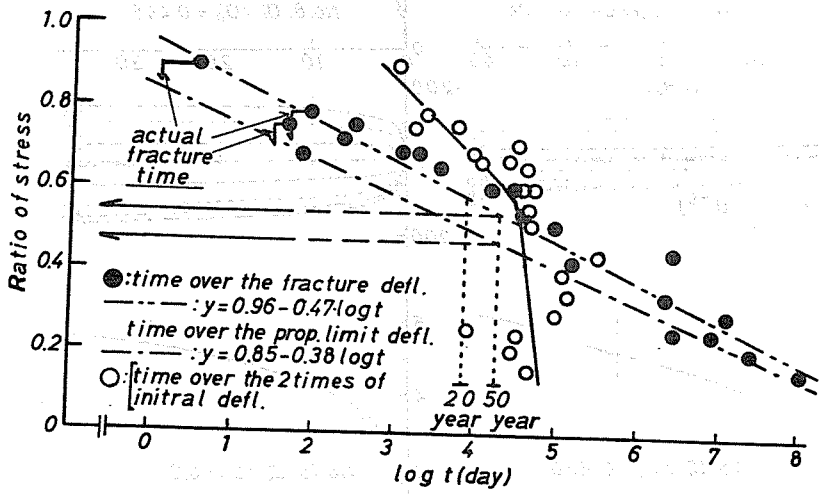
第40図 実大試験体の応力比と相対クリープの関係  
 Fig. 40 Relationships between ratio of stress and relative creep for full size LVL.



第42図 実大試験体のクリープたわみとクリープひずみ曲線  
 Fig. 42 Creep deflection and strain curves for full size specimens.



第47図 梁せいと120時間後の相対クリープの関係  
 Fig. 47 Relationships between beam depth and relative creep of after 120 hrs..



第48図 応力比と推定破壊時間の関係  
 Fig. 48 Relationships between ratio of stress and presumed fracture time.

第30表 推定した長期許容応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 Table 30. Presumed allowable unit-stresses (kgf/cm<sup>2</sup>)

	Bending	Tension	Compression		Shear	MOE ( $\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$ )
		parallel to grain	parallel to grain	perpendicular to grain		
Standard LVL						
Sap. ratio above 75%	120	85	180-120	35	7	125
" 75-25%	100	70	180-120	35	7	110
" below 25%	85	60	180-120	35	7	95
Changed LVL						
Veneer thick. 4.0mm	105	85	—	—	—	110
(Sap. ratio 75-25%) 3.3mm	115	90	—	—	—	115
2.5mm	130	105	—	—	—	118
2.0mm	160	110	—	—	—	125
(Sapwood only) 2.0mm	200	(130) <sup>a)</sup>	—	—	—	140
Lumber	90	90	70	25	7	90

a) ( ): presumed value



$k_2$  : 厚さ減による増加係数と単板品質に低減係数

$k_3$  : バットジョイントによる低減係数

$k_4$  : 寸法調整係数

A : 試験法による曲げ破壊係数の補正式

$\alpha$  : 安全係数

$\beta$  : 統計的下限值係数

$r$  : 長期許荷重換算係数

基本系LVL, 製造条件を変えたLVLについて推定した曲げ, 縦引張, 縦圧縮, 部分圧縮およびせん断の長期許容応力度と曲げヤング係数を第30表に示した。

最後に, 本研究結果がLVLの構造用用途への利用につながれば幸いであると考える。

## 20 カラマツLVLの水に対する性質(第5報)

—気象因子が吸/放湿と寸度変化に及ぼす影響—

北村 維朗

### Moisture-Concerned Properties of Karamatsu LVL (V)

—Effects of meteorological factors on hygroscopical  
and dimensional behaviours of karamatsu LVL—

Tadao KITAMURA

Samples of laminated veneer lumber taken from the sapwood and the heartwood of karamatsu, Japanese larch, were left exposed to outdoor conditions for two years. One group of the samples had been given a protective treatment of coating or end-sealing, while the other had been given none of it. After two years of exposure, the effects of the protective treatment were evaluated from multiple regressional models determined from meteorological factors in the test period; those multiple regressional models were determined so that they might express changes in (1) the weight, or moisture balance, (2) the dimension in a width direction, and (3) the dimension in a thickness direction, of each LVL sample in terms of a constant, the total quantity of solar radiation ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), and the monthly quantity of precipitation (mm).

Then standard changes in weight and dimension, which correspond to changes in quantities of solar radiation and precipitation, were determined by analyzing the multiple regressional models. The changes determined thus were compared with the experimentally-obtained information on how effective the protective treatment was for making the LVL resistant to the influence of solar radiation and precipitation. Their influence upon the sapwood LVL and a the heartwood LVL, each of which was further divided into a treated group and non-treated group, were separately examined. The results obtained thus are summarized as follows:

(1) The quantity of solar radiation in the exposure period had a greater influence upon the hygroscopical behavior of each sample than the quantity of precipitation in the same period.

(2) Very little difference was recognized in the influence of the monthly precipitation quantity upon the dimensional behavior of a sample, whether the sample was taken from the sapwood or the heartwood, or whether it had been given a protective treatment or not, or whether the treatment was end-sealing or coating with polyurethane.

(3) Polyurethane coating on the whole surface of the sample was found to be effective for reducing the damage by the solar radiation, while the end-sealing was found to be hardly effective for the same purpose.

(4) The influence of meteorological factors upon the dimensional change in width of a sample showed a trend similar to that seen with their influence on the hygroscopical behaviour.

(5) Thickness change was recognized to be more influenced by the quantities of solar radiation and precipitation with a sample treated with end sealing than with a non-treated sample. This is probably because the non-treated sample had been affected greatly by the solar radiation and the precipitation in a relatively early stage of exposure, thereby attaining irreversible deformation in a relatively short period of time.

カラマツ単板により、辺・心材別々に調製した単板積層材(LVL)をそのまま及び2種類の保護処理を加えた後、約2年間屋外暴露し、保護処理の効果を比較した。

暴露期間中の各月の(1)付加水分(試料重量)の変化、(2)積層単板の幅方向の寸度の変化、(3)積層の厚さ寸度の変化を同期間中の気象データと照合し、重回帰分析によって、定数項、全日射量(MJ/m<sup>2</sup>)、降水量(mm)に関する3項によって表現した。得られた重回帰モデルにより、日射量と降水量の標準変化量に対応する付加水分と各寸度の変化量を求め、構成単板の辺/心材別、保護処理別の影響を比較した。その結果、以下の諸点が認められた。

- (I) 「日射エネルギー」の大小は試料の屋外暴露中の吸/放湿挙動に対して「月間降水量」よりも大きな影響を与える。
- (II) 「月間降水量」の寸度変化に及ぼす影響は、無処理、木口処理、ポリウレタン塗装の別を問わず、また、辺/心材の別を問わずほとんど差がない。
- (III) ポリウレタンによる表面塗装は日射の影響を軽減するのにきわめて効果的であるが、木口の防水処理の効果は明白でない。
- (IV) 試料の幅方向(接線方向)の寸度変化に関する気象の影響と処理区分間、辺/心材別間の効果は、吸/放湿挙動と同様な傾向である。
- (V) 積層厚さ(放射方向)の変化へ及ぼす日射量、降水量の影響は無処理試料よりも、木口処理試料の方が大きい。
- (VI) (V)の理由としては、無処理試料は、暴露初期の段階での日射および降水の影響を大きく受けて、早期に非可逆的変形の領域に達したからと解釈される。

## 5. まとめ

窓枠等、屋外気象に影響を受ける用途を考慮する場合、LVLの気象要素に対する挙動を把握しておくことが必要である。

造林カラマツの辺材と心材で別々に調整したLVL(単板厚; 4 mm)の小角試料にポリウレタン塗装または特殊合成樹脂ワニスで木口処理を行った後、無処理試料とともに2年間屋外暴露を行った。暴露中の吸放湿を示す重量変化と、収縮膨張を示す寸度変化を追跡

して、同期間中の気象データとの関係を求めた。

試料LVLの重量変化と寸度変化は、各種の気象要因のうち、平均全日射量と降水量との関係が認められ、これらを2つの説明変数とする線型重回帰式で表すことができた。6種類のLVL試料ごとに求めた重回帰モデルによって、試料ごとの、両気象要因に関する挙動を考察した。

(I) 「日射エネルギー」の大小は、LVLの屋外暴露中の吸放湿挙動に対して支配的であり、「月間降水

量」の影響はこれより小さい。

(II) 「月間降水量」の影響は、無処理、木口処理、ポリウレタン塗装の処理区分の差、および辺心材別の差も認め難い。

(III) ポリウレタン塗料(透明)による表面塗装は日射の影響を軽減するのに極めて効果的であるが、特殊合成樹脂ワニスによる木口処理は、これに対する効果は明白でない。

(IV) 試料LVLの幅方向(接線方向)の寸度変化に

関する気象の影響と試料の処理区分間、辺心材別間の効果の一般的傾向は、吸放湿挙動と同様である。

(V) 積層厚さ(放射方向)寸度の変化への影響は日射量、降水量ともに無処理試料よりも、木口処理試料の方が大きい。

(VI) (V)の理由としては、無処理試料は、暴露初期の段階で、日射および降水の影響を大きく受けて、早期に非可逆的変形の領域に達しているからと解釈される。

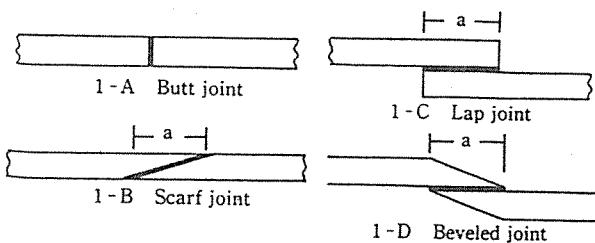
## 2 1 構造用 LVL の曲げ性能に及ぼす単板 縦継ぎ方法の影響に関する一考察<sup>†</sup>

大熊 幹章\*

### 1. LVL における単板の縦継ぎについて

LVL 製造のメリットの一つとして短尺単板を用いて長尺製品を製造できることが挙げられる。この場合に単板の縦継ぎが不可避になるが、従来、単板の縦継ぎは単板接合の効率化と単板歩留まりの向上を図るために主に Butt joint によって行われてきた。しかし、Butt joint においては、単板は互いに突き付けられているだけであるから接合部の強度はゼロであり、単板縦継ぎ部は欠陥部として製品強度に悪影響を与えることになる。また、一定の製品強度を保証するためには、製品の中で縦継ぎ部を階段状、あるいは千鳥状にずらせて配置させなければならず、このためには定められたプログラムにしたがって単板のレイアップを正確に行う必要がある。この場合、LVL 製造ラインは特別の単板積層装置を組み込むことが不可欠となる<sup>1)</sup>。

単板の縦継ぎ方法にはいくつかの方法が考察されているが、それらのうち主なものを第 1 図に示した。もし接合効率の高い単板縦継ぎが、能率的にまた低コストで行えれば、より性能の良い LVL が得られると同時に、LVL 内における単板縦継ぎ部の配置を考慮せずに単板積層を自由に行えるから、従来の合板製造ラインによっても、あるいは連続生産などの新しい生産方式を考える場合も、上に述べたような特別の単板積層装置を用いない単純化されたライン設定が可能となる。



第 1 図 単板縦継ぎ方法の種類

a : 重なり長さ

<sup>†</sup> 本研究の一部は第 38 回日本木材学会大会 (1988 年 7 月, 旭川) において発表した。

\* 東京大学農学部 (The University of Tokyo)

る。

ここでは上記のことを考慮して、現在、LVL や合板製造を目的として採用あるいは考案されているいくつかの縦継ぎ法および縦継ぎ条件が LVL の曲げ性能に与える影響を調べた。

### 2. 単板縦継ぎの種類

第 1 図に示した 4 種類の縦継ぎ方法について実験を行った。これらについて簡単に説明を加える。

#### ① Butt joint

単板を突き付けるだけなので、接合部そのものには耐力はない。接合部を上下に挟む単板が側面から接着されることによって製品は一定の強度を保持する。したがって、縦継ぎ部を製品の中でずらせて配置させなければならない。構造用 LVL の JAS では、このことが明確に規定されている。現在では単板縦継ぎの大半は本法によって行われている。

#### ② Scarf joint

傾斜比を大きく取った Scarf joint は、一般に強度の大きな接合が得られると言われているが、スカーフカットを正確に、また能率よく行うためには新たな切削機械の開発が必要であった。また、スカーフ部分の材積の半分が切削屑となって廃棄されてしまい、歩留まりの低下を来すことも問題である。なお、Scarf joint では接合される単板の位置が多少ずれてもプレス圧によって単板がつぶされて隙間が充填されるので、外觀上都合が良い。傾斜角を鋭角にした Scarf joint が、接合強度を要求しない単板縦継ぎ法として用いられるのはこのためである。

#### ③ Lap joint

単板をラップさせて板目面接着するもので、強度と作業性が良いので Micro-lam 等で採用されている方法である。しかし、単板 2 層が重なって圧縮を受けるので、単板が厚く、積層数が少ないとその部分の圧縮度が高まり、製品厚さが局部的に厚くなったり、吸湿によって盛り上がってくる恐れがある。また圧縮に対する抵抗が小さいと言われている<sup>2)</sup>。

#### ④ Beveled joint

Lap joint の上記の欠点を除去するために、接合部の

単板端部を削り取ることが考えられた。これが本来の Beveled joint であるが、実際にはあらかじめ単板端部をスカーフカットしておき、スカーフ面を接着せずに、背面同志を合せて接着する。本法は、従来あまり検討されて来なかったが、Scarf joint と Lap joint の長所を生かし、短所を補うことができるものと考え、本研究では、この Beveled joint に焦点を合せて実験を行った。

### 3. 試験方法

#### 3.1 供試単板

単板樹種はヒノキおよびラワンで、厚さ 3mm のロータリー単板である。一部の単板の端部には、スカーフ切削がなされているが、これは橋本電機工業㈱において新たに開発された Scarf machine によって行われた。第 1 図-B, C, D に見るように、スカーフカット等の底部の長さ a には、12, 20, 28mm の 3 種がある。

#### 3.2 試験体の作成

各種の縦継ぎ法によりその条件を変えて 4ply の LVL を製造し、試験体とした。

(1) 片側最外層単板に一つの縦継ぎ部のある試験体 (joint-1 試験体)

4ply 単板層の片側最外層に一つの縦継ぎ部があるものを作成した。これを joint-1 試験体と称することにする。すなわち、第 2 図-B に見るように、厚さ 3mm のヒノキ単板を積層接着して (縦継ぎ部にも接着剤を塗布する) 4ply LVL を作るが、この際、片側最外層単板にある一つの縦継ぎ部が長さ方向の中央部に来るよ

うに調整した。接着剤はエスレジン X-10700 (松栄化学工業㈱製) を用い、熱板温度 100℃、圧縮圧力 10kg/cm<sup>2</sup> の条件で接着した。なお、縦継ぎ部の重なり長さ a は 12, 20, 28mm の 3 種類とした。また、コントロール用に縦継ぎのない No joint LVL (第 2 図-A) も用意した。製造された試験板を幅方向に 30mm に切断して、30mm×450mm の短冊型試験体を多数作成した。

(2) 片側最外層および第 2 層単板にそれぞれ一つずつの縦継ぎ部のある試験体 (joint-2 試験体)

3mm 厚ラワン単板を用いて第 2 図-C に見るような片側最外層および第 2 層単板にそれぞれ一つの縦継ぎ部のある試験体を Butt joint, Scarf joint, Lap joint および Beveled joint の 5 種類について製造した。これを joint-2 試験体と称することにする。このとき、縦継ぎ間の距離 d を 0, 30 (Butt joint の場合), 60, 90mm と変化させるとともに、それぞれについて接合部の重なり長さ a も 12, 20, 28mm と変えた。なお、Butt joint 以外の試験体については Butt joint の場合の d=30mm に代えて、a=12mm に対しては d=12mm, a=20mm には d=20mm, a=28mm には d=28mm とした。接着条件等は joint-1 試験体と同様である。製造された試験板より、幅 20mm、長さ 300mm の試験体を多数裁断したが、図に見るように、最外側に有る縦継ぎ部が試験体の長さ方向における中央部に来るように調整した。

#### 3.3 4ply LVL の材質試験

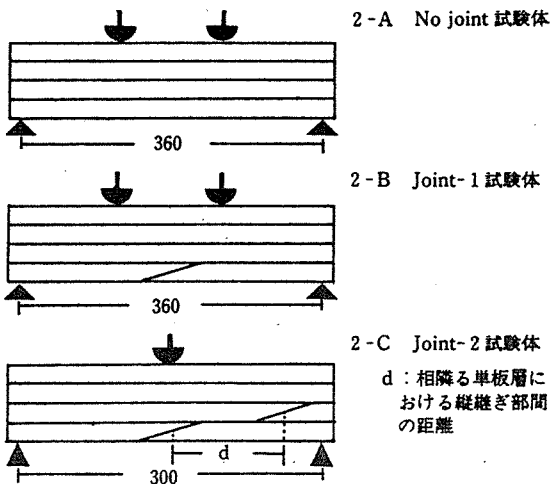
Butt joint, Scarf joint, Lap joint, Beveled joint および比較のための No joint の 5 種類の試験体について、縦継ぎ部を引張側にした曲げ試験を行い、曲げ強さ (MOR)、曲げヤング係数 (MOE) を求めた。

### 4. 試験結果と考察

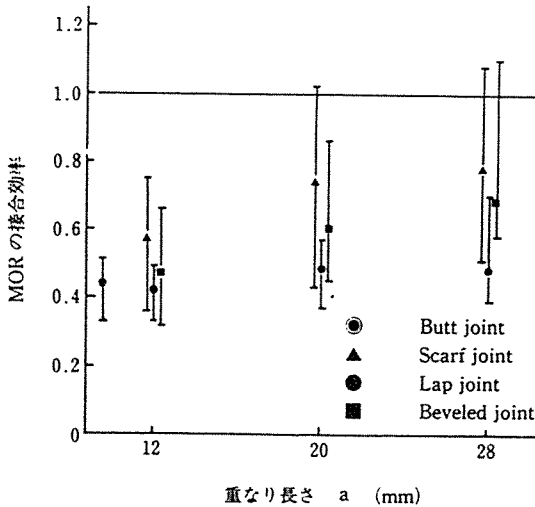
#### 4.1 片側最外層単板に一つの縦継ぎ部のある試験体 (Joint-1 試験体) の曲げ性能

Joint-1 試験体について、縦継ぎ部が引張側のスパン中央部に来るようにして 3 等分点 4 点荷重方式によって曲げ試験を行い、曲げ強さ (MOR) と曲げヤング係数 (MOE) を求めた。試験体の個数は各条件とも 13 体ずつである。各試験体の MOR, MOE の最大値、最小値および平均値を No joint 試験体のそれぞれの平均値に対する比、すなわち接合効率で表わした。接合効率を縦軸に取り、これらと縦継ぎ部の重なり長さとの関係を第 3, 4 図に示した。これらの図表から次のことが認められよう。

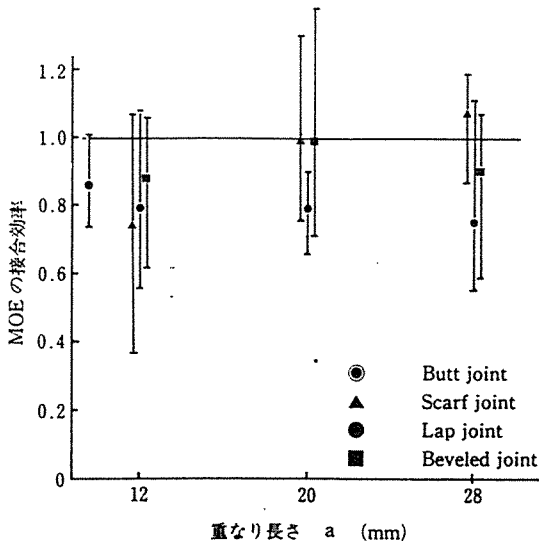
① MOR, MOE ともに何れの接合条件においても測



第 2 図 試験体の種類と曲げ試験方法 (単位 mm)



第3図 Joint-1 試験体における MOR の接合効率と重なり長さの関係

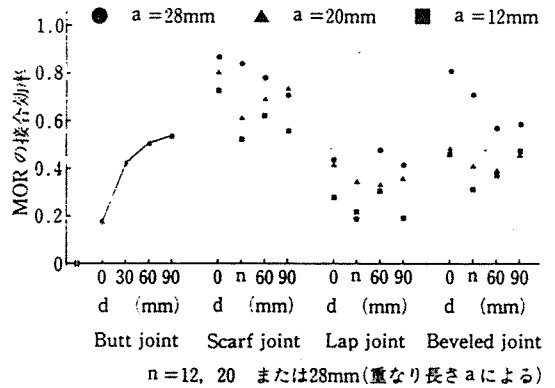


第4図 Joint-1 試験体における MOE の接合効率と重なり長さの関係

定値の変動はかなり大きい。

② しかし、全体的に見ると、MOR については Scarf joint は Lap joint よりも大きな接合効率を示していると言えよう。Beveled joint は両者の中間の位置を占めている。また、どちらかといえば、Lap joint と Butt joint の差は明確ではなく、3mm 単板による 4 プライ LVL の場合は Lap joint の強度的な優位性は認められない。

③ 全体的に、縦継ぎ部の重なり長さ  $a$  が 12mm の場合に比べて、20mm、さらには 28mm と増大すると



第5図 Joint-2 試験体における MOR の接合効率と縦継ぎ間の距離  $d$  との関係

MOR は大きくなるが、20-28mm で頭打ちの傾向にある。

④ すなわち、 $a$  を 20mm 以上にとれば Scarf joint, Beveled joint では 6 割程度の接合効率を期待できると言えよう。また、3mm ヒノキ単板を用いる場合は、 $a$  を 30mm 以上にとる必要はない。

⑤ 一方、MOE については  $a$  の大きさによる影響が認められない。また、Butt joint を含めて縦継ぎ方法による差も明確ではなく、全体的に 8 割程度の接合効率を示す。

#### 4.2 片側最外層および第2層単板にそれぞれ一つずつの縦継ぎ部のある試験体(Joint-2試験体)の曲げ性能

Joint-2 試験体について、縦継ぎ部が引張側のスパン中央部に来るようにしてスパン 300mm, 中央集中 3 点荷重方式によって曲げ試験を行い、MOR, と MOE を求め、縦継ぎ方法、縦継ぎ間の距離、接合部の重なり長さの影響を調べた。試験体の個数は各条件とも 13 体ずつである。

実験結果のうち、MOR について各試験体の値を No joint 試験体の平均値に対する比、すなわち接合効率で表わし、これを縦軸に取り、これらと縦継ぎ部間の距離  $d$  との関係を示した。次のことが認められよう。

① Butt joint では  $d$  が大きくなるにつれて MOR は増大し、 $d=90\text{mm}$  ( $d/t=30$ ,  $t$ : 単板厚さ) を越えるとはほぼ一定値に近づく。これらの結果は、従来の研究結果<sup>3)</sup>と同様である。すなわち、Butt joint では合い隣る単板層における単板縦継ぎ部間の距離は単板厚さの 30 倍以上取らねばならない。

② 他の単板縦継ぎ方法では、 $d$  と接合効率との関係は明確な傾向を示していない。

③ しかし、細かく見ると接合効率は、 $d=0$  のときがむしろ大きく、特に  $d=n$  の場合の値が全て  $d=0$  より小さい。すなわち、直上に接合部がある方が上下層で接合部が斜めに連続して存在している場合よりも強くなる。これは木材組織の乱れと破壊の進行との関係と考えられるが、本実験の範囲では詳細な理由は不明である。

④ これらの結果から Scarf joint, Beveled joint および Lap joint では、第2層の接合部の位置に関しては考慮を払わなくてもよいことになる。すなわち、第1層にある縦継ぎによる強度低下のみを考慮すれば、縦継ぎ部を階段状に配置することなど不要になり、JASで規定している単板積層条件の緩和が可能で、ここにこれらの接合法の大きなメリットが出てくる。

⑤ そのほか、MORの大きさは Scarf joint, Beveled joint, Lap joint の順で Lap joint は Butt joint と殆ど差がないこと、 $a$  が大きくなるほど接合効率は増大すること、等は Joint-1 試験体の実験結果と同じである。

⑥ MOE については Butt joint の場合を除いて、 $d$  さらには  $a$  の影響は見られず、また、Joint-1 試験体の実験結果と同じく縦継ぎ方法による差も認められなかった。

## 5. 結 論

以上、LVL 製造における単板縦継ぎ方法について Scarf joint, Beveled joint, Lap joint さらに Butt joint を取り上げ、LVL の性能、主として強度性能に与

える影響を考察してきた。その結果、次のような結論を得た。

Scarf joint は強度が大きく、そのうえ接合部の隙間や厚さの局部的盛り上り等の外観的欠点を生じる恐れもないので、やはり最も好ましい単板縦継ぎ方法であろう。これに対して、Lap joint は本実験のような比較的厚い単板を用いたプライ数の少ない LVL では強度的にも、外観的にも問題があり、Butt joint に対しても優位性はない。一方、単板縦継ぎ方法として今回新たに取り上げた Beveled joint は、Scarf joint に次ぐ強度を保持し、外観も良い。特に接合部がプレス圧によって曲げられるので Scarf joint よりも目立たなくなり、さらにスカーフカット加工の精度、接合部の重ね合わせの精度においても Scarf joint よりも融通性に富むことが認められた。

今後、単板縦継ぎ方法を工夫することによって、LVL, LVB の性能向上と製造ラインの単純化が期待できるが、この場合に Scarf joint に加えて Beveled joint についてのより詳細な実験的検討を進めるべきであろう。

## 文 献

- 1) 相沢 直：木材工業, 42, 477-480(1987)
- 2) 海老原 徹：東京大学学位論文(1980)
- 3) 李 銓濟・大熊 乾章：木材工業, 39, 221-226(1984)など



## 22 大断面単板積層材の曲げ耐力に関する実験

林 邦昭\*<sup>1</sup>      岡野雄三\*<sup>2</sup>      井上隆二\*<sup>3</sup>

### 1. はじめに

フィンランドの METSÄ-SERLA 社で生産している単板積層材“KERTO-PUU”（以下 KERTO-LVL と呼ぶ）は、SPRUCE を原材として極めて大寸のものが製造可能である。KERTO-LVL は、この10年間フィンランドを始め、北欧三国、西ドイツ、フランス、アメリカで TYPE-APPROVAL を受け、大規模木構造の構造材として数多く使用され、フィンランドでは KERTO-LVL を使用した直径 115m のドームが建設されている。

LVL は歩留りが良く、小径木でも有効に活用できることから、省資源的にみて将来的に構造用（大断面）材として注目される材料である。昭和63年9月、構造用単板積層材（構造用 LVL）の日本農林規格（JAS）が制定され、LVL による大規模木構造が普及する時代を迎えようとしている。

この機会あって、インドアスポーツ施設に KERTO-LVL を用いた大規模木構造の概念設計を行った。

本実験は、KERTO-LVL の材料および接合部に係る諸物性・強度特性について、実大に近いモデルで確認を行ったものである。実験は、KERTO-LVL を大断面で曲げ材として使用する場合を想定し、接合部の性能について「木構造計算規準・同解説 付1. 接合部試験法および許容耐力誘導方法、日本建築学会」に準じて実験し、素材については、JAS に準じた「せん断試験」、大断面材での「曲げ試験」および「めり込み試験」などを行っ

た。本稿は、その概要を紹介するものである。

### 2. 試験材料

本実験に供した単板積層材は、METSÄ-SERLA 社（前出）製 KERTO-LVL で、その特徴および諸元を以下に示す。なお試験体は、製品寸法厚さ：75mm、幅：750mm、長さ：11.5m のものを切断して作成した。

製造可能寸法：厚さ 27～75mm、幅 1.8m、長さ 23m

原材の樹種：スプルース

接着剤：フェノール樹脂

単板の構成：厚さ 3mm、積層数 26層（製品厚 75mm）

たて継ぎ方法：スカーフジョイント

品質管理：含水率、単板品質、接着剤の性能・量、熱加圧条件、曲げ強さなどについて TRC<sup>1)</sup> のチェックを受けている。

### 3. 試験体および試験方法

#### 3.1 素材の物性試験

##### (1) 含水率および比重測定

試験体は、寸法 100mm×100mm×75mm を 8 体、くぎのせん断試験終了後の 375mm×300mm×75mm を 6 体計 14 体とし、JIS Z 2102「木材の平均年輪幅・含水率及び比重測定方法」に準じて測定した。

##### (2) 曲げ試験

試験体は、図-1 に示すように KERTO-LVL 2 枚で構成する狭み梁で、試験体数は 2 体である。かい木は鋼

## BENDING TESTS ON HEAVY LAMINATED-VENEER-LUMBER

\*1 HAYASHI Kuniaki : 川崎重工業㈱鉄構事業部建築設計部 課長

\*2 OKANO Yuuzo : 同上 鉄構事業部建築設計部 係長

\*3 INOUE Ryuujii : (財)日本建築総合試験所 研究員

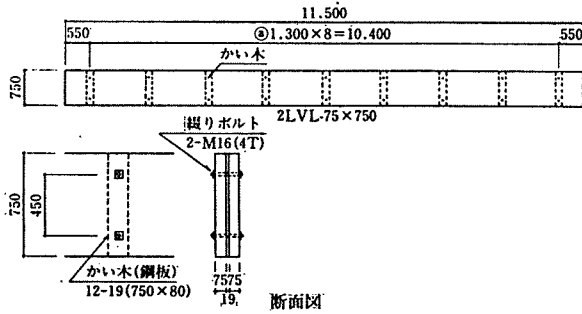


図-1 試験体：曲げ試験(mm)

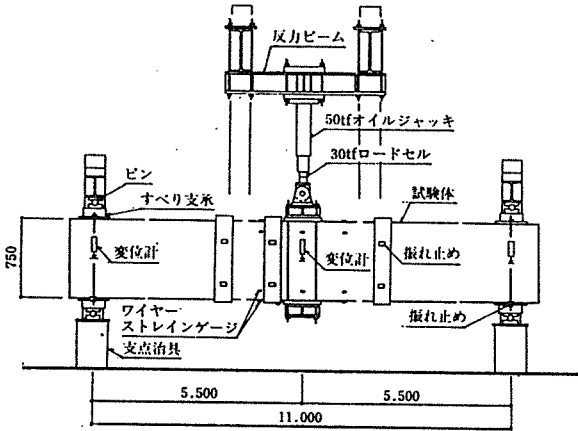


図-2 試験装置：曲げ試験(mm)

板(R-19)を1.3m間隔で配し、綴りボルト(M16)2本ずつで緊結している。載荷荷重はスパン中央の集中荷重で1体は片振り、他の1体は正負交番載荷とし、上限荷重5.9tfと11.8tfで2回ずつ繰り返した後、破壊に至らせた。載荷装置は図-2に示すように、50tfオイルジャッキを用い、ロードセルで荷重値を検出するとともに、スパン中央および支点部の変形量を変位計で、試験体の上・下辺のひずみ量をワイヤーストレインゲージ(検長：15mm)で測定した。

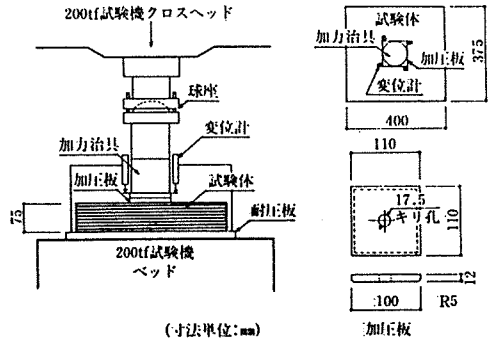
(3) せん断試験

構造用単板積層材の製造規準(案)(日本住宅木材技術センター)を参考として、垂直積層タイプと水平積層タイプの2種類の試験を行った。試験体のせいは38mm、長さはせいの5倍(190mm)とし、幅は垂直積層タイプでは製品厚(75mm)のまま、水平積層タイプでは製品厚の中央から38mmを削り出した。試験体数はいずれも10体である。

支持スパンはせいの4倍(152mm)とし、中央集中荷重で単調漸増載荷により破壊に至らせた。加力にはインストロン万能試験機(使用レンジ：2tf, 5tf)を用い、スパン中央のたわみ量を変位計で測定した。

(4) りり込み試験

試験体は、寸法400mm×375mm×75mmで、試験体数



(寸法単位:mm)

図-3 試験装置：りり込み試験(mm)

は10体である。図-3に示すように水平にした板目面の中央に加圧面積100cm<sup>2</sup>の加圧板を介して圧縮力を加え、単調漸増載荷により破壊に至らせた。加力には200tf万能試験機(使用レンジ：20tf)を用い、りり込み量を変位計で測定した。

3.2 ファスナー単体の強度試験

(1) くぎ接合のせん断試験

打ちつけ面、加力方向、端距離または縁距離の3つをパラメータとした。試験体数を下表に、形状を図-4に示す。くぎはJIS A 5508のN65鉄丸くぎ(胴部径d=3.05mm、長さl=65mm)である。

打ちつけ面	加力方向	端または縁距離	試験体数
R	L	50d, 40d, 30d, 20d, 15d	各10体
R	T	24d, 16d, 12d, 8d	各5体
T	L	60d, 50d, 40d, 30d, 15d	各6体

註) 打ちつけ面 R：板目面 T：積層面  
加力方向 L：縦横方向 T：縦横直角方向

試験方法は、図-4に示すように引張型とし、単調漸増載荷により破壊に至らせた。加力はインストロン試験機(使用レンジ：500kgf)を用い、くぎのせん断変形量を変位計で測定した。

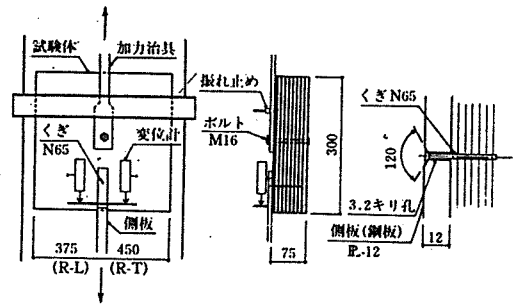


図-4 試験装置：くぎ接合のせん断試験(mm)

(2) ボルト接合のせん断試験

加力方向と端距離または縁距離をパラメータとした。

加力方向	端または縁距離	試験体数
L	9d, 7d	各10体
T	6d, 4d	各10体

註) d：ボルト軸部の直径、その他はくぎと同様



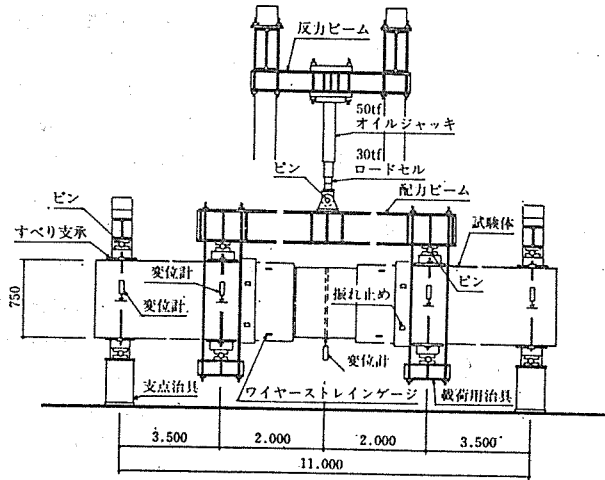


図-7 試験装置：接合部の曲げ試験(mm)

交番繰り返し载荷を行った。载荷経路は1サイクル目と2サイクル目の上下限荷重を±Pとし、3サイクル目と4サイクル目を±2Pで繰り返した後破壊に至らせた。

ここで荷重値Pは、くぎ接合で3.4tf、ボルト接合で4.1tfとした。

加力は50tfオイルジャッキを用い、ロードセルで荷重値を検出するとともに、図-7に示す各部の変形量および試験体のひずみ度を、変位計およびワイヤーストレインゲージ(検長:15mm)で測定した。

#### 4. 試験結果の概要

##### 4.1 KERTO-LVLの物性

含水率および比重測定結果を表-1に、曲げ・せん断・めり込み試験結果を表-2および図-8に示す。

表-2に併記した長期許容応力度は「木構造計算規準同解説」(以下AIJ規準と呼ぶ)に示す下式により計算した値である。

$$Lfb = \delta_{max} \times \frac{3}{4} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{Cf}$$

ここに、 $\delta_{max}$ ：曲げ強度の平均値

3/4：変動係数15%、危険率5%の場合の統計的下限

2/3：比例限度係数または安全率

1/2：長期強度への概算係数

$Cf$ ：寸法調整係数  $[=(30/h)^{1/9}]$

$h$ ：試験体のせい(=75cm)

$$Lfs(Lfp) = F_0 \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2}$$

ここに、 $F_0$ ：実験値より得られる平均値と標準偏差より求める基準値

2/3：破壊に対する安全率、なお、比例限度による場合、この係数は $F_0$

に含んでいるものとする。

1/2：長期強度への概算係数

含水率は、構造用単板積層材のJAS(以下、単にJASと呼ぶ場合、構造用単板積層材の規格とする)の適合基準(14%以下)を充分下回った。

曲げ試験時の状況および試験体の破壊状況の1例を写

表-1 含水率および比重測定結果

試験体	比 重		含 水 率(%)	
	気 乾	絶 乾	平均値	標準偏差
100×100×75	0.50~0.54	0.46~0.50	9.3	0.37
375×300×75	0.53~0.54	0.48~0.49	9.7	0.08

表-2 曲げ・せん断・めり込み試験結果

(1) 曲げ試験

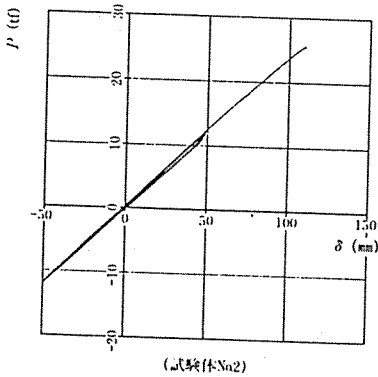
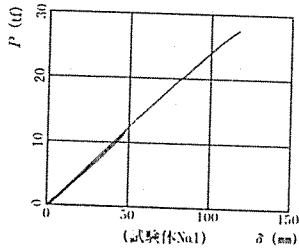
試験体	最大荷重 (×10 <sup>3</sup> kgf)	曲げ強さ $\delta_{max}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	曲げヤング係数 (×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	長期許容応力度 $Lfb$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
No. 1.(片張り荷荷)	27.5	538	132	—
No. 2.(正負交番荷荷)	25.6	501	128	—
平均	—	520	130	144

(2) せん断試験

せん断方向	せん断強度 $\tau_{max}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		長期許容応力度 $Lfs$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	平均	標準偏差	
水平せん断タイプ	43.2	2.1	12.9
垂直せん断タイプ	64.3	2.9	19.4

(3) めり込み試験

めり込み比例限度 $\sigma_p$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		長期許容応力度 $Lfp$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
平均	標準偏差	
49.5	7.2	17.1



(1) 曲げ試験 P-δ (スパン中央) 関係

図-8 KERTO-LVL の特性試験結果

真-1, 写真-2 に示す。試験体 2 体は、いずれも最大荷重に達した時に、載荷点において破壊し、1 体は圧縮側と引張側で同時に、他の 1 体は引張側で破壊した。

曲げ強さおよび曲げヤング係数は、ともに JAS 針葉樹 B-2 特級の適合基準値 (曲げ強さ:  $345 \text{ kgf/cm}^2$ , 曲げヤング係数:  $90 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ ) を上回り、長期許容応力度は、AIJ 規準の「同等級ラミナで構成する構造用集材材」針葉樹 B 2 類特級の値 ( $140 \text{ kgf/cm}^2$ ) とほぼ等しくなった。

せん断試験では、いずれのタイプも最終的にはせん断

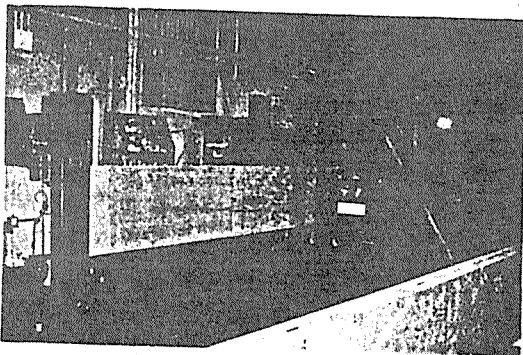
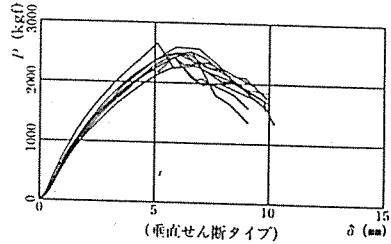
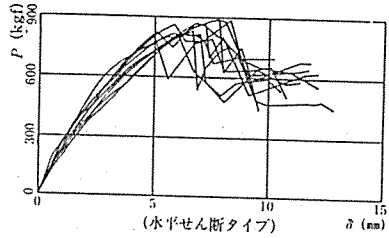
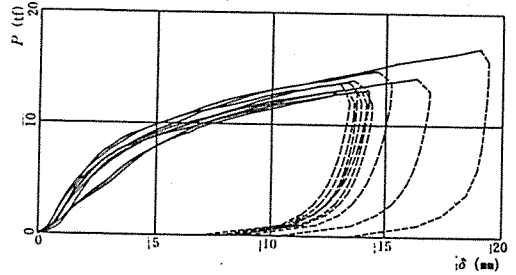


写真-1 曲げ試験時の状況



(2) せん断試験 P-δ 関係



(3) めり込み試験 P-δ 関係

破壊したが、垂直積層タイプ内の 3 体は、曲げ引張破壊が先行した。なお、いずれも加力治具によるめり込みが大きかった。せん断強さは、いずれのタイプも JAS 針葉樹 B-2 の適合基準値 ( $30 \text{ kgf/cm}^2$ ) を大きく上回り、長期許容応力度は、AIJ 規準の構造用集材材 B 2 類の規

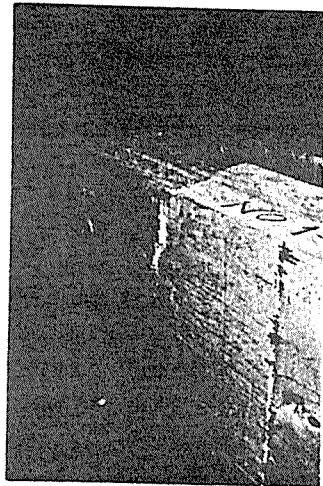


写真-2 破壊状況

準値 (9kgf/cm<sup>2</sup>)を上回った。なお、構造用集成材の規準値では水平せん断の許容値の方が、垂直せん断の値より高いのに対し、KERTO-LVL では逆に垂直せん断の方が高い値となった。

めり込み試験では、いずれの試験体においても、最初

加圧板の周囲に割れが入り、次に木口面に加圧板と同じ幅の割れが生じた。長期許容応力度は、AIJ規準の構造用集成材針葉樹B2類の規準値 (20kgf/cm<sup>2</sup>)を若干下回った。

表-3 ファスナー単体の長期せん断耐力(LP)と剛性(K<sub>0</sub>)

(1) くぎ接合							
試験種別	実 験 値						
R-L	端 距 離	50d	40d	30d	20d	15d	全平均
	LP(kgf)	39.2	37.9	42.3	39.4	40.3	40.6
	K <sub>0</sub> (kgf/cm)	1146	805	971	1097	577	919
R-T	縁 距 離	24d	16d	12d	8d	—	全平均
	LP(kgf)	36.6	36.4	41.0	39.0	—	40.4
	K <sub>0</sub> (kgf/cm)	834	822	951	944	—	888
T-L	縁 距 離	60d	50d	40d	30d	15d	全平均
	LP(kgf)	26.9	23.2	29.3	33.8	28.3	28.0
	K <sub>0</sub> (kgf/cm)	638	607	1211	1105	771	866

(2) ボルト接合				
加力方向	実 験 値			
L	端 距 離	9d	7d	全平均
	LP(tf)	2.56	2.58	2.57
	K <sub>0</sub> (tf/cm)	22.70	23.70	23.20
T	縁 距 離	6d	4d	全平均
	LP(tf)	1.56	1.37	1.47
	K <sub>0</sub> (tf/cm)	8.70	6.14	7.42

#### 4.2 ファスナー単体の強度

くぎ接合およびボルト接合のせん断試験結果を図-9 図-10に、また、試験結果をもとに次頁に示す式で計算した長期許容耐力および剛性を、表-3に示す。

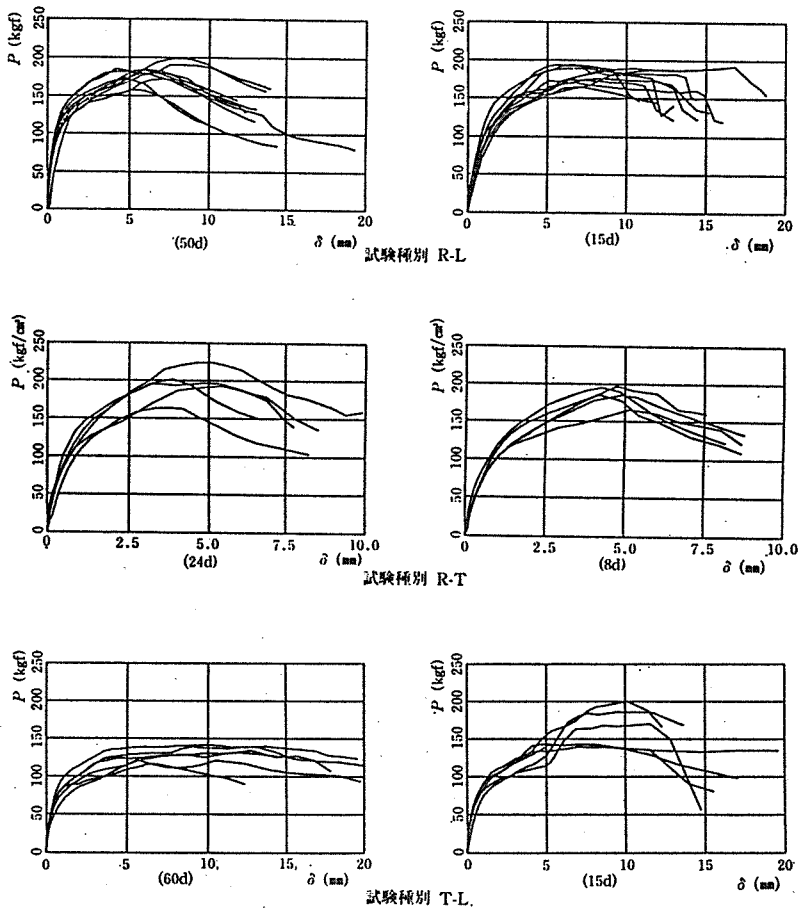


図-9 くぎ接合のせん断試験 P-δ 関係

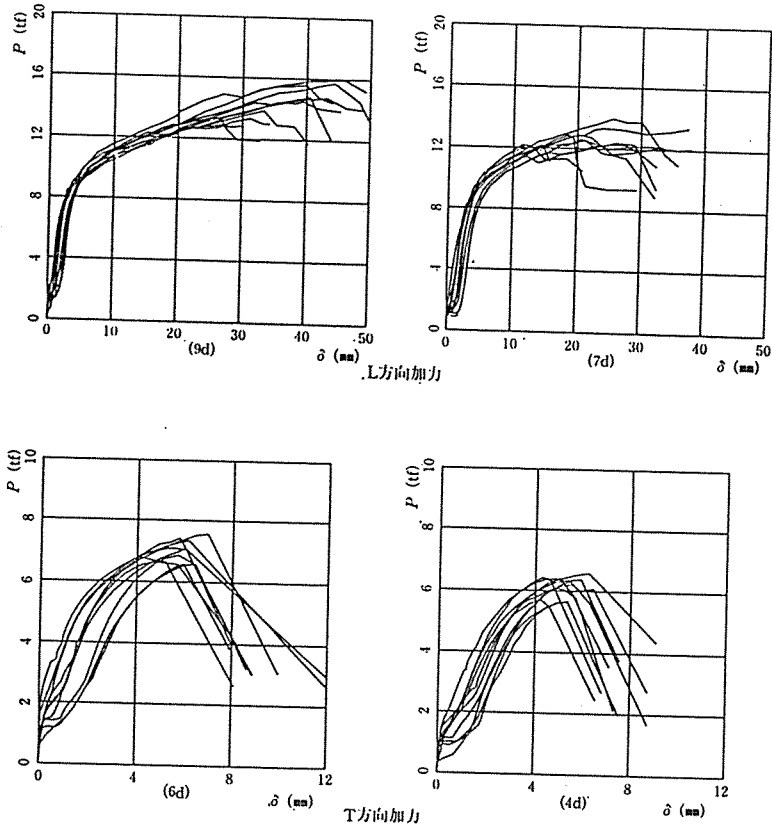


図-10 ボルト接合のせん断試験 P-δ 関係

$$F_a = \frac{T_L}{ab}, \quad T_L = \exp(\lambda - K \cdot \zeta)$$

ここに、 $F_a$ ：長期許容耐力

$T_L$ ：接合耐力の5%下限値(許容限界)

$a$ ：安全率 (=2)

$b$ ：長期応力に対する係数 (=2)

$\lambda$ ：試験より得た平均値

$\zeta$ ：試験より得た標準偏差

$K$ ：試験体数に依存する係数

くぎ接合のせん断試験では、試験種別に保わりなく、くぎが抜け出す場合と、抜け出した後くぎ胴部で破断する2つの破壊モードが見られた。最大耐力は、試験種別R-LとR-Tはほぼ等しく、T-LはR-Lの約70%であった。ただ、各種別とも端距離・縁距離による耐力の差は認められなかった。長期許容せん断耐力は、R-LおよびR-TがAIJ規準の樹種グループJ1の耐力( $F_a=37.6\text{kgf}$ )を若干上回り、T-Lは樹種グループJ3の耐力( $F_a=29.5\text{kgf}$ )を若干下回った。

ボルト接合のせん断試験では、繊維方向(L方向)のせん断試験で、ボルト径とほぼ等しい幅の2つのせん断破壊を生じる場合と、割りさきを伴って破壊する場合が見られ、繊維直角方向(T方向)のせん断試験では、す

べて繊維直角方向の引張破壊となった。最大耐力は、L方向のせん断試験では、端距離による耐力差は認められなかったが、T方向では、縁距離4dは6dに比べ約12%低い値となった。長期許容せん断耐力は、AIJ規準の「同等級ラミナで構成する構造用集成材」針葉樹B2類特級で計算した許容値(L方向： $F_a=2.40\text{tf}$ 、T方向： $F_a=0.66\text{tf}$ )に対し、L方向ではほぼ等しく、T方向では4dの場合でも約2倍となった。

なお、表-3に示す剛性( $K_0$ )は、試験で得たP-δ曲線で直線とみなされる短期許容せん断耐力以下の荷重区間について、耐力の計算と同様の方法で求めた5%下限値である。

#### 4.3 接合部の曲げ強度

##### (1) 試験結果

くぎ接合とボルト接合の試験結果として、スパン中央でのP-δ関係を図-11、図-12に示す。

くぎ接合の試験では、荷重7tf前後で徐々に剛性が低下し始め、25.2tfに達した時最外縁のくぎ打ちつけ位置で、繊維直交方向の割りさきを生じ、破壊に至った(写真-3)。最大荷重時のたわみ量は134.1mmである。P-δ曲線は、荷重の初期段階から逆S字型ループを描き、最大荷重に達した後、急激に荷重が低下した。

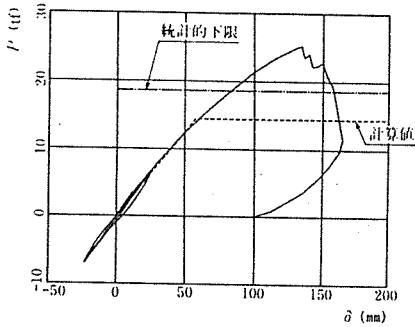


図-11 くぎ接合の曲げ試験 P-5 (スパン中央)関係

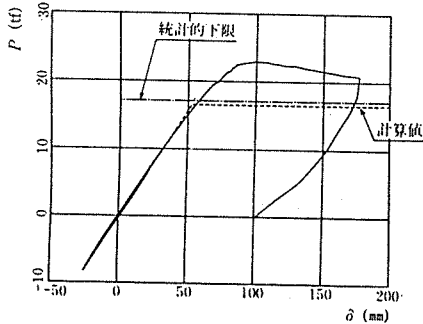


図-12 ボルト接合の曲げ試験 P-5 (スパン中央)関係

ボルト接合の試験では、荷重が 8tf 前後で徐々に剛性が低下し始め、22.9tf に達した時最外縁のボルト接合位置で、繊維方向にせん断破壊を生じ、破壊に至った(写真-4)。最大荷重時のたわみ量は 98.9mm である。P- $\delta$  曲線は、8.2tf までほぼ線形的挙動を示し、その後徐々に剛性が低下し、19.0tf に達した時点で剛性が大きく低下した。ただ、最大荷重に達した後も荷重の低下は少なく、最大荷重時のたわみ量の1.87倍の時点でもなお最大荷重の約90%の荷重を保持していた。

#### (2) 接合部の剛性と強度

接合部の曲げ剛性と曲げ強さを、ファスナー単体の試験結果を用いて計算し、試験結果と比較した。

計算方法は「大断面木造建築物設計施工マニュアル」を参考とし、試験体のスパン中央でのたわみ量は、Appendix に示すように接合部を回転パネと仮定して求めた。

くぎ接合の場合、ファスナー単体の剛性は、表-3 (1) に示す試験種別 R-L と R-T の全平均値を用い、強さは同種別の統計的下限值(許容限界)の全平均を用いた。

ボルト接合の場合は、ボルト軸部と孔との隙間への樹脂注入により、接合部の回転量は非常に少ないとみなし、挟み梁の弾性変形のみで評価した。曲げ強さは、表-3 (2) に示す試験種別 L と T の、それぞれ低い方の耐力の統計的下限值(許容限界)を用い、加力方向を上記マニュアルに示す方法で直線補間した値で計算した。

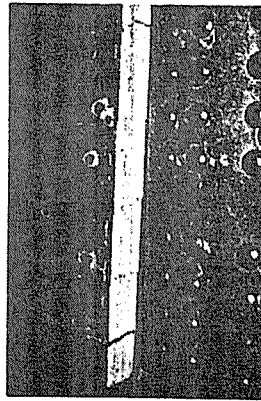


写真-3 くぎ接合の破壊状況

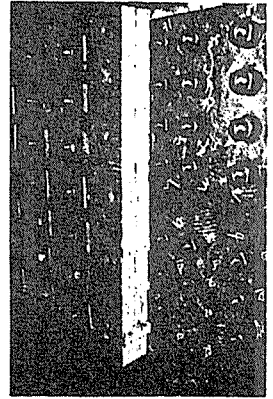


写真-4 ボルト接合の破壊状況

計算結果を図-11、図-12に示す。

## 5. まとめ

我が国で KERTO-LVL を構造用に使用するに当たっては、建築基準法との関連で、当面個別に建設大臣の認定が必要となる。構造用 LVL の基準強度が、法的に明らかにされていない現在、その使用に当たっては、基準強度に関する根拠付けが必要である。本実験は、KERTO-LVL と JAS との対応を系統的に求めたものではないが、本実験および既往の研究<sup>2)</sup> からみて、次のことが確認できた。

- (1) KERTO-LVL のせん断強さおよび曲げ強さは同等級ラミナのみで構成する構造用集成材の B 2 類特級と同等ランクの強度を有する。
  - (2) 鋼板挟み込みタイプのくぎ接合曲げ継手の場合、曲げ剛性は、回転変形が加わるため、初期段階より母材の曲げ剛性より若干低くなる。くぎ接合単体の強度試験結果を用いて、回転変形の影響を考慮すれば、実験値は計算値にかなり近くなる。継手の曲げ耐力は、AIJ 規準に照らして変動係数 15%、危険率 5% の統計的下限值で考えるものとしても、くぎ接合単体の耐力(実験値)から予想される継手耐力を上回る。
  - (3) ボルト軸部と孔との隙間を樹脂充填した鋼板挟み込みタイプのボルト接合曲げ継手の場合、初期曲げ剛性は、母材の曲げ剛性に近く、回転変形の影響がほとんど認められなかった。これは孔充填用の樹脂が、鋼板と母材の接触面に流れ込み<sup>注1)</sup>、強い接着力で接触面の回転を拘束したものと考えられ、このタイプの継手の固有特性とは考えにくい。
- 継手の曲げ耐力は、上記(2)と同様に統計的下限值で考えるものとする、ボルト接合単体の耐力から、「大断面木造建築物設計施工マニュアル」を参考に、加力方向を考慮して求めた継手耐力に近い。



注 1) 試験体製作時の樹脂充填量が、孔充填相当量の2倍近くになっている。かなりの樹脂が接触面に浸透した可能性が高い。

Appendix スパン中央のたわみ量の検討

図-Iに示すように接合部を回転ばねと仮定し、スパン中央のたわみ量  $\delta$  を挟み梁のみの弾性変形によるたわみ量  $\delta_B$  と回転ばねの回転によるたわみ量  $\delta_S$  の和として次式のように表す。

$$\delta = \delta_B + \delta_S \quad (1)$$

ここで、挟み梁の弾性変形によるたわみ量  $\delta_B$  はモールの定理により次式で表される。

$$\delta_B = (l_1 + l_2 + l_3)\theta_0 - \frac{Pl_1^2}{4EI} \left[ \frac{l_1}{3} + l_2 + l_3 \right] - \frac{Pl_1 l_2}{2EI} \left[ \frac{l_2}{2} + l_3 \right] - \frac{Pl_1 l_3^2}{4E'I'} \quad (2)$$

$$\theta_0 = \frac{Pl_1^2}{4EI} + \frac{Pl_1 l_2}{2EI} + \frac{Pl_1 l_3}{2E'I'} \quad (3)$$

ここに、 $P$  : 荷重 (tf)

$E$  : LVL のヤング係数

(=130tf/cm<sup>2</sup>, 表-2(1)参照)

$I$  : LVL の断面2次モーメント (=

5.273×10<sup>6</sup>cm<sup>4</sup>, 図-ロ参照)

$E'$  : 鋼のヤング係数 (=2100tf/cm<sup>2</sup>)

$I'$  : 鋼板の断面2次モーメント (=

1.229×10<sup>5</sup>cm<sup>4</sup>, 図-ハ参照)

$l_1, l_2, l_3$  : 下表による

(単位: cm)

	$l_1$	$l_2$	$l_3$
くぎ接合	350	133	67
ボルト接合	350	149.5	50.5

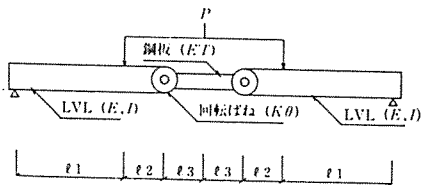


図-I



図-ロ (LVL断面)

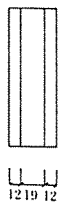


図-ハ (鋼板断面)

また、回転ばねの回転によるスパン中央のたわみ量  $\delta_S$  は次式で表される。

$$\delta_S = \frac{Pl_1(l_1 + l_2)}{2K\theta} \quad (4)$$

ここに、 $K\theta$  : 回転バネ定数 [ $\sum(K_i \cdot R_i^2)$ ]

(くぎ接合:  $7.69 \times 10^6$ tf·cm/rad.)

$R$  : 接合部の回転中心からの距離

$K$  : 接合部単体の剛性

1) TRC : Technical Research Centre of Finland Forest Products Laboratory

2) TOMI TORATTI : 「THE MECHANICAL PROPERTIES OF KEPTO-LAMINATED-VENEER-LUMBER」, LABORATORY OF STRUCTURAL ENGINEERING AND BUILDING PHYSICS, HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 1988

# ***Feasibility of Producing a High-Yield Laminated Structural Product:***

23

## **STRENGTH PROPERTIES OF ROTARY KNIFE-CUT LAMINATED SOUTHERN PINE**

By

*R. C. MOODY, Engineer  
and  
C. C. PETERS, Engineer*

*Forest Products Laboratory,<sup>1</sup> Forest Service  
U.S. Department of Agriculture*

### **CONTENTS**

1	Introduction
2	Material
2	Sawn
2	Knife-cut
3	Specimen Preparation
4	Bending
4	Shear
4	Compression
5	Test Methods
6	Results and Discussion
6	Bending
7	Shear
8	Compression Parallel
8	Accelerated Aging
9	Effect of Laminating on Variability
9	Evaluating Differences Using Confidence Intervals
11	Summary
12	Literature Cited

### **ABSTRACT**

The effect of the manufacturing technique on selected strength properties was determined on specimens laminated from four 1/2-inch-thick plies and produced by the FPL press-lam process. The process features rotary knife-cutting of logs, press drying, and gluing to attain a product quickly. Factors which might affect clear wood strength properties include the deep lathe checks which develop during knife-cutting, large temperature gradients imposed during press drying, and the gluability of the press-dried surfaces.

The average bending strength of small clear specimens produced by the FPL press-lam process was 82 percent of that for solid-sawn specimens and modulus of elasticity was 95 percent. Shear strength of the FPL press-lam material was 67 percent of the sawn value in the tangential direction and 59 percent in the radial direction. The lower value in the radial direction was expected due to the deep lathe checks in the press-lam material.

These data provide information on the effect of the FPL press-lam manufacturing technique on basic clear wood strength properties. However, to determine design properties of a finished product, such as structural lumber, the effect of knots, checks, and end joints must also be researched. Expected gains due to dispersing strength-reducing characteristics by laminating may largely offset the indicated reductions in clear wood values.

## SUMMARY

Material produced by an FPL press-lam process was evaluated to determine several selected strength properties in comparison to solid-sawn material. FPL press-lam material laminated from four 1/2-inch-thick clear plies had an average MOR 18 percent less and an average MOE in bending 5 percent less than small, clear samples of sawn lumber after normal conditioning procedures. Shear strength of the FPL press-lam material was lower yet, averaging 67 percent of the sawn value in the tangential direction and 59 percent in the radial direction. The lower value in the radial direction was expected due to the deep lathe checks which developed in the 1/2-inch-thick veneer during rotary cutting.

Results of accelerated aging tests indicated that the bending and shear strengths of FPL press-lam material decreased no more than the solid sawn after the severe simulated weathering conditions. There were essentially no differences in the compression-parallel-to-grain properties of the sawn and FPL press-lam material.

Another material produced similarly to the FPL press-lam process, except that the veneer was kiln dried and glued at room temperatures, was also evaluated; however, problems were encountered in gluing the rough surface which resulted from kiln drying. Consequently, most properties of this material were lower than those for the FPL press-lam material.

2 4 **TENSILE STRENGTH OF LUMBER  
LAMINATED FROM  
1/8-INCH-THICK VENEERS**

*BY R.C. MOODY, Engineer<sup>1</sup>*

*FOREST PRODUCTS LABORATORY<sup>2</sup>  
FOREST SERVICE  
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE*

**ABSTRACT**

For engineered components such as trusses and glued laminated timbers, wood structural members with relatively high predictable tensile strength and low variability of strength are necessary for reliable design and efficient use of the timber resource. One possible method of obtaining such uniform material may be to laminate structural lumber from thin veneer. Such a product should have relatively high uniform tensile strength and reduced variability due to dispersion of strength-reducing characteristics.

This study obtained an indication of the tensile strength of structural-size lumber laminated from thin, relatively low-grade butt-jointed veneers.

The tensile strength was higher for sixty 16-foot-long nominal 2 by 4's, made by laminating twelve 1/8-inch-thick grade C veneers, than for grades of structural lumber obtainable from the same resource. Due to lower variability of the laminated members, the estimated lower 5 percent exclusion limit (which is the basis of design) may be as much as twice as high. All of the 2 by 4's contained staggered butt joints in the 10 interior plies. Nine 2 by 4's made with high-quality grade C veneer and scarf-jointed outer plies showed improved strength properties in comparison with a similar number with butt-jointed outer plies.

## RESEARCH MATERIAL

The material used in making the specimens for all parts of the study was 1/8-inch-thick rotary-cut Douglas-fir or southern pine veneer. The veneer was purchased with the cooperation of the American Plywood Association and was received in 50- by 100-inch sheets. Veneer used in making the specimens for part 1 was relatively clear and straight grained. All veneer used in making the specimens for parts 2 and 3 was Grade C, one-half being "high-line" and one-half being "low-line." Both Douglas-fir and southern pine were used for parts 1 and 2 while only Douglas-fir was used in part 3.

Grade C veneer is defined by Products Standard PS 1-66 (22) as having tight knots not more than 1-1/2 inches wide and knotholes up to 1 inch wide, both measured across the grain. An occasional knothole up to 1-1/2 inches wide is permitted; however, the aggregate width of all knots and knotholes occurring wholly within a section 12 inches along the grain is limited to 6 inches in a 48-inch-wide sheet of veneer.

The difference between the low-line and high-line Grade C veneer used in this study was the limitation placed on the aggregate width of knots and knotholes in these 12-inch-long sections. Knots in the high-line veneer were limited to an aggregate of 3 inches, while those in the low-line

veneer were limited to an aggregate of 9 inches. Therefore, it was possible that some of the low-line Grade C veneer obtained for this study was a grade lower or Grade D as defined in Products Standard PS 1-66, because the aggregate knot size permitted in PS 1-66 is 6 inches, whereas it was 9 inches for the low-line Grade C.

Six different mills supplied the Grade C veneer; three supplied the Douglas-fir and three the southern pine. Two of the mills supplying Douglas-fir were in western Washington (sources A and B) and one in western Oregon (source C). The southern pine was obtained from mills in North Carolina (source D), Arkansas (source E), and Texas (source F). Each mill supplied both low-line and high-line material, thus resulting in 12 different groups of material with each group containing 50 sheets. The mills were instructed that "selection of veneer peeled from the same block and containing matching defects should be avoided."

The clear Douglas-fir veneer was obtained from one of the Washington mills, and the clear southern pine from the Texas mill.

## PART 1. BUTT-JOINTED VENEERS

### Plan

Three-ply veneer specimens, 3/8 inch thick, 2-1/2 inches wide, and 48 inches long (fig. 1),

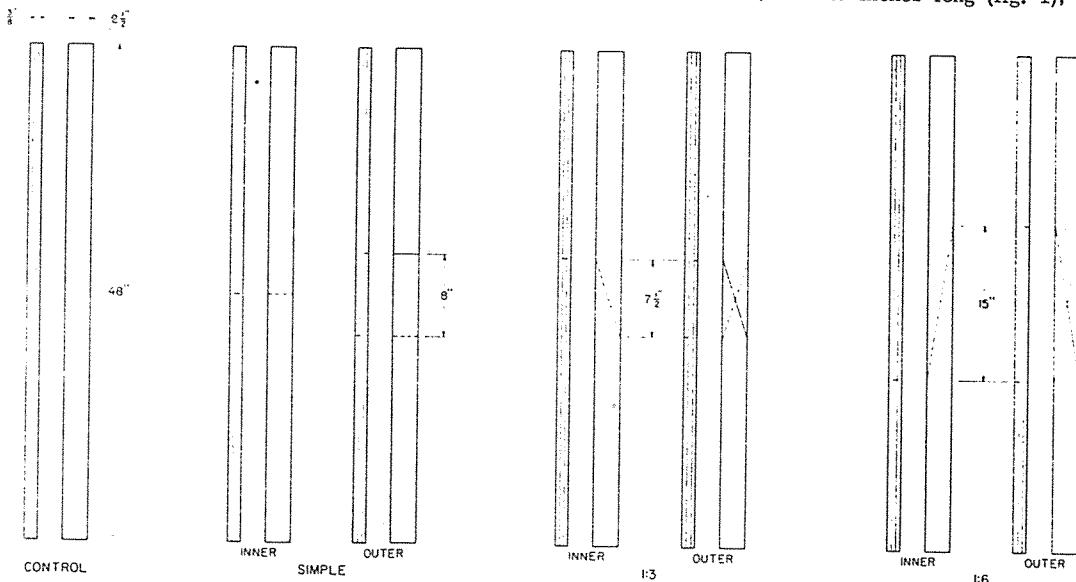


Figure 1.--Location of butt joints in 3-ply specimens.

M 140 489

were investigated to determine the effect of different type butt joints on tensile strength. Throughout this report, what is referred to as a "butt joint" is actually a discontinuity in the veneer and not an end joint because no effort was made to establish any mechanism for transferring direct axial stress. (See Appendix A for details of how part 1 was conducted.)

## Results

The use of butt-jointed veneers as the inner ply of three-ply specimens resulted in tensile strengths equal to 80 percent of control specimens. This was more than two-thirds of the control strength which would be expected based on the two continuous plies. By cutting the butt joint in the inner ply at 1:3 or 1:6 slopes along the length, 95 percent of the tensile strength of control specimens was realized. Interaction between adjacent veneers was credited with increasing the tensile strength of these specimens beyond that theoretically predicted.

Butt joints spaced 8 inches apart in the outer plies resulted in 55 percent of the strength of control specimens. These specimens bent considerably during tests due to the two butt joints; this resulting in secondary bending stresses. Sloping the butt joint in the outer plies at a 1:3 slope did not change the strength retention; however, when the slope was increased to 1:6, 65 percent of the strength of control specimens was retained.

Results indicate that simple butt joints could probably be used in the center plies of tension members made of thin veneers, since the joints apparently did not introduce serious stress concentrations. Sloping the butt joints in the outer plies at 1:6 resulted in strength values slightly above those for the simple butt joints. However, due to the difficulty of cutting the joint and increased length of veneer required for practical jointing, the use of the sloped butt joint is probably not warranted for normal structural application.

## **PART 2. STRUCTURAL-SIZE MEMBERS WITH BUTT-JOINTED OUTER PLYS**

### Plan

Results of part 1 indicated that butt joints may be adequate for interior plies of tension members

laminated from three or more thin veneers. The effect of butt joints in the outer plies was complicated by secondary bending stresses introduced during tension tests of the three-ply specimens. In part 2, butt joints were also used in the outer plies to determine their effect upon strength of structural-size multiple-ply members. Twelve plies of veneer were used; therefore, a maximum of one-twelfth of the member was discontinuous on the outer face.

## Results

Eighteen 16-foot-long 2 by 4's which were laminated from 1/8-inch-thick Douglas-fir Grade C veneer had an average tensile strength of 5,450 pounds per square inch and a coefficient of variation of 9.5 percent. This strength is considerably greater than published data for Construction and Standard grades of Douglas-fir structural lumber (17); due to the low variability, the results indicate allowable design values may be up to twice as high for the laminated ones.

Nine southern pine 2 by 4's made of high-line Grade C veneer were comparable in tensile strength to those of Douglas-fir. However, nine others made of low-line southern pine veneer averaged 17 percent lower in tensile strength than those of high-line veneer. These results are consistent with those for Douglas-fir in that tensile strength of the laminated lumber is higher than the No. 2 and No. 3 grades of southern pine structural lumber and allowable design values may be as much as twice as high.

The moduli of elasticity in tension of the laminated 2 by 4's made of randomly laid-up material were comparable to the species averages for small clear specimens.

Six 2 by 4's made of Grade C veneer specially selected as containing many large knots were 16 percent lower in tensile strength than those made of randomly laid-up material.

## **PART 3. STRUCTURAL-SIZE MEMBERS WITH SCARF-JOINTED OUTER PLYS**

### Plan

The results of part 2 indicated that structural-size lumber manufactured from 1/8-inch-thick veneer was considerably higher and more uniform in tensile strength than comparable structural

lumber. Observation of the failures of tension test specimens indicated that butt joints in the outer plies were frequently involved in failure; however, their exact effect was uncertain.

Therefore, 18 additional 2 by 4's were made using scarf-jointed veneer for the outer plies. Observation of the failure pattern on several of the 2 by 4's from part 2 also indicated that butt joints in adjacent plies, although spaced 8 inches apart, appeared to interact with each other in failure. Thus, a different pattern for spacing butt and scarf joints, as discussed in Appendix C, was used in part 3. Only Douglas-fir material was used as it was believed that the relative effect of scarf-jointing the outer ply would apply equally to any species group.

### Results

Nine 2 by 4's laminated from high-line Grade C Douglas-fir veneer with scarf-jointed outer plies had significantly higher tensile strength (25 pct.) than similar ones made with butt-jointed outer plies. Such a difference was not found when low-line Grade C veneer was used. The results indicate that end jointing of these thin outer plies could improve the tensile strength of lumber laminated from high-grade veneer.

Scarf jointing the outer plies also changed the mode of failure in comparison to those specimens with butt-jointed outer plies. With scarf jointing, failure was shifted to butt joints in the interior plies.

## **CONCLUSIONS**

Structural lumber manufactured by laminating 1/8-inch-thick, C-grade, butt-jointed veneer had tensile strength values significantly higher than the middle and lower grades of sawn structural lumber that might be obtained from the same type raw material. Due to lower variability with the laminated product, the estimated 5 percent exclusion limit (which is the basis for assigning design stresses to sawn lumber) for tensile strength may be up to twice as high for the laminated lumber.

With butt joints dispersed 8 inches apart in adjacent plies, tension failures frequently occurred through butt joints in outer plies. Scarf

jointing the two outer 1/8-inch-thick veneers did improve tensile strength by 25 percent with the better quality C-grade veneer and shifted failures to interior butt joints. Scarf jointing the outer plies did not affect the strength of lumber laminated from lower quality C-grade veneer although failures also occurred primarily at interior butt joints. Observations of failures indicated that spacing butt joints 64 times the lamination thickness apart (8 inches) did not prevent their interaction during tension testing; however, the effect the interaction had on tensile strength values was not determined.

# 25 Tensile Strength of Douglas-Fir Laminated-Veneer Lumber

J. C. Bohlen

---

## Abstract

Second-growth, 80-year-age-class coastal Douglas-fir No. 2 sawlogs were rotary peeled and clipped into lengths of 1/4-inch-thick veneer. All of the recovered material was dried, trimmed, and continuously assembled by butt-joining randomly selected veneers end to end in "stair" fashion six layers thick; these layers were incrementally hot-press glued with phenol-formaldehyde adhesive. The long, thick, 24-inch-wide planks formed were subsequently sawed into ninety-four 2 by 4's, 92 inches long, and tested to failure in tension. The ultimate strengths, which were statistically evaluated, indicated that all the laminated-veneer lumber from this limited sample could be assigned tensile working stress and modulus of elasticity at least equal to Select Structural grade.

---

OVER THE PAST FEW YEARS researchers have found that the parallel-to-grain tensile strength of structural lumber is more sensitive to the presence of knots and grain deviations than bending or parallel-to-grain compressive strength (Doyle and Markwardt 1967, McGowan 1968).

This finding led to a revision of the ASTM Standard D245-70 which outlines a method for determining allowable stresses for design based on test results obtained from small, clear specimens. Prior to 1969, the allowable tensile strength was assigned the same value as that for bending. The revised standard resulted in a reduction of allowable tensile stresses to about 65 percent of the previous published values. Since that time, other research (McGowan 1971, Schniewind and Lyon 1971) confirmed the initial investigations by testing and evaluating a large number of samples and different species.

Meanwhile, Bohlen (1972) and the USDA Forest Products Laboratory Press-Lam research team (1972) developed methods for continuous parallel laminating of thick rotary-peeled veneer into long, wide planks. These planks were subsequently sawed into required sizes of dimension lumber. The yield of laminated-veneer lumber (LVL from relatively small logs (12 to 21 inches in diameter) was up to 47 percent more than is usually obtained from sawing, and also, in large-scale production the costs would be comparable.

Researchers have long known that laminating of wood creates a new material which exhibits more uniform strength properties than solid structural lumber. Since it has been demonstrated that sawed dimension lumber is greatly affected by strength-reducing characteristics such as knots, severe slope of grain, pitch pockets, etc., it follows that the tensile strength of LVL should be less variable than sawed lumber and because of this could perhaps be assigned greater working stresses.

Recent work by Moody (1972) on 2- by 4-inch Douglas-fir lumber made by laminating butt-jointed 1/8-inch grade C veneers, indicated an average tensile strength of 5,450 psi and a coefficient of variation of 9.5 percent. These results appear to indicate that present allowable design values may be up to double those assigned for sawed lumber. Nelson (1972) reported on tests of a proprietary material made by laminating Douglas-fir 1/8-inch grade C-D veneers with clear A-B grade veneers for outer laminations. Tension values averaged 5,020 psi for 2- by 3-inch material, and 5,600 psi for 2- by 6-inch. Little variability as compared with

---

The author is on the staff of the Department of the Environment, Canadian Forestry Service, Western Forest Prod. Lab., Vancouver, B.C., Canada. This paper was received for publication in July 1973.



sawed lumber was indicated. These researchers have demonstrated how optimum values of tension strength may be practically achieved by laminating thin, graded, rotary-peeled veneers. The objective of the work reported in this paper is to examine the tensile strength of laminated-veneer lumber made from thick, ungraded, log-run veneers obtained from sawlogs of relatively low quality.

This research incorporates the manufacturing process described by Bohlen (1972), whereby Douglas-fir logs were converted into veneer and then laminated with phenol-formaldehyde glue into thick, wide planks which were sawed to a 2- by 4-inch nominal dimension-lumber size. The material was then tested in parallel-to-grain tension, and the strength data were analyzed and compared to currently assigned lumber working stresses.

#### Experimental

##### Material Selection and Preparation

A sampling of second-growth, 80-year-age-class, No. 2 coastal Douglas-fir sawlogs was obtained from the University of British Columbia Research Forest at Haney, British Columbia. The logs ranged in diameter from 16 to 21 inches, averaging 18 inches inside bark. They were bucked to 50-inch lengths and peeled into 1/4-inch-thick veneers on a 66-inch-wide laboratory lathe. The veneer was dried in the dryer production line of a local plywood manufacturer to an average moisture content of 4.7 percent, with a range of from 2.2 to 6.8 percent. The dried veneers were squared and trimmed to provide uniform sizes 24 inches wide and 48 inches long for assembly. A layup was selected which resulted in the "tight" side of veneer on the outer faces of laminated material. The key to the economical layup of thick veneer lies in butt joining the material end to end in stepwise fashion, with not more than one butt joint appearing in any cross section. This is discussed in detail by Bohlen (1972).

The 4-foot laboratory hydraulic hot press, equipped with a veneer layup jig, was used to produce the continuous lengths of LVL. A production mix of phenol-formaldehyde plywood glue, with a spread of 60 pounds per 1,000 square feet of double glue-line, was used to bond the veneers. The layup was designed so that butt joints were staggered 6 inches apart. A continuously monitored thermocouple was placed in the center glue-line. A press cycle of 20 minutes at 150 psi maintained the center glue-line at the required temperature of 300°F for a period of 3 minutes. After each pressing cycle, the glued material was advanced through the bed of the press. The next set of glue-spread veneers was assembled to the previously bonded veneers and pressed. This process was repeated after each advance through the press bed until the desired length of LVL plank material was obtained. No attempt was made to upgrade the veneers by clipping out defects, such as knots and severe slope of grain nor was any veneer specially selected for any specific part of a layup. The objective was to assemble the veneers as randomly as possible, so that whatever gain—either in average strength or variability—would be due principally to the effects of laminating.

Approximately 150 lineal feet of 24-inch-wide LVL plank averaging 1.35 (range 1.30-1.40) inches thick was

produced. Ninety-four specimens, each 1.35 by 3.5 inches in cross section and 92 inches long, were cut from the laminated material. The wide plank was first edge jointed to provide straightness, then each specimen was sequentially ripped from across the width of the plank. In cutting, no attempt was made to avoid surface edge knots or other possible strength-reducing imperfections. The resultant smooth-ripped specimens were not further finished prior to testing.

##### Testing

Each of the 94 specimens was loaded to failure in tension in a 200,000-pound testing machine, in accordance with ASTM D198-67. Load and elongation of each specimen over a 48-inch gage length were measured simultaneously by an XY recorder. To nullify the effects of bending, elongation was measured by two transducers located along each wide face of a specimen. Tensile loading rate was regulated so that no specimen failed in less than 5 minutes nor longer than 20 minutes, to comply with ASTM requirements. Moisture content at time of test was determined using an oven-dry basis in ASTM D-2016. Ultimate loads, descriptions of failure, and specimen cross-sectional dimensions at the approximate location of failure were recorded.

##### Test Results

Ultimate tensile strength of each specimen was found by dividing the maximum load by the specimen cross-sectional area adjacent to the failure zone. Tensile modulus of elasticity (E) was found by multiplying a load/elongation ratio, which was within the straight-line portion of the curve, by the gage length and dividing by the cross-sectional area of a specimen.

These results were evaluated according to the tentative ASTM D2915-70T method, which employs distribution-free statistics to derive allowable properties for structural lumber. Statistics of strength and related properties are shown in Table 1.

#### Discussion

##### Moisture Content and Specific Gravity

There was no attempt at adjusting the strength due to moisture-content differences between the test data at an average of 7.63 percent (3.1-10.6) and the published working strength value at 15 percent. This may be justified by the following experimental observations. Schniewind and Lyon (1971) concluded that in tension there is no significant difference at the 5 percent level between tests on structural softwood lumber in a green condition and in an air-dry condition. Tests of small, clear specimens indicate that strength in tension is substantially more when dry than when green. However, there is evidence which suggests that when wood is very dry (0 to 6 percent), the tensile strength of small, clear specimens is about the same as the wood in a saturated condition (Kollman and Cote 1968).

The specific gravity of 0.52 obtained from the oven-dry weight divided by the volume at time of test was about the same as the published value of 0.51 for solid coastal Douglas-fir which was calculated from oven-dry weight divided by air-dry volume (6.2 percent MC), according to Newlin and Wilson (1917).

Table 1. — TENSILE STRENGTH AND RELATED PROPERTIES OF DOUGLAS-FIR 2- BY 4-INCH LAMINATED-VENEER LUMBER (LVL).

Property	Laminated-Veneer Lumber (LVL)
Sample size (number of specimens)	94
Avg. moisture content at time of test (%)	7.6 (3.1-10.6)
Avg. specific gravity	0.52 (0.47-0.57)
Avg. ultimate tensile stress (psi)	4,205 (min. 2,680; 2,802-5,639)
Standard deviation (psi)	585
95 percent tolerance limit (TL) per ASTM D2915 method	2,802
Allowable tensile stress per ASTM-D2915 method (psi) (TL) × 1.05 × 0.475	1,398
Avg. modulus of elasticity (E) in tension (psi × 10 <sup>-6</sup> )	2.20* (1.69-3.14)
Standard deviation (psi × 10 <sup>-6</sup> )	.229

Note: Select Structural Douglas-fir sawed wood published allowable tensile stress = 1,350 psi.

\*93 specimens

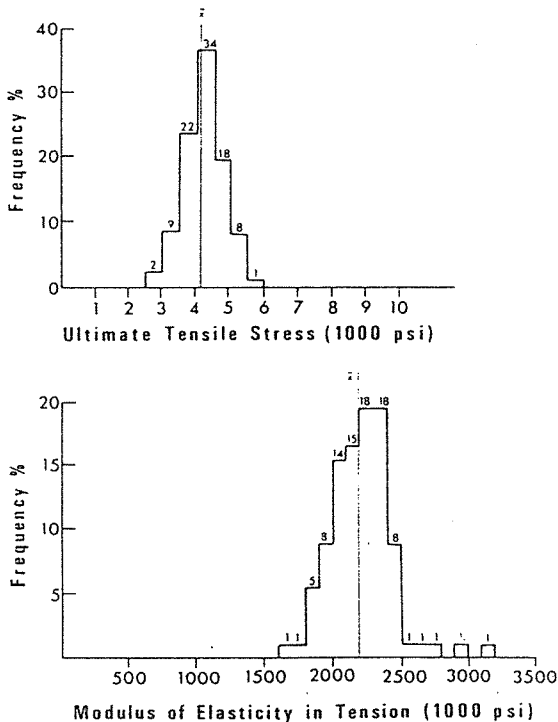


Figure 1. — Tensile strength and modulus of elasticity of LVL.

## Tensile Strength

The distribution of ultimate tensile strength values for LVL is illustrated in Figure 1. A statistical treatment of these data, made according to ASTM-D2915 methods, indicates that the entire sample could be assigned an allowable tensile stress of 1,398 psi. This is slightly more than the value of 1,350 psi which is published for the Select Structural grade of Douglas-fir sawed lumber by the 1970 National Lumber Grading Authority rules (1973 Canadian Edition).

Since the test sample was obtained from a single growth site, it therefore cannot be said to be representative of the whole population of coast-grown Douglas-fir. This may in part account for the rather low coefficient of variation of 13.9 percent obtained for the LVL sample. It may also be a result of cutting test members side by side from a given 24-inch-wide LVL plank. In comparison with sawn lumber, specimens of Select Structural grade Douglas-fir obtained from a number of sawmills in representative areas of coastal British Columbia were reported to have a coefficient of variation of about 37 percent (McGowan 1968).

## Modulus of Elasticity

Figure 1 also illustrates the distribution of tensile modulus of elasticity values as calculated from the test data. The average value of 2,200,000 psi approximates the 2,164,000 psi obtained by McGowan (1968) in tests on Select Structural Douglas-fir. It is interesting that the butt joints in the LVL do not apparently affect the elastic properties of the material.

## Analysis of Test Failures

In an effort to determine reasons for the differences in tensile strength between the various specimens in the sample, the failure characteristics of the weakest and the strongest ultimate-strength test specimens were visually examined.

Low strength specimens are depicted in Figures 2 and 3. From Figure 2 (the weakest specimen) it can be seen that failure was due to a sequence of knots through the cross section. The knots varied in size from approximately 1 inch to 2 inches in diameter. Laminations 1, 3, 4, and 6 contained knots in close proximity through the cross section, and lamination 2 contained a butt joint—with only lamination 5 defect free. Figure 3 indicates a failure which was typical of most weaker specimens. In general, failure initiated at a butt joint and was associated with grain deviation in an adjacent lamination. In the case illustrated, grain irregularity was associated with a knot in the same lamination.

Strong specimens are typified by Figure 4. The specimen's failure surface, which indicates relatively great wood failure, is shown. In these specimens, failure usually was initiated at the outer butt joint, then progressed along the glue-line to the next butt joint, and so on to complete failure. Within the range of high-strength specimens, only a few failures were associated with knots.

In 82 percent of all specimens tested, initial failure occurred at a butt joint. Apparently, knots in themselves contributed little to weakness unless they were

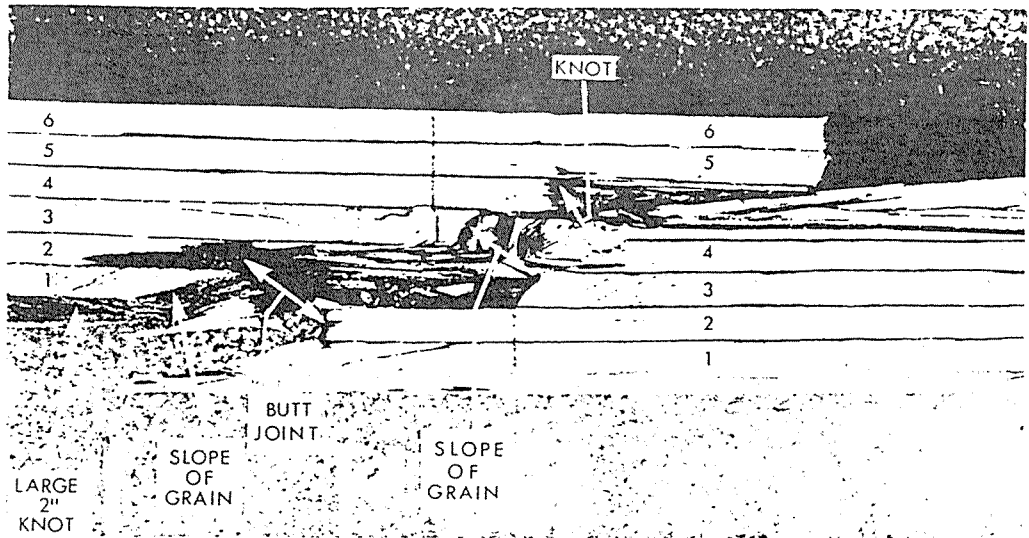


Figure 2. — Illustration of material failures associated with weakest specimen of LVL.

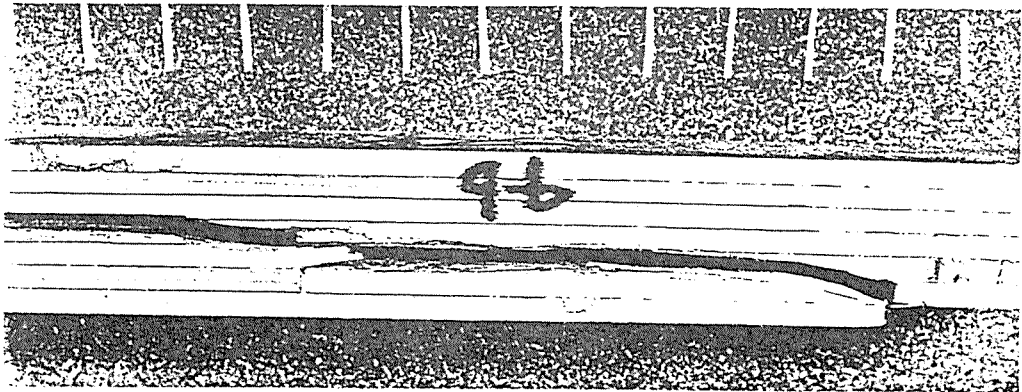


Figure 3. — Example of failure made in weak LVL specimens.

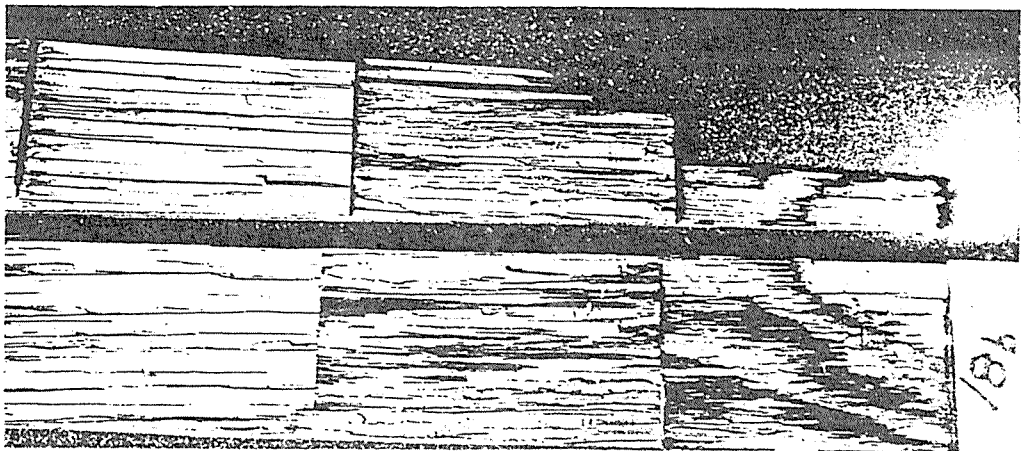


Figure 4. — Example of failure surface in strong LVL specimens.

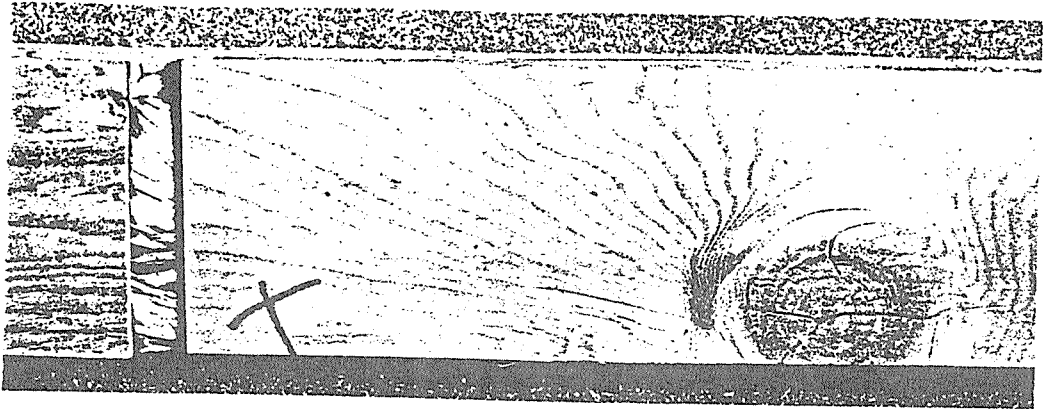


Figure 5. — Example of a butt-joint failure adjacent to a large edge knot in an average-strength LVL specimen.

closely aligned throughout the cross section. Figure 5 shows a 1-inch edge knot. This specimen was of average strength, and the failure was not associated with the edge knot.

#### Summary and Conclusions

Second-growth No. 2 Douglas-fir sawlogs from a limited sample were rotary peeled into sheets of thick veneer (1/4-inch) and laminated without prior grading into long, wide planks which were sawn into 2- by 4-inch dimension lumber. In all cases, specimen strength and stiffness were equal to or exceeded the published allowable values for tension in the Select Structural grade of sawed lumber.

Work by other researchers suggests that up to 33 percent higher values in average tensile strength, coupled

with low variability, could be expected by using 1/8-inch graded veneers from a wide population of material.

Strength-reducing characteristics of natural origin, such as knots and severe slope of grain, were dispersed throughout the volume of wood by laminating veneers which were randomly selected. This yielded a product having a small coefficient of variability (13.9 percent) compared with sawed lumber (37 percent). Nevertheless, it should be emphasized that the test material originated from a localized growth site, whereas the sawed lumber was from a larger portion of the true population.

Visual examination of weak specimens indicated that failures usually occurred at butt joints in association with grain deviations in adjacent laminations.

#### Literature Cited

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1968. Static tests of timbers. ASTM D198-67, Philadelphia, Pa.
- . 1971. Establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. ASTM D245-70, Philadelphia, Pa.
- . 1965. Standard methods of test for moisture content of wood. ASTM D2016-65, Philadelphia, Pa.
- . 1971. Tentative method for evaluating allowable properties for grades of structural lumber. ASTM D2915-70T, Philadelphia, Pa.
- BOHLEN, J. C. 1972. LVL laminated-veneer lumber: development and economics. *Forest Prod. J.* 22(1):18-26.
- DOYLE, D. V., and L. J. MARKWARDT. 1967. Tension parallel-to-grain properties of southern pine dimension lumber. USDA Forest Service, Forest Products Lab., Res. Pap. FPL 84, Madison, Wis.
- FPL PRESS-LAM RESEARCH TEAM. 1972. FPL press-lam process: fast, efficient conversion of logs into structural products. *Forest Prod. J.* 22(11):11-18.
- KOLLMAN, F. F., and W. A. COTE. 1968. Principles of wood science and technology, vol. 1. Springer-Verlag, New York, N.Y. pp. 327-328.
- MCGOWAN, W. M. 1968. Parallel-to-grain tensile properties of visually graded 2 by 6-inch Douglas-fir. Canadian Forestry Service, Forest Prod. Lab., Inform. Rep. VP-X-46, Vancouver, B.C.
- . 1971. Parallel-to-grain tensile properties of coast- and interior-grown 2 by 6-inch Douglas-fir. Canadian Forestry Service, Forest Prod. Lab., Inform. Rep. VP-X-87, Vancouver, B.C.
- MOODY, R. C. 1972. Tensile strength of lumber laminated from 1/8-inch-thick veneers. USDA Forest Service, Res. Pap. FPL 181-1972. 28 p. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
- NATL. LUMBER GRADES AUTH. 1973. Standard grading rules for Canadian lumber. NLGA, Vancouver, B.C.
- NELSON, S. A. 1972. Structural applications of Micro-Lam. *lumber. Civ. Eng.* 42(7):57.
- NEWLIN, J. A., and T. R. C. WILSON. 1917. Mechanical properties of woods grown in the United States. USDA Forest Service, Bull. 556, Washington, D.C.
- SCHNIEWIND, A. P., and D. E. LYON. 1971. Tensile strength of redwood dimension lumber. Part I. Relation to grade and working stress. *Forest Prod. J.* 21(7):18-27.

# 26 Shear Strength of Douglas-Fir Laminated-Veneer Lumber

J. C. Bohlen

## Abstract

A sample of sixty 2- by 8-inch Douglas-fir laminated-veneer lumber (LVL) specimens was obtained from a commercial manufacturer. Horizontal shear tests of full-size joists and planks indicated that LVL would be acceptable for use either as a plank or as a joist when manufactured under a closely controlled and supervised quality-control program, as an alternate to sawn lumber in shear-stress (95 psi) critical applications. However, the use of LVL as a plank is not recommended in high-shear-stress portions of glued-laminated or glued built-up beams, as it is not capable of achieving the required higher allowable stress of 165 psi.

DIMENSION LUMBER made from butt-jointed laminations of thick rotary-peeled veneer has been investigated by Bohlen (1972a), the USDA FPL Presslam Research Team (1972), and Koch (1973). Although each researcher worked independently and used a slightly different method of assembling veneer to obtain the lumber product, between 60 and 62 percent (lumber recovery factor 9.6 to 9.9) of the volume from either Douglas-fir or southern pine logs (12- to 23-inch diameter) was recovered as dressed, dry lumber in each experiment. This represents a 50 percent greater yield than is achieved by conventional log processing (Koch 1973).

The mechanical properties of laminated-veneer lumber (LVL) have been reasonably well established during the investigations referred to above and were found to compare favorably in all respects with sawn lumber except for horizontal-shear strength (shear parallel to grain). The Presslam Research Team (1972) indicated that compression block-shear specimens of southern pine had 59 to 67 percent of the shear strength of matched sawn-wood specimens. However, in bending-shear tests of 15 structural-size joists, no failures in flexural shear were evident despite calculated shear stresses as great as 508 psi. Without considering size effect, this compares favorably with flexural shear-test results of solid wood (300 to 500 psi)

in sawn Douglas-fir glued-laminated beams (Huggins, Palmer, and Aplin 1966).

The objective of this reported research was to obtain sufficient data on shear strength from closely matched specimens of LVL, in both small and structural sizes, so that shear working stresses might be assigned with an acceptable level of confidence.

## Materials

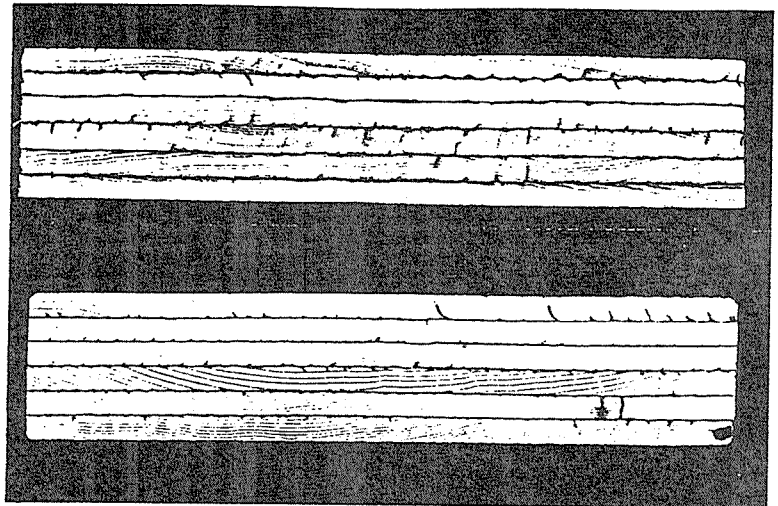
### LVL Manufacture

The LVL material was fabricated by a Canadian manufacturer from six layers of parallel-laminated, approximately 1/4-inch-thick, rotary-peeled, coastal Douglas-fir veneers which were commercially peeled. The veneer quality was controlled as specified in CSA Standard 0121-1961. The requirements for Grade C veneer were met except that up to 2-inch-diameter knot size was permitted. After peeling, the veneers were clipped to slightly oversize 4- by 8-foot sheets and dried to an estimated average moisture content (MC) of 3 percent.

The dried veneers were squared and edge-glued, where required, to a uniform 48-inch width and 96-inch length. A layup was selected which resulted in the outer veneers' having their tight sides out, and consequently, the center veneer loose sides were glued to one another (Fig. 1). The layup was performed according to a process developed by Bohlen (1972a). This method consists of assembling the dried and squared veneers in stepwise fashion, after spreading them with a standard mix of waterproof phenol-formaldehyde glue, using 60 pounds per thousand square feet of double glue-line. The layup was designed so that butt joints were staggered 6 inches apart. The fabricator used an end-loading, 16-foot-long hot press and produced standard LVL "blanks" which were nominally 1-1/2 inch thick by 48 inches wide by 40 feet long. The "blanks" were not stacked and stored for subsequent smooth ripping to the required structural sizes as ordered.

The author was on the staff of the Dept. of the Environment, Canadian Forestry Service, Western Forest Products Lab., Vancouver, B.C., Canada. This paper was received for publication in June 1974.

Figure 1. — Top, commercial LVL. Bottom, laboratory LVL end sections of 2- by 8-inch LVL joist material indicating veneer quality and distribution of glue.



### Sample Selection and Specimen Preparation

The material used in this experiment was selected from an LVL manufacturer's preproduction run, which represented an elapsed intermittent 2-month production comprising two separate truckloads of veneer from the same supplier. From the 48-inch-wide LVL

stock, five randomly selected sections 8 feet long were obtained. Each length was sequentially smooth ripped to 7-1/4-inch widths which yielded six pieces of 2- by 8-inch by 8-foot-long dimension-lumber equivalent. These were then divided into block-shear and bending-shear specimens as shown in Figure 2 and distributed according to Table 1.

Table 1. — DESCRIPTION AND DISTRIBUTION OF COMMERCIAL LVL SHEAR-TEST SPECIMENS.

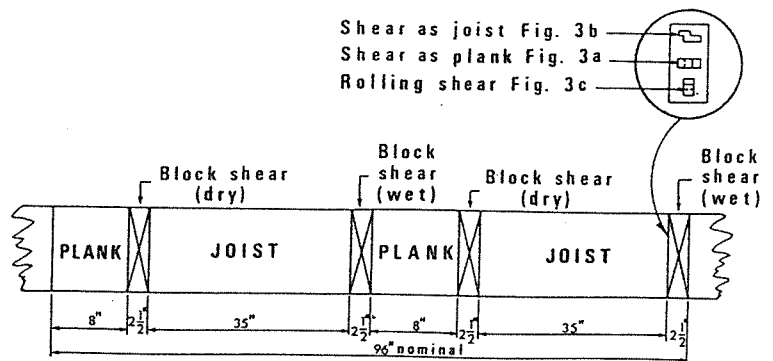
Specimen description		Dry (No.)	Wet (No.)
Block shear	Plank (Fig. 3a)	60	60
	Joist (Fig. 3b)	60	60
	Rolling (Fig. 3c)	59*	59*
Short-beam bending shear	Joist (Fig. 4)	58*	—
	Plank (Fig. 5)	60	—

\*60 specimens were prepared; those not tested were lost during moisture conditioning.

The block-shear specimens were cut to size according to ASTM-D-805-1972 standard for shear-parallel-to-grain specimens. The orientation of the shear planes for each of the three kinds of block-shear specimens with respect to the glue-lines are indicated in Figure 3. The "plank" and "rolling" shear blocks were cut as specified by the ASTM standard, but the "joist" specimens were 1-1/2 inch wide rather than 2 inches. This was unavoidable since the LVL material is 1-1/2 inches thick, which corresponds to the standard thickness for dimension lumber.

After segregating the shear blocks into dry and wet categories (Table 1), the dry shear blocks and the 2- by 8-inch joist and plank specimens were conditioned at 75°F dry-bulb and 71°F dewpoint

Figure 2. — Specimen cutting plan.



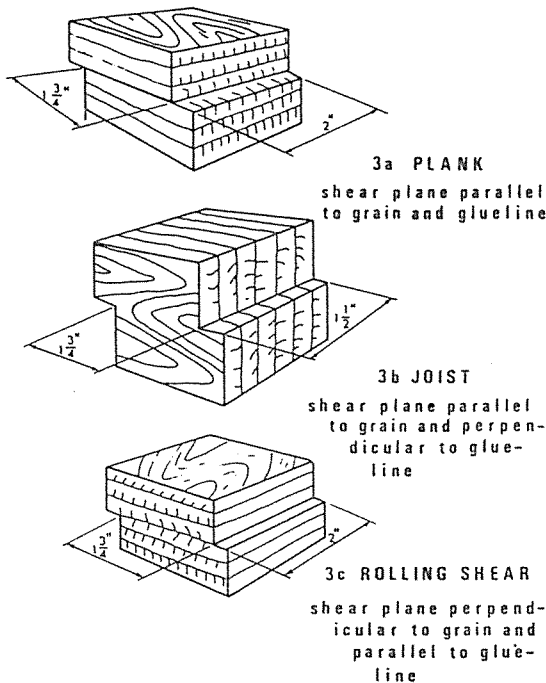


Figure 3. — LVL block-shear-specimen orientation and nominal (2 in. by 2 in.) cross section dimensions.

temperatures. This corresponds to an 18 percent equilibrium moisture content (EMC) in sawn wood. Specimens were kept in this environment until four control pieces achieved a constant weight. The wet shear blocks were conditioned by soaking them thoroughly in water using a vacuum-impregnation method (CSA-0121-1973).

A small sample was selected from Douglas-fir LVL stock left over from a previous experiment (Bohlen 1974). This laboratory-made LVL was used to determine any differences from commercially made material. Six block-shear specimens in each of the plank, joist, and rolling-shear configurations (Fig. 3) were prepared. An "end" section typical of the material from which these specimens were taken is shown in Figure 1 (top).

### Testing

#### Block-Shear Specimens

Dry and wet specimens were tested in compression shear in accordance with ASTM-D-805-72. In the LVL process, a glue line hardens at a low MC and, regardless of subsequent moisture conditioning, the shear area at the waterproof phenol-formaldehyde glue line remains approximately constant. Although the material in the shear plane increases when wet in one dimension by an average of about 6 percent in the joist orientation (Fig. 3b), it was decided to present the strength data with respect to the dry dimensions in the

interest of uniformity. For this reason, dry shear cross section dimensions were measured at the time of testing, while wet shear specimens were measured prior to water impregnation. Specimen weight of wet and dry specimens was recorded at time of test. Maximum load was recorded, and computations were made by dividing the maximum load by the dry specimen cross section area for wet as well as dry specimens. Test results and statistics are given in Table 2. The maximum shear stress, standard deviation and percent wood failure are presented in Table 3 for the dry material, as well as for comparison with other test data relevant to the determination of allowable stresses. Laboratory-prepared material was tested only in the dry condition. Test data and statistics are listed in Table 3.

#### Bending-Shear Joist Specimens

The 2- by 8-inch joist specimens, which were supported on 31-inch centers, were tested using two-point loading in bending (load points 9-1/4 inches apart) in accordance with ASTM-D-198-67. A shear-span- (Fig. 6) to-depth ratio of 2.92 was employed. Typical horizontal shear failure is shown in Figure 4. Maximum load and specimen dimensions were recorded. An MC specimen approximately 2 inches long was cut, measured, and weighed immediately after test. Rate of loading was determined in a manner which permitted the specimens to reach maximum load between 7 and 15 minutes. Shear stress was computed from the equation:

$$\tau = \frac{3}{2} \frac{V}{bh}$$

where:  $V$  = 1/2 maximum load (lb.).

$b$  = specimen thickness (inch).

$h$  = specimen height (inch).

Test results and relevant statistics are included in Table 3.

#### Bending-Shear Plank Specimens

The 2- by 8-inch plank specimens were supported on 6-inch centers as shown in Figure 5. Center loading was used for this short span which yielded a 3.72 shear span/depth ratio. A typical horizontal-shear failure is shown by the arrow in Figure 5. Maximum load and specimen dimensions were recorded. Shear stresses were calculated using the same equation as for joists except that  $b$  = specimen width and  $h$  = specimen thickness. The data are recorded with relevant statistics in Table 3.

#### MC and Specific Gravity

MC for each specimen was determined by the oven-dry method of ASTM-D-2016 (Method A) 1965. Specific gravities for plank and joist specimens were obtained according to ASTM-D-2395 (Method A) 1969, where oven-dried weight was divided by volume at time of test. The commercial LVL specific gravity averaged 0.534 (0.484-0.602) at 15.5 percent MC. The laboratory LVL averaged 0.52 (0.47-0.57) at 7.6 percent MC. Published value for sawn coastal Douglas-fir is 0.49 at 12 percent MC according to Kennedy (1965). Data are recorded in Table 3.

Table 2. — LVL BLOCK-SHEAR-STRENGTH TEST RESULTS OF COMMERCIALY PRODUCED MATERIAL IN WET AND DRY CONDITIONS.

	Block-Shear Stress							
	Dry				Wet			
	Parallel to grain and glueline (plank) Figure 3a	Parallel to grain perp. to glueline (joist) Figure 3b	Perp. to grain & parallel to gluel. (rolling) Figure 3c	MC (%)	Parallel to grain and glueline (plank) Figure 3a	Parallel to grain perp. to glueline (joist) Figure 3b	Perp. to grain & parallel to gluel. (rolling) Figure 3c	MC (%)
No. in sample	60	60	59	60	60	60	59	60
Min. (psi)	328	518	84	10.6	311	453	91	53.5
Avg. (psi)	595	781	202	14.8	521	619	210	95.6
Max. (psi)	1,094	1,113	364	22.7	965	816	313	120.0
s (psi)	160	156	57.4	2.6	121	83.6	42.8	15.2
cv (%)	26.9	20.0	28.4	17.4	23.2	13.5	20.4	15.9
% wood failure (n)	59		55		60		59	
Min.	65		55		55		25	
Avg.	96		92		96		96	
Max.	100		100		100		100	

Table 3. — ULTIMATE SHEAR STRENGTH TEST DATA AND STATISTICS FOR DOUGLAS-FIR LAMINATED-VENEER LUMBER (LVL).

Description of test	Sample size (n)	MC % avg. (range)	Wood failure % avg. (range)	Ultimate avg. shear stress psi (range)	95 % confidence interval for mean (psi)	Std. deviation (psi)	5 % excl. limit (E.L.) (psi) ASTM D2555	Allow. stress ASTM D-245 (psi) E.L. x 0.244	95 % tol. limit (T.L.) (psi) ASTM D2915T	5 % excl. lim. (E.L.) (psi) ASTM D2915T TL x 1.05 (psi)	Allow. stress. (psi) ASTM D-2915T (psi) E.L. x 0.244	
Short beam shear	Joist Figure 4	58	15.8 (13.5-22.2)	N.A. <sup>1</sup>	519 (390-652)	502-536	63	414	101 <sup>2</sup>	390	409	100
ASTM D-198	Plank Figure 5	60		N.A.	605 (446-794)	586-624	73	483	118 <sup>2</sup>	446	468	114
Block shear	Joist Figure 3b	60	14.8	N.A.	781 (518-1,113)	740-822	156	520	127 <sup>2</sup>	518	544	133
ASTM D-805	Plank Figure 3a	60	10.6-22.7	96 (65-100)	595 (328-1,094)	553-637	160	328	80 <sup>2</sup>	328	344	84
Block shear	Sawn wood published	—	Green	N.A.	922	—	129	710	95 <sup>2</sup>	—	—	—
ASTM D-245												
Laboratory block shear	Joist Figure 3b	6	7.6	N.A.	1,820 (1,610-2,100)	1,633-2,007	183	1,466	314 <sup>4</sup>	N.A.	N.A.	N.A.
ASTM D-805	Plank Figure 3a	6	7.6	95 (75-100)	1,015 (661-1,350)	733-1,297	269	493	105 <sup>4</sup>	N.A.	N.A.	N.A.
Rolling block shear	Figure 3c	59	14.8 (10.6-22.7)	92 (55-100)	202 (84-364)	187-215	57	106	26 <sup>2</sup>	84	88	22
Laboratory rolling block shear	Figure 3c	6	7.6	95 (80-100)	420 (350-489)	363-477	54	315	76 <sup>3</sup>	N.A.	N.A.	N.A.

<sup>1</sup>N.A. Not applicable.

<sup>2</sup>Without 0.48 grade factor.

<sup>3</sup>With 0.48 grade factor and adjusted to 15 percent MC as published (NLGA 1973).

<sup>4</sup>Without 0.48 grade factor and adjusted to 15 percent MC using "Madison formula."





Figure 4. — Two views of 2- by 8-inch LVL joist specimen illustrating horizontal shear failure.

### Allowable Stresses

Table 3 includes allowable stresses derived by two methods. The first approach follows ASTM-D-245-70 in which allowable stresses are evolved from test data obtained from small, clear specimens tested in the

green condition. These are adjusted to 19 percent MC with applied safety factors, and are published by the various lumber-grading authorities, e.g., NLGA (1973). In this work, test data were obtained at about an average MC of 15 percent. At 15 percent MC, the NLGA (1973) permits an allowable strength increase of 5 percent over the published value of 90 psi for Douglas-fir, or 95 psi.

The second method for deriving allowable stresses is the ASTM-D-2915-70T, which was introduced so that allowable stresses could be obtained directly from tests of full-size dimension lumber, and employing a method for deriving the lower 5-percent exclusion limit from minimum strength values within a sample.

### Discussion

#### Bending Shear Strength

It is well recognized that horizontal shear is very difficult to induce in tests of dimension lumber because the short span-to-depth ratios required result in a large proportion of compression-perpendicular-to-grain failures at the end supports of the specimens. However, during preliminary tests with LVL, it was found that shear failures as a joist or plank could be obtained in LVL without failure of the material at the supporting points. Although there is some deformation evident at the supports in the plank specimens (Fig. 5), all of the test specimens failed in shear.

Of the 58 joist specimens tested, 14 visibly failed in shear (Fig. 4) and the remainder reached a maximum load without any signs of shear failure, nor any other kind of failure for that matter. In no instance was any excessive deformation observed at the supports greater than 1/8 inch. The average shear stress of the 14 visible failures was 513 psi, almost identical to the 519 psi for the entire sample. The ultimate stresses were alike at the 5 percent exclusion limit (ASTM-D-245-70) as well.

The allowable stresses, based upon tests of short beam-shear and the block-shear specimens, were computed using both ASTM methods for deriving them. It

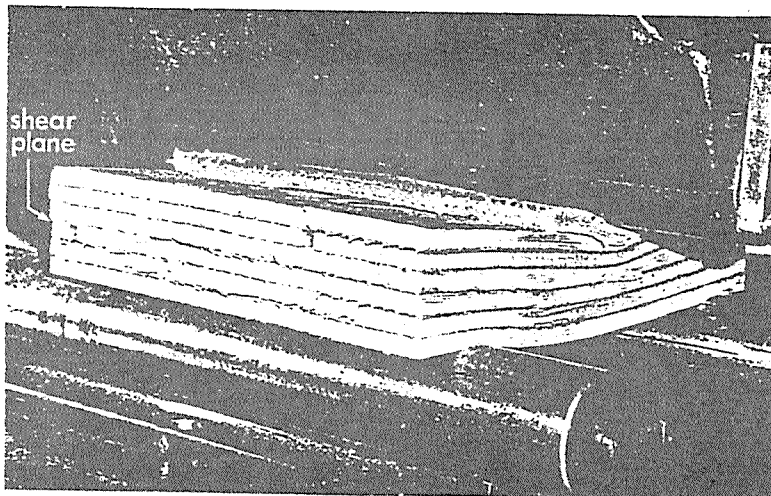


Figure 5. — A 2- by 8-inch LVL plank specimen illustrating test setup and horizontal shear failure.

is interesting that these allowable stresses are within 5 percent of each other. The allowable stresses for full-size specimen joists and planks exceed the 95 psi for lumber which is specified for 15 percent MC.

### Plank-Block Shear Strength

The plank-block shear-test specimens (Fig. 3a) are oriented parallel to the grain and parallel to the glueline. The applied force essentially tests the strength of the glueline. The wood-failure average of 96 percent is acceptable for glueline quality-control purposes, as is the range (65 to 100%). Wood-failure data from tests of wet specimens averaged 96 percent with a range from 55 to 100 percent.

In comparing these values with laboratory-made dry material (Table 3), the percent wood failure values are equally large, but the average shear stress of the laboratory material is 70 percent greater than the commercial sample at the 1 percent level of significance. There are three possible reasons for the low strength of the commercial specimens - veneer surface roughness, lathe-check depth, and overdrying.

Veneer surface roughness can promote a condition in which differential loads are imposed on sections of the veneers during hot pressing which severely distort the wood fibers. In Figure 1 (top) several areas can be seen where the earlywood-latewood continuity has been abruptly disrupted at sections of uneven veneer surfaces. Lathe-check depth is of some consequence, because it is difficult for the glue to penetrate the full depth of severely checked material. Figure 1 (top) illustrates this problem; Figure 1 (bottom), the laboratory-peeled veneer, indicates fewer deep lathe checks, which are mostly filled with glue. An actual lathe-check count of these particular cross sections indicates that the commercial material has seven times as many lathe checks which are completely through the veneer, although there are 27 percent fewer checks than in the laboratory material. The average lathe-check depth was 92 percent in the commercial material compared with 74 percent in the laboratory LVL.

The effect on strength of a large number of deep, unfilled lathe checks is that the applied shear force is concentrated principally in stiffer discrete elements of the material rather than being evenly distributed from weaker to stronger portions of the wood. This "un-balanced concentration" may result in lower load-carrying capability.

Although there were no records kept of the MC of the commercial veneer, the manufacturer reported that the material appeared to have been overdried, as evidenced by its darkened color (Chow 1971). Overdrying as a consequence of overheating was investigated by Bohlen (1972b) where it was found that the parallel-to-grain and glueline block-shear strength of Douglas-fir sawn lumber, which had been heat treated and glued when hot, decreased uniformly in strength from 1,680 psi to 860 psi over a temperature range from 380°F to 500°F, yet all specimens exhibited uniformly high average percentage of wood failure (95 percent).

The laboratory-processed material, Figure 1 (bottom), was made from smoothly peeled veneer with a

number of relatively shallow lathe checks. The veneer was carefully dried to an average MC of 4.7 percent, ranging from 2.2 to 6.8 percent (Bohlen 1974), and there was no evidence of darkening of the veneer surfaces.

### Rolling-Shear Block Strength

Plywood researchers are aware that lathe-check depth affects rolling-shear strength (Palka 1966). The laboratory specimens (Table 3), with average lathe-check depth of 74 percent, indicated twice the average strength and half the variability of the commercial material (Table 3) which had 92 percent average lathe-check depth. The allowable stress calculated according to ASTM-D-245-70 was 26 psi for the commercial material and 76 psi for the laboratory material. The published allowable rolling-shear stress for plywood in dry and wet service conditions is 56 psi (CSA-086-1970). In tests of commercial material in the soak condition, the allowable rolling-shear stress was the same as in the dry condition.

Although rolling shear is not an important mechanical property in sawn lumber, it might be worth some consideration for LVL. Since the material is available in wide planks (up to 48-inch) and may easily be crossbanded or applied in any desired orthogonal layup, it can be used for roof decking over glued-laminated wood beams. In this application, rolling-shear stresses would have to be considered in design.

### Effect of Butt Joints on Shear Strength

In 50 percent of the short-beam-shear specimens tested as a joist, there were no butt joints present in any part of cross sections. The average shear strength and variability of these specimens were the same as the remainder of the sample, all of which had at least one butt joint. Of those 14 percent which visibly failed in shear, butt joints were present in only 50 percent of that sample, as well. It is evident, therefore, that the presence of butt joints, per se, has no effect on shear strength as a joist.

Due to the short length (8 inch) of the plank specimens, there was no opportunity to segregate butt-jointed specimens over their span.

### Strength Differences Between Small and Large Specimens

Although allowable stress values of the joist block-shear specimens are 34 percent *greater* than those for lumber, the plank block-shear values are 16 percent *smaller*. The reverse situation holds for the large specimens, where the plank shear stresses are greater than the joist allowable stresses. These same relationships hold true, as well, for the average shear strengths of the four groups of specimens.

During the past few years, several researchers have put forward arguments that a size effect exists among beams made of wood, which has a direct bearing on ultimate shear strength. Huggins, et al. (1966) pointed out that as the shear span-to-depth ratio becomes larger, the average ultimate shear stress decreases. The LVL plank shear span-to-depth ratio is

3.72 and the LVL joist ratio is 2.92. Based on Huggins' hypothesis, the LVL plank should be less strong than the joist. The reverse is the case. Keenan and Selby (1973) propose that the shear strength is a function of the sheared area (specimen width x shear span/2) (Fig. 6). On this basis, the LVL plank with a sheared area of 22.3 square inches (7.45 by 3) should be lower in strength than the LVL joist which had a sheared area of 17.5 square inches (1.61 by 10.9). The test results indicate the reverse of this hypothesis, as well. If one assumes a brittle mode of fracture and applies Weibull (1939) concepts for predicting the effect of specimen size on strength, one would expect the shear strength to be inversely proportional to the shear volume (Barrett 1974). The LVL shear volume for the plank is 36 cubic inches, and for the joist 131 cubic inches. This suggests that the LVL plank should demonstrate greater average shear strength than the joist, as is the case.

With the demonstrated likelihood of an existing size effect, there is no reason to expect equivalence between small block-shear specimens and the large-size structural material. Consequently, the strength values developed for the structural-size material appear to be more representative than are the values determined from tests of small specimens.

### Implications

#### Quality-Control Program

Small specimens serve well as a control of glue-line quality, but there needs to be some mechanically tested measure of glue-line strength as well as percent wood failure to completely define the adequacy of the glue-line. In Canada, Douglas-fir LVL is permitted to be used as an alternate to No. 1-grade Douglas-fir dimension lumber in houses financed under the Canadian National Housing Act. To assure product reliability, a quality control standard has been written and must be adhered to by any LVL manufacturer. In addition to the glue-line wood-failure stipulations, an average wet strength of 700 psi in shear parallel to the center glue-line is a part of the specification. From an examination of the data from laboratory and commer-

cial material tests, the specified shear strength would assure plank specimen block-shear values at least equal to the published allowable stress. Prior to establishing quality assurance specifications based upon tests of short-beam shear specimens, there has to be a more extensive testing program to establish the required reliability over a wider population of material.

#### LVL in Glued-Laminated Beams

The published shear strength for dry Douglas-fir in grades which are acceptable for use in glued-laminated beams is 165 psi (CSA-086-1970). From the allowable stresses obtained in this experiment (Table 3), it is evident that the only value in excess of 165 psi is of the laboratory joist block-shear specimens (314 psi). It is probable that the full-size joist material, if manufactured according to the established quality controls, could be assigned a working stress of 165 psi.

Since the likelihood of achieving 165 psi as a plank is apparently out of the question, based on the best effort laboratory specimen value of 105 psi for block shear (Table 3), LVL should not be used in the high-shear portions of glued-laminated beams.

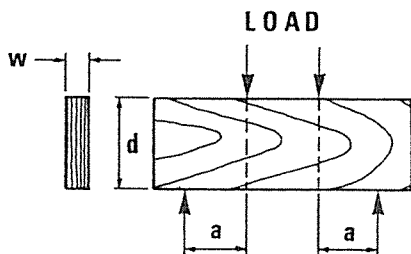
#### Conclusions and Recommendations

Commercially produced LVL was tested and indicates an allowable stress when oriented as a joist about 5 percent greater than the published value of 95 psi, which is applicable for all grades of Douglas-fir dimension lumber. Butt joints appear to have no influence on joist shear strength. It was evident, however, that this material was made from veneers which had rough surfaces, were deeply checked, and possibly overdried.

Plank strength, on the basis of tests of structural-size material, indicated an allowable shear strength which was 20 percent greater than the published value for lumber (95 psi), but 31 percent less than the published value (165 psi) for glued-laminated beams (CSA-086-1970). Since the small block-shear plank specimens indicated allowable stresses which were less than the published allowable lumber stress, LVL as represented by the quality of the commercial experimental sample should not be employed as a plank in an application where it substitutes for dimension lumber. Lower working stresses could be assigned, if desired.

However, when manufactured using a supervised quality-control program, which employs shear parallel to grain and glue-line strength criteria in addition to percent wood failure, it is expected that LVL could be employed as a substitute for a sawn lumber plank in bending as well as for joists. However, in the highest shear-stress areas of glued-laminated beam assemblies and other build-up, shear-critical beam sections, LVL is not under any circumstances recommended as a substitute for sawn lumber for use when oriented as a plank.

Due to the effect of veneer peeling and drying variables on shear strength of LVL, it is recommended that any manufacturer of LVL establish quality-control supervision over veneer peeling and drying as well as gluing processes.



Shear span =  $2a$

Specimen beam depth =  $d$

Specimen thickness =  $w$

Figure 6. — Notations for short-beam bending-shear specimens in describing size effects.

## Literature Cited

- AMER. SOC. TEST. MATER. 1965. Standard methods of test for moisture content of wood. ASTM D2016-65, Philadelphia, Pa.
- \_\_\_\_\_. 1968. Static tests of timbers. ASTM D193-67, Philadelphia, Pa.
- \_\_\_\_\_. 1969. Standard methods of test for specific gravity of wood and wood-base materials. ASTM D2395-69, Philadelphia, Pa.
- \_\_\_\_\_. 1970. Establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. ASTM D245-70, Philadelphia, Pa.
- \_\_\_\_\_. 1971. Tentative method for evaluating allowable properties for grades of structural lumber. ASTM D2915-70T, Philadelphia, Pa.
- \_\_\_\_\_. 1972. Standard methods of testing veneer, plywood, and other glued veneer constructions. ASTM D805-72, Philadelphia, Pa.
- BARRETT, J. D. 1974. Size effects in tension perpendicular to grain. Wood and Fiber (in press).
- BOHLEN, J. C. 1972a. LVL laminated-veneer lumber; development and economics. Forest Prod. J. 22(1):18-26.
- \_\_\_\_\_. 1972b. Shear strength of high-temperature heat-treated Douglas-fir lumber laminated with phenol-resorcinol adhesives. Forest Prod. J. 22(12):17-24.
- \_\_\_\_\_. 1974. Tensile strength of Douglas-fir laminated veneer lumber. Forest Prod. J. 24(1):54-58.
- CAN. STAND. ASSOC. 1970. Code of recommended practice for engineering design in timber. CSA Stand. 086-1970, Rexdale, Ontario, Canada.
- CAN. STAND. ASSOC. 1961. Douglas-fir plywood. CSA Stand. 0121-1961. Rexdale, Ontario.
- \_\_\_\_\_. 1973. Douglas-fir plywood. CSA Stand. 0121-1973. Rexdale, Ontario.
- CHOW, S. 1971. Determining veneer surface inactivation by a reflectance colorimeter. Forest Prod. J. 21(2):19-24.
- HUGGINS, M. W., J. H. L. PALMER, and E. N. APLIN. 1966. Evaluation of the effect of delamination. Eng. J. 49(2):32-41.
- KEENAN, F. J., and K. A. SELBY. 1973. The shear strength of Douglas-fir glued-laminated timber beams. Univ. Toronto, Dept. Civil Eng., Publ. No. 73-01, Toronto, Ontario.
- KENNEDY, E. I. 1965. Strength and related properties of woods grown in Canada. Can. Dept. Forestry, Publ. No. 1104, Ottawa, Ontario.
- KOCH, P. 1973. Structural lumber laminated from 1/4-inch rotary-peeled southern pine veneer. Forest Prod. J. 23(7):17-25.
- NATL. LUMBER GRADES AUTH. 1973. Standard grading rules for Canadian lumber. NLGA, Vancouver, B.C.
- PALKA, L. C. 1966. Factors affecting the strength properties of plywood normal to the glue-line. Forest Prod. J. 16(3):44-52.
- USDA FPL PRESSLAM RES. TEAM. 1972. FPL press-lam process: fast, efficient conversion of logs into structural products. Forest Prod. J. 22(11):11-18.
- WEIBULL, W. 1939. A statistical theory of the strength of materials. Proc., Royal Swed. Inst. Eng. Res. No. 151.

# 27 Stress-Graded Hardwood Lumber By Press-Lam Production?

E. L. Schaffer

R. C. Moody

---

## Abstract

The potential for the production, by the Press-Lam process, of structural lumber from hardwoods is examined in detail. The analysis indicates the probability of both technical and economic success.

---

THE DEMAND for softwood timber is expected to continue to grow well above the projected supply by the end of the century (2,9,18). Conversely, hardwood timber supply will exceed the demand for decades (5). This appears an opportune time to consider the use of hardwoods as a supplement to softwoods, especially in the area of structural lumber, because about one-half of the lumber produced in the United States is consumed by the construction industry.

Utilization of hardwoods for construction lumber is not a new venture. Hardwoods were used in early housing and are now commonly used structurally for crossties and pallets. Though two United States hardwoods have recently been assigned grade standards for construction (12,19), little is used in house framing. The selection of hardwoods suitable for structural lumber should consider the abundant inventories of lesser-used species and of log grades not normally suitable for quality cuttings that command premium prices. This paper explores how the Press-Lam processing system might overcome some of the processing and acceptance problems (e.g., log quality,

---

The authors are Engineers, USDA Forest Service, Forest Prod. Lab., Madison, Wis. This paper was received for publication in January 1976.

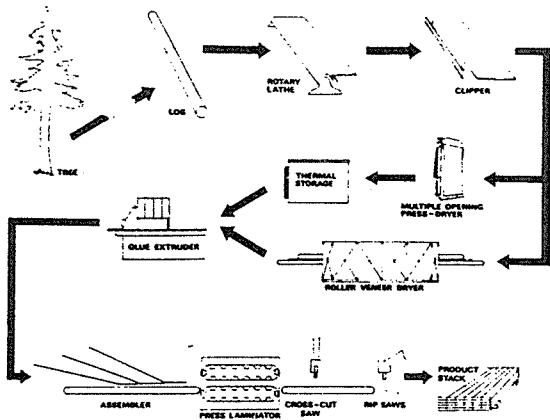


Figure 1. — Schematic illustration of Press-Lam process.

drying, dimensional stability, stress grading) which discourage the use of solid-sawed hardwood structural lumber.

### Press-Lam System

The Press-Lam system is a new technique for complete log-to-product processing. It has an attractive rapid production scheme, and results in a product with excellent structural properties (4,14,16). Press-Lam has been successfully produced on a laboratory scale from softwoods and has met softwood design criteria. Though this paper pursues the production and marketing of structural lumber from hardwoods, other specialty engineered products such as ladder rail stock and crossarms are indeed possible.

Basically, the Press-Lam processing system is an integrated series of operations that can produce structural lumber from heated logs in less than 30 minutes (Fig. 1) (3). Veneer, 1/4 to 3/8 inch thick, is rotary cut on a conventional lathe, clipped to standard widths, and then "press dried" in a hot press. Phenol-resorcinol-resin adhesive is extruded in continuous beads on the hot veneer. The veneer is assembled with the grain of all layers in the same direction, as in conventional glue-laminating of beams, and placed under pressure in a cold press for a few minutes. The still-hot press-dried wood raises the glue line

temperature sufficiently to effect a rapid cure of the adhesive. The finished laminated sheet, usually 4 feet wide, can be sawed into structural material of any desired length (if continuously produced) and depth (Fig. 2).

Because there is no loss in saw kerf and no need for planing, the Press-Lam system anticipates dry product yields of 60 percent (1,4,7,8,10). A most important fact is that lower grades can be used because defects are dispersed by the laminating process, resulting in a product of higher strength than for solid wood with similar defects. Also, the product has more uniform properties than does solid-sawed lumber. Another feature of the Press-Lam processing system would be the reduction of inventory volumes due to the capability of meeting customer orders rapidly. Others are improved treatability (16) and reduced warp (4).

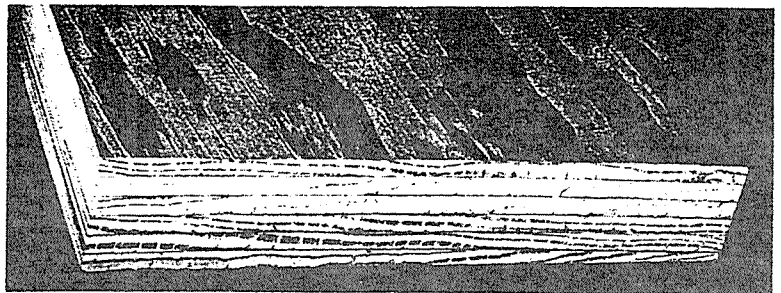
Previous estimates of the costs of processing Press-Lam as compared to solid-sawed lumber encouraged further research (14,15). A more comprehensive cost analysis has recently been completed at the Forest Products Laboratory in Madison, providing economic aspects of establishing a Press-Lam softwood mill (8). Comparative capital and manufacturing costs for Press-Lam, plywood, lumber, and flakeboard from that study are shown in Table 1. The assessment concluded that many engineered specialty products might be produced and marketed at prices competitive with other high-strength, special-use products. Examples are long joists and rafters, deep structural beams (14 in. or more), and pole crossarms. In addition, a most likely spot to locate a Press-Lam operation would be as a parallel processing line in a

Table 1. — COMPARATIVE MANUFACTURING COST ANALYSES<sup>1</sup> FOR PRESS-LAM, PLYWOOD, LUMBER, AND FLAKEBOARD (8).

Product	Capital cost of mill (including depreciation) (million \$)	Manufacturing cost (excluding log cost)	
		Per Mfbm (\$)	Per ft. <sup>3</sup> (\$)
Press-Lam	10	109	1.93
Plywood	15.9	—	1.40
Lumber	4.6	52.90	0.93
Flakeboard	15.6	—	1.59

<sup>1</sup>Based on annual production rates of 60 MM bf.

Figure 2. — A 2 by 10 Press-Lam softwood section with six thick veneer plies.



plywood plant; equipment requirements are very similar.

Koch (10) and Bohlen (1) have presented alternative ways to produce a laminated veneer product that should also be examined by interested processors. It is especially of value to observe that in 1952 Wiesehuegel (20) developed a heated continuous press to laminate low-grade hardwood slats into continuous lengths of lumber.

### Marketing Press-Lam

Acceptable routes to marketing of stress-graded hardwood dimension lumber have recently been illustrated by Galligan (6). All involve four essential steps:

- 1) The market must be defined.
- 2) Stress grades must be established.
- 3) Allowable engineering properties must be assigned for design.
- 4) Acceptance must be gained from codes and consumers.

Of the several approaches reviewed (6), the "Special Market" route (Fig. 3) appears to be the best way to develop a Press-Lam, stress-graded product for nationwide sales and acceptance. A Press-Lam, stress-graded product from hardwoods can satisfy these steps in a relatively simple manner.

### Hardwood Structural Press-Lam

#### Production Criteria

*Resource.* — Because Press-Lam is produced by rotary cutting, the 4- to 8-foot bolts should be large enough in diameter so that the dry product yield is more than 50 percent of the bolt volume. Theoretical

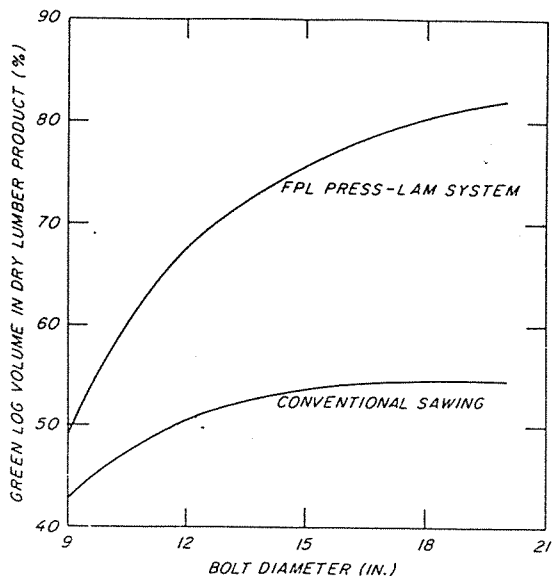


Figure 4. — Dry-product yield versus bolt diameter.

Table 2. — U.S. GROWING STOCK INVENTORIES.<sup>1</sup>

Type	Inventory	
	Billion ft. <sup>1</sup>	Percent
Eastern softwoods	118	18
Western softwoods	314	48
Eastern hardwoods	198	31
Western hardwoods	19	3
Total	649	100

<sup>1</sup>From Phelps and Hair (13).

Table 3.—EASTERN HARDWOODS GROWING STOCK<sup>1</sup>.

Species	Total billion ft. <sup>1</sup>	Diameter class in inches		
		5 to 11 (%)	11 to 19 (%)	Over 19 (%)
Select oaks	33	41	45	14
Other oaks	39	43	44	13
Hickory	13	46	43	11
Hard maple	12	52	38	10
Ash, walnut, cherry	12	51	41	8
Other	90	51	39	10
Total	198			

<sup>1</sup>From Phelps and Hair (13).

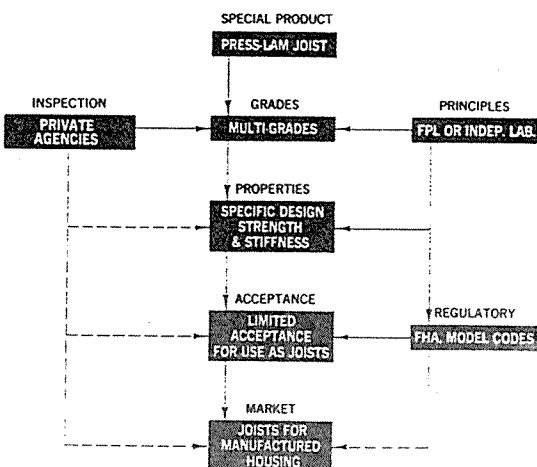


Figure 3. — Developing a special stress-grade market for Press-Lam joists, as adapted from Galligan (6). Black lettering represents Galligan's "Special Market" approach. White lettering specifies procedure for Press-Lam structural material.

yield increases with bolt diameter (Fig. 4). With diameters >10 inches, yields of 50 percent or more are potentially achievable (14) when rotary-cutting bolts to 6-inch cores.

Table 2 shows recent growing stock inventories for the softwood and hardwood resource. Eastern hardwoods represent 31 percent of the total of 649 billion cubic feet of U.S. growing stock. The oaks

Table 4.—1973-74 SAWLOG PRICES.<sup>1</sup>

Species	Prices (\$/Mfbm)
Douglas-fir (coast)	138 to 225
Northern red and white oak	26 to 33
Maple	60 to 80
Sweetgum	25 to 34
Aspen	28 to 60

<sup>1</sup>From Phelps and Hair (13).

represent the largest single species group available and over one-third of the hardwood resource (Table 3). A high percentage of the growing stock is in the ≥11-inch-diameter classes for all of the eastern hardwoods. A coming crop-type tree, however, that may be available in large diameters is aspen-cottonwood. For example, 12- to 13-year-old poplars, 24 inches in diameter, as grown in Australia are a promise of things to come in timber management (11).

Stumpage prices (Table 4) (13) indicate a raw material cost advantage for hardwood use as structural lumber. While quality hardwood logs will produce a greater return when used for furniture stock than for structural lumber, Press-Lam can make use of lower quality hardwoods which may have had limited use before.

**Performance.** — Volume of processable timber is not the only criterion for use as structural material; one must also look at properties such as strength and stiffness. If hardwood structural material is to be directly substituted for softwood lumber in conventional house framing, the hardwood should satisfy the specific performance criteria of the construction industry:

a) Design of framing such as joists, rafters, and headers is generally based on bending stiffness, but moderate strength, good nailholding qualities, and freedom from pronounced warp are also important.

b) Studs and plates need be only moderately stiff, but must have good nailholding qualities. Good workability (ease of sawing and nailing) and freedom from pronounced warp are also important.

c) Structural lumber for trusses requires high strength and stiffness, good nailholding qualities, and freedom from excessive warp.

Two of the abundant softwoods, Douglas-fir and southern pine, meet many of these requirements and are extensively used in the construction industry. Several hardwood groups can be compared to Douglas-fir. The oaks have clear-wood bending properties approaching Douglas-fir but their density (specific gravity or weight) is nearly 25 percent greater (Table 5). (In general, hardwoods are denser than softwoods for equal mechanical properties.) Warp resistance and nailholding for oak solid-sawed lumber are equal to those of Douglas-fir lumber, but the oak is more difficult to nail. Aspen and cottonwood solid-sawed lumber can be expected to have somewhat lower mechanical properties, lower nailholding, and medium warp resistance. Their low density, however, is attractive for handling ease and good workability.

Thus, some properties of hardwoods are attractive for structural uses (e.g., strength of oaks and workability of aspen and cottonwood), while others are less attractive (e.g., weight).

### Press-Lam Properties

**Mechanical properties.** — One feature inherent in Press-Lam processing systems is the random assembly and laminating of veneer. This procedure disperses

Table 5. — MEAN PROPERTIES OF SELECTED SPECIES.<sup>1</sup>

Species	Specific gravity <sup>2</sup>	Clear dry bending properties <sup>3</sup>	
		Modulus of elasticity (million lb./in. <sup>2</sup> )	Modulus of rupture (lb./in. <sup>2</sup> )
Douglas-fir (coast)	0.48	2.0	12,000
Oaks			
Northern red and white	0.63 to 0.68	1.8	14,000 to 15,000
Other oaks	0.59 to 0.88	1.0 to 2.3	10,000 to 18,000
Hickory	0.60 to 0.75	1.7 to 2.3	14,000 to 20,000
Maple	0.47 to 0.63	1.1 to 1.8	9,000 to 16,000
Sweetgum	0.52	1.6	12,500
Aspen and cottonwood	0.35 to 0.40	1.2 to 1.4	8,500

<sup>1</sup>From the Wood Handbook (17).

<sup>2</sup>Based on oven-dry weight and volume at 12% MC.

<sup>3</sup>Clear wood properties are the basis upon which allowable design strength properties for lumber are derived. Design properties are obtained by adjusting clear wood properties for strength-reducing characteristics, moisture content, and property variability (17).

Table 6. — EFFECT OF VENEER QUALITY ON PRESS-LAM BENDING PROPERTIES.

Log or veneer quality	Number of plies	Modulus of rupture (lb./in. <sup>2</sup> )	Approximate strength equivalent	Modulus of elasticity (million lb./in. <sup>2</sup> )
SOUTHERN PINE				
Half clear-half knotty	6	6,500	DSS <sup>1</sup>	1.7
Grade 3 (knottiest 40%)	6	5,800	No. 1D	1.6
DOUGLAS-FIR				
Half clear-half knotty	4	4,200	No. 1	1.4
Grade 4	4	3,500	No. 2 or 3	1.1
Grade 4	6	4,000	No. 2 or 3	1.2

<sup>1</sup>Dense Select Structural.

Table 7.—WARP TENDENCY OF PRESS-LAM JOISTS.

Number of specimens	Initial moisture content (%)	Equilibrium moisture content (%)	Means expressed as a percent of "very light" warp class (15)		
			Twist	Bow	Cup
SOUTHERN PINE, SIX-PLY					
4	10	6	40	50	.. <sup>1</sup>
4	10	20	48	39	.. <sup>1</sup>
COAST DOUGLAS-FIR, SIX-PLY					
52	10	10	45	27	.. <sup>1</sup>
10	10	20	39	43	.. <sup>1</sup>
COAST DOUGLAS-FIR, FOUR-PLY					
53	10	10	14	25	.. <sup>1</sup>
8	10	20	15	37	38
15	6	6	79	14	16
15	6	20	7	22	7

<sup>1</sup>Not measured or negligible.



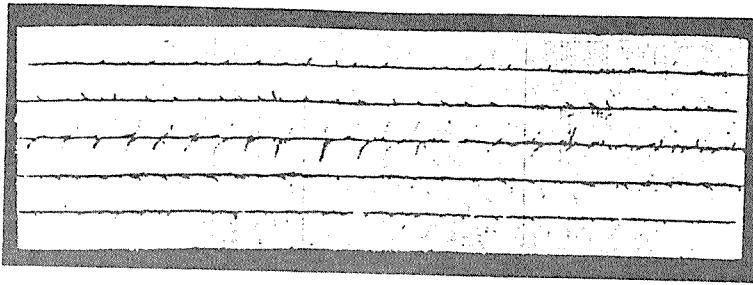


Figure 5. — Press-Lam section produced from aspen shows no evidence of drying degrade.

defects such as knots and checks within the member, thereby minimizing the effect of each. The result is a reliable structural material for use in edgewise bending applications.

Structural joists were successfully produced from 4-foot bolts taken from Grade 3 southern pine and Grade 4 coast Douglas-fir sawlogs (Table 6). Though knots sometimes were nearly 5 inches in diameter and no structural end joints were used in the 4-foot veneer, satisfactory six-ply (1/4-in. veneer) and four-ply (3/8-in. veneer) structural joist material was obtained. The southern pine produced No. 1 Dense type material from good-quality logs and the coast Douglas-fir produced No. 2 or No. 3 type material from low-quality logs. An estimate of the benefit of this processing has recently been shown by Koch (10) — laminated veneer and sawed lumber from matched logs produces *higher* structural grades of laminated lumber than sawed.

Press-Lam processing has been found to produce a material with little tendency to warp (4). An evaluation of warp characteristics of 120 four- and six-ply Douglas-fir Press-Lam joists showed that they would classify within the limits established for the highest grade structural softwood lumber (Table 7). Only bow, twist, and cup were found to be of any significance. No crook was evidenced.

Because the mechanical properties of most denser hardwoods listed in Table 5 (e.g., oaks, hickory, maple) are comparable to those of Douglas-fir, it appears that equal sizes of hardwood structural lumber could be substituted directly. However, the properties of Press-Lam produced from lower-quality aspen and cottonwood veneer would likely be below those of Douglas-fir. Using these hardwood species might require densification of the veneer during processing, production of slightly larger lumber dimensions, or mixing the lighter hardwood species with high-density species to attain required engineering performance. With equivalent dimensions of undensified veneer, aspen and cottonwood Press-Lam would be similar in structural grade to lumber of some of the softwoods such as lodgepole pine, Engelmann spruce, and the eastern spruces.

*Advantages in drying.* — Producing aspen and cottonwood studs from lower grade veneer by Press-Lam processing may provide an additional structural use of these species. Sawed lumber from them is difficult to kiln-dry rapidly because of severe drying degrade—collapse and honeycombing. The press-

drying of sapwood aspen and cottonwood veneer has been successfully demonstrated, however, and several Press-Lam sections were produced with no drying degrade evidenced (Fig. 5).

The press-drying of thick red oak veneer has been previously shown to be advantageous (7).

### Press-Lam Quality Control and Grading

Two of the most important factors for acceptance of a new structural material are the establishment of quality control procedures and grades (6).

*Quality control.* — A potential quality control procedure may be developed from the strong correlation between Press-Lam joist stiffness ( $E$ ) and edgewise bending strength (Fig. 6) (4). Of 380 specimens evaluated (for two softwood species, several log grades, and various ply thicknesses), the measured stiffness was strongly correlated to the measured modulus of rupture (correlation coefficient,  $R^2 = 0.89$ ).

The measured relative stiffness provided a means of detecting several specimens with faulty gluelines. This is very important to successful processing, as close control of process time and temperature interactions is required. Bond strength is produced by curing

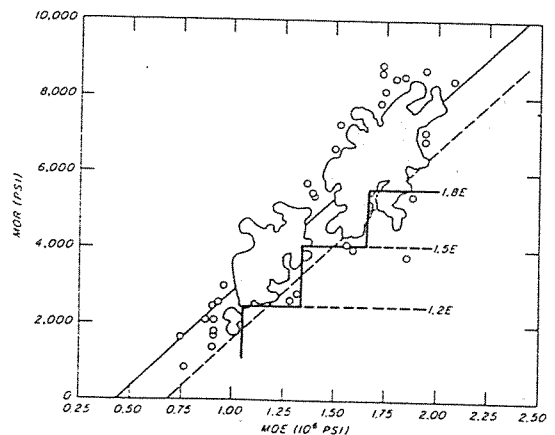


Figure 6. — Grading using a stiffness-strength relationship for softwood Press-Lam. For simplification, three grade levels corresponding to different stiffnesses have been estimated based on coast Douglas-fir and southern pine. (Solid diagonal line represents regression line, while dashed diagonal line is an estimate of the 0.05 percentile. Dotted areas designate grouping of data points.)

the glue by means of heat remaining in the dried veneer, so that assembly time and veneer temperature are critical. Too little remaining heat results in uncured glue, and too much heat can result in precure of the glue if assembly time is not controlled. The gluebond quality can be monitored by nondestructively measuring the Press-Lam stiffness and setting a stiffness level that should be maintained for a given species and log quality.

The ability of such nondestructive techniques to detect faulty gluelines needs more thorough investigation, but initial results are promising.

**Grading.** — The stiffness measured by nondestructive means provides not only a potential rapid quality control technique, but also a useful grading technique because of the excellent predictability of bending strength. By selecting lower limits on stiffness, various structural grades may be prescribed by classifying pieces in a different grade whenever stiffness changes beyond certain limits. This was done for samples of softwoods (Fig. 6). It is expected that such a relationship exists for hardwoods, but this should be experimentally verified on laboratory-type specimens. A production facility could establish its own corresponding relationships and grading procedures.

#### Route to Marketing Press-Lam

If we combine the properties and procedures applicable to Press-Lam structural material with the additional steps given by Galligan (6), a satisfactory route to marketing a Press-Lam product can be described (Fig. 3).

Because Press-Lam flatwise bending strength is low, the Press-Lam product is largely limited to use in edgewise bending, as in joists and studs. If the quality control and grading principles which have been explored (4) continue to be found applicable, two blocks of the route in Figure 3 could be simultaneously satisfied. One is the establishment of a grade of Press-Lam to satisfy a performance requirement, and the other is a quality-control procedure for use by an inspection agency. If one regulatory agency recognizes certain bending strength and stiffness levels as being appropriate for the intended use, this could facilitate acceptance by many nationally recognized codes. An inspection agency would check quality of Press-Lam produced and supply data to the regulatory agency. Normally a special product is given a year-by-year review and temporary approval by the regulatory agency and is annually recertified by specifying its properties and use. The limited acceptance gained would then be employed to establish a sound market base for a product such as Press-Lam joists for manufactured housing, and eventually lead to permanent acceptance with continued quality production and satisfactory performance.

#### Summary and Conclusions

Abundant lesser-used hardwoods and low-quality hardwoods are attractive raw material for a laminated

structural lumber. The low stumpage prices and sufficient volumes of hardwoods available indicate an existing economic advantage. The Press-Lam system is one approach to producing this structural laminated lumber.

Most important from the standpoint of product acceptance is the promise offered by softwoods that a quality control and grading procedure based on stiffness may be implemented for a hardwood laminated structural material. The use of the stiffness-strength relationship would circumvent the need to develop visual grading procedures; it would speed product acceptance by providing a simple basis for controlling product quality and establishing design stress grades for building code authorities.

#### Literature Cited

1. BOHLEN, J. C. 1972. LVL laminated veneer lumber — development and economics. *Forest Prod. J.* 22(1):18-26.
2. CLIFF, E. P. 1973. Timber: the renewable material. Report prepared for the Nat. Com. on Mater. Policy. pp. 3-20.
3. FPL PRESS-LAM RESEARCH TEAM. 1972. FPL Press-Lam process: fast, efficient, conversion of logs into structural products. *Forest Prod. J.* 22(11):11-18.
4. FPL PRESS-LAM RESEARCH TEAM. 1976. Press-Lam: progress in technical development of laminated veneer structural product. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 279. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
5. GALLIGAN, W. L. 1973. Extending the source of structural lumber. FPRS Sep. MW-73-S9. Forest Products Research Society, Madison, Wis.
6. GALLIGAN, W. L. 1976. Major routes to achieve stress-graded hardwoods. *Forest Prod. J.* 27(2):21-26.
7. HANN, R. A., R. W. JOKERST, R. S. KURTENACKER, C. C. PETERS, and J. L. TSCHERNITZ. 1971. Rapid production of pallet deckboards from low-grade logs. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 154. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
8. HARPOLE, G. 1976. Assessing a continuous process to produce lumber. *Forest Prod. J.* 26(8):51-56.
9. JOSEPHSON, H. R. 1974. Hardwood resources—have we enough in the right places? *Tappi* 57(10):105-107.
10. KOCH, P. 1973. Structural lumber laminated from 1/4-inch rotary-peeled southern pine veneer. *Forest Prod. J.* 23(7):17-25.
11. LEMBKE, C. A. 1973. Miracle growth in poplar. *Aust. For. Ind. J.* 39(10):37-42,44.
12. NORTHERN HARDWOOD and PINE MANUFACTURERS ASSOC. 1970. Official grading rules for eastern white pine, Norway pine, jack pine, eastern spruce, balsam fir, eastern hemlock, and tamarack. NHPMA, Green Bay, Wis.
13. PHELPS, R. B., and D. HAIR. 1974. The demand and price situation for forest products 1973-1974. USDA Forest Serv. Misc. Publ. No. 1292.
14. SCHAFFER, E. L., J. L. TSCHERNITZ, C. C. PETERS, R. C. MOODY, R. W. JOKERST, and J. J. ZAHN. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: General summary. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 175. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
15. SCHAFFER E. L., and J. L. TSCHERNITZ. 1973. Press-Lam: economic viability of log-to-product processing system. Vol. 2, pp. 925-939. Proc. IUFRO Sec. V, Forest Products, Capetown, South Africa.
16. TSCHERNITZ, J. L., V. P. MINUCCI, and E. L. SCHAFFER. 1974. Treatability of coast Douglas-fir Press-Lam. Vol. 70, pp. 189-205. Proc. AWPA, Philadelphia, Pa.
17. U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1974. Wood Handbook. USDA Forest Service, Agri. Handb. No. 72. Govt. Print. Off., Washington, D.C.
18. U.S. FOREST SERVICE. 1973. The outlook for timber in the United States. USDA Forest Serv. FRR-20.
19. WESTERN WOOD PRODUCTS ASSOCIATION. 1974. Grading rules for western lumber. 3d ed. Portland, Oreg.
20. WIESEHUEGEL, E. G. 1952. Laminated lumber from low-grade hardwoods by the continuous glue press process. *J. of the Forest Products Research Society* 2(5):269-273.

# Column Strength of Parallel Laminated Veneer and Plywood

Loren W. Neubauer

## Abstract

Parallel laminated wood veneers (PLV) are now being glued into structural boards, planks, and studs. Compressive and buckling strength tests have shown that plywood is about half as strong, in each major direction, but that PLV is approximately equal in strength, to clear, straight-grained, solid wood. Because of its uniformity and dependability, only a small factor of safety may be required, and it can be graded as clear lumber, with a high safe design strength. Tables and graphs are used to show and suggest design values in compression and buckling for studs or columns over the full range of slenderness ratios.

tion (6). It is dependent primarily on the safe design value of fiber stress in compression ( $F_c$ ), the short column allowable compressive stress; and the modulus of elasticity (MOE). Other parameters include the slenderness ratio, factors of safety, effective length, and end conditions. In its simple form the equation is expressed (8),

$$F_c^l = \frac{F_c}{1 + \frac{F_c}{MOE} \frac{(\ell/d)^2}{50}} \quad [1]$$

in which

$F_c^l$  = safe unit stress adjusted for  $\ell/d$ ,

$F_c$  = safe unit stress for a short column (or ultimate stress),

MOE = modulus of elasticity, the building code value as used in Equation [1],

$\ell$  = column length or height, and

$d$  = least dimension of a rectangular section

THE PURPOSE OF THIS PAPER is to report on tests of plywood and parallel-laminated glued veneer (Micro-Lam) regarding their strength characteristics, especially when used as compression members; for example, as studs, posts, pillars, and other types of columns.

## Background

The author has previously tested and evaluated many types of posts and columns, and developed a realistic and continuous modified Euler column equa-

The author is Professor (emeritus), Structures and Environment, Dept. of Agricultural Engineering, Univ. of California, Davis. All column tests were done at the structural laboratory, Engineering Dept., Univ. of California at Davis. This paper was presented at Session 34 — Wood Engineering & Mechanical Properties — of the 31st Annual Meeting of the Forest Products Research Society, July 7, 1977, in Denver, Colo. It was received for publication in May 1977.

© Neubauer 1978.

The above symbols are defined as set forth in the "National Design Specification for Stress-Grade Lumber and its Fastenings," and as used by other agencies (5).

### Analytical Computations

A systematic method of analysis for wood column design was described in 1975 (10). This included the factors in Equation [1], which can readily be solved with slide rule or electronic computer (11). However, for more complete data input, Equation [1] can be refined and improved, so that,

$$F_c^1 = \frac{F_c/N}{1 + \frac{F_c/N(1/d)^3}{MOE/N^2 50U}} = \frac{F_c/N}{1 + \frac{F_c N^4 S^3}{MOE N U 50}} \quad [2]$$

in which

- $N$  = factor of safety (FS) for pure compression,
- $N^1$  = factor of safety for MOE,
- $U$  = rigidity or stiffness factor, usually dependent on end conditions, and
- $S$  =  $1/d$ , the slenderness ratio.

### Factor of Safety

When  $F_{cu}$  is taken as the ultimate test strength of a clear, straight-grained, short, compressive specimen, the gross value of  $N$  may be as large as 6 or 8, for low-grade lumber (13). However,  $F_c$  in standard tables and recommendations, is usually stated as the safe allowable design value, including the FS, so, in Equation [2], the factor  $N$  may often be omitted.

The value of  $N^1$  is generally used, since MOE is always quoted as the average flexural MOE, and some reduction factor is necessary. It may frequently vary from 2 to 4 for various conditions, but is often set at 2.74, which is the widely accepted value used in the modified Euler buckling equation for long columns (13):

$$F_c^1 = \frac{\pi^2 E/N^1}{(1/r)^2} = \frac{0.822 E/N^1}{(1/d)^2} = \frac{0.300 E}{(1/d)^2} \quad [3]$$

### End Conditions and Stiffness

The factor  $U$  is customarily omitted or is taken as unity, indicating that the column ends are pin-jointed or pointed, with free buckling — a conservative choice. Many columns, however, are end-fastened in some way, so that  $U$  can be greater than 1.00. Tests of flat-end, square-end long columns (7) show that they can usually be 3 times as strong as pointed columns, suggesting that  $U$  values may be 2 or 3. These factors must be applied with caution but, under favorable conditions, may indeed prove significantly economical while providing the usual factor of safety.

When a long column has both ends fixed solidly or clamped in place to resist bending or buckling, its effective length becomes  $1/2$  and the buckling strength is quadrupled, making  $U=4.00$  (10). If the column is fixed at only one end, the effective length is  $1/2 \cdot 2/3$ , and  $U=2.25$ . However, if the top is free to move or sway, the effective length becomes  $2l$ , and  $U=0.25$ . Box columns, normally having square ends, may also deserve  $U$  values above unity in which  $U=2.00$  (10). Even tapered columns, properly designed on the basis of wood volume or weight, have been shown to have the value of  $U=1.25$  (11). The effect of type and strength of sills

and plates, and the time or duration of load, as well as eccentricity, may also be critical, and may require consideration or adjustment (9).

### Preliminary Plywood Tests

A series of column tests on random strips of plywood were made to ascertain how it might also be suitable for resisting longitudinal compressive forces. The strips were of various grades, sizes, and shapes, in three and five plies, and  $3/8$  to  $3/4$  inch in thickness (Table 1). Surface grain was either longitudinal or lateral, with nearly equal average test strengths. Although individual unit strengths varied widely, the resulting averages appeared reasonable (4).

The two hydraulic testing machines used were of 120,000 and 400,000 pounds capacity and could test specimens up to 8 feet long. Column ends were not fixed. Short columns with  $1/d=4$  or 5, were tested in pure compression, resulting in an average  $F_c=3,847$  psi (Table 2).

Long plywood columns were tested for buckling strength, and using Equation [3], with  $N^1=1$ , the

Table 1. — DESCRIPTIONS OF MATERIALS.

	Thickness (in.)	Thickness (cm)	No. of plies	Ply thickness	
				(in.)	(cm)
Plywood, random	3/8-3/4	0.95-1.90	3-5	varies	varies
Micro-Lam, avg.	1-1/2-2-1/4	3.8-5.7			
Slab A	1.52	3.86	16	0.095	0.24
Slab B	1.78	4.52	15	0.119	0.30
Slab C	2.28	5.79	20	0.114	0.29

Table 2. — AVERAGE STRENGTH FACTORS.

	$F_c$			MOE		
	psi	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	psi	GPa	kgf/cm <sup>2</sup>
Plywood	3,847	26.5	270	749,000	5.16	52,700
Micro-Lam	7,622	52.6	536	2,082,000	14.40	146,400

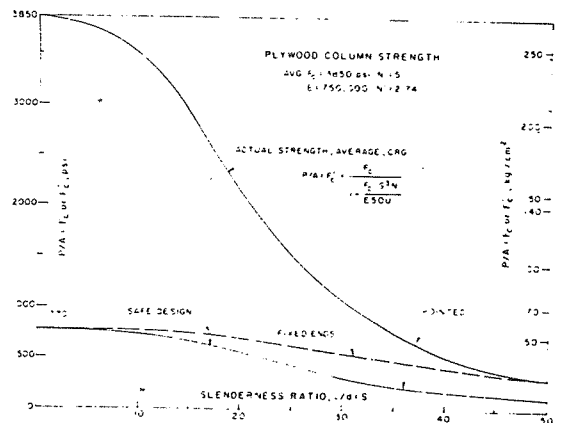


Figure 1. — Gross column strength of random plywood strips as affected by slenderness ratio.

Table 3. — SPECIAL STRENGTH FEATURES.

	U value, sq. ends		Load factor		Design Value, $F_c$			Design MOE		
	On wood	On steel	N	$N^1$	psi	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	psi	GPa	kgf/cm <sup>2</sup>
Plywood	—	—	5	2.74	770	5.31	54	274,000	1.89	19,250
Micro-Lam	1.60	2.90	2.74	2.74	2,774	19.1	195	730,000	5.03	51,300

values of MOE were computed and averaged, with a value of MOE=749,000 pounds per square inch (Table 2). Samples were treated without regard to direction of grain in alternate plies. Values of  $F_c$  and MOE were thus about half of those for solid wood, as might be expected (2, 4).

Rounding these off,  $F_c$  becomes 3,850, and MOE=750,000, values used in Equation [1] to plot the upper curve of Figure 1. For design purposes factors of safety must be applied. Plywood, a manufactured product, is more reliable than the lower grades of lumber, so an FS of 6 or 8 should not be necessary. Selecting an  $N=5$  results in  $F_c/N=770$  pounds per square inch (Table 3).

For the reduction in MOE,  $N^1$  was taken as 2.74, the usual value, so that  $MOE/N^1=274,000$  pounds per square inch, with metric values in kilograms force per square centimeter (kgf/cm<sup>2</sup>) also indicated on the graph.

#### Plywood Column Design Curves

Using these safe values of  $F_c$  and MOE, the lower solid curve of Figure 1 was calculated, as with pointed or pinned ends. This curve may appear very low in strength, but is approximately equal to those of common solid lumber, suggesting many column-like uses for plywood where feasible, such as box-columns ( $U=2.00$ ), panels, shear-walls, and diaphragms. Furthermore, if column ends are fixed or braced,  $U=4.00$  and we have the improved dashed curve of Figure 1.

#### Micro-Lam Column Tests

Tests were done with "Micro-Lam," made by Trus-Joist Corporation. The six slabs were 2 feet wide and 8 feet long, with thicknesses as shown in Table 1. Each slab contained 15 to 20 plies, each approximately 1/10-inch thick and graded in conformance with C/D plywood veneer grades. Micro-Lam is made by continuously laminating rotary peeled Douglas-fir veneer using a phenol formaldehyde adhesive. Grain of all sheets is parallel—parallel laminated veneer lumber (PLV)—to their length (3). Other organizations are also studying and testing similar products using southern pine veneers 1/4 to 1/2 inch thick (12).

Laminated veneer has special advantages over solid sawed material. Natural features such as knots, splits, and slope of grain, common in sawed lumber, are dispersed among many layers of veneer, thus avoiding any concentration of defects. These factors help to reduce strength variability, providing a more uniform and reliable product. Also, use of rotary peeled veneer can increase yield by 25 to 78 percent per log, over sawed lumber (1, 3, 12).

#### Tests of Short Columns

The 24-inch-wide laminated slabs, air-dried to 8 to 10 percent moisture content (MC), were sawed longitudinally into strips similar to 2 by 4 and 2 by 6 studs. Twelve of these were then cut into 38 short sections (6, 7, or 9 in. long, respectively) with square ends, having a slenderness ratio  $S=l/d=4$ . They were tested in longitudinal compression. The average  $F_c$  value was 7,622 pounds per square inch (52.6 MPa) (Table 2) — values very similar to those reported by Kunesh (3). For a typical value,  $F_c$  was rounded off to 7,600 pounds per square inch.

Because of the uniformity and reliability of the PLV, a relatively small  $N$  value might be assumed. However, to be conservative,  $N$  is taken as 2.74, as used for  $N^1$ , so that  $7,600/2.74=2,774$  pounds per square inch. This may also be developed by using factors such as: 0.750 for the 5 percent exclusion limit, 0.625 for the duration factor, and 0.779 for the strength ratio because of probable defects. Thus, the design value is  $7,600 (0.625) (0.750) (0.779)=2,774$  pounds per square inch (19.1 MPa) (Table 3).

Figure 2 shows the appearance of a few units after testing to failure. Items A, B, C, have been crushed, exhibiting good strength, but also indicating some delamination in or near the glue-lines. Solid wood specimens ordinarily fail in diagonal shear at maximum strength, as in D; this did not occur in the glued

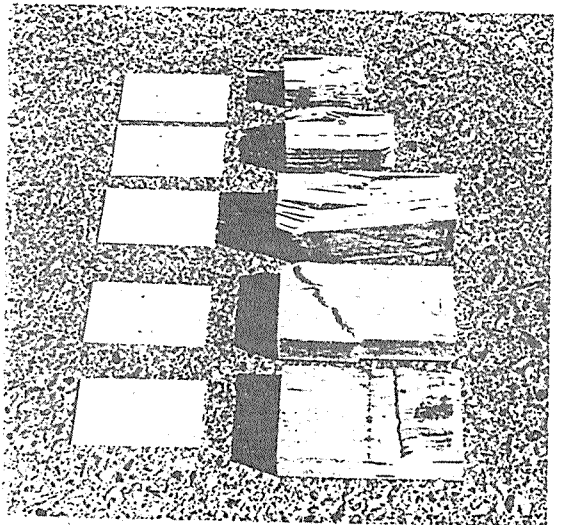


Figure 2. — Short column failures (A,B,C) of parallel laminated veneer lumber (PLV) at full strength showed some delamination at or near the glue-lines, not failing like a solid wood column (D). A sill (E) shows crushing damage at the base of a short column.

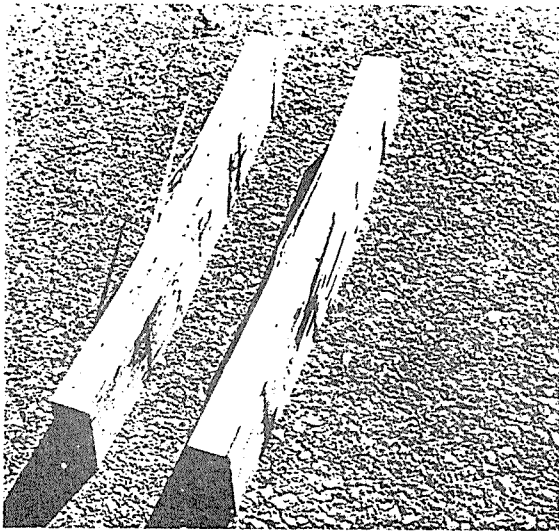
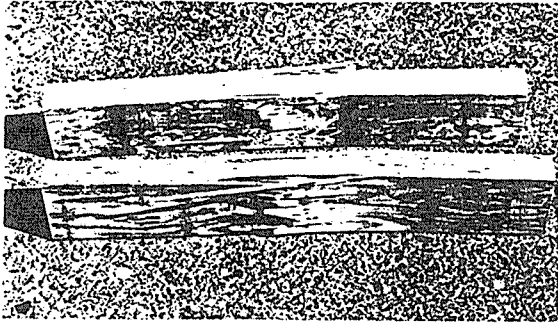


Figure 3. — Typical failures of the midsection of "micro-lam" long columns showing some delamination. Upper view shows concave surfaces with compression and buckling. Lower view, convex faces with some tensile failure.

specimens. A sill supporting a column shows failure in crushing when strength of a short column parallel to the grain is greater than that of similar wood perpendicular to the grain (9).

### Long-Column Tests

PLV long columns, similar to studs, were tested in lengths up to 8 feet, with ends pointed or rounded, to permit free buckling without any end-restraint. Slenderness ratios were 40, 50, and 60, and loads were applied until breakage or severe buckling occurred; i.e., maximum strength was reached. From the test data, the computation for MOE was made using the pure Euler equation. These values were averaged, resulting in  $MOE=2,082,000$  pounds per square inch, also in close agreement with other researchers (12).

Sample test-specimens after failure are shown in Figure 3. These are midsections, after end portions were removed. The upper view, showing the concave sides, indicates compression and buckling with some trend of glueline failure. The lower view of convex sides shows some tensile failure.

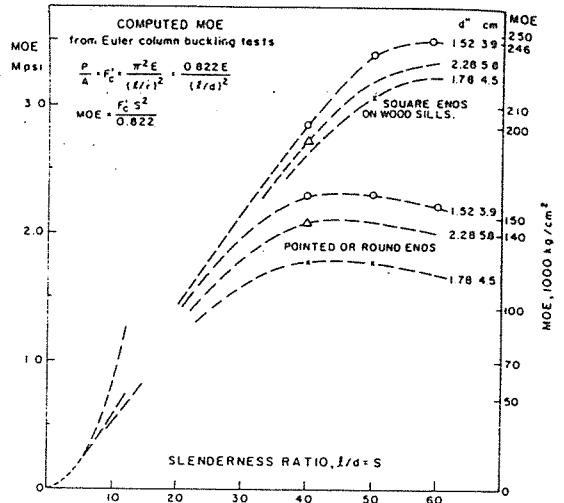


Figure 4. — MOE of long columns computed from tests and the Euler buckling equation. Those with square ends on wood sills were 60 percent stronger than those with points or pins.

Conservatively, the value  $MOE=2,082,000$  pounds per square inch was rounded off to 2,000,000 pounds per square inch (13.8 GPa). Again the factor  $N^1=2.74$  was used, resulting in a design MOE of 730,000 pounds per square inch (5.03 MPa) (Table 3) — figures to be used for safe allowable design.

Test values of MOE for the three slab thicknesses computed from the Euler equation are shown in Figure 4. Values of  $l/d=40, 50, 60$ , were the only suitable ones used (long columns).

### Square-End Tests

A series of tests was made on similar long columns having square, flat ends resting on similar wood sills, as usually arranged in a stud-wall. Because of this end-condition, early buckling was delayed, and greater strength performance resulted. Some of the average test values are plotted on the upper three curves of Figure 4, as compared to the lower three curves. The average apparent MOE of the square-end data was 60 percent higher than for pointed or pinned columns. Because this value is actually a product of  $U \times E$ , the  $U$  value becomes 1.60.

Another similar set of tests was made on long columns with square ends, resting between the solid steel platens of the 400,000-pound testing machine. This condition provided even greater support and rigidity for the column-ends, with increased resistance to buckling. Average test strengths applied to computations for MOE were 190 percent greater than for pointed columns, resulting in  $U=2.90$ . This is also in close agreement with earlier findings (7).

### Design Data

As a result of these tests, a typical strength curve was drawn in Figure 5—the solid upper curve for basic ultimate strength of pointed studs or posts. The

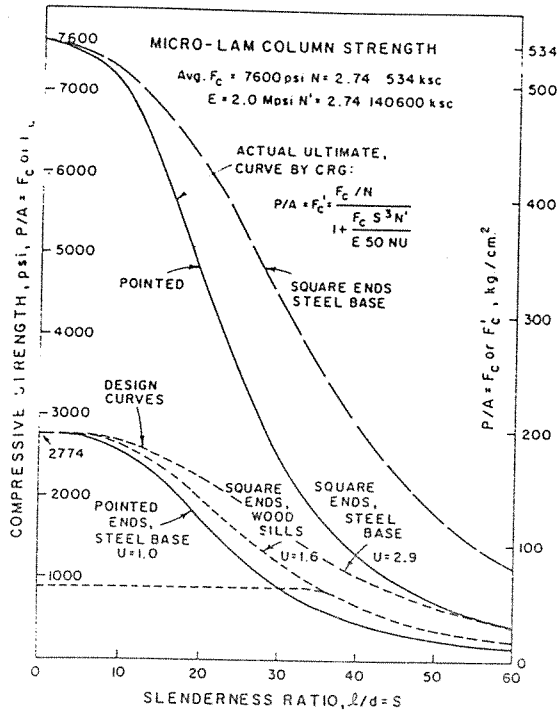


Figure 5. — Average test strength of parallel laminated veneer lumber (PLV) pointed and square-end columns with suggested safe design curves for various end conditions.

dashed line indicates average maximum strength when  $U=2.9$  for a column with square ends on steel or other metal platens.

The lower three curves have the normal load factor (2.74) which appears to be more than adequate, and are approximately equal to the Euler buckling curves for long columns. The solid line represents the pointed-end condition, while dotted lines show the gain in strength when  $U$  is 1.6 or 2.9.

#### Example

What is the safe design column strength for a full-size 2 by 6, 8 feet long, of Douglas-fir veneer PLV, with square ends on a Douglas-fir sill, loaded concentrically without eccentricity?

Substituting in Equation [2],

$$\begin{aligned}
 P/A &= P/12 = F_c^* = \frac{7600/2.74}{1 + \frac{7600/2.74 \cdot (96/2)^3}{2M \cdot 2.74(50)(1.6)}} \\
 &= \frac{2,774}{1 + \frac{7,600(48)^3}{2M \cdot 80}} = 444 \text{ psi} \\
 &= 3.06 \text{ MPa} = 31 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

So  $P=12 \times 444 = 5,328$ -lb. load,  $=23,710$  N  $=2416$  kgf

where  $P$  = vertical axial concentric compressive load,  
 $A$  = cross-sectional area of the column

This computation is readily made by slide rule, desk-calculator, or computer (11), and checked against the proper curve of Figure 5.

#### Conclusions

It is evident that PLV may indeed become a suitable and effective product for compression members, in consequence of some of the following qualities:

1. It is adaptable to several compressive uses.
2. It is of high quality, strong and stiff.
3. Cost should be lower than high-grade sawed lumber.
4. Dependability is greater than for low-cost lumber.
5. Any width is available for large studs or box-columns.
6. Using veneer, there is a saving of lumber.

In addition, plywood also made of glued, laminated, veneers, may also be adaptable for small studs, posts, diaphragms, and box-columns.

#### Literature Cited

1. HARPOLE, GEORGE B. 1976. Assessing a continuous process to produce Press-Lam lumber. *Forest Prod. J.*, 26(8):51-56.
2. HUNT, MICHAEL O., and DEFOREST A. MATTESON, JR. 1976. Structural characteristics of weathered plywood. *J. of the Structural Div., ASCE*, V. 102, No. ST4, Proc. Paper 12050, April 1976, pp. 759-768.
3. KUNESH, R. H. 1976. Micro-Lam: a new structural laminated veneer material. Paper presented at Annual Meeting, Forest Products Research Society, Toronto, Ontario, Canada, July.
4. LONGWORTH, J., and W. G. WARREN. 1976. Effects of thickness and moisture on the compressive strength of sheathing-grade Douglas-fir plywood. *Forest Prod. J.*, 26(6):42-46.
5. NATIONAL FOREST PRODUCTS ASSOCIATION. 1971. National design specification for stress-grade lumber and its fastenings. NFPA, Washington, D.C.
6. NEUBAUER, L. W. 1969. Proposed CRG generalized column formula for studs and poles. *Transactions of the ASAE* 12(5):624-626, 630.
7. \_\_\_\_\_. 1972. Full-size stud tests confirm superior strength of square-end wood columns. *Transactions of the ASAE* 15(2):346-349.
8. \_\_\_\_\_. 1973. A realistic and continuous wood column formula. *Forest Prod. J.*, 23(3):38-44.
9. \_\_\_\_\_. and Q. A. HOSSAIN. 1974. Strength of wooden columns as affected by sill materials. *Transactions of the ASAE*, 17(3):526-529.
10. \_\_\_\_\_. 1975. Wood column design by systematic analysis. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, Mich., Vol. 18(6):1151-1154, 1157.
11. \_\_\_\_\_. JOHN R. GOSS, and DAVID C. HUDSON. 1975. Computerizing for systematic wood column design. Paper No. 75-4033, ASAE, St. Joseph, Mich.
12. SCHAFFER, E. L., R. W. JOKERST, R. C. MOODY, C. C. PETERS, J. L. TSCHERNITZ, and J. J. ZAHN. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product. USDA Forest Service Research Paper FPL 175, Madison, Wis.
13. U.S. DEPT. OF AGRICULTURE. 1974. Wood Handbook. USDA Handbook No. 72. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.

# JOURNAL OF THE STRUCTURAL DIVISION

29

## PRESS-LAM TIMBERS FOR EXPOSED STRUCTURES<sup>a</sup>

By John A. Youngquist,<sup>1</sup> David S. Gromala,<sup>2</sup> A. M. ASCE,  
Ronald W. Jokerst,<sup>3</sup> Russell C. Moody,<sup>4</sup>  
and John L. Tschernitz<sup>5</sup>

### INTRODUCTION

Wood construction has historically dominated markets in housing and other low-rise structures. With the advent of waterproof adhesives, the laminating industry has expanded the use of wood into other more highly engineered applications.

When treated with chemical preservatives, most species of lumber can be expected to provide excellent service for many years even under severe exposure conditions. However, in some species that offer excellent structural properties, adequate penetration of preservatives is difficult to achieve in normal treating schedules (1). This fact, coupled with a decreasing supply of large solid-sawn structural timbers, has led to a search for a laminated product that would exhibit high treatability.

Recent work at the U.S. Forest Products Laboratory (FPL) and elsewhere (2,4,8,9) has demonstrated that glued-laminated structural members that exhibit excellent penetration of preservative in every species tested can be manufactured by parallel laminating of veneer instead of lumber.

This paper summarizes the work of a team of FPL research scientists who evaluated the processing characteristics and mechanical properties of structural size parallel laminated veneer (PLV) members. Half of these members were tested to establish design stresses, and the rest were assembled into a highway bridge (15). This prototype structure will be closely monitored over the next 5 yr to assess its durability and performance.

### SUMMARY

Laminated wood products allow engineers and architects to design timber structures for a wide variety of applications. Reduced variability in strength values permits higher allowable stresses than does comparable solid-sawn lumber.

Parallel laminated veneer products exhibit advantages of potentially higher product yields and more complete penetration and increased retention of preservatives than products assembled from solid lumber.

A prototype highway bridge, constructed entirely of Press-Lam, has been erected in Virginia. A regular construction crew completed erection of the superstructure without difficulty. In-service performance of the bridge will be monitored over a 5-yr period.

Parallel laminated veneer products are already economically competitive with alternative materials for specialized applications. It is anticipated that the results of this project will show that exposed Press-Lam structures can be built that will exhibit advantages of low initial cost, ease of installation, and long service life.



United States  
Department of  
Agriculture

Forest Service

Forest  
Products  
Laboratory<sup>1</sup>

Research  
Paper  
FPL 389

# Strength of Fasteners in Parallel-Laminated Veneer

By  
JOSEPH JUNG, Engineer  
and  
JUDY DAY, Student Trainee Engineer

## Introduction

Although parallel laminated veneer (PLV) possesses many potential advantages through the dispersion of strength-reducing characteristics, earlier work (3,7)<sup>2</sup> has suggested that its fastening characteristics may be considerably reduced below those of solid sawn wood. This present study, performed in two phases, was designed to further explore the fastening characteristics of PLV. The first phase investigated the effects of lathe checking and veneer thickness on the nail joint strength of PLV; a second phase determined the joint strength of some of the other more commonly used fasteners with PLV and compared those values to ones obtained for solid wood.

## PHASE I

The objective of this phase was to investigate the effects of lathe checking and veneer thickness on the withdrawal and lateral nail-holding ability of PLV. Tests were performed on products laminated from tightly checked veneer (veneer with a minimum of lathe checking), loosely checked veneer (veneer with severe lathe checking), and solid sawn lumber. Each of the above products

was constructed from nominal ply thicknesses of 4/10, 1/4, and 1/8 inch to produce 1-1/2-inch laminated dimension stock. Table 1 lists each material group and its corresponding label. Withdrawal and lateral nail resistance tests were performed on each group. Veneer samples of each thickness were randomly selected and evaluated for the amount of lathe checking present.

## Material and Specimen Preparations

The material used was Coast Douglas-fir. Most of the test material had no knots; a few knots less than 1/2 inch in diameter were allowed.

### PLV

Five 4-foot-long veneer logs were rotary cut to obtain veneer thicknesses of 4/10-, 1/4-, and 1/8-inch. Prior to cutting the logs were heated to 140° F for at least 40 hours. Different lathe settings were utilized to obtain varying degrees of lathe checking (table 2). After cutting the veneer was press-dried at 50 pounds per square inch and 350° F to approximately 12 percent moisture content. All veneer was then randomized before the laminating process was initiated.

To laminate the PLV material, the 4/10- and 1/4-inch veneer was reheated to approximately 220° F in a roller dryer. A phenol resorcinol adhesive was applied at a spread rate of 60 pounds per 1,000 square feet of glue-line. The veneers were arranged with their checked sides toward the center and 150 pounds per square inch pressure was applied for approximately 5 minutes.

To laminate the 1/8-inch veneer, a phenol resorcinol glue was applied with a hand roller at room conditions. The spread rate was not controlled. The assemblies were pressed at pressures of 150 to 200 pounds per square inch for 24 hours.

### *Solid-Sawn Laminated Lumber*

The solid-sawn laminated material was constructed to resemble PLV, but without the lathe checking inherent to most knife cut veneer. Logs were sawn and ripped into strips that were approximately 4/10-, 1/4-, and 1/8-inch thick. Care was taken to keep all strips as close to flat grain as possible. The material was then press-

<sup>1</sup> Maintained at Madison, Wis., in cooperation with the University of Wisconsin.

<sup>2</sup> Italicized numbers in parentheses refer to literature cited at end of report.

dried, randomized, and laminated by the same procedures as used for the 1/8-inch veneer.

After material preparations all specimens were stored at 80° F and 65 percent relative humidity until testing time.

## Experimental Procedures

### Measurement of Lathe Checking

To obtain a measure of the degree of lathe checking present in the veneer, approximately 10 percent of the tight and loose veneer of each thickness was randomly selected for evaluation. Samples were crosscut in half and the cross sections stained with india ink. A thin slice was removed with a jointer from the stained edge leaving the dyed checks visible. The 1/8-inch veneer was also scraped with a microtome knife to obtain a smoother surface and to aid in measurement of the lathe checks. The depth of the lathe checks were measured visually with the aid of a microscope to the nearest 0.016 inch. The frequency of lathe checks (checks/in.) was also recorded.

### Nail Withdrawal Tests

Eightpenny common wire nails, typically 2-1/2 inches long and 0.131 inch in diameter, were driven perpendicular to the glueline to a depth of 1-1/4 inches. The nails were aligned perpendicular to the face by sight and a steel shim used to obtain the proper depth of penetration. The nails were given a 15-minute bath in methyl alcohol before testing to remove any coating or surface film that may have been present as a result of manufacturing operations. Withdrawal tests were conducted immediately after the nail was driven. Each nail was used only once.

The method for withdrawing the nails is shown in figure 1. The procedure followed that outlined in ASTM D 1761 (1). All tests were conducted at a constant machine head speed of 0.1 inch per minute. The nail withdrawal was measured by the movement of the machine head with respect to the face of the specimen. A linear voltage differential transducer (LVDT) was used for measurement and load-withdrawal curves were recorded on an X-Y plot-

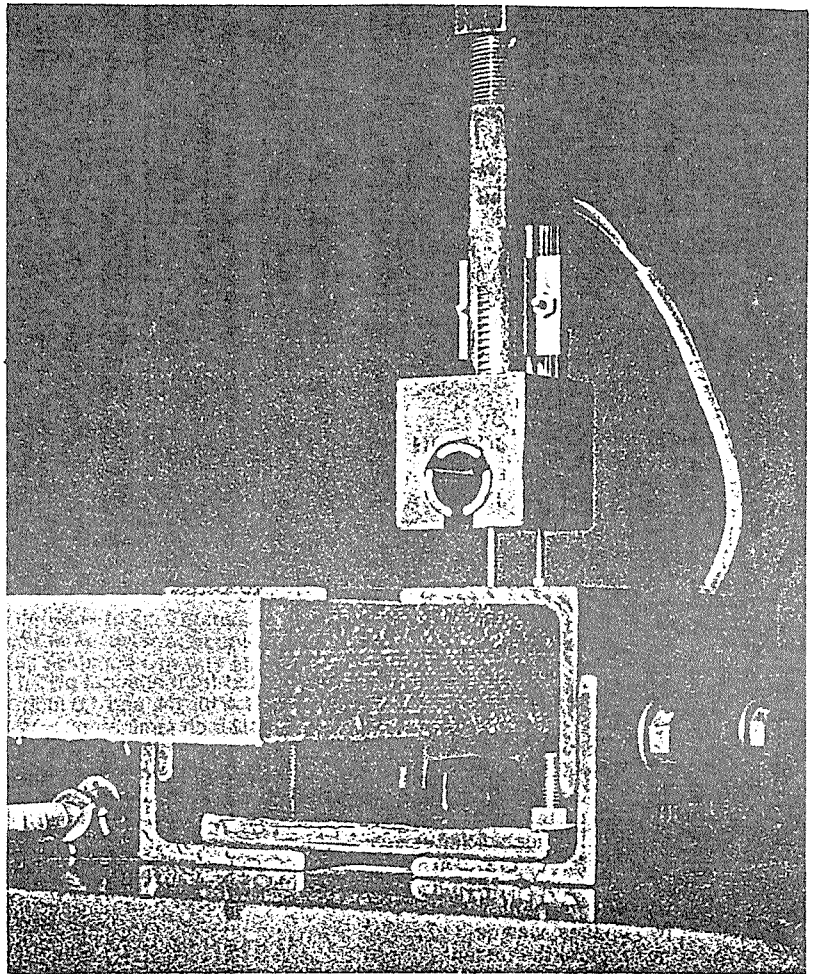


Figure 1.—Nail and staple withdrawal test.

(M 145 523)

ter. Maximum withdrawal loads were also recorded. Thirty tests were performed on each material group.

A block was cut from each specimen after testing for determination of specific gravity and moisture content.

### Lateral Nail Resistance Tests

Two wood members of the same type of veneers with dimensions of 12 inches long, 3-1/2 inches wide, and approximately 1-1/2 inches thick were used for each lateral resistance test. Tenpenny common wire nails, typical-

ly 3 inches long and 0.148 inch in diameter, were driven flush to the surface and perpendicular to the glueline 2 inches from the end of each member. In assembling a test specimen, two pieces of wax paper were placed between the wood members to reduce friction and to provide uniformity from test to test.

The specimens were loaded in tension as shown for the slightly different Phase II test specimen, in figure 2 and the tests conducted at a constant machine head speed of 0.1 inch per minute. The slip between the two members was measured with an LVDT and load-slip curves were

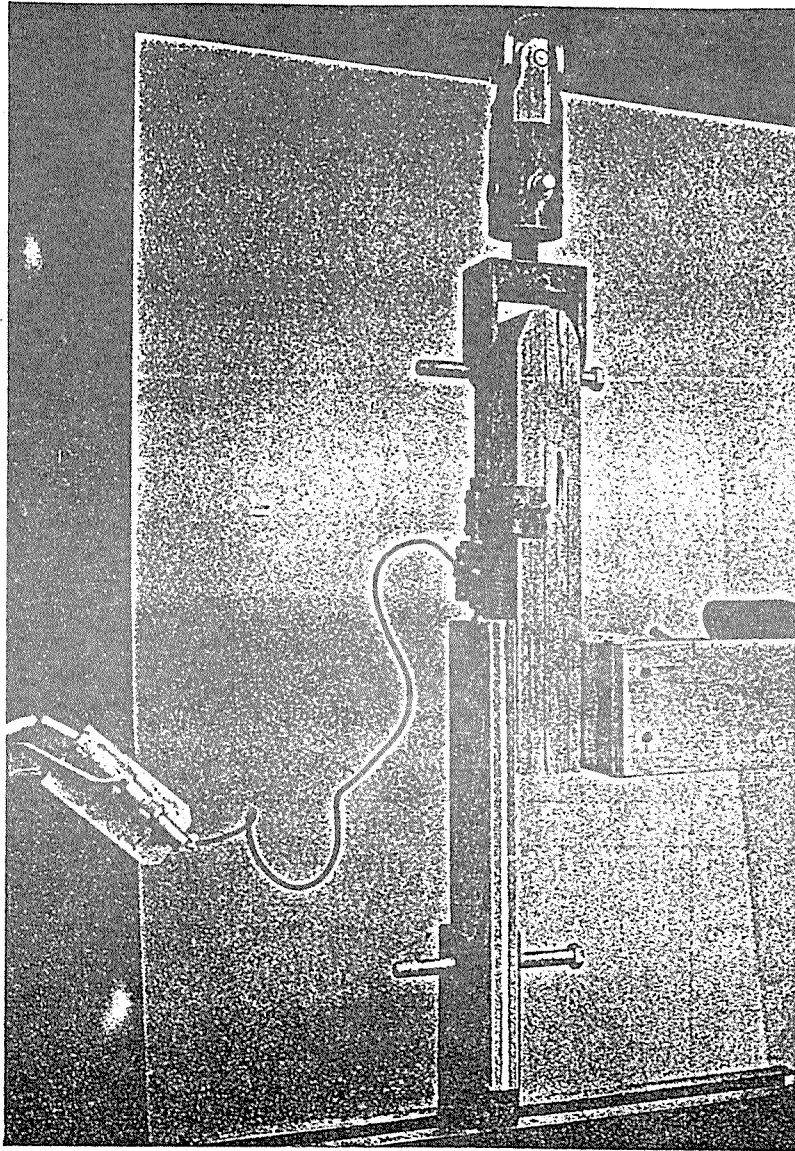


Figure 2.—Laterally loading nailed or stapled joints. The plywood brace kept the specimen in a vertical plane while it was being loaded in tension.

(M 147 025-11)

recorded. Fifteen tests were performed for each material group. Maximum load was also recorded. All specimens were tested immediately after being nailed together. Each nail was used only once.

A block for determination of specific gravity and moisture content was cut from each specimen after testing.

## Results and Discussion of Phase I

### Lathe Checking

The results of the lathe check measurements are summarized in table 3. The average frequency of checks for the veneer groups ranged from 2.15 to 9.96 checks per inch. The average percent depth (average depth of check divided by thickness of veneer) ranged from 81 to 31 percent; check frequency was inversely proportional to the percent depth of checks. Figure 3 shows a representative sample of lathe checking at each veneer thickness. Figure 4 displays a plot of percent depth versus frequency for each veneer sample evaluated. Frequency (F) and percent depth (D) of checks were related by the equation  $D = 94.09 - 6.24F$ , with a correlation coefficient ( $r^2$ ) of 0.93.

### Withdrawal Resistance

The results of the nail withdrawal tests are summarized in table 4 and figure 5. Average specific gravity for each group was adjusted to compensate for the specific gravity of the adhesive; theoretical maximum withdrawal load was determined for each material group based on the adjusted specific gravity. The Appendix contains the formulas used to derive the adjusted specific gravities and theoretical loads.

Only Group D (constructed from 1/8-in. tightly checked veneer) had an average maximum withdrawal load (normalized to 1-in. depth of penetration) significantly higher than the rest of the groups at the 90-percent confidence level. This result was probably due to the higher specific gravity of Group D. There was no significant difference between the average maximum withdrawal loads of all other groups at the 90-percent confidence level.

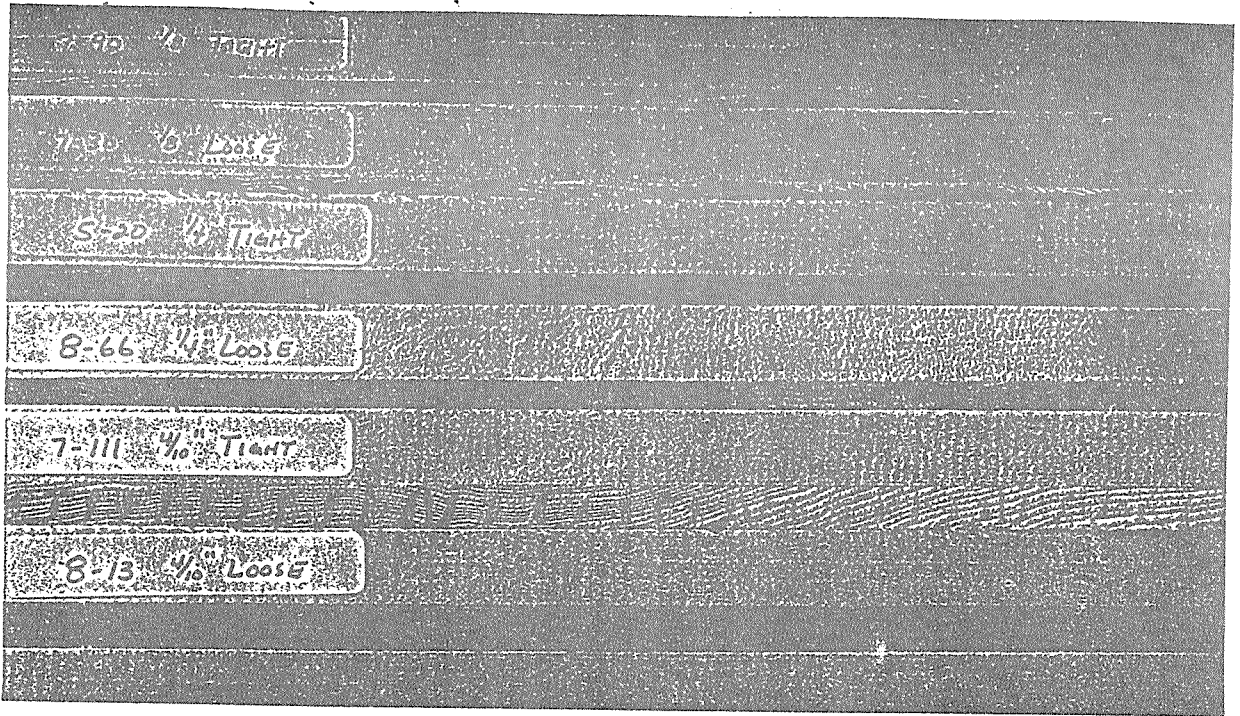


Figure 3.—Typical samples of the degree of lathe checking at each veneer thickness.

(M 145 717-9)

Within each material group (laminated solid sawn, tightly and loosely checked PLV), the means of withdrawal test results showed no consistent trends in relation to the number of laminations, suggesting that veneer thickness had no determinable effect on the withdrawal resistance of nails. Comparison among all material groups showed no detectable trends in relation to the degree of lathe checking, indicating that degree of lathe checking also did not significantly affect the withdrawal resistance of nails.

With the exception of the loosely checked 4/10-inch PLV group, experimentally obtained maximum loads were greater than corresponding theoretical loads. The National Design Specification (5) recommends an allowable withdrawal load of 34 pounds per inch of penetration for Douglas-fir under normal loading. Allowable withdrawal loads are taken as being one-sixth the experimental maximum withdrawal load for long-time loading (10). For normal loading, this value is increased by 10 percent.

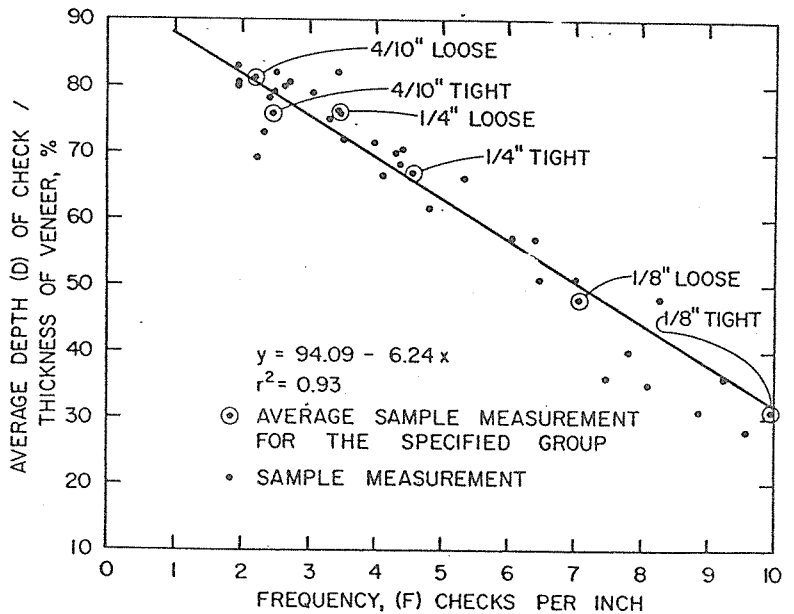


Figure 4.—Plot of frequency (F) versus percent depth (D) of checks for all lathe check samples evaluated. The circled points are the average for each veneer group.

(M 148 600)

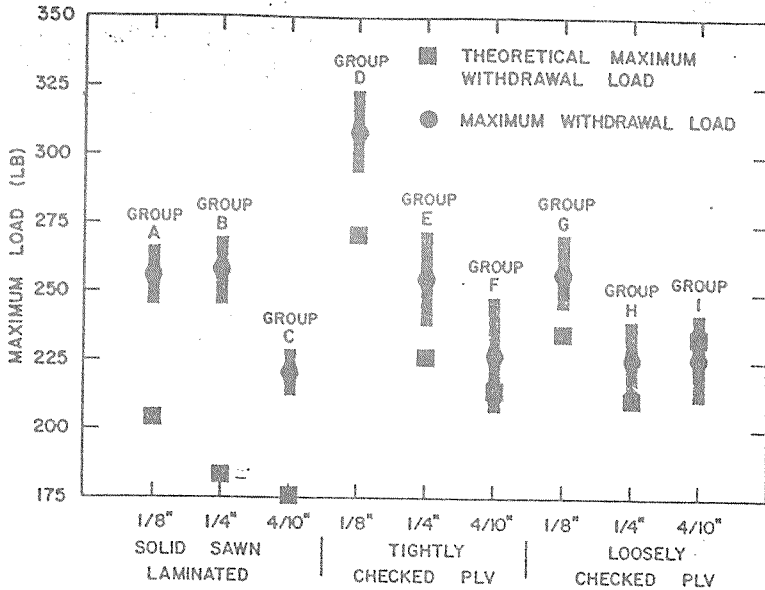


Figure 5.—Results of nail withdrawal tests by material group: average maximum loads (average of 30 tests), corresponding 90 percent confidence intervals, and theoretical maximum loads based on specific gravity adjusted for glue. All loads are normalized to 1-inch depth of penetration.

(M 148 601)

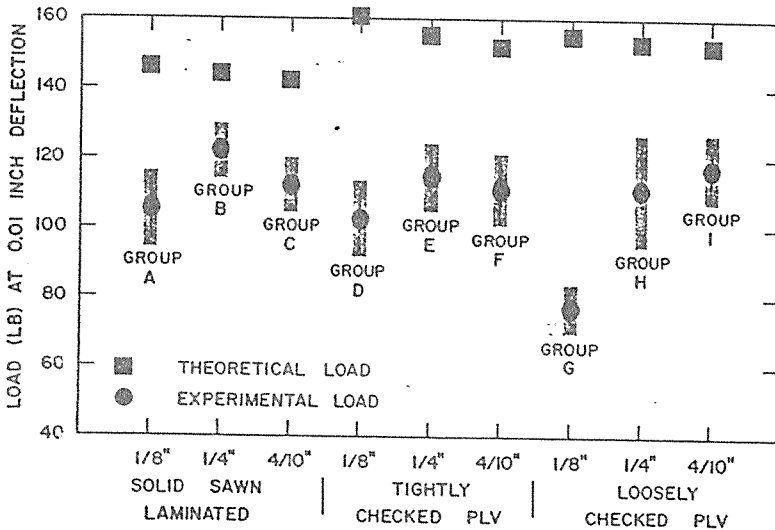


Figure 6.—Results of lateral nail resistance tests by material group: experimental loads (average of 15 tests at 0.01-inch deflection, corresponding 90 percent confidence intervals, and theoretical loads (at 0.01-inch deflection on specific gravity adjusted for glue).

(M 148 602)

If this procedure is applied to this study's experimentally obtained data, all withdrawal loads met the required design values.

### Lateral Resistance

The results of the lateral nail resistance tests are summarized in table 5 and figure 6. The formulas used to determine adjusted specific gravities and theoretical loads are given in the Appendix.

All of the average loads at a deflection of 0.01 inch, the assumed proportional limit (13), can be considered equivalent at the 90-percent confidence level, with the exception of Group G (constructed from 1/8-in. loosely checked veneer). Group G had a proportional limit load significantly lower than the other material groups, a difference which may be due to this group's relatively high moisture content.

The lateral resistance of nails does not appear to be significantly affected by changes in veneer thickness or by the degree of lathe checking; comparing the PLV groups to the solid sawn constructions yielded equivalent results. However, the test results for the solid sawn constructions and both PLV groups averaged 70 percent of theoretical values. Although theoretical lateral loads are based on the performance of solid sawn wood, the authors felt that the solid sawn laminated constructions should perform comparably to solid wood. Given this assumption, the test results were indicative of equivalent performance between solid wood and PLV.

The National Design Specifications (5) recommend an allowable lateral load of 87 pounds for normal loading and the particular penetration depth used for these tests. Allowable loads for lateral loading are determined by applying a reduction factor of 1.6 to the proportional limit load for longtime loading (10). For normal loading this value is increased by 10 percent. When this increased value was applied to the test data obtained, all results averaged approximately 80 percent of the required design value.



## PHASE II

This phase of the study evaluated the joint strength of common fasteners in PLV. Four types of fasteners were tested in PLV constructed from 4/10- and 3/16-inch veneer and from solid wood. These veneer thicknesses represent the thickest produceable and the thickest commercially produced, respectively. The following fastener tests were performed:

1. Staples
  - a. Withdrawal
  - b. Lateral resistance
2. Bolts
  - a. Compression bearing parallel to the wood grain
  - b. Compression bearing perpendicular to the wood grain
3. Split-ring timber connectors
  - a. Compression bearing parallel to the wood grain
  - b. Compression bearing perpendicular to the wood grain
4. Toothed truss plate connectors in tension

## Material and Specimen Preparation

The material used for this phase was Coast Douglas-fir from the same geographical location as that used for Phase I. Most of the test material had no knots; a few knots less than 1 inch in diameter were allowed.

The parallel laminated veneer was fabricated using the same procedures as for the 4/10- and 1/4-inch veneer constructions from Phase I. Lathe settings were set to achieve the best quality of veneer at 4/10- and 3/16-inch thicknesses. All material was randomized before laminating. When more than six plies were required for a single construction, the laminating process took place in steps. Five or six plies were laminated in each step to units already glued until the required specimen thickness was obtained. As many as 17 plies were laminated together by this step process.

The solid sawn lumber was kiln-dried to approximately 12 percent moisture content.

Three-quarter-inch, Group 1, grade A-C exterior plywood was purchased for the lateral staple resistance tests.

After material preparations, all specimens were stored at 80° F, 65 percent relative humidity until testing time.

## Experimental Procedures

The testing procedures followed those outlined in ASTM D 1761 (1). A block was cut from each member of the test specimens after testing for determination of specific gravity and moisture content.

### Staples

Galvanized, 16 gage, plain wire staples 2 inches long with a 7/16-inch crown, were used for all testing. These staples had an adhesive coating which covered 1 inch of the ends. The tests were performed in the same manner as the withdrawal and lateral nail resistance tests of Phase I. Each staple was used only once.

**Withdrawal test.**—Staples were driven perpendicular to the gluelines with a pneumatic stapler to a depth of approximately 1 inch, a depth which allowed them to be grasped for pulling. The pressure required for 1-inch penetration was approximately 34 pounds per square inch for the solid wood and 42 pounds per square inch for the PLV. The staples were withdrawn at a constant machine head speed of 0.1 inch per minute. Thirty-two tests were performed on each material group. The maximum withdrawal load and depth of staple penetration was recorded for each test.

**Lateral resistance test.**—Three-quarter-inch plywood was stapled to PLV and solid wood members 3 inches wide and approximately 2 inches thick. The staples were driven flush to the surface perpendicular to the gluelines and 2 inches from the end of each member by a pneumatic stapler using 83 pounds per square inch pressure. The staple crown was perpendicular to the grain direction.

The specimens were loaded as shown in figure 2 and tests conducted at a constant machine head speed of 0.1 inch per minute. The slip between the two members was measured with an LVDT and a load-slip curve automatically recorded. Maximum load was also recorded. Twenty of these tests were performed on each material group.

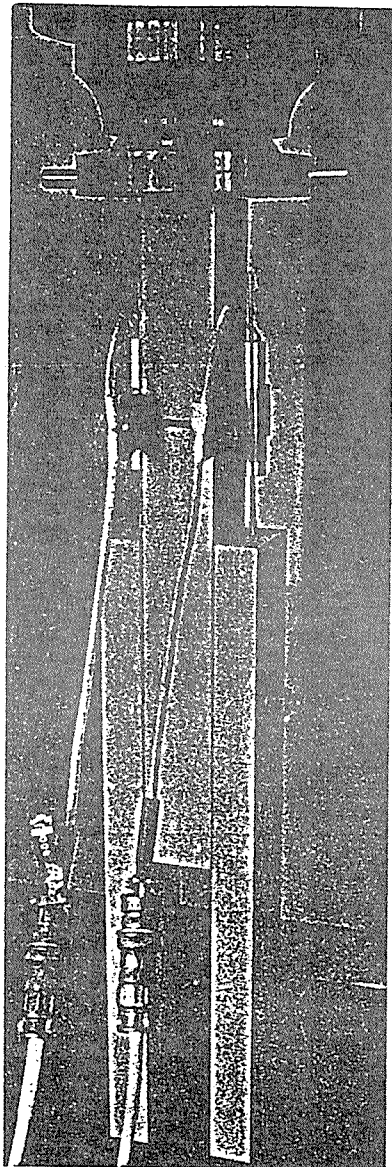
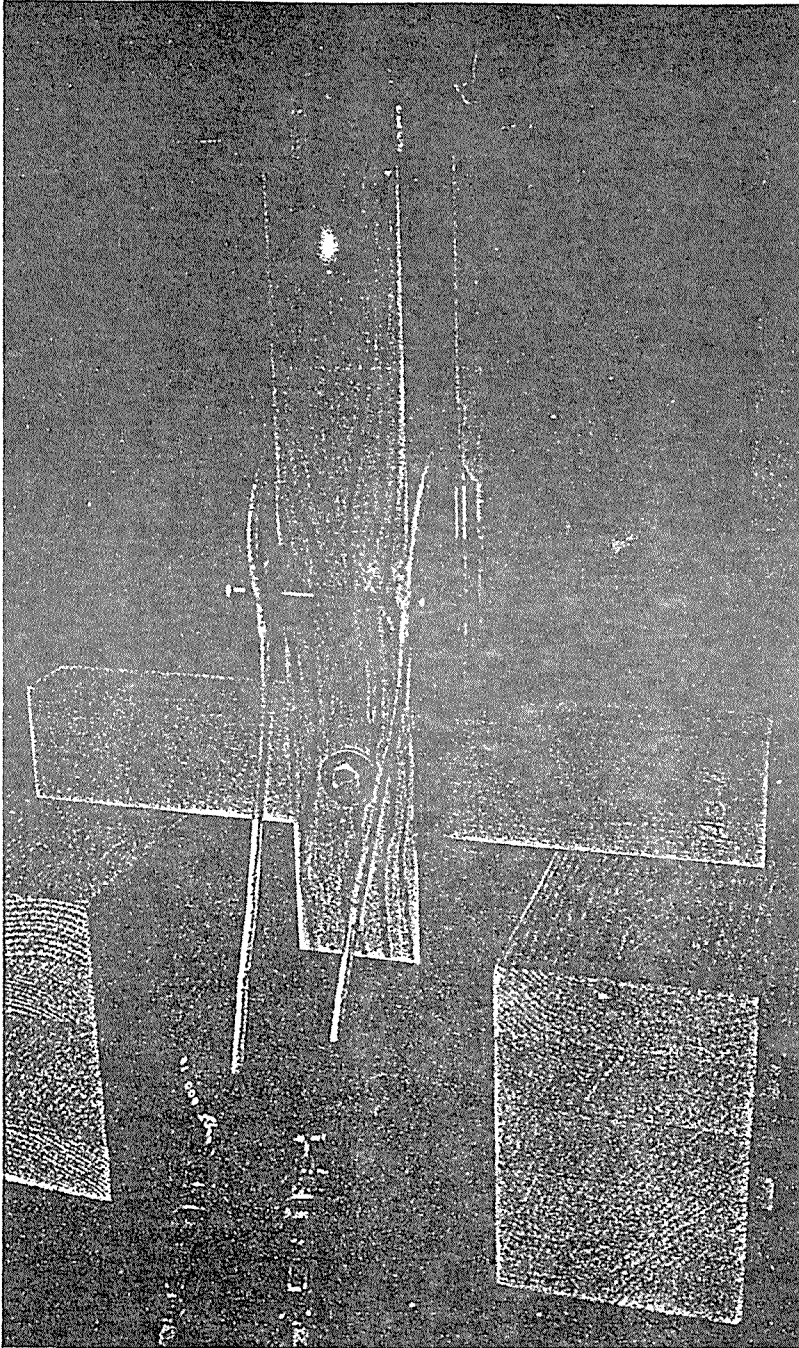


Figure 7.—Loading bolts parallel to the wood grain with average maximum withdrawal load as percent of solid wood load and theoretical maximum withdrawal load as percent of experimental load.

(M 147 024-1)



## Bolts

For this series of tests three-member wood joints were fastened with 1/2-inch-diameter bolts. The center members were approximately 3 by 2 by 18 inches while the side members were 3.0 by 1.2 by 18.0 inches. Compression tests were conducted on joints loaded parallel and perpendicular to the grain of the wood. For loading parallel to the grain of the wood, the bolt hole was centered at 4-1/2 inches from the end of each member of a test specimen (fig. 7). For loading perpendicular to the grain of the wood, the center of the bolt hole on the center members was located 2 inches from the bottom edge and 9 inches from the end of each center member. The bolt holes for the side members were centered at 4-1/2 inches from the end of each side member (fig. 8). The distance between the supports was 9 inches. These configurations meet the required design standards in regard to end and edge distances as specified by the National Design Specification (5).

All bolt holes were 17/32-inch in diameter and care was taken to keep them smooth and uniform. A heavy round washer was placed between the wood side member and the bolt head, and between the wood side member and the nut. Abutting faces of joint members were brought into normally installed contact, the nut backed off, and then retightened to "finger tightness".

Fifteen tests were performed for loading parallel and 14 tests for loading perpendicular to the grain of the wood on each material group. The tests were conducted at a constant machine head speed of approximately 0.035 inch per minute until 0.1-inch deflection was reached. The speed was then increased to 0.1 inch per minute for parallel loading and 0.075 inch per minute for perpendicular loading until maximum load was reached. If maximum load was not reached before 0.6-inch deflection, this point was taken as maximum load; at this point large deformations are accompanied by only small changes in load. Two LVDT's were used to measure the slip of each side member with respect to the center member. Load-slip curves and maximum load were recorded for each test.

Figure 8.—Loading bolts perpendicular to the wood grain with average load as percent of solid wood load and theoretical load as percent of experimental load.

(M 147 025-9)

## Split-Ring Timber Connectors

The tests for split-ring connectors were similar to those conducted for bolts. Test specimens consisting of three-member wood joints were connected with two 4-inch split-ring connectors and a 3/4-inch bolt. The center members were 6.0 by 3.2 by 18.0 inches and the side members 6.0 by 2.0 by 18.0 inches. Compression tests were conducted on joints loaded parallel and perpendicular to the grain of the wood. For loading parallel to the grain of the wood, the connectors and bolt were centered at 7 inches from one end of each member (fig. 9). For loading perpendicular to the grain of the wood, the connectors and bolt were centered at midspan of each member and equidistant from each support. The distance between the supports was 14 inches for perpendicular loading (fig. 10). The connectors were fitted into precut grooves in the center and side members and the bolts assembled as described in the procedure for bolt testing. The bolt holes were 13/16-inch in diameter.

Fifteen tests for loading parallel and 15 tests for loading perpendicular to the grain of the wood were performed on each material group. The tests were conducted at a constant machine head speed of approximately 0.035 inch per minute until 0.1-inch deflection was reached. The speed was then increased to 0.075 inch per minute until maximum load or 0.6-inch deflection was reached. Two LVDT's measured the slip of each side member with respect to the center member. Load-slip curves and maximum load were recorded.

### Toothed Truss Plate

Specimens consisting of two PLV or solid wood members were symmetrically connected end-to-end by two toothed truss plates. Each member was approximately 3.0 by 2.0 by 12.0 inches. The toothed plates were 3 by 6 inches with approximately eight teeth per square inch that were 3/8 inch long. The plates covered the entire width of the wood members. The wood members were tightly butted before the plates were attached. The specimens were loaded in tension as shown in figure 11 and tests conducted at a constant machine head speed of 0.035 inch per minute. Two LVDT's on each side of

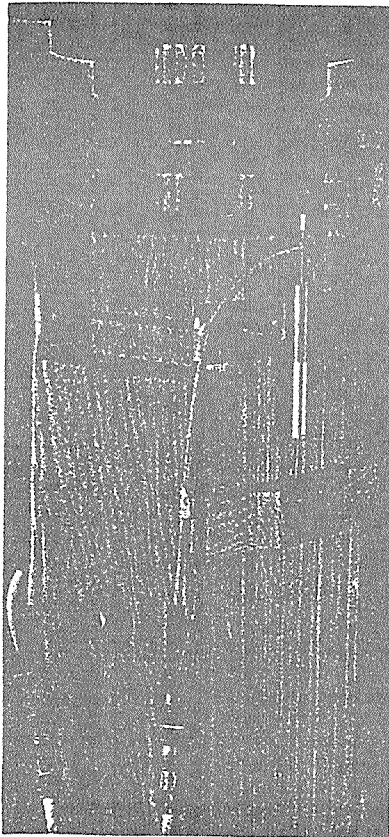


Figure 9.—Loading split-ring connectors parallel to the wood grain.

(M 147 024-8)

the specimen measured the deflection between the two members and load-deflection curves recorded. Maximum load was also recorded for all 15 tests performed on each material group.

## Results of Phase II

### Staples

The results of the staple withdrawal and lateral staple resistance tests are summarized in tables 6 and 7, respectively. The average specific gravities for the PLV products have been adjusted to compensate for the specific gravity of the adhesive. Theoretical loads (8,9) were determined for each material group based on the adjusted specific gravities. The average maximum loads and corresponding 90 percent confidence

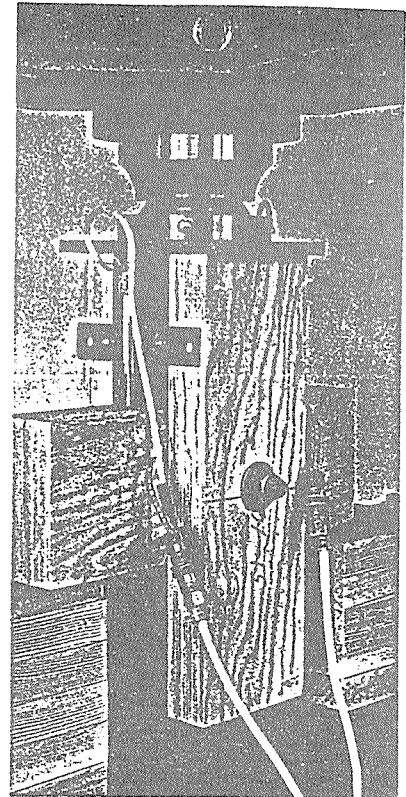


Figure 10.—Loading split-ring connectors perpendicular to the wood grain.

(M 147 043-11)

intervals are shown in figure 12 as a percentage of the solid wood loads. Theoretical loads are given in the tables and figures as a percentage of the corresponding experimental loads. The Appendix contains those formulas used to derive the adjusted specific gravities and theoretical loads. Design loads are not given for staples in the National Design Specification (5).

**Withdrawal resistance.**—As shown in table 6 and figure 12, the maximum withdrawal loads (per inch of penetration) for solid wood and PLV were much higher than theoretically expected. Those results suggest that theoretical methods did not accurately predict the maximum withdrawal load for the staples used in this test program. This discrepancy may be due to the adhesive coating on the staples. The normalized withdrawal



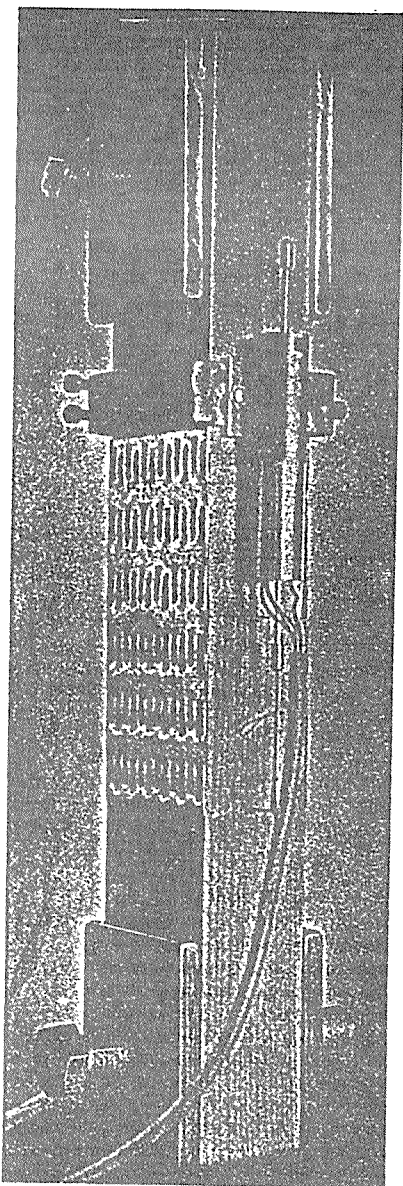


Figure 11.—Tension test on toothed truss plates.

(M 147 024-11)

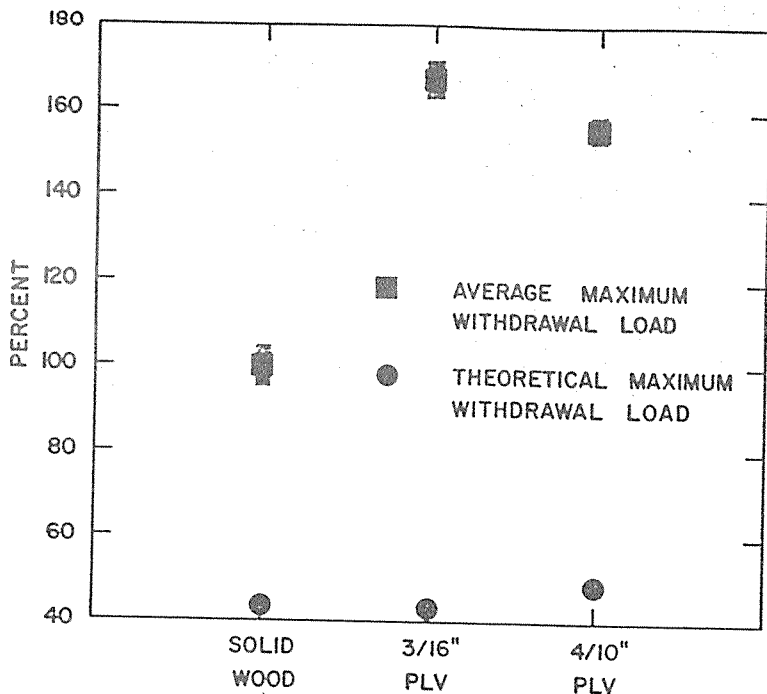


Figure 12.—Results of staple withdrawal tests: average maximum loads and corresponding 90 percent confidence intervals given as percent of maximum load for solid wood. Theoretical loads given as percent of corresponding experimental load for each material group. All loads were normalized to 1-inch depth of penetration.

(M 148 603)

loads for PLV (both 3/16 in. and 4/10 in.) were approximately 60 percent higher than those for solid wood. An analysis of variance at the 90 percent confidence level showed that the normalized withdrawal loads for each material group were significantly different. The coefficients of variation (COV) for the 4/10- and 3/16-inch PLV at the maximum withdrawal load were about one-half of that for solid wood.

It was observed during testing that as the number of material layers increased, the variation in depth of staple penetration also increased. Solid wood showed the least variation and 3/16-inch PLV the most.

**Lateral resistance.**—For the lateral resistance tests, loads were evaluated at 0.009-inch deflection. This point has been determined through lateral-nailed joint testing as the approximate proportional limit for Douglas-fir subjected to cyclic loading (13). Cyclic loading was not employed in this study and a true pro-

portional limit was not apparent from the tests. However, the proportional limit was assumed to be at 0.009-inch deflection.

At the 90-percent confidence level there is no significant difference between the proportional limit loads for the solid wood and PLV products (fig. 13). The average experimental loads for all material groups are approximately 35 percent higher than theoretical loads. These results indicate that theoretical lateral loads at the proportional limit did not accurately predict the staple loads for the staples used in this test program.

At maximum load there was no significant difference between the 3/16- and 4/10-inch PLV at the 90-percent confidence level. The maximum loads for solid wood averaged approximately 15 percent lower than for the 3/16- and 4/10-inch PLV. Methods for determining theoretical maximum loads for lateral resistance tests have not been derived.

The mode of failure for all tests results was pull-out. The COV's were higher for the PLV products than for solid wood at both the proportional limits and at maximum loads. At proportional limit and maximum loads the COV's averaged 16 percent for 3/16- and 4/10-inch PLV and approximately 9 percent for solid wood.

### Bolts

The bearing strength properties for bolts loaded parallel and perpendicular to the wood grain are summarized in table 8. Discussion of the results of the bolt bearing tests is based on the proportional limit load since it forms the base for design loads parallel and perpendicular to the wood grain. Figure 14 shows the proportional limit loads as a percentage of the corresponding solid wood loads. This figure also shows the expected experimental loads at the proportional limit, as converted from the design loads given in the National Design Specifications (5) (see Appendix for conversions).

For bearing parallel to the grain of the wood, the PLV loads were approximately 15 percent higher than the solid wood loads at the proportional limit. However, the loads at the proportional limit for all three material groups were significantly lower than the design loads predicted.

For loading perpendicular to the grain of the wood, only the 3/16-inch PLV material averaged higher than the expected test loads (converted from National Design Specifications design loads). The average proportional limit load for 3/16-inch PLV was approximately 70 percent higher than the corresponding experimental load for solid wood. The test specimens generally failed in a combination of horizontal shear and tension perpendicular to grain.

The COV's for the proportional limit loads for loading parallel and perpendicular to the wood grain were highest for solid wood and lowest for 4/10-inch PLV.

### Split-Ring Timber Connectors

The results of the tests for splitting timber connectors are summarized in table 9. All loads are for two 4-inch connectors and one 3/4-inch bolt in double shear.

For loading the connectors parallel to grain, design loads are derived

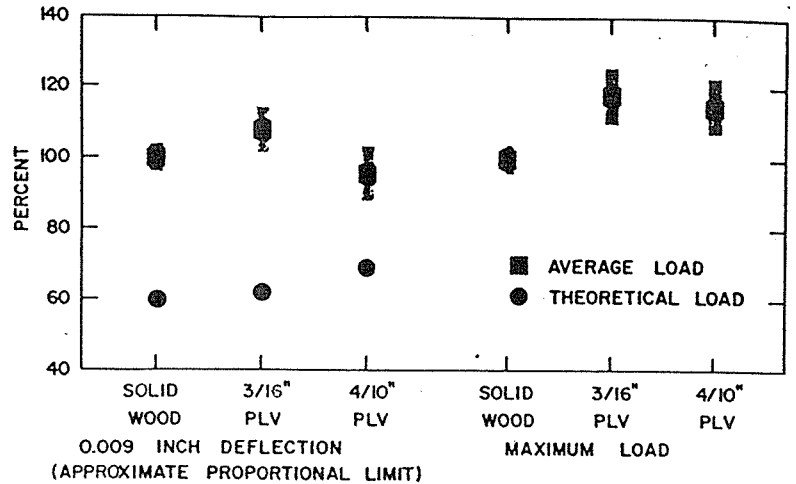


Figure 13.—Results of lateral staple resistance tests: experimental loads and corresponding 90 percent confidence interval given as percent of corresponding solid wood load. Theoretical loads for 0.009-inch deflection given as percent of corresponding experimental loads.

(M 148 604)

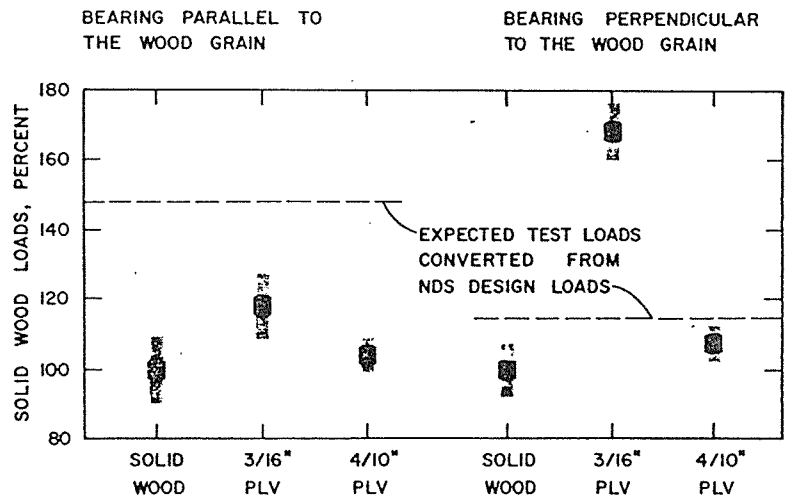


Figure 14.—Results of tests on bolts bearing parallel and perpendicular to the wood grain: average loads and corresponding 90 percent confidence intervals at the proportional limit. The dashed lines indicate expected proportional limit loads which were converted from NDS design loads.

(M 148 605)

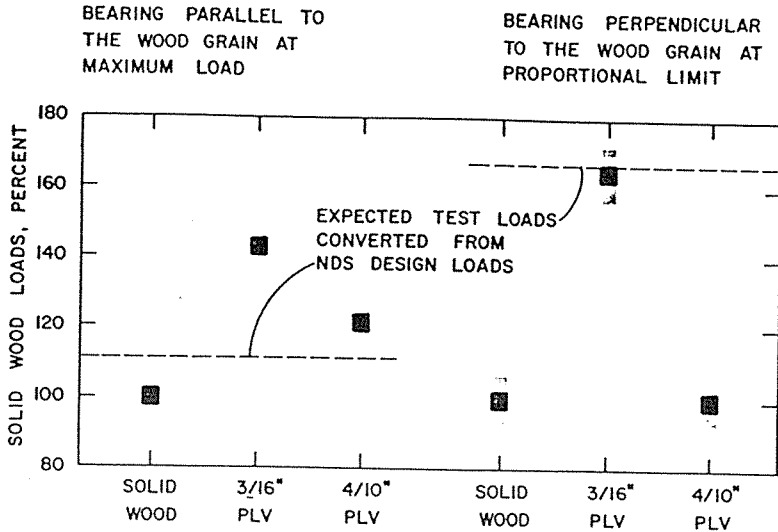


Figure 15.—Results of tests on split-ring connectors bearing parallel and perpendicular to the wood grain; average loads and corresponding 90 percent confidence intervals for the loads specified. The dashed lines indicate expected test loads which were converted from NDS design loads.

(M 148 606)

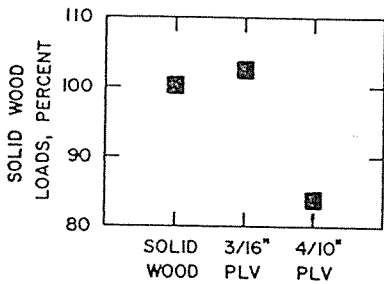


Figure 16.—Results of truss plate tension tests: average maximum loads and corresponding 90 percent confidence intervals given as percent of the maximum load for solid wood.

(M 148 607)

from the maximum load. Figure 15 shows the maximum loads for the PLV products as a percentage of the solid wood load. Also shown is the expected maximum load which was converted from National Design Specifications design loads. The solid wood load averaged 11 percent below the expected maximum load. The 3/16- and 4/10-inch PLV averaged 43 and 21 percent higher, respectively, than did the solid wood maximum load. For parallel-to-grain loading, the COV's for all of the maximum loads were under 7 percent. The failure was usually shearing parallel to grain of the wood inside the connectors.

For split-ring connectors loaded perpendicular to the grain of the wood, design loads are derived from the proportional limit load. In figure 15 the proportional limit loads for the PLV products are given as a percentage of the solid wood load. The proportional limit loads for the 3/16-inch PLV averaged 65 percent higher than the corresponding solid wood load, and the 4/10-inch PLV was equivalent to the average load for solid wood at the 90 percent confidence level.

Figure 15 also shows the expected proportional limit load which was converted from National Design Specifications design loads. Only the

3/16-inch PLV came near meeting the required design load. The solid wood and 4/10-inch PLV are 60 percent of the required design load. The COV's for the proportional limit loads under perpendicular loading were all approximately 13 percent. The mode of failure was shearing of the wood inside the connectors perpendicular to the direction of the grain.

### Truss Plates

The results of the truss plate tension tests are summarized in table 10 and figure 16. In figure 16 the maximum loads for the PLV products are given as a percentage of the solid wood loads. There was no significant difference between the average maximum loads for solid wood and 3/16-inch PLV at the 90-percent confidence level. The 4/10-inch PLV averaged 84 percent of the solid wood maximum load. The COV's for all material groups were less than 9 percent.

Generally, if the load exceeded 7,000 pounds there was some tearing of the plate. Approximately two-thirds of the tests in solid wood and 3/16-inch PLV exhibited some failure of the truss plates. Only 2 out of 15 tests had partial failure of the truss plates for the 4/10-inch PLV.

## Summary and Discussion of Results

A summary of the Phase II results is given in table II as a percentage of the corresponding solid wood test values.

### Effect of Veneer Thickness<sup>3</sup>

Throughout the entire test program the PLV constructed from 3/16-inch veneer consistently performed better than 4/10-inch PLV and solid wood. The results of testing these two types of PLV materials were statistically equivalent at a 90 percent confidence level for the bolt bearing parallel test

<sup>3</sup> The comparisons given between groups of materials for a given test are based, if possible, on the results from which design loads are determined: at the proportional limit for bolts loaded parallel and perpendicular to grain, for split rings loaded perpendicular to grain, and for laterally loaded staples; at the maximum load for staple withdrawal, for truss plates and for split rings loaded parallel to grain.

only. The 3/16-inch PLV results were higher than solid wood values: by approximately 70 percent for bolts bearing perpendicular to grain, by 63 percent for staple withdrawal, by 65 percent for split rings bearing perpendicular to grain, by 43 percent for split rings bearing parallel to grain, by 20 percent for bolts bearing parallel to grain, and by less than 10 percent for the laterally loaded staples and truss plate tests. The increased load-carrying capabilities of the 3/16-inch PLV could be due, in part, to better load sharing between the plies; the effect of glue on the mechanical properties of wood is possibly more significant for thinner laminations (6). The results of the tests on the split rings and bolts bearing perpendicular to grain (values that were 65 to 70 pct higher than solid wood) are somewhat surprising since the failure plane is along the lathe checks and is usually considered weak relative to solid wood (4).

The PLV constructed from 4/10-inch veneer performed at least as well as solid wood (within 5 pct or better) for all fasteners tested except truss plates. The results for the 4/10-inch PLV were higher than those for solid wood by approximately 56 percent for staple withdrawal, by 21 percent for split rings bearing parallel to grain, by 13 percent for bolts bearing parallel to grain, and by 8 percent for bolts bearing perpendicular to grain. The 4/10-inch PLV results were approximately equivalent to the solid wood results for tests of lateral staples, for tests on split rings bearing perpendicular to grain, and for 84 percent of solid wood results for the toothed truss plate tests. For the toothed truss plate tests, the reduced load-carrying capability of the 4/10-inch PLV could be due to the crushing noted when the truss plates were being pressed into the joint. This crushing was detected only for the 4/10-inch PLV and is most likely caused by more severe lathe checking of this material, a condition which, in turn, could have reduced its compressive strength perpendicular to grain.

### *Variability of Results*

The COV's of the results (table II) from tests on bolts, split rings, and truss plates were, in most cases, slightly lower for the 3/16- and 4/10-inch PLV than for solid wood.

There did not appear to be a significant difference between the COV's of the two PLV's.

The COV's for the staple tests ranged from 7 to 16 percent for the loads that were evaluated and did not display any consistent trends.

### *Effect of Moisture Content*

It is recognized that the properties of wood can change considerably with changes in moisture content. Unfortunately, the different groups of material in this study were not conditioned to equivalent moisture contents and, thus, the degree to which moisture content influenced the results cannot be readily determined. However, the standard corrections for moisture content may not be applicable since we are generally dealing with proportional limits, not ultimate strengths. Also, the properties which influence the various fastener characteristics generally cannot be isolated. The solid wood, the 3/16-inch PLV, and the 4/10-inch PLV had average moisture contents of approximately 12.1, 8.5, and 9.8 percent, respectively. The general trend in the test results appears to follow the notion that as the moisture content decreases, the performance increases.

### *Effect of Specific Gravity*

Specific gravity is another factor which may have significantly affected the results of this study. Although all of the wood used for this study was from the same geographical location and randomization techniques were used, the specific gravity of the 4/10- and 3/16-inch PLV averaged 27 and 22 percent higher, respectively, than did the average specific gravity for the solid Douglas-fir. It appears that PLV has a higher specific gravity due to the adhesive and a slight densification of the wood during the drying and laminating processes.

## **Conclusions for Phase I and II**

The important conclusions of this study, limited to essentially clear material from Douglas-fir, were:

1. Assuming equivalent performance between the solid saw-laminated construction of Phase I

and solid wood, there is no reduction in the withdrawal or lateral loading of nails in PLV when compared to solid wood.

2. Veneer thickness and degree of lathe checking have no appreciable effect on the withdrawal or lateral resistance of nails in PLV.

3. The 3/16-inch PLV performed better than solid wood for all fasteners tested in Phase II (i.e., staples, bolts, split rings, and truss plates). This performance may be due in part to the combined effects of lower moisture content and higher specific gravity, but may also be due to better load sharing between laminations and the effect of glue on the mechanical properties of PLV with thinner laminations.

4. Although the lower moisture content and higher specific gravity of 4/10-inch PLV may have accounted for its performing better than solid wood, the authors felt that the 4/10-inch PLV would perform at least as well as solid wood at identical moisture content and densities for all fasteners tested in Phase II, except toothed truss plates. The lathe checking in PLV from thickly peeled veneer appears to reduce its load-carrying capability for toothed truss plates.

5. The 3/16-inch PLV performed significantly better than the 4/10-inch PLV for all tests in Phase II except those for staples and bolts bearing parallel to grain, a performance which suggests that veneer thickness does affect the loading capacity of some fasteners in PLV. This effect is probably due to the reasons given in the third conclusion.

6. The variation in test results for the bolts, split rings, and truss plates was, generally, slightly lower for PLV than for solid wood. The variation in test results for the nails and staples was erratic.

7. No severe reduction in the load-carrying characteristics of fasteners in PLV relative to those of solid wood was detected, with the exception of 4/10-inch PLV with truss plates as previously reported (3).

## Literature Cited

1. American Society for Testing and Materials  
1975. Standard methods of testing mechanical fasteners in wood. ASTM Stand. Desig. D 1761. ASTM, Philadelphia, Pa.
2. FPL Press-Lam Research Team  
1972. FPL Press-Lam process: fast, efficient conversion of logs into structural products. For. Prod. J. 22(11):11-18.
3. FPL Press-Lam Research Team  
1977. Press-Lam: progress in technical development of laminated veneer structural products. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 279. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
4. Moody, R. C. and C. C. Peters  
1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: strength properties of rotary knife-cut laminated southern pine. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 178. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
5. National Forest Products Association  
1977. National design specifications for wood construction. Part VIII, Wood Fastenings. Washington, D.C.
6. Preston, S. B.  
1950. The effect of fundamental glueline properties on the strength of thin veneer laminates. Proc. For. Prod. Res. Soc., Vol. 4, p. 228-239.
7. Schaffer, E. L., R. W. Jakerst, R. C. Moody, C. C. Peters, J. L. Tschernitz, and J. J. Zahn  
1972. Feasibility of producing a high-yield structural product: general summary. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 175. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
8. Scholten, J. A.  
1944. Timber connector joints: their strength and design. USDA Tech. Bull. No. 865.
9. Trayer, G. W.  
1932. Bearing strength of wood under bolts. USDA Tech. Bull. 332.
10. U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory  
1974. Wood handbook. USDA Agric. Handbk. No. 72, p. 7-1 to 7-24.
11. Wilkinson, T. L.  
1972. Analysis of nailed joints with dissimilar members. J. Struct. Div., ASCE, Vol. 98, No. ST9, Proc. Pap. 9189, p. 2005-2013.
12. Wilkinson, T. L.  
1974. Elastic bearing constants for sheathing materials. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 224. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
13. Wilkinson, T. L.  
1971. Theoretical lateral resistance of nailed joints. J. Struct. Div., ASCE, Vol. 97, No. ST5, Proc. Pap. 8121, p. 1381-1398.

Table 1.—Identification of material groups for Phase I<sup>1</sup>

Type of plies	Ply thickness	Number of plies	Material group label
	<u>In.</u>		
Laminated solid-sawn Douglas-fir	1/8	12	A
	1/4	6	B
	4/10	4	C
Tightly checked veneer	1/8	12	D
	1/4	6	E
	4/10	4	F
Loosely checked veneer	1/8	12	G
	1/4	6	H
	4/10	4	I

<sup>1</sup> Material laminated to produce 1-1/2-in. stock.

Table 2.—Lathe settings used to achieve varying degrees of lathe checking and veneer thickness

Desired dry thickness	Degree of checking (tight vs. loose)	Lathe feed	Compression	Nose bar gap	Nose bar lead
<u>In.</u>		<u>In./rev</u>	<u>Pct</u>	<u>In.</u>	<u>In.</u>
1/8	Tight	0.1378	20	0.110	0.030
1/8	Loose	.1378	5	.131	.030
1/4	Tight	.2750	15	.234	.040
1/4	Loose	.2750	5	.261	.040
4/10	Tight	.4388	10	.395	.060
4/10	Loose	.4388	3	.425	.060

Table 3.—Summary of data for lathe check measurements of Douglas-fir veneer

Veneer group		Average percent depth (Average depth check divided by thickness of veneer)	Frequency of checks
Thickness of veneer	Degree of checking (tight vs. loose)		
<u>In.</u>			<u>Checks/in.</u>
4/10	Loose	81	<sup>1</sup> 2.15
4/10	Tight	76	<sup>2</sup> 2.45
1/4	Loose	76	<sup>3</sup> 3.44
1/4	Tight	67	<sup>4</sup> 4.55
1/8	Loose	48	<sup>5</sup> 7.06
1/8	Tight	31	<sup>6</sup> 9.96

<sup>1</sup> Values are the average of five 13-1/2-in.-wide samples.

<sup>2</sup> Values are the average of six 13-1/2-in.-wide samples.

<sup>3</sup> Values are the average of seven 13-1/2-in.-wide samples.

Table 4.—Summary of data for direct withdrawal of eightpenny common nails<sup>1</sup>

Material group	Material group label	Construction		Moisture content	Specific gravity <sup>2</sup>		Maximum withdrawal load per 1-inch penetration	Theoretical maximum withdrawal load <sup>3</sup>
		Thickness of plies	Number of plies		Before adjustment for adhesive	After adjustment for adhesive		
		In.		Pct			Lb	Lb
Laminated solid-sawn	A	1/8	12	12.5	0.548	0.524	256	204
	B	1/4	6	12.4	.513	.501	258	183
	C	4/10	4	12.8	.501	.494	221	176
Tightly checked PLV	D	1/8	12	13.0	.610	.587	308	271
	E	1/4	6	10.3	.558	.546	255	227
	F	4/10	4	10.9	.541	.534	227	214
Loosely checked PLV	G	1/8	12	14.9	.578	.554	257	235
	H	1/4	6	10.4	.543	.531	226	211
	I	4/10	4	11.1	.558	.552	226	233

<sup>1</sup> Values are the average of 30 tests withdrawn perpendicular to the gluelines.

<sup>2</sup> Specific gravity based on oven-dry weight and volume at test. Adjustment for the specific gravity is described in the appendix.

<sup>3</sup> Theoretical load based on adjusted specific gravity.

Table 5.—Summary of data for lateral loading of tenpenny common nails<sup>1</sup>

Material group	Material group label	Construction		Average moisture content	Specific gravity <sup>2</sup>		Load at deformation of 0.01 inch	Theoretical load at deformation of 0.01 inch <sup>3</sup>	Average maximum load
		Thickness of plies	Number of plies		Before adjustment for adhesive	After adjustment for adhesive			
		In.		Pct			Lb	Lb	Lb
Laminated solid-sawn	A	1/8	12	15.5	0.529	0.504	105	146	464
	B	1/4	6	13.7	.505	.493	122	144	487
	C	4/10	4	14.8	.494	.487	112	142	447
Tightly checked PLV	D	1/8	12	15.9	.599	.575	102	161	538
	E	1/4	6	10.8	.557	.545	115	155	485
	F	4/10	4	11.3	.540	.533	111	152	396
Loosely checked PLV	G	1/8	12	18.3	.571	.547	77	155	434
	H	1/4	6	11.0	.549	.537	111	153	435
	I	4/10	4	11.9	.539	.533	117	153	402

<sup>1</sup> Values are the average of 15 tests loaded parallel to the wood grain.

<sup>2</sup> Specific gravity based on oven-dry weight and volume at test. Adjustment for the specific gravity of glue is described in the appendix.

<sup>3</sup> Theoretical load based on adjusted specific gravity.

Table 6.—Summary of data for direct withdrawal of 16-gage staples<sup>1</sup>

Material group	Specific gravity <sup>2</sup>		Moisture content	Maximum withdrawal load per inch of penetration	Maximum load theoretical divided by experimental
	Before adjustment for adhesive	After adjustment for adhesive			
			Pct	Lb	Pct
Solid wood	0.43	0.43	12.1	282 (16)	43
PLV from 3/16-inch veneer	.53	.51	8.8	473 (10)	43
PLV from 4/10-inch veneer	.54	.54	10.0	439 (7)	49

<sup>1</sup> Values are the average of 32 tests withdrawn perpendicular to the glue line.  
<sup>2</sup> Specific gravity based on oven-dry weight and volume at test. Adjustment for the specific gravity of glue is described in the appendix.  
<sup>3</sup> Numbers in parentheses are coefficients of variation in percent.

Table 7.—Summary of data for lateral staple resistance tests<sup>1</sup>

Material group for main member	Specific gravity <sup>2</sup>			Moisture content		Load at 0.009-inch deflection		
	Main member		Plywood member	Main member	Plywood member	Experimental	Theoretical	Maximum load
	Before adjustment for adhesive	After adjustment for adhesive						
				Pct	Pct	Lb	Pct	Lb
Solid wood	0.42	0.42	0.46	11.9	8.5	80 (9)	60	309 (9)
PLV from 3/16-inch veneer	.53	.51	.47	8.1	7.6	86 (16)	62	366 (16)
PLV from 4/10-inch veneer	.55	.54	.47	9.5	8.1	77 (19)	69	356 (16)

<sup>1</sup> Values are the average of 20 tests loaded parallel to the wood grain.  
<sup>2</sup> Specific gravity based on oven-dry weight and volume at test. The specific gravity of the main member has been adjusted for the specific gravity of the glue according to formulas given in appendix.  
<sup>3</sup> Numbers in parentheses are coefficients of variation in percent of the corresponding load.



Table 8.—Strength of 3-member bolted joints with loads bearing parallel and perpendicular to grain<sup>1</sup>

Material group	Direction of loading	Specific gravity <sup>2</sup>	Moisture content	Proportional limit		Maximum load	
				Load	Deflection	Load	Deflection
			Pct	Lb	In.	Lb	In.
Solid wood	Parallel	0.44	11.9	1,780 (20)	0.0259 (23)	5,360 (14)	0.537 (21)
	Perpendicular	.44	11.3	1,120 (15)	.0333 (18)	2,490 (11)	.160 (28)
PLV from 3/16-inch veneer	Parallel	.53	8.1	2,130 (16)	.0240 (29)	7,530 (5)	.589 (6)
	Perpendicular	.53	8.4	1,890 (10)	.0319 (21)	5,200 (5)	.451 (17)
PLV from 4/10-inch veneer	Parallel	.55	9.7	2,020 (9)	.0196 (19)	6,060 (7)	.473 (18)
	Perpendicular	.55	9.5	1,210 (8)	.0249 (16)	3,520 (8)	.256 (27)

<sup>1</sup> Values are the average of 15 tests for parallel loading and 14 tests for perpendicular loading with one 1/2-in. bolt in double shear.

<sup>2</sup> Specific gravity based on oven-dry weight and volume at test.

<sup>3</sup> Numbers in parentheses are coefficients of variation in percent of the corresponding load or deflection.

Table 9.—Strength of 3-member, split-ring timber connector joints with loads bearing parallel and perpendicular to grain<sup>1</sup>

Material group	Direction of loading	Specific gravity <sup>2</sup>	Moisture content	Proportional limit		Maximum load	
				Load	Deflection	Load	Deflection
			Pct	Lb	In.	Lb	In.
Solid wood	Parallel	0.44	12.3	11,300 (11)	0.0257 (15)	30,700 (7)	0.460 (26)
	Perpendicular	.44	12.8	5,930 (15)	.0387 (19)	11,400 (11)	.129 (16)
PLV from 3/16-inch veneer	Parallel	.53	8.7	14,700 (17)	.0208 (21)	43,800 (2)	.496 (16)
	Perpendicular	.54	8.6	9,780 (11)	.0410 (17)	14,800 (5)	.106 (35)
PLV from 4/10-inch veneer	Parallel	.56	10.2	15,100 (12)	.0241 (18)	37,000 (4)	.402 (19)
	Perpendicular	.56	9.9	5,910 (14)	.0249 (23)	11,700 (5)	.092 (15)

<sup>1</sup> Values are the average of 15 tests with two 4-in. split rings and one 3/4-in. bolt in double shear.

<sup>2</sup> Specific gravity based on oven-dry weight and volume at test.

<sup>3</sup> Numbers in parentheses are coefficients of variation in percent of the corresponding load or deflection.

Table 10.—Summary of data on tensile test of toothed truss plate joints<sup>1</sup>

Material group	Specific gravity <sup>2</sup>	Moisture content	Maximum load
		Pct	Lb
Solid wood	0.43	12.5	7,120 (9)
PLV from 3/16-inch veneer	.54	8.5	7,360 (5)
PLV from 4/10-inch	.56	9.5	5,980 (9)

<sup>1</sup> Values are the average of 15 tests.

<sup>2</sup> Specific gravity based on oven-dry weight and volume at test.

<sup>3</sup> Numbers in parentheses are coefficients of variation in percent.

Table 11.—A summary in percent of the Phase II results as a percent of the corresponding solid wood values

Material group	Staples		Bolts loaded		Split rings loaded		Truss plates
	Direct withdrawal	Lateral resistance	Parallel	Perpendicular	Parallel	Perpendicular	Maximum load
	Maximum load	Load at 0.009-inch	Proportional limit	Proportional limit load	Maximum load	Proportional limit load	
	Pct						
Solid wood	100 (16)	100 (9)	100 (20)	100 (15)	100 (7)	100 (15)	100 (9)
PLV from 3/16-inch veneer	163 (10)	108 (16)	120 (16)	169 (10)	143 (2)	165 (11)	103 (5)
PLV from 4/10-inch veneer	156 (7)	96 (19)	113 (9)	108 (8)	121 (4)	100 (14)	84 (9)

<sup>1</sup> Numbers in parentheses are coefficients of variation in percent.

## Appendix Procedure for Adjusting Specific Gravity

The true specific gravity of the wood was estimated by adjusting for the specific gravity of the adhesive:

$$G_w = \frac{G_i V_i - G_g V_g}{V_w} \quad (1)$$

where: G = specific gravity

V = volume,

i = initial values taken at the time of testing,

g = values for adhesive, and

w = values for wood.

An average glue line thickness was estimated to be 0.005 inch and volumes were determined from recorded specimen dimensions. The specific gravity of the phenol resorcinol adhesive was determined to be 1.26. For Phase I the specific gravity for each material group was adjusted for the adhesive and these adjusted specific gravities reported in tables 4 and 5. For Phase II, only the specific gravities of the PLV products used for the staple tests were adjusted for adhesive and are reported in tables 6 and 7.

### Theoretical Loads For Nails and Staples

The theoretical maximum withdrawal loads for nails and staples in solid wood are given by the empirical formula from the Wood Handbook (10)

$$P = (7850)G^{5/2}DL \quad (2)$$

where: P = maximum withdrawal load in pounds,

G = specific gravity of wood,

D = diameter of nail or staple leg in inches, and

L = depth of nail or staple penetration in inches.

For staples the load P is doubled to account for each staple leg. For the lateral nail tests of Phase I, the theoretical lateral load up to the proportional limit (0.009 in. for Douglas-fir (13)) is approximated by the formula (11):

$$P = \frac{K_o^{3/4} E^{1/4} D^{7/4} S}{6} \quad (3)$$

where: P = lateral load in pounds,

$K_o$  = elastic bearing constant,

E = modulus of elasticity of the nail or staple in lb/in.<sup>2</sup>,

D = nail or staple leg diameter in inches, and

S = joint slip in inches.

The elastic bearing constant,  $K_o$  is 2,144,000 G for these nail tests (11).

For the lateral staple tests of Phase II, the theoretical lateral load is predicted by a more complex variation of the above formula due to dissimilar members in each specimen (11):

$$P = 2 E^{1/4} I^{1/4} K_o^{3/4} D^{3/4} S b_i \quad (4)$$

For this equation, I is the moment of inertia of the nail cross-section, b is a function of the elastic bearing constants of each member, and the other constants are given above. Details for this equation are given in references 11 and 12, and were followed to obtain the theoretical lateral staple loads.

### Converting Design Loads To Expected Test Loads

#### Bolts

The conversions used to determine the expected proportional limit loads from National Design Specifications (NDS) design loads for bolts are based on Trayer (9).

For bolt bearing parallel and perpendicular to the grain, the NDS allowable design loads were converted to the expected proportional limit loads by multiplying the allowable design loads by the variability and safety factor 2.25.

#### Split Rings

The conversions used to determine expected test loads from NDS design loads for split rings are based on Scholten (8).

For split rings bearing parallel to grain, the allowable design load given in NDS (for two 4-in. split rings and one 3/4-in. bolt having a net thickness of 2 in. with two faces of the center

piece with connectors on same bolt) were used to determine the expected test loads. This design load was multiplied by 4, the "reduction" factor, to give the approximate maximum load.

For split rings bearing perpendicular to grain, two times the allowable design load given in NDS (with the same split ring specifications as for parallel loading) were used to determine the expected proportional limit load. This design load was multiplied by 2, the recommended reduction factor, and divided by 1.1 to obtain long-time loading conditions and the approximate proportional limit load.

# Exposure effects upon performance of laminated veneer lumber and glulam materials

Theodore Laufenberg

## Abstract

Parallel laminated veneer lumber (LVL) has demonstrated tensile strengths comparable to structural lumber but with far lower variance, thus allowing higher design values. These properties have made LVL an ideal material for the tension laminations of glulam beams. This study was undertaken to study the deterioration of Douglas-fir LVL and solid-sawn glulam specimens following accelerated exposure. LVL and solid-sawn laminated specimens were tested for glueline shear strength, tension perpendicular-to-the-glueline strength, and percentage of delamination prior to and following exposure to a vacuum-pressure soak-dry schedule. The solid-sawn material exhibited higher dry strengths than the LVL but following exposure the materials differed only slightly in strength. Measurement of the percentage of delamination revealed that the solid-sawn glulam had twice the amount of splitting/separating found in the LVL. Finite-element analyses of the moisture-induced strains in the laminated materials revealed that failure of the solid-sawn sections could be caused by the variation of ring angle between laminations. The LVL was judged to be more stable than the solid-sawn material as indicated by its low incidence of delamination and high retention of glueline shear and tensile strengths.

Parallel laminated veneer lumber (LVL) has proven to be a viable means of providing the market with a high-yield structural product. Lumber-type products can be produced by parallel laminating rotary-peeled veneer into thick panels for subsequent sawing to a desired width. A higher strength product can be produced by this method from low-grade logs, due to the dispersion of defects from veneer to veneer, than could be realized by sawing the same low-grade log (13). The commercial product reported on by Nelson (10) nearly 10 years ago has demonstrated the potential of manufacturing high-tensile strength LVL from thin laminated veneers.

A recent paper by Braun and Moody (6) elucidated the benefits of utilizing this reconstituted wood product for tension reinforcement of glue-laminated beams. Design strengths of these beams were 10 to 20 percent higher than beams with traditional lumber tension laminations. The LVL material has, in general, higher allowable stresses due to reduced property variance and possibility for production of virtually unlimited lengths.

An important facet in assessment of LVL substitution for critical glulam members is the comparison of the effects of weathering upon the strength and appearance of these products. A particular concern which was addressed by this study is the use of abrasive planers for surfacing LVL. A study by Jokerst and Stewart (8) has indicated that gluelines with abrasive-planed surfaces were similar to knife-planed glued surfaces in shear strength and were higher in percentage of wood failure but lower in resistance to glueline separation upon accelerated aging.

Microscopic examination revealed that abrasive planing caused crushing and tearing of the wood surface while knife planing produced an undamaged surface. They attributed the lower resistance to glueline separation of the abrasive-planed material to excessive swelling of the crushed cells upon wetting and the lower strength in the damaged area both of which allowed delaminations to form.

A recent study by Sandoe et al. (12) utilized a tension perpendicular-to-the-glueline test to investigate glued-laminated beam strengths following an accelerated exposure. This test was purported to be a more sensitive indicator of gluebond integrity than the standard shear-block test. Due to these findings, the tension

The author is an Engineer, USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab., P.O. Box 5130, Madison, WI 53705. The Laboratory is maintained in cooperation with the Univ. of Wisconsin. The author would like to acknowledge the support of the American Institute of Timber Construction in providing the material used in this study. Assistance and guidance from Ron Jokerst and Bill Kreul of the Forest Prod. Lab. were invaluable in completing this work. This paper was received for publication in June 1981.

© Forest Products Research Society 1982.  
Forest Prod. J. 32(5):42-48.

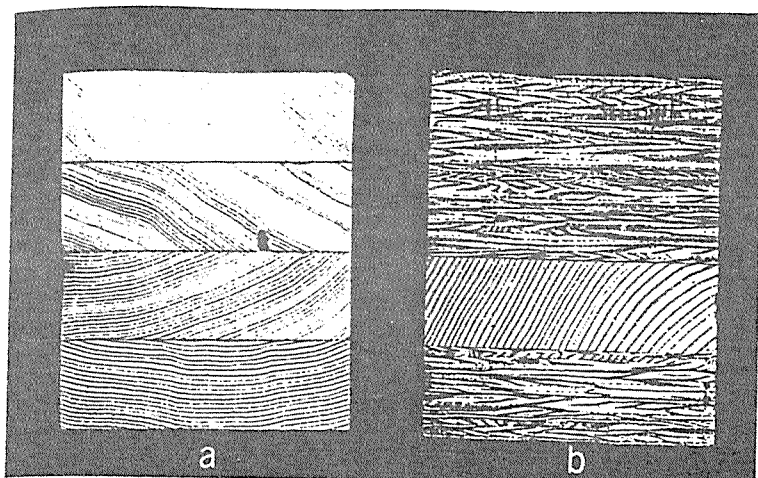


Figure 1. — LVL/Lumber glulam beam configurations: a) Solid-sawn, knife-planed and b) LVL/solid-sawn composite.

perpendicular-to-the-glueline test was also used for evaluating the various gluelines of concern in this investigation.

This study was undertaken to study the deterioration of Douglas-fir LVL and solid-sawn glulam specimens following an accelerated exposure test to simulate severe service conditions. The shear and tension perpendicular-to-the-bondline strengths were measured prior to and following exposure to a vacuum-pressure soak (VPS)-dry schedule. Qualitative observations were made of the resistance to VPS exposure of the two material types. Analysis of the moisture-induced stresses in radially and tangentially laminated members by finite-element techniques provided a quantitative explanation for the differing integrities of solid-sawn and laminated veneer members.

#### Materials and methods

Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) lumber and veneer were used to fabricate the beams. Fabrication of the LVL and glulam beams was performed by production personnel using production methods and equipment to obtain materials with properties representative of those that could be expected on the market.

The LVL material consisted of nine plies of Grade C (Product Standard PS 1-74) (14) rotary-peeled veneer nominally 0.08 to 0.10 inch thick. The veneer was bonded using a commercial hot-press phenolic adhesive mixture which represented usual plywood industry formulations, with a spread rate of 62 pounds per thousand square feet of double-spread glueline. Pressing time was 11 minutes, at 285°F, with 140 to 175 pounds per square inch (psi). The 4- by 8-foot panels of LVL were subsequently abrasively planed with 36, 60, and finally 80 grit to yield a finished thickness of 3/4 inch. Face plies of the LVL were a minimum 0.03 inch thick following the abrasive planing. Rippling of the LVL panel produced a nominal 1- by 6-inch lumber product.

The solid-sawn lumber (SSL) used in fabricating the beams required consisted of select structural grade (16) nominal 2- by 6-inch pieces of Douglas-fir. Surfacing of the lumber with a production knife planer produced 16 knife marks per inch.

Lamination of the 3/4- by 6-inch LVL and 2- by 6-inch lumber provided four beams of the configuration shown in Figure 1(a) and eight of the type shown in Figure 1(b). A phenol-resorcinol adhesive was applied to the laminations with an extruder at a spread rate of 65 lb./1,000 ft.<sup>2</sup> of glueline. Total open and closed assembly time did not exceed 30 minutes with the pieces at 70°F and moisture content of the SSL at 10 percent, LVL at 8 percent. The curing schedule was 4 hours at 70°F followed by 6 hours at 90°F while under pressure.

#### Specimen fabrication, conditioning, and testing

For evaluation of tension perpendicular-to-the-glueline and shear strength specimens of the configurations of ASTM D 143 (2) and ASTM D 905 (3) were prepared (Fig. 2a, b). The gluelines which were tested were of four types: a) veneer/veneer (within the LVL), b) LVL/LVL (between LVL), c) LVL/SSL, and d) SSL/SSL. Eight replicates were fabricated from each of three beams for each glueline type and mechanical test. This provided 12 specimens for dry testing and 12 for testing after VPS exposure. In addition, specimens for measurement of delamination after VPS exposure by the procedures of ASTM D 2559 (4) were obtained (Fig. 2c). Eighteen replicates produced a total of 360 inches of end grain glue-joint for each glueline type.

Briefly, the VPS exposure consisted of:

Cycle 1 — Submerge specimens in 75°F water bath, draw vacuum for 5 minutes, then apply pressure of 75 psi for 1 hour. Repeat the vacuum-pressure cycle again followed by 21 hours of drying at 150°F in air with less than 15 percent relative humidity (RH).

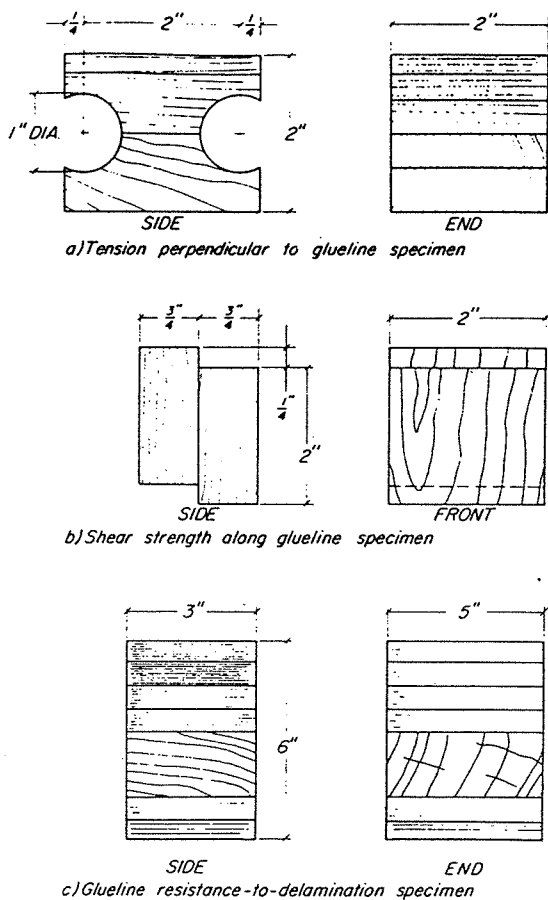


Figure 2. — Specimen geometries.

Mechanical testing was performed in accordance with ASTM D 143 (2) (tension perpendicular to grain) and ASTM D 905 (3) (glueline shear strength). Recordings were made of the glueline load at failure and the percentage of wood failure for each specimen.

The resistance to delamination specimens was probed to determine the length of separations which occurred within 0.10 inch of the glueline. A feeler gage 0.005 inch thick and 0.10 inch wide was used to probe each glueline of consideration. The procedure for this measurement is described more fully in ASTM D 2559 (4), with the exception from the standard being the inclusion of separations which were parallel to, but within 0.10 inch of, the glueline.

An additional measure of delamination was also made. The side grain delaminations and splits which propagated from a specimen edge were to be disregarded according to ASTM D 2559 specifications for measurement of separated gluelines. These edge separations were measured in this study to provide comparative data between the various glued materials. The edge split results in a stress concentration and a reduction in effective horizontal shear capacity which makes it a more critical structural defect than an interior separation (11).

## Results

A summary of the test results and statistics is given in Table 1. Means and standard deviations are given for shear and tensile strengths with an average percentage of wood failure. Delamination during accelerated exposure is represented by a percentage of the total glueline evaluated. The Smith-Satterthwaite test (9) was used to compare the means of each test for significantly similar results at a 95 percent confidence level.

Data from the tension perpendicular-to-the-glueline tests indicated:

1. Dry tension strengths of the SSL/SSL specimens were higher than other glueline types and exhibited 100 percent wood failure.
2. The SSL/SSL bondline failed with a higher average percentage of wood failure than other gluelines.
3. Following VPS exposure, the test statistics could not identify any significant difference in tensile strengths for the four glueline types.

Figure 3 illustrates these findings with the use of a 95 percent confidence interval for each glueline both before and after VPS exposure.

Block shear test results did not reveal any conclusive statistics other than to substantiate what the tension tests had revealed, that the SSL/SSL glueline deteriorated to a greater extent, percentagewise, than the other gluelines when comparing data from exposed and unexposed specimens. However, in all cases, the SSL/SSL bonds retained higher strengths than the other types. Figure 4 shows the 95 percent confidence intervals for the shear tests. The percentage of wood failure could not be used to differentiate LVL and SSL in the shear tests as was the case for the tension tests.

Delamination data from specimens subjected to the ASTM 2559 (4) test (Table 1) show the increased

Cycle 2 — Steam specimens at 212°F for 90 minutes, submerge in 75°F water at a pressure of 75 psi for 40 minutes, and dry as in Cycle 1.

Cycle 3 — Repeat Cycle 1 but dry specimens to approximately 30 percent moisture content (MC) prior to measuring delamination. The higher MC in the center portion of the specimens will hold the separations and splits of the dry exterior open to facilitate their measurement.

Conditioning of the dry mechanical test specimens was limited to placing them in a conditioning chamber at 80°F, 65 percent RH until their MC stabilized. Accelerated exposure of the remaining tension and shear specimens was accomplished by subjecting them to two periods of Cycle 1, described previously. Thereafter, these exposed specimens were allowed to reach equilibrium at 80°F, 65 percent RH.

TABLE 1. — Results and statistics for mechanical and delamination tests.

Test	Condition	GlueLine			
		A (VEN/VEN)	B (LVL/LVL)	C (LVL/SSL)	D (SSL/SSL)
Tension perpendicular ASTM D 143	Dry $\bar{X}$ (psi)	97*	110*	138	232
	S (psi)	33	26	35	48
	Wood percent fail	93	70	75	100
	Aged $\bar{X}$ (psi)	93*	86*	88*	117*
	S (psi)	37	24	24	54
	Wood percent fail	81	86	73	95
	Percent of dry strength	96	78	64	50
	Percent of dry strength	96	78	64	50
Shear ASTM D 905	Dry $\bar{X}$ (psi)	898*	869*	1,126	1,252
	S (psi)	207	190	190	362
	Wood percent fail	86	69	84	72
	Aged $\bar{X}$ (psi)	901**	841*	1,005*	1,081
	S (psi)	98	142	163	207
	Wood percent fail	89	86	91	82
	Percent of dry strength	100	97	89	86
	Percent of dry strength	100	97	89	86
Aged delamination ASTM D 2559	Percent delams internal	3.5*	3.3*	3.8*	7.6
	Percent edge delams	0.0	2.3	0.7	2.9
	Percent edge delams	0.0	2.3	0.7	2.9

\* Indicates other similar marked values in the same row are from the same population when analyzing at a 95% significance with the Smith-Satterthwaite (9) test corrected for the number of degrees of freedom.

tendency of the SSL/SSL glueLine to delaminate or split. The other three glueLines are statistically similar to each other and have approximately half of the percentage of separation detected in the SSL/SSL bondline. Edge delamination data reveal the SSL/SSL and LVL/LVL glueLines to have the greatest percentages of separations. The LVL/SSL and veneer/veneer bondlines exhibited little and none of the edge separations, respectively.

Examination of the various glueLines at the microscopic level revealed a fairly smooth, undamaged surface produced by the knife planer. Veneer peeling produced an irregular surface with only slight damage to individual surface cells. The abrasive planer created a slightly irregular surface with cell crushing evident at a four- to eight-cell depth in the earlywood. The latewood of the abraded surfaces showed a minor tearing of the outermost cells only, not the extent of crushing as in the earlywood.

### Discussion

Testing of various veneer, LVL, and SSL Douglas-fir glueLines has brought several interacting phenomenon to light. Tension perpendicular-to-the-glueLine testing showed knife-planed SSL material to be higher in tensile strength than veneer and LVL. Knife checking and uneven surfaces due to the peeling operation, as well as the surface degrade of the abrasive planing, are probable causes for the lower tensile strength of these bondlines. After the VPS exposure, the SSL knife-planed material, the veneer, and the LVL material exhibited statistically similar tensile strengths perpendicular to the glueLine. Evidently, the mechanisms which caused reduction of the SSL tensile

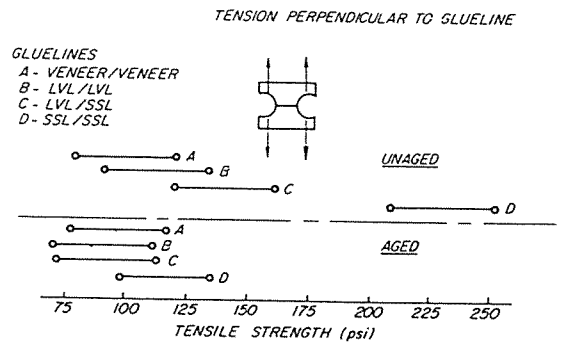


Figure 3. — Individual 95 percent confidence interval for tension tests of unaged and aged glueLines.

strength were very different from those which affected the LVL or veneer. VPS exposure caused 4, 22, 36, and 50 percent strength losses for the veneer/veneer, LVL/LVL, LVL/SSL, and the SSL/SSL bondlines, respectively.

Shear testing of the various bondlines in the dry condition resulted in data which reflected the low shear strength of the veneered material. Following the accelerated exposure aging, the degradation of the veneered materials was low (less than 3%) while the SSL/SSL bondline lost an average of 14 percent.

Measurement of bondline separation after exposure by the cycle specified in ASTM D 2559 supplied results

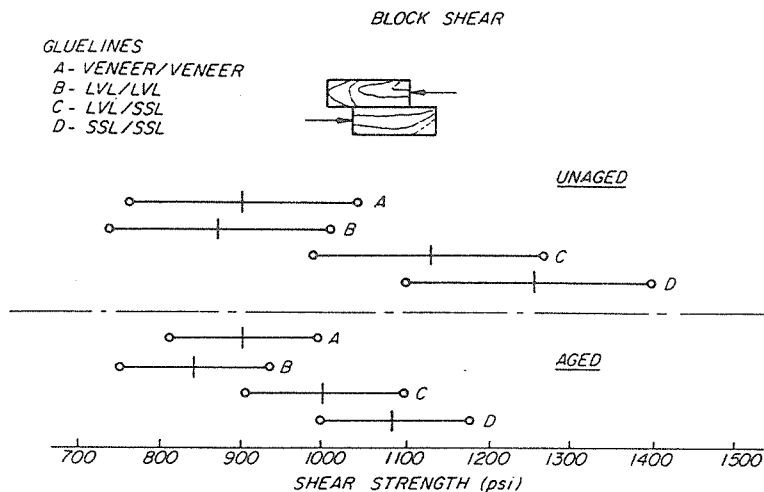


Figure 4. — Individual 95 percent confidence intervals for shear tests of unaged and aged gluelines.

which provided correlation with the mechanical testing. Excessive delamination of the edges and interior of the SSL/SSL gluelines was probably the cause of the reduction in tensile and shear strengths exhibited by the exposed SSL material. Edge delaminations recorded for the LVL could probably be attributed to the surface degradation of abrasive planing as observed microscopically.

An apparent disparity between the results of Jokerst and Stewart (8) and this study is that in the previous work larger amounts of glueline separation were measured for the abrasive-planed material than for the knife-planed. An obvious reason for this difference is that all of the previous work used 2-by 6-inch SSL which is subject to checking upon wetting and drying due to moisture induced differential straining as shown in (17). LVL material apparently reacts quite differently in that microchecks induced by the veneer-peeling operation prevent excessive stresses from arising and the defect dispersal of laminating minimizes potential stresses at the outset.

In an attempt to explain the apparent difference in mechanisms acting to produce delaminations and splitting in LVL and SSL, a finite-element analysis (15) was performed to quantify the stresses acting within a glulam section as a result of moisture-induced differential expansion. Basically, the model simulated 2-by 6-inch members with differing ring angles bonded together while at 10 percent MC. These members were then assumed to be wetted to 27 percent MC, the fiber saturation point. Differential expansion of the 2-by 6-inch members, due to the introduction of moisture, was calculated using the results of Comstock (7) for coast-type Douglas-fir.

The maximum shear and tensile stress perpendicular-to-the-glueline which were predicted by the finite element analysis to occur in the structural model of a glulam cross section are plotted in Figure 5(a). The limiting values of tension perpendicular-to-the-

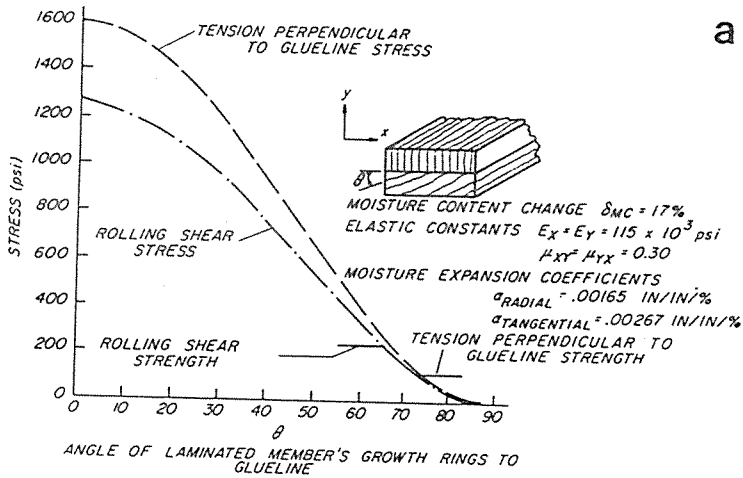
glueline strength (Table 1) and rolling shear strength (5) are also shown. Both the tensile and shear stresses exceeded the SSL strengths by a ratio of 8:1 or more when a flat-sawn member is laminated to a quarter-sawn piece as shown in Figure 5(b). The induced stresses vanish when the two members have the same ring angle. SSL strength and induced stress are coincident at ring angles of 65 degrees for rolling shear and 75 degrees for tension perpendicular to the glueline (Fig. 5(a)).

In practical terms, the analysis shows that adjacent laminated members whose ring angles differ by more than 15 degrees are likely to split or delaminate when wetted to the fiber saturation point. In addition, the analysis shows that the induced stresses are greatest at the outside edge of the beam near the bondline; thus, most horizontal splits should occur in that vicinity.

In SSL laminated members, diversity of grain angle is usual, thus leading to high stresses, checking, and delamination upon being subject to cyclic moisture environments. The LVL members, on the other hand, do not possess large variations in grain angle. Due to their rotary-cut nature, the majority of veneer materials behave as flat-sawn members upon wetting. Also, the veneer materials are extensively checked prior to assembly thus providing stress relief. Lastly, due to the low grain angle, stresses that do develop if the LVL were bonded to a higher grain angle member would be compressive, not tensile, closing any existing checks.

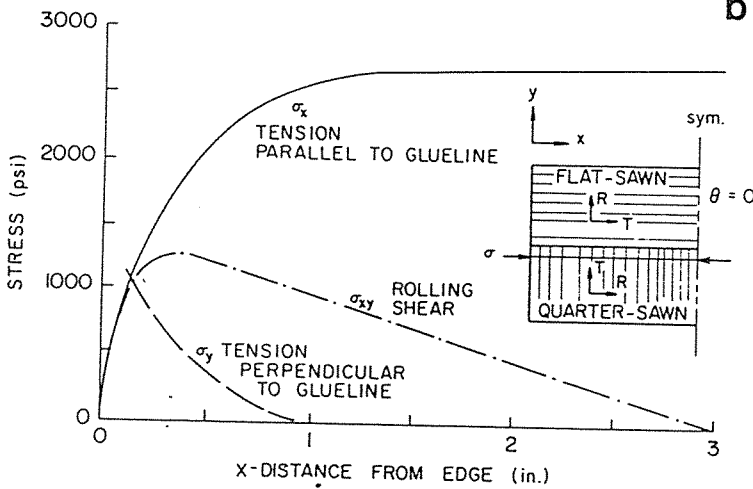
Figure 6 illustrates the level of degradation in the specimens subjected to the VPS exposure of ASTM D 2559. Note the extent of bondline splitting of the SSL cross section (Fig. 6(a)). Distortion of the normally straight edge is a direct consequence of the differential expansion of each member in the beam cross section. In comparison, the composite beam section of Figure 6(b) has less dramatic bondline separations but more extensive veneer checking. The majority of these veneer checks are probably produced in peeling the veneer.





a

Figure 5a). — Maximum predicted stresses induced in a saturated laminated member versus growth ring angle from glue line. b) Predicted stresses induced in a quarter-sawn member laminated to a flat-sawn member.



b

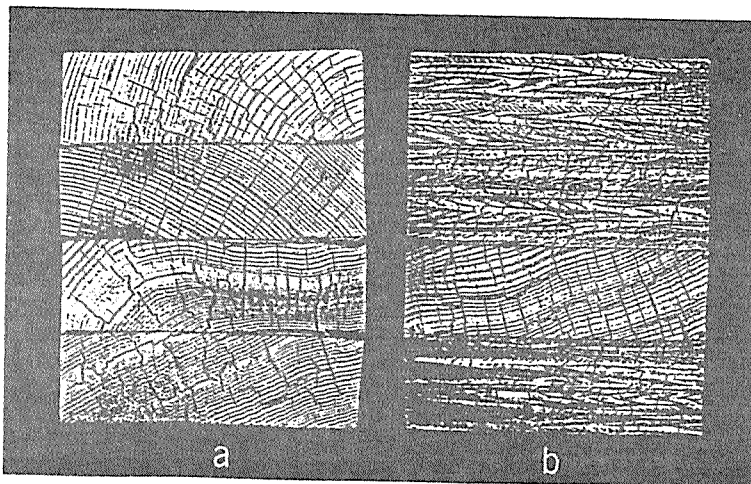


Figure 6. — Cross sections of beams after VPS exposure and partial drying: a) SSL glulam and b) LVL/SSL glulam.

Edge separations in the LVL material are quite evident at the LVL/LVL bondline with low occurrence at the veneer/veneer bond (Table 1). This may be a consequence of the abrasive planing of the LVL surfaces or the use of a different adhesive in these bondlines.

Application of this study's results to answer questions concerning LVL performance must be limited to qualitative comparisons. The LVL exhibited lower shear strength than the SSL, both dry and after VPS exposure. This observation should be tempered with the knowledge that the LVL/LVL bondline retained 97 percent of the dry shear strength following accelerated exposure, while the SSL/SSL retained only 86 percent.

The maximum horizontal shear stress allowed for Douglas-fir in laminated beams is specified by AITC (1) as 95 psi. This figure is meant to reflect the "conservative assumption of the most severe checks, shakes, or splits possible, as if a piece were split full length." One of the clear inferences of this research is that LVL does not display the extent of splitting and checking seen in solid wood. Analysis indicated the cause of these deteriorations in laminated solid lumber. Effects of the moisture-induced swelling in the solid-sawn laminated section overshadowed any comparison which could have been made between knife-planed or abrasive-planed surfaces.

### Conclusions

The results of this study justify the following conclusions:

a. Tension perpendicular-to-the-glueline strengths were higher for solid-sawn knife-planed material than for veneer or laminated veneer lumber (LVL) gluelines; but, all gluelines exhibited approximately the same strength following VPS exposure.

b. Dry shear strengths were higher for the solid-sawn knife-planed materials, though after VPS exposure the differences between materials were lessened.

c. More delaminations were detected for the solid-sawn knife-planed material following VPS exposure.

d. Increased tendency for the sawn material to delaminate and to exhibit extensive degradation of material and glueline strengths was attributed to

moisture-induced differential expansion of the laminated members.

e. Due to its resistance to splitting, checking, and delamination, LVL appears capable of exceeding the performance criteria now set for exposed glue-laminated solid-sawn members.

### Literature cited

1. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. 1974. Timber Construction Manual. John Wiley and Sons, Inc., New York.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1980. Standard methods of testing small clear specimens of timber. ASTM D 143-52. Philadelphia, Pa.
3. \_\_\_\_\_. 1980. Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. ASTM D 905-49.
4. \_\_\_\_\_. 1980. Standard specification for adhesives for structural laminated wood products for use under exterior (wet use) exposure conditions. ASTM D 2559-76. Philadelphia, Pa.
5. BENDTSEN, B. A. 1976. Rolling shear characteristics of nine structural softwoods. Forest Prod. J. 26(11):51-56.
6. BRAUN, M. O., and R. C. MOODY. 1977. Bending strength of small glulam beams with a laminated-veneer tension lamination. Forest Prod. J. 27(11):46-51.
7. COMSTOCK, G. L. 1965. Shrinkage of coast-type Douglas-fir and old-growth redwood boards. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 30, Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
8. JOKERST, R. W., and H. A. STEWART. 1976. Knife-versus abrasive-planed wood: Quality of adhesive bonds. Wood and Fiber 8(2):107-113.
9. MILLER, I., and J. E. FREUND. 1965. Probability and Statistics for Engineers. Prentice-Hall, Inc.
10. NELSON, S. A. 1972. Structural applications of MICRO LAM lumber. ASCE Natl. Struct. Eng. Conf., Meet. Prep. No. 1714. Am. Soc. of Civil Eng., New York, N.Y.
11. PAGANO, N. J. 1974. On the calculation of interlaminar normal stresses in composite laminates. J. of Composite Mater. 8:65-81.
12. SANDOE, M. D., F. J. KEENAN, F. C. BEALL, and S. P. FOX. 1980. Effect of accelerated aging on tensile perpendicular-to-glueline strength of glued-laminated beams. Durability of Building Materials and Components, ASTM STP 691, P. J. Sereda and G. G. Litvan, eds., Am. Soc. for Test. and Mater., p. 224-234.
13. SCHAFFER, E. L., R. W. JOKERST, R. C. MOODY, C. C. PETERS, J. L. TSCHERNITZ, and J. J. Zahin. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product—general summary. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 175, Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
14. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. 1974. U.S. Product Standard PS 1-74. Washington, D.C.
15. WANG, C. K. 1973. Computer Methods in Advanced Structural Analysis. Intext Educational Publishers, New York.
16. WESTERN WOOD PRODUCTS ASSOCIATION. 1972. Grading rules for western lumber. Second edition, Portland, Oreg.
17. YOUNGS, R. L., and C. B. NORRIS. 1958. A method of calculating internal stresses in drying wood. USDA Forest Prod. Lab. Rept. No. 2133, Forest Prod. Lab., Madison, Wis.

# Properties of parallel-laminated veneer from stress-wave-tested veneers

Joseph Jung

## Abstract

Parallel-laminated-veneer (PLV) construction offers a unique opportunity for a wood products producer to construct a product with certain desired mechanical properties. The use of stress-wave techniques is one means to nondestructively estimate the properties of each veneer piece before it is used in a laminated product. This investigation explored the question of what structural performance and predictability can be expected from PLV members constructed from veneers segregated into stress-wave-predicted performance groups.

The results indicated both flatwise and edgewise bending stiffnesses can be predicted with reasonable accuracy; the prediction of tensile stiffness was much poorer. The correlation between stiffness and ultimate strength of the specimens was poor. Tests on members constructed from veneers segregated into stress-wave-predicted performance groups yielded clearly defined stiffness groupings but poorly defined strength groupings which is most likely due to the absence of low-quality test material.

For the past few years, research at the Forest Products Laboratory has been concerned with the development of high-yield parallel-laminated-veneer (PLV) products (2, 12, 13). Among the advantages associated with PLV products are that the veneers are obtained from a relatively high-yield process, the process affords the potential of utilizing lower grade logs, and PLV products generally have uniform properties. In addition, because PLV products are comprised of several layers of veneers, the properties of the product are, to a large extent, a function of the properties of the individual veneers. This fact may allow the PLV producer to design a product with predictable properties.

Several investigations have been made of the application of stress-wave techniques to wood (3, 4, 5, 6) and specifically to veneer and laminated veneer (8, 9,

11). The results of these studies all point out the correlations between mechanical modulus of elasticity (MOE) and stress-wave-predicted MOE. As a logical extension of these results, this study explored the question of what structural performance and predictability can be expected from PLV members constructed from veneers segregated into stress-wave-predicted performance groups.

## Material and methods

The material used was 21 8-foot-long logs cut from approximately 30-foot-long Grade 1 or 2 coast Douglas fir sawlogs (10). The logs were steam-heated prior to being peeled into 1/4-inch-thick veneer on a commercial 8-foot lathe. About 1,100 veneer pieces were then randomly selected (without regard for defects) from approximately 4,000 pieces of 5- by 1/4-inch by 8-foot veneer.

The veneers were subsequently press-dried, using ventilated cauls, to approximately 10 percent moisture content (MC). Press conditions were 50 pounds per square inch pressure between 350°F platens. The material was allowed to come to a constant weight in a room controlled at 75°F and 50 percent relative humidity (RH). The exact weight and dimensions of each veneer were recorded.

It is worthwhile noting that although care was used to ensure a random mix of material for this study, the results of the testing (which will be discussed) indicate that the material used was of unusually high quality for coast Douglas-fir. This unfortunately means that some of the correlations discussed are not as representative of what could be obtained commercially. Nevertheless, the results are interesting and believed to be potentially useful.

The author was a Research General Engineer, USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab. The Lab. is maintained at Madison, Wis. in cooperation with the Univ. of Wisconsin. The author's current address is Sandia National Laboratories, Albuquerque, N. Mex. This paper was received for publication in August 1981.

© Forest Products Research Society 1982.  
Forest Prod. J. 32(7):30-35.

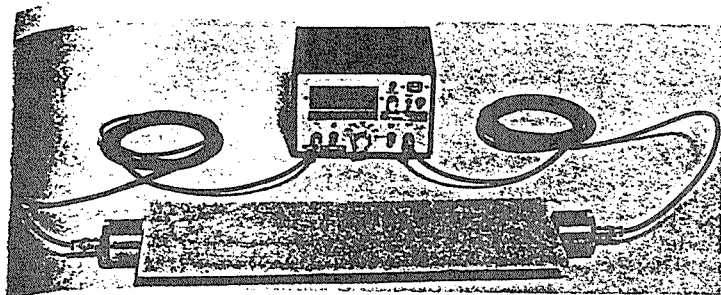


Figure 1. — Ultrasonic timer with 50 kHz transducers.

### Stress-wave testing and sorting

An ultrasonic timer (Fig. 1) with 50 kHz piezoelectric transducers was used to determine the time required for a stress wave to travel the length of each veneer. The 50 kHz transducers were chosen because they have been used in the past (7) and have yielded reasonable results. The transducers, coated with a heavy grease couplant, were brought into direct contact with the end grain of each veneer.

The dynamic modulus of elasticity was computed as  $MOE_d = \rho v^2$ , where  $\rho$  is the gross mass density and  $v$  is the wave velocity. The stress-wave testing for each veneer was performed in the controlled condition room in which the material was stored.

In preparing to produce the PLV, veneers were segregated into four groups. First, one quarter of the veneers were selected at random to compare members that would have properties representative of those obtained if no segregation were performed. The remaining veneers were then ranked in three groups in their order of predicted stiffness. The top one-third was designated as the "high-predicted-MOE" group, the second third as the "medium-MOE" group, and the last as the "low-MOE" group. The veneers in each group were then randomized again and grouped into units of six veneers. Each unit was subsequently laminated together to form a specimen.

### Lamination procedures

The 5- by 1/4-inch by 8-foot veneers were reheated in a veneer roller dryer to approximately 220°F. A phenol-resorcinol adhesive was applied at a spread rate of 60 pounds per 1,000 square feet of single glueline. The six veneers for each specimen were arranged with their checked sides toward the center of the member. The members were pressed at 150 psi for approximately 5 minutes. After laminating, the members were once again returned to the 75°F, 50 percent RH conditioning room and allowed to reach a constant weight. Members were trimmed to final dimensions of 3-1/2 by 1-1/2 inches by 8 feet.

### Mechanical tests

The specimens were subjected to three mechanical tests: edgewise bending, flatwise bending, and tension. Fourteen specimens from each group were used for each type of test.

Edgewise and flatwise bending tests followed the procedures recommended in ASTM D 198 (1). Quarter-

point loading was used on a total span of 84 inches. An LVDT was used to measure the displacement (relative to the midheight of the specimen over the supports) of the center of the members at midspan.

The tension tests were performed at a machine head speed of approximately 0.4 inch per minute on a 6-foot span between grips. A gage length of 47 inches was used for two LVDT's on opposite sides of the member. The signals from the two LVDT's were electrically summed so that any unsymmetrical loading causing bending in the plane of the LVDT's would not influence the axial deformation measurements.

Coupons were taken from the approximate center of each specimen after testing for determining specimen moisture content and specific gravity.

## Results and discussion

### Using stress-wave data to predict mechanical behavior

#### *Mechanical MOE as a function of dynamic MOE.* —

To calculate the expected stiffness from stress-wave data, the dynamic MOE for each veneer was calculated using the equation  $MOE_d = \rho v^2$ . The dynamic MOE's for the veneers comprising each member were combined to form the predicted modulus of elasticity ( $MOE_p$ ) for each member.

Two models for combining the individual veneer dynamic MOE's were used. For the members tested in edgewise bending and tension, their predicted MOE's were taken as the average of the veneer MOE's. For the members tested in flatwise bending, this averaging model was used along with a weighted average model:

$$MOE_p = \frac{1}{I} \sum I_i (MOE_{d_i})$$

in which the individual  $MOE_d$ 's are weighted by their

TABLE 1. — Regression equations\* for mechanical modulus of elasticity (MOE) as a function of stress-wave-predicted MOE's.

Test type	A	B	r <sup>2</sup>
	(psi)		(%)
Edgewise bending	99,500	1.03	87.9
Flatwise bending	-148,000	1.13	82.3
Flatwise bending <sup>b</sup>	100,000	1.02	78.6
Tension	-346,000	1.25	65.9

\*The regression equation takes the form of  $MOE = (A) + (B)(MOE_p)$ ;  $MOE$  and  $MOE_p$  are in psi, using an averaging model.

<sup>b</sup>Using a weighted average model.

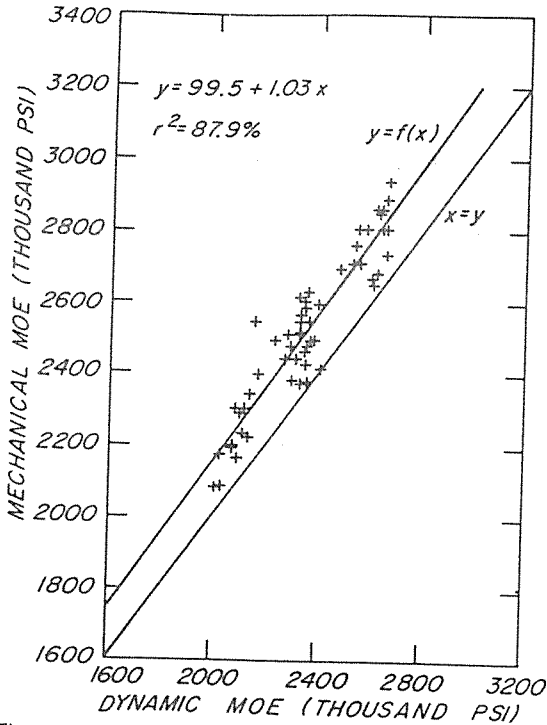


Figure 2. — Regression of mechanical modulus of elasticity (MOE) as a function of stress-wave-predicted MOE for edgewise bending tests.

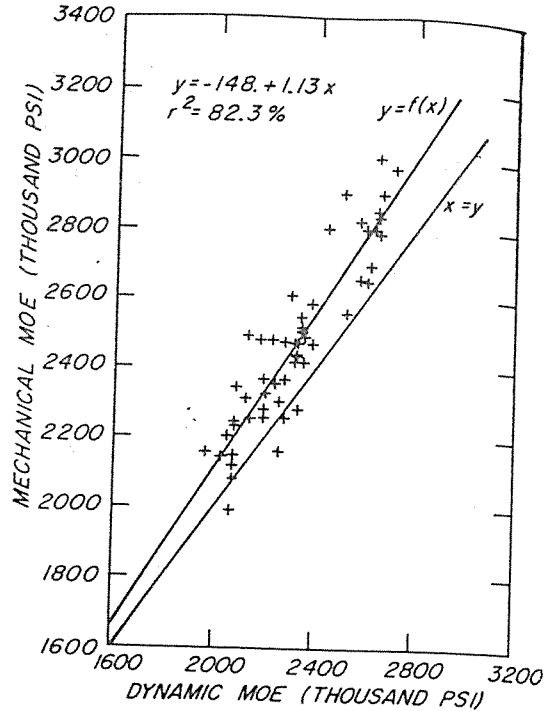


Figure 3. — Regression of mechanical modulus of elasticity (MOE) as a function of stress-wave-predicted MOE for flatwise bending using an averaging model.

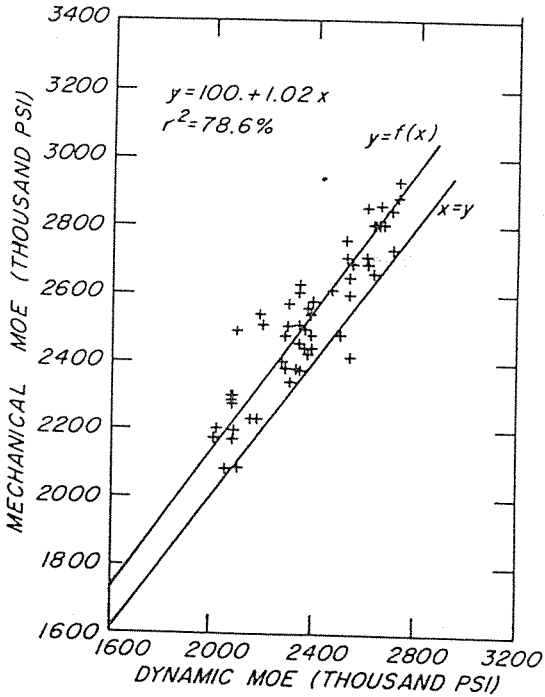


Figure 4. — Regression of mechanical modulus of elasticity (MOE) as a function of stress-wave-predicted MOE for flatwise bending using a weighted average model.

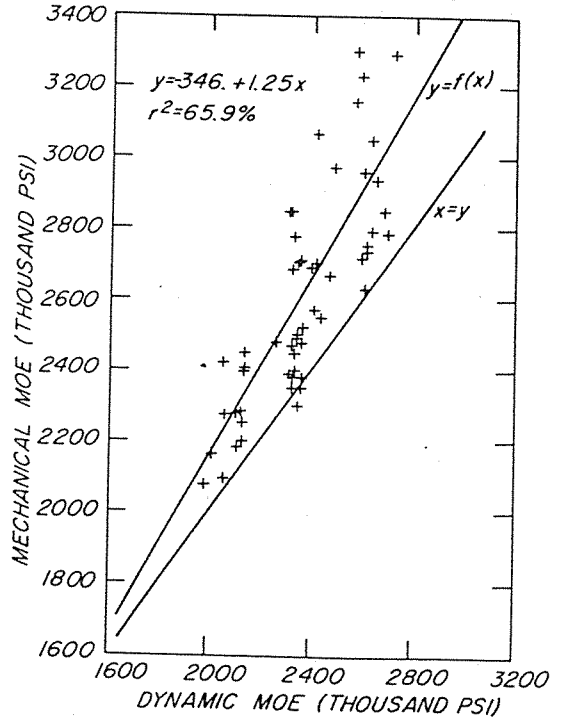


Figure 5. — Regression of mechanical modulus of elasticity (MOE) as a function of stress-wave-predicted MOE for tension tests.

TABLE 2. — Regression equations<sup>a</sup> for strength as a function of mechanical modulus of elasticity (MOE) and stress-wave-predicted MOE.

Test type	Independent variable	A	B	r <sup>2</sup>
Edgewise bending	Mechanical MOE	(psi)		(%)
	MOE <sub>w</sub>	-1.1	3.82	37.1
Flatwise bending	Mechanical MOE	671.0	3.80	30.6
	Stress-wave MOE, MOE <sub>w</sub> <sup>b</sup>	2705.0	2.34	8.1
	Stress-wave MOE, MOE <sub>w</sub> <sup>c</sup>	5188.0	1.43	1.9
Tension	Mechanical MOE	7167.0	0.58	0.4
	MOE <sub>w</sub>	2729.0	1.29	16.0
		1056.0	2.13	18.5

<sup>a</sup>Regression equations take the form of  $y = A + B/x$ ;  $y$  is strength (in psi) and  $x$  is either actual stiffness, weighted average stiffness, or stress-wave-predicted stiffness (in thousand psi).

<sup>b</sup>Using an averaging model.

<sup>c</sup>Using a weighted average model.

TABLE 3. — Summary of mechanical test results.

Type of test	Sort	MOE		Strength <sup>a</sup>		Average moisture content (%)	Average specific gravity <sup>b</sup>
		Mean (thousand psi)	Coefficient of variation (%)	Mean (psi)	Coefficient of variation (%)		
Edgewise bending	Random MOE	2,550	5.10	10,150	11.3	7.55	0.52
	Low MOE	2,250	5.42	8,420	11.7	7.75	.51
	Medium MOE	2,480	3.30	9,520	13.0	7.71	.52
	High MOE	2,790	3.12	10,400	12.1	7.69	.54
Flatwise bending	Random MOE	2,410	7.29	8,640	30.2	7.57	.51
	Low MOE	2,230	6.37	8,470	29.2	7.91	.50
	Medium MOE	2,450	2.58	7,860	19.1	7.52	.52
	High MOE	2,800	4.53	9,060	13.7	7.51	.55
Tension	Random MOE	2,630	7.41	6,010	17.0	7.91	.51
	Low MOE	2,270	5.25	5,500	14.7	8.15	.50
	Medium MOE	2,520	7.45	6,080	16.7	7.88	.51
	High MOE	2,940	7.68	6,704	11.1	7.95	.53

<sup>a</sup>For edgewise and flatwise bending, strength refers to MOR; for tension, strength refers to maximum tensile strength.

<sup>b</sup>Based on oven-dry weight and volume at time of test.

amounts of inertia ( $I$ ). The resulting predicted MOE's were in turn correlated with the actual MOE's and the ultimate strengths obtained from their mechanical tests.

Correlating the actual MOE's as a function of the predicted MOE's (Table 1; Figs. 2 to 5), it was found that the data generally lie above the ideal relationship of the predicted stiffness, being equal to the tested stiffness. This was true for all three types of tests. This indicates that the stress-wave-predicted stiffnesses were low.

The flatwise bending tests indicated that the averaging model used to predict the specimen stiffnesses is as good as, and perhaps better than, the weighted average model. The coefficient of determination for the average model was 82.3 percent, while that for the weighted average model was 78.6 percent. In edgewise bending, the averaging model yielded a coefficient of determination of 87.9 percent. For the tension specimens, much more scatter ( $r^2 = 65.9\%$ ) was evident than for either of the bending tests, particularly at the higher stiffnesses.

*Strength as a function of MOE.* — Correlating strength to actual stiffness or stress-wave-predicted

stiffness (Table 2), it was found that the mechanical stiffnesses of the members correlated relatively poorly to strength ( $r^2$  ranged between 8.1% and 37.1%) and to stress-wave-predicted stiffnesses ( $r^2$  ranged between 0.4% and 30.6%).

In both stiffness and strength, representative correlations were probably hindered by the absence of relatively low-quality material (below 2 million psi MOE).

#### Segregation into performance classes

The results of the sorting by predicted stiffness (Table 3; Fig. 6) indicated relatively good separation into classes for all three types of tests. The variability of the modulus of elasticity results was low, with the coefficients of variation ranging between 2.5 and 7.7 percent. No general trends regarding increasing or decreasing variability were observed as the stiffness of the material group changed. An analysis of variance (at 95% confidence) of the stiffness values indicated that, in each type of test, the separation among the low-, medium-, and high-MOE groups was statistically significant. Furthermore, in each test, the random-MOE groups yielded values that made the means of those

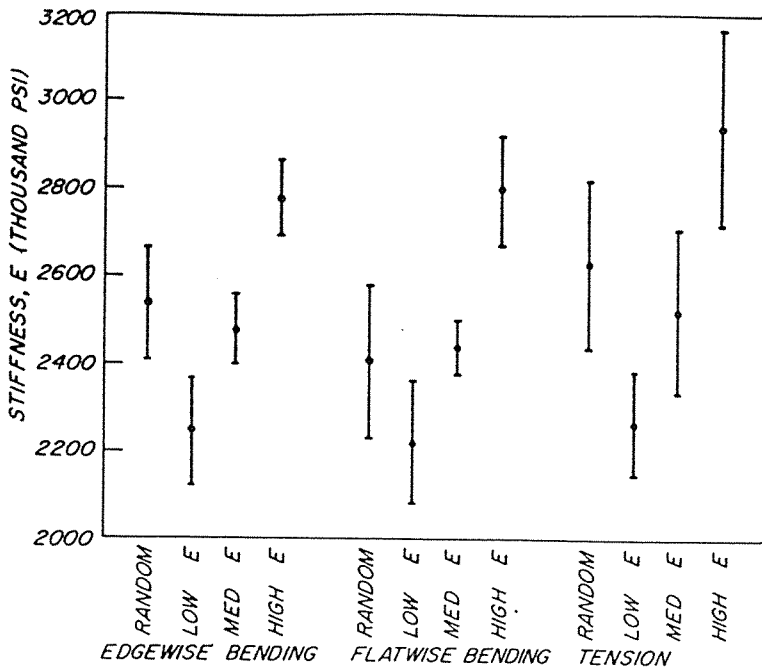


Figure 6. — Results of segregating veneers by stiffness: means and  $\pm$  one standard deviation.

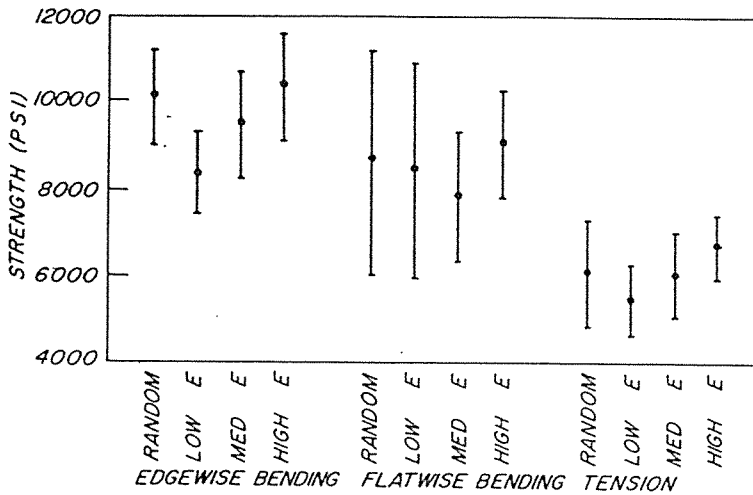


Figure 7. — Strength results of specimens constructed from veneers segregated by stiffness: means and  $\pm$  one standard deviation (strength is MOR for flatwise and edgewise bending, and maximum stress for tension tests).

groups statistically equivalent to the means of the medium-MOE groups.

The separation in performance among the different groups of material was not as pronounced for strength as for stiffness (Table 3; Figs. 6 and 7). Also, the expected trend of increasing strength with increasing predicted stiffness appeared in the edgewise bending and the tension results, but not the flatwise bending results. An

analysis of variance of these results showed that, for edgewise bending, the mean strengths for the random-, medium-, and high-MOE groups were statistically equivalent.

For flatwise bending, all four material groups could be considered equal. And for the tension results, the low- and high-MOE groups were each statistically equivalent to the random- and medium-MOE groups but

could not be considered equivalent to each other. As was found for the stiffness results, no general trends were observed regarding variability.

### Conclusions

The results indicate that MOE's of parallel-laminated veneer members, comprised of six plies of 1/4-inch-thick Douglas-fir veneers, can be predicted with reasonable accuracy in bending applications (both flatwise and edgewise) by averaging the stress-wave-predicted stiffnesses of the veneers composing the members. An averaging model for the stiffness of tensile members, though, exhibited a poorer correlation than that for bending. The correlations between stiffness and ultimate strength were very poor.

The effects of constructing members from veneers segregated into stress-wave-predicted performance groups are quite apparent in the stiffness results: clearly defined stiffness groupings are evident. The effects of veneer segregation on strength were not, in general, as pronounced. This may be due to the absence of low-quality material in this study. Although clear statistical differences in the strength results for the different stiffness groups were not found, the observed trends for the edgewise bending and tension tests indicate that a producer of PLV material can design a product with specific properties.

To understand the full potential of applying stress-wave testing to PLV, further investigation is necessary into the effects of veneer quality, ply thickness, number of plies, and perhaps the frequency range at which the testing is performed.

### Literature cited

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1976. Standard methods of static tests of timbers in structural sizes. ASTM D 198, Philadelphia, Pa.
2. FPL PRESS-LAM RESEARCH TEAM. 1976. Press-Lam: Progress in technical development of laminated veneer structural products. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 279. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
3. GALLIGAN, W.L., and R. COURTEAU. 1965. Measurement of elasticity of lumber with longitudinal stress waves and the piezoelectric effect of wood. Proc. 2nd Symp. Non-Destructive Testing of Wood, p. 223-224. Washington State Univ., Pullman, Wash.
4. GERHARDS, C. C. 1978. Comparison of two nondestructive instruments for measuring pulse transit time in wood. Wood Sci. 11(1):13-16.
5. \_\_\_\_\_. 1978. Effect of earlywood and latewood on stress-wave measurements parallel to the grain. Wood Sci. 11(2):69-72.
6. \_\_\_\_\_. 1980. Effect of cross grain on stress waves in lumber. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 368. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
7. JUNG, J. 1979. Stress-wave grading techniques on veneer sheets. USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rep. FPL-27. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
8. KOCH, P. 1967. Location of laminae by elastic modulus may permit manufacture of very strong beams from rotary-cut southern pine veneer. USDA Forest Serv. Res. Pap. SO-30. So. Forest Expt. Sta., New Orleans, La.
9. \_\_\_\_\_. and G. E. WOODEN. 1968. Laminating butt-jointed, log-run southern pine veneers into long beams of uniform high strength. Forest Prod. J. 18(10):45-51.
10. LANE, P. H., R. O. WOODFIN, JR., J. W. HENLEY, and M. E. PLANK. 1973. New timber cruising grades for coast Douglas-fir. USDA Forest Serv. Res. Pap. PNW 151. Pacific Northwest Forest Range Expt. Sta., Portland, Oreg.
11. MCALISTER, R. H. 1976. Modulus of elasticity distribution of loblolly pine veneer as related to location within the stem and specific gravity. Forest Prod. J. 26(10):37-40.
12. MOODY, R. C., and C. C. PETERS. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: Strength properties of rotary knife-cut laminated southern pine. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 178. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
13. SCHAFFER, E.L., R.W. JOKERST, R.C. MOODY, C.C. PETERS, J.L. TSCHERNITZ, and J.J. ZAHN. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: General summary. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 175. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.



# 3 3 AN INVESTIGATION OF THE FRACTURE OF BUTT JOINTS IN PARALLEL-LAMINATED VENEER<sup>1</sup>

*Joseph Jung and Joseph F. Murphy*

General Engineers  
Forest Products Laboratory,<sup>2</sup> Forest Service, U.S. Department of Agriculture  
Madison, WI 53705

(Received 15 March 1982)

## ABSTRACT

A finite-element analysis and experimental testing program was conducted to investigate the fracture mechanics aspects of butt joints in parallel-laminated veneer (PLV). The effects of the number of plies, ply thickness, and joint spacing were investigated. It was found that the isotropic and orthotropic solutions for edge-cracked specimens were very close. Also, the increase in the stress-intensity factor for the exterior butt joint was of the order of only 4% for a joint separation spacing of four ply-thicknesses. In general, it was found that Mode I fracture toughness increased with decreasing veneer thickness and that the fracture toughness of exterior butt-jointed specimens varied with veneer thickness and number of plies. Results of the butt-joint interaction tests indicate a much higher degree of joint interaction than predicted by the finite-element analysis.

*Keywords:* Parallel-laminated veneer, butt joints, fracture mechanics, joint spacing.

## CONCLUSIONS

The finite-element results indicated that there is very little difference between isotropic and orthotropic solutions for an edge-cracked specimen. The maximum difference observed was about 3.4% at a  $d/t$  ratio of 10. It was also found that the stress-intensity factors for a centrally cracked isotropic specimen under uniaxial tension are very close (within 4%) to those of a similarly loaded orthotropic plate with a crack that is not centered. This finding suggests that the location of an interior butt joint is not an important factor in determining tension failure loads since the value of the stress-intensity factor does not vary significantly with the location of the joint. The finite-element results also indicated that the effect of joint interaction on the exterior butt joint from a joint in the adjacent ply is negligibly small until the joints are as close as four lamination thicknesses apart when there is approximately a 4% increase in  $K_I$  for the exterior joint.

The experimental results showed that for Mode I tests the critical stress-intensity factor increased with decreasing veneer thickness. It is felt that there are two reasons for this. First, the thicker the veneer, the more it is damaged in cutting; and second, thicker veneers generally have rougher surfaces which are more difficult to bond.

The apparent critical stress-intensity factor for the exterior butt-joint tension tests is not constant as it usually is for metals, but it varies with veneer thickness and number of plies. The average applied stress at joint failure for these specimens ranged from 24 to 73% of the applied stress at ultimate failure. Thus, joint failure can occur at a load significantly lower than the ultimate strength load. The cor-

<sup>1</sup> This article was written and prepared by U.S. government employees on official time and is therefore in the public domain.

<sup>2</sup> Maintained at Madison, WI, in cooperation with the University of Wisconsin.

relation of tension test results on nonjointed members with the results of the butt-jointed members showed that using the net section stress for the butt-jointed members which neglects the area of the butt-jointed lamina would give a good estimate of the failure load for members constructed from  $\frac{1}{4}$ -inch-thick veneers or thicker. This net section analysis does not appear to be satisfactory for members constructed from thin veneers, e.g.,  $\frac{1}{10}$  inch, since at butt-joint failure the fracture plane extends a significant distance into the interior of the member. This is not the case for the thicker veneers since the fracture plane generally follows the glueline.

The butt-joint interaction tests indicated that the degree of joint interaction is much higher than predicted by the finite-element analysis. The reasons for this are unclear but indicate further analysis and experimentation is needed.

# Parallel-laminated veneer: processing and performance research review

---

Theodore L. Laufenberg

---

## Abstract

The use of parallel-laminated veneer (PLV) for critical structural elements has proven commercially feasible for more than a decade. The uniformity of this material's mechanical properties has made it popular for truss components, I-beam flanges, scaffold planks, and other engineered members.

Research during the last 15 years has indicated a number of correlations between processing parameters and PLV product performance such as veneer quality influence upon tensile and bending properties and the efficiency of various jointing methods. In addition to summarizing these findings, this paper contains recommendations for further study.

---

This paper presents an overview of the parallel-laminated veneer (PLV) processing and performance technology developed and reported on in the last 15 years. The variety of PLV's product applications (not documented herein) provides an indication of its general appeal. As our raw material supply diminishes in quality and volume, PLV's higher yield potential and adaptability to engineered end-use design will be welcomed by manufacturers and users alike.

Approximately 10 years have passed since PLV products first appeared in the marketplace, in trusses, as substitutes for select structural lumber components. Since that time, PLV has been used for joists, box beams, planks, and ladder rails.

PLV is processed in a manner similar to plywood, but contains only parallel laminations. Also called laminated veneer lumber (LVL), its machinability and uniformity of mechanical properties have been appreciated by the furniture industry for several decades to produce curved furniture parts.

Parallel-laminated Sitka spruce veneer was studied in the 1940s (30) for constructing high-strength wood aircraft members. At that time, its additional

manufacturing cost was justified by its dependable performance. Since that time, dwindling supplies of high-quality saw logs have made PLV attractive and economically feasible in products formerly constructed of the highest grades of solid wood.

One attribute of PLV processing is the increased yield made possible by peeling a given log, as compared to the kerf losses associated with traditional sawing techniques. Its highly dependable design strength makes it competitive with stress-graded lumber. Strength is achieved mainly because, when the material in a low-grade log is reconstituted into PLV, strength-reducing defects are distributed throughout the volume of the member, minimizing the amount of low-strength wood in any cross section.

The variables that must be taken into account in predicting the mechanical properties of a PLV product include the number of veneer laminations, the size and distribution of defects, the efficiency of veneer end joints, the quality of the bond, the strength of the clear wood, and the depth and frequency of knife checks. Accurate analytical models for predicting mechanical properties have yet to be published, but stiffness tests (stress-wave timing) and visual veneer-grading methods are used to nondestructively bracket mechanical properties. Increasing the number of laminations in a specific configuration creates a more uniform product, but increases production costs.

## Processing PLV

### Basic processing schemes

Nearly all schemes presented to produce PLV for structural use somewhat resemble those of established plywood operations. Veneer is rotary peeled, dried, spread with adhesive, laminated in the desired con-

---

The author is an Engineer, USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab., P.O. Box 5130, Madison, WI 53705. The Laboratory is maintained in cooperation with the Univ. of Wisconsin. This paper was received for publication in December 1982.

<sup>c</sup> Forest Products Research Society 1983.  
Forest Prod. J. 33(9):21-28.

figuration, pressed either in conventional plywood presses or on a continuous or step basis, then ripped to width. Processing innovations have been developed largely to accommodate the performance requirements of specific end products.

Continuous pressing of PLV is currently used in commercial manufacture of MICRO=LAM<sup>®</sup> (22) and by Metsaliiton Teollisuus Oy, Finland, for producing Kertowood<sup>®</sup> (14). Descriptions of these processes are unpublished, except for the use of phenol-formaldehyde resin and 1/8- to 1/10-inch veneers.

To produce its Press-Lam<sup>®</sup>, the Forest Products Laboratory (FPL) rotary peeled veneer, press dried it, spread the sheets with adhesive, hot laminated them with staggered butt joints, and step pressed them in a cold end loading press (12, 13). One major drawback of this process was its reliance on residual drying heat in order to cure the adhesive; this necessitated short assembly times, but resulted in short press cycles. To make Press-Lam's manufacture feasible required two pieces of new equipment: a continuous press dryer for veneer and a continuous cold-press.

Continuous hot-pressing (2) was used to press 1/4-inch cold veneer into a 1-1/2-inch-thick panel; veneers were laminated sequentially to form 1/2-inch-, 1-inch-, and finally 1-1/2-inch-thick products. An end-loading hot-press and an intermittent press sequence were also used (2) for producing continuous PLV panels. Methods of end jointing 3/4-inch-thick 8-foot panels have been investigated (5, 6, 36), in order to make PLV production feasible in existing plywood plants, since the end jointing of 8-foot panels requires less capital investment than does that of a continuous-press system. Lamineer<sup>®</sup> LVL (7) is currently produced in panel form with subsequent end jointing to required lengths.

### Veneer joints

To produce PLV in construction lengths, joints must be used since the peeled veneer is usually no more than 100 inches long. A number of structural and non-structural methods have been used to end join veneers (Fig. 1).

**Butt joints.**—Though they are inherently simple to manufacture, butt joints have numerous drawbacks (Fig. 1a). The joints cross the entire veneer width, subjecting each lamina to an artificial defect every 100 inches. Acceptability depends on the number of laminations and the quality of the veneer. Press-Lam<sup>®</sup>'s 1/4-inch and thicker veneers were particularly degraded in nominal 2-inch thicknesses due to its few laminations. Stresses around butt joints, analyzed photoelastically (15), indicated that lateral separation

of joints by 16 lamination thicknesses prevented stress interaction of adjacent butt joints.

Tensile failures at butt joints were shown to differ significantly (21) in 1/4-inch veneer and 1/10-inch veneer PLV. A 1/10-inch veneer joint failed from its outer butt joint straight through the cross section of the member, while the 1/4-inch failure turned 90 degrees from the outer butt joint and followed the bondline to the next butt joint. More study of butt joint mechanics is needed to quantify the influences of veneer thickness, joint spacing, and veneer quality on the performance of butt joints in PLV products.

**Lap joints.**—The crushed lap joint (Fig. 1b) is currently used on the commercial product MICRO=LAM<sup>®</sup>. No performance research data have been published other than code-approved stress values (33) for products in which lap joints are staggered within a cross section. The high processing pressures that are used to crush these overlapping veneer joints may result in some springback (with resultant interply cleavage) after the material reaches equilibrium in moisture content (MC). These processing pressures also increase the overall density of the PLV product.

**Scarf joints.**—Scarf joints for individual veneers (Fig. 1c) were (31) used as the outer plies in creating 1/8-inch veneer PLV 2 by 4's. In that application, 1:12 slopes were cut on the veneer ends, which were then bonded with a phenol-resorcinol adhesive. Strip-tension tests of this joint indicated that a median strength of 8,000 psi could be achieved.

In a limited test (31) of the use of scarf jointing in the outer lamination of an otherwise staggered butt joint C-grade veneer PLV 2 by 4, tensile strength proved more than 25 percent greater than in 2 by 4's that had butt joints throughout. The percentage of initial failure in outer ply joints was approximately 60 percent in the

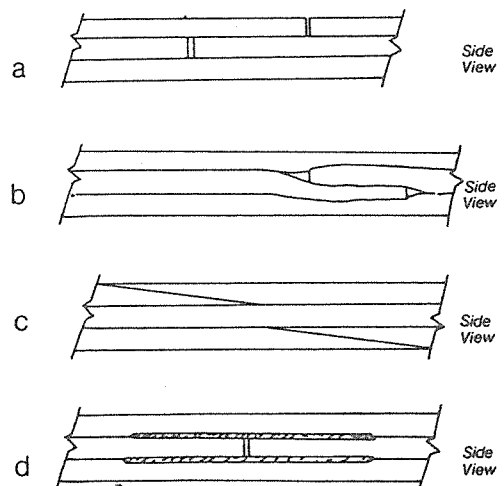


Figure 1. — Typical veneer joints for PLV: a) butt, b) crushed-lap, c) scarf, and d) reinforced butt.

<sup>1</sup>MICRO=LAM is a registered trademark of the Trus Joist Corporation, Boise, Idaho. The use of trade, firm, or corporation names is for the information and convenience of the reader. Such use does not constitute an official endorsement or approval of any product by the U.S. Department of Agriculture to the exclusion of others which may be suitable.

<sup>2</sup>KERTOWOOD is a registered trademark of Metsaliiton Teollisuus Oy, Finland.

<sup>3</sup>Lamineer is a registered trademark of the Weyerhaeuser Co., Tacoma, Washington.

butt jointed 2 by 4's but only 20 percent for members with scarf jointed outer plies. Eliminating the outer ply's butt joints did more to improve product performance than could be attributed solely to the structural scarf joint.

**Graphite-fiber reinforced butt joints.**—Butt joints were reinforced (Fig. 1d) with high-strength 0.015-inch-thick unidirectional graphite-fiber composite impregnated with a phenol-formaldehyde resin (27). Tension tests were performed on specimens made of four 3/8-inch Douglas-fir veneers that contained one butt joint in a middle veneer. No statistically improved strength was substantiated using a single layer of reinforcement on each side of the butt joint. However, the use of two layers of reinforcement did result in approximately 10 percent more tensile strength than in the unreinforced material. When the joint was analyzed by finite-element methods, joint stresses were shown to relate to changes in reinforcement stiffness and length of overlap. In these experimental joints, failures initiated at the butt joints, and the reinforcement supported additional loading until the specimens failed completely.

**PLV jointing.**—End jointing, using conventional plywood manufacturing techniques, of nominal 1-inch-thick PLV produced in 4- by 8-foot panel sizes was studied (5, 6, 36) primarily to find suitable jointing technology to produce structural-length tension-laminated stock from panel-length PLV. The joints investigated included commercially produced 1:9 slope scarf joints (Fig. 2a), horizontal finger joints (Fig. 2b), and vertical finger joints (Fig. 2c). C-grade Douglas-fir veneer in 1/10-inch thickness was laminated to produce nominal 1-inch material. Limited sample sizes require that tension-test results be compared to unjointed PLV as control.

Tensile strength retained by the joints averaged nearly 95 percent (compared to unjointed PLV) for the scarf joint, 83 percent for the vertical finger joint, and 71 percent for the horizontal finger joint. Nominal 2-inch material jointed with the offset plain scarf (Fig. 2d) and with the three-stage scarf joint (Fig. 2e) both showed tensile strength retention greater than 95 percent.

Preproduction testing was carried out on the Lamineer<sup>®</sup> PLV, which has vertical finger joints between panel-length PLV pieces. Results justified a tensile design stress ( $F_t$ ) of 2,200 psi for the jointed product and 2,400 psi for the unjointed (7) (Table 1).

#### Adhesive bonding

Basic plywood bonding technology can be used in PLV processing, so little additional development was required. High laminating costs have led to studies of several cost-cutting methods since the rising costs of

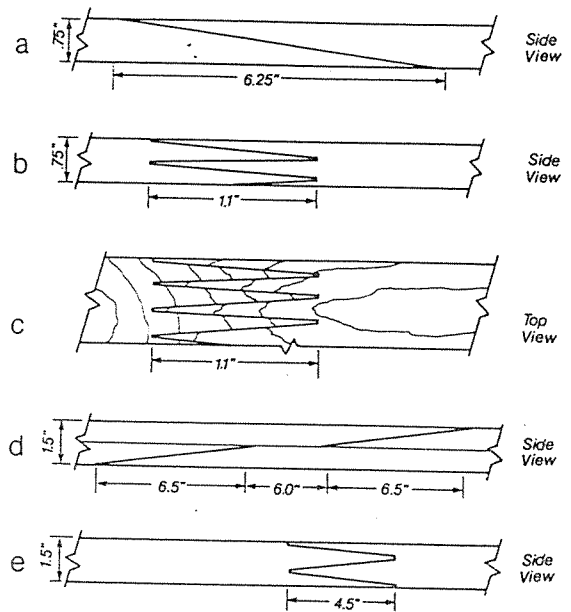


Figure 2. — Structural end joints for PLV panels: a) scarf, b) horizontal finger, c) vertical finger, d) offset plain scarf, and e) three-stage scarf (folded).

TABLE 1. — Code-approved allowable design figures for commercial products made of 1/8- to 1/10-inch Douglas-fir veneer.

Commercial name	Specimen size (in.)	Veneer joint	Modulus of elasticity (10 <sup>6</sup> psi)	Design allowable tensile stress (psi)	Design allowable flexural stress (psi)
Lamineer <sup>®</sup> 22 F <sub>t</sub> tension ply lumber (7)					
- Used as outer 5% of glulam <sup>b</sup>	1.5 by 5.5	None	2.2	2,200	2,600
- Used in 8-ft. lengths (no end joints)	1.5 by 5.5	None	2.2	2,400	3,000
MICRO=LAM <sup>®</sup> laminated veneer lumber (33)	.75 by 3.5	Crushed-lap	2.1 2.0 1.7	2,200 2,000 1,500	2,800 <sup>a</sup> 2,500 <sup>a</sup> 1,900 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>For 12-in. depth; for other depths ( $d$ ), multiply by  $(12/d)^{1.5}$ .

<sup>b</sup>With proof loaded finger joints.

petroleum-based exterior adhesives in the last decade have made it difficult to demonstrate the economic feasibility of producing this product.

An attempt was made (16) to reduce energy use and press-time requirements in PLV laminations when processing thick sections, by using residual heat from veneer drying to speed the cure of adhesives. The veneer was initially heated by press drying at 375°F. After drying, its surfaces remained bondable without surfacing. A wide range of species with greatly varied MC tolerated hot gluing with a phenol-resorcinol adhesive while maintaining durability. The process was shown to be feasible if assembly time was controlled. Unfortunately, because of the short assembly time, manufacturers have rejected the use of residual heat curing.

Due to the high cost of adhesives, a simple method of reducing production costs is to reduce the amount of adhesive used in laminated veneer products. Glueline shear strengths of specimens were measured (17) against decreasing adhesive spread rates. As expected, a 1:1 relationship was found between spread rate and shear strength up to a spread rate which produced 100 percent wood failure. Future work should attempt to quantify acceptable minimum shear strengths for products according to their uses and to determine rates of environmental degrade for low spread-rate bondlines.

#### Yield

Rotary peeling of veneer for PLV has been reported as an excellent opportunity to improve timber yield over sawn-lumber processing. After predictions (24) that rotary peeling, compared to slicing, would yield a 30 percent increase in usable veneer, actual yields from second-growth Douglas-fir were demonstrated (2) by comparing volumes of nominal lumber and dressed lumber from sawn and PLV processes.

Using nominal or dressed dimensions and assuming lumber recovery from the core, laminated veneer lumber yielded more than 47 percent more than sawn lumber. In a number of species, green-veneer yields were found (12, 13) to average 65 percent of bolt volume for bolts 12 to 20 inches in diameter, and 75 percent for 20- to 28-inch diameter. Mill studies (9, 10) on second-growth Douglas-fir showed green-lumber yields of 62 percent and veneer recoveries of 65 percent with 20-inch logs.

Losses in producing PLV are similar to those in plywood processing with the exception of panel trim and sanding losses. In processing PLV, these two types of losses can be significantly reduced by continuous pressing of long lengths and thick billets. Differences in yield between plywood and PLV can be accounted for by fewer crosscuts and less surfaces to sand. Some discrepancies found in past research are the result of mixing old and new lumber and veneer-processing facilities. To eliminate these discrepancies, a study is needed of yields in a commercial operation that processes logs into PLV.

#### PLV structural performance

Because raw-material defects are dispersed in PLV, the product has been shown to have greater uniformity of mechanical properties than solid-sawn wood. The

extent to which these properties can be improved over those of clear wood depends on veneer quality, number of plies, veneer joint type, and numerous other processing variables. But the diversity of PLV configurations makes it difficult to compare the various studies.

#### Tensile strength and stiffness

Tensile strength is an important consideration in applications such as tension chords for trusses and I-beam flanges. In one examination of tensile strength (31), 1/8-inch C-grade Douglas-fir and southern pine veneers were segregated into high- and low-quality classes according to aggregate knot size, and then nominal 2 by 4 PLV members were fabricated. The members contained staggered butt joints with 8-inch spacing.

No statistical difference could be found between high- and low-quality Douglas-fir, which averaged 5,450 psi in tension test results. Southern pine 2 by 4 PLV members made of high-quality veneer averaged 5,490 psi while low-line C-grade veneer members averaged 4,560 psi. Lack of any observable difference in tensile strength between the two veneer quality levels was concluded to be due to the small range of knot distribution in the Douglas-fir. In the southern pine, good correlation was found between knot area and tensile strength ( $R = 0.81$ ). The choice of raw material influenced the observed tensile moduli of elasticity (MOE) more than did its knot size.

In tensile testing (34) of 1/8-inch Douglas-fir veneer product having face plies of A-B grade veneer and inner plies of C-D veneer, average strength values were found to be 5,020 psi for 2- by 3-inch specimens and 5,600 psi for 2- by 6-inch specimens. More recently (26), tensile strengths of MICRO=LAM<sup>®</sup> were shown to average 6,435 psi for specimens 1.5 by 2.3 inches in cross section. The product's coefficient of variation (COV) was limited to 12 percent while machine stress rated (MSR) and visually graded structural sawn lumber had COV's of approximately 25 percent and 35 percent, respectively. MICRO=LAM<sup>®</sup> was found capable of a 2,000 psi allowable design stress in tension.

An evaluation was made of nominal 2 by 4 PLV members made of 1/4-inch Douglas-fir veneers having staggered butt joints, with No. 2 saw logs as the veneer source and with no further quality control criteria (3). Testing revealed that this material was capable of exceeding the allowable tensile stress for select structural grade material.

Tension tests (6) of various thicknesses and grades of Douglas-fir veneer utilized an unjointed 3/4-inch PLV configuration with nominal widths of 4 inches, 8 inches, and 12 inches. Results indicated that width had no significant effect, but greater strengths and MOE could be created by decreasing veneer thickness and using higher veneer grades.

In ultrasonic stress-wave timing of various qualities of veneer (19), tensile strength and stiffness were reported for 1/4-inch Douglas-fir veneer PLV. A summary of these and other findings is compiled in Table 2. Commercially available product design allowables are listed in Table 1.

TABLE 2. — Investigations of parallel-laminated veneer tensile properties.

Investigator	Specimen size	Veneer joint	Species <sup>a</sup>	Thickness	Raw material quality	Average ultimate tensile	Coefficient of variation	MOE	No. of tests
				(in.)		(psi)	(percent)	(psi x 10 <sup>6</sup> )	
Bohlen (4)	1.5 by 3.5	Butt	DF	1/4	No. 2 sawlogs	5,650 4,205	14	2.20	94
Bryant (6)	.75 by 3.5	None	DF	3/16	C-grade	4,080	20	2.03	21
				1/8		5,650	14	2.05	21
				1/10		5,650	16	2.17	21
				3/16	D-grade	2,660	26	1.61	21
				1/8		3,810	23	1.75	21
				1/10		5,520	18	1.80	21
Jung <sup>b</sup> (19)	1.5 by 3.5	None	DF	1/4	Random <sup>b</sup>	6,010	17	2.63	14
					Low	5,500	15	2.27	14
					Medium	6,080	17	2.52	14
					High	6,700	11	2.94	14
Kunesh (26)	1.5 by 2.3	Crushed-lap	DF	1/8-1/10	C- and D-grade	6,435	12	2.04	362
Moody (31)	1.5 by 3.5	Butt	DF	1/8	High-C	5,320	5.7	2.07	9
				1/8	Low-C	5,580	12	2.08	9
			SP	High-C	5,490	11	2.00	9	
				Low-C	4,560	11	1.93	9	

<sup>a</sup>Species are Douglas-fir (DF) and southern pine (SP).

<sup>b</sup>Jung's veneer quality levels were determined by segregating according to stress-wave timing results.

### Shear strength

A long-standing concern in using PLV for structural products stems from its reduced shear strength along the grain as a result of veneer checks induced by rotary peeling, drying, and pressing. Early tests (32) of 1/2-inch southern pine veneer Press-Lam<sup>®</sup> indicated a shear strength perpendicular to the glue-line at 50 percent of clear solid-wood strength. A vacuum-pressure soak oven-drying treatment (VPS-OD) of block shear specimens resulted in Press-Lam<sup>®</sup> that achieved 60 percent of solid-wood strength. Shear strength in a plane perpendicular to the lathe checks (parallel to the glue-line) tested higher than shear strength in the plane of the checks (perpendicular to the glue-line) by approximately 20 percent, but still only 60 percent of dry solid-wood strength. This thick veneer demonstrated a "worst case" condition, due to the depth of lathe checks.

Commercially produced 2- by 8-inch PLV members of 1/4-inch Douglas-fir veneer were used (4) to thoroughly assess shear properties of structural size PLV members and smaller specimens. Standard 2- by 2-inch blocks were tested for shear strength in the three orthogonal planes. In addition, 2- by 8-inch specimens were subjected to short beam shear tests using flatwise and edgewise bending orientations. Despite indications of bonding difficulty, possibly due to oven-drying of the veneer, results indicated that this material could exceed the North American timber standard (1) of 95 psi allowable shear stress value for Douglas-fir dimension lumber. However, it could not satisfy allowable values for wide-face loading, as in plank applications, or for shear critical sections of glue-laminated beams (165 psi) (1). Butt joints did not influence shear strength in edge-loaded members.

PLV produced from thin Douglas-fir veneer (1/8 to 1/10 in.) met allowable horizontal shear design values of 285 psi when stressed in a plane perpendicular to the glue-line, and 190 psi when loaded parallel to the glue-line (33). These figures exceed the design values for solid Douglas-fir. Another test (7) resulted in horizontal shear design allowables for a 1/8-inch veneer PLV product of 210 psi perpendicular and 125 psi parallel to the glue-line. Performance improvements perpendicular to the glue-line were most likely caused by penetration of the adhesive into the veneer's lathe checks. Processing pressure most assuredly influences shear strengths parallel to the glue-lines.

### Bending strength and stiffness

Early tests (12, 13, 19, 23, 24, 32) of thick-veneered (>3/16 in.) PLV members all utilized butt jointed veneers. When 1/2-inch clear southern pine veneer was used in vertical laminations (32), the predominant bending failure mode was found to be flexural shear. As discussed previously, deep lathe checks seriously degraded shear strength of these thick veneer members. Thin-veneered (<3/16 in.) configurations were tested in bending (26). Table 3 summarizes flexural testing of PLV materials; Table 1 lists allowable design specifications for code-approved products.

### Fasteners

An important aspect to consider in using PLV structurally is the performance of mechanical fasteners in the material. Limited investigations (13) showed significant reduction in both withdrawal and lateral strength of nails and staples inserted perpendicular to the glue-lines when compared to solid Douglas-fir or southern pine. However, contradictory results were re-

TABLE 3. — Flexural test data for various parallel-laminated veneer materials.

Investigator	Specimen size	Veneer joint	Species <sup>a</sup>	Veneer thickness (in.)	Raw material quality	Average	Coefficient of variation	Average	Average	Coefficient of variation	Average	No. of tests	
						Modulus of rupture, edge		Modulus of elasticity, edge	Modulus of rupture, flat		Modulus of elasticity, flat		
						(psi)	(percent)	(psi x 10 <sup>6</sup> )	(psi)	(percent)	(psi x 10 <sup>6</sup> )		
Jung <sup>b</sup> (19)	1.5 by 3.5	None	DF	1/4	Random <sup>b</sup>	10,150	11	2.55	8,640	30	2.41	14	
					Low	8,420	12	2.25	8,470	29	2.23	14	
					Medium	9,520	13	2.48	7,860	19	2.45	14	
					High	10,400	12	2.79	9,060	14	2.80	14	
Koch (24)	1.5 by 3.5	Butt	SP	1/4	Wood's run	9,310	20	1.91	--	--	--	92	
Kunesh (26)	1.5 by 2.3	Crushed-lap	DF	1/8-1/10	C- and D-	--	--	2.31	11,430	11	2.34	33	
Moody and Peters (32)	2 by 2	None	SP	1/2	"Clear" logs	11,720	14	2.04	12,480	12	2.13	24	

<sup>a</sup>For species — DF denotes Douglas-fir; SP is southern pine.

<sup>b</sup>Jung's material quality was determined by stress-wave timing methods as discussed in the text under "Grading and quality control."

ported (20) for tests in which three thicknesses (4/10, 3/16, 1/8 in.) of Douglas-fir veneer were used to make nominal 2-inch PLV members.

With few exceptions, performance of mechanical fasteners was no different from performance in solid wood. With truss-plate connections, a 16 percent reduction in strength was found for the 4/10-inch veneer product. However, when staples, bolts, and split-ring connectors were inserted perpendicular to the glue-lines of the 3/16- and 1/8-inch veneers products, these PLV's performed better than solid-wood components, due to reduced lathe check depth, higher material density, and reinforcement of the glue-line by the adhesive. Ten-penny connections, nailed perpendicular to the glue-line, showed lateral resistance of approximately 20 percent below required design values in all veneer thicknesses.

Therefore, in most cases, fastening problems should not be anticipated for PLV in commercially available veneer thicknesses. When using lateral loading, however, design values should be verified before using the product.

#### Impact and fracture toughness

Interest in using laminated veneer materials for aircraft structures prompted investigation (30) into static and impact strengths of 1/7-inch veneer Sitka spruce PLV. Results showed decreased work to failure in static bending for the laminated material compared to solid wood. Impact tests showed increased toughness rather than reduced shock resistance for material loaded perpendicular to the plane of the laminations.

Comparing the cleavage properties of solid wood with those of rotary-cut 1/6-inch Douglas-fir veneer PLV (8), the PLV was shown to retain only 30 to 50 percent of solid-wood cleavage strength. Failures were gradual, unlike solid wood's tendency toward fast fracture. Better cleavage characteristics were found in 1/10-inch PLV (8) than in the 1/6-inch PLV, due in part to healing of lathe checks by adhesive penetration and

slight deviation of grain alignment in adjacent plies. PLV's made of 1/32-inch laminates were higher in fracture toughness than solid wood, while 1/8- and 1/16-inch laminates were weaker (29).

#### Dimensional stability

Warping of nominal 2-inch PLV's was at first (12) thought to be minimal, but continued study indicated some warping and cupping (13). Symmetric placement of tight or loose veneer faces in the finished construction minimized dimensional instability of large or deep members. To minimize or prevent cupping when production constraints require veneer layup in one direction only (tight side up or tight side down), a single ply of cross-banding on each face of nominal 1-1/2-inch PLV may be necessary.

Comparison of PLV and solid-sawn lumber leads one to believe that, similarly, dimension changes are related to changes in MC. To this writer's knowledge, no corroborative data has been published. Thickness swell (TS) characteristics are surely critical for PLV products processed with heat and pressure. Plywood products have shown up to 6 percent TS upon placement in 90 percent relative humidity (RH) conditions. Evaluations of PLV dimensional properties are a needed addition to the literature.

#### Durability

Minimal delamination of PLV bondlines was found (28) when 1/8-inch PLV laminations, after accelerated exposures, were compared to delaminations formed in solid-sawn lumber's bondlines. Prior to exposure, PLV shear strength was lower than in solid-sawn material, but following accelerated cycling, the two did not differ significantly.

This lack of relative degradation was explained by the fact that the exposed surfaces of rotary-cut veneer are predominately tangential. Thus, laminations have similar growth-ring orientations when bonded, are relatively stress-free, and microchecks initiated by the lathe checks are limited to one or two veneer thick-



nesses. Solid-sawn material, on the other hand, has widely divergent growth-ring alignments when bonded into glulam members. When the materials are wetted, moisture-induced expansion causes differential movement between laminations which, in turn, causes the severe splits and checks that were found in the solid-wood laminations.

In efforts to improve the weathering resistance of PLV, 15 surface coatings and edge treatments are currently being studied (11). They include epoxy tar, neoprene asphalt, water repellents, paints, veneer overlays, and resin-impregnated kraft paper. Inspection at three sites after 1-year exposure has shown veneer and kraft-paper overlays to be most effective in reducing degradation.

### Grading and quality control

One of the most promising structural qualities of PLV is the capability to insure product performance through control of constituent veneers. Species and grade of log were the only quality controls placed on raw materials in early studies (2, 12, 13, 23, 24, 32) which were aimed at total utilization of lower grade logs, not at obtaining a high stress-grade product with low population variance.

Veneer quality has been graded using three methods: visual inspection, mechanical testing of veneer MOE, and veneer stress-wave timing (SWT). Visual grading has been most widely used due to its presence in plywood veneer standards, but because it depends upon visual evidence of defects, it is somewhat subjective and therefore not totally satisfactory for screening veneers used in stress-rated PLV.

Veneer tensile MOE has been tested mechanically only in research situations (25). Commercial implementation is probably not feasible. Veneer MOE was first assessed indirectly (25) through SWT in an attempt to assign stiffness values for optimal placement of the veneers in a PLV beam section. Grouping of stiff veneers in outer faces of these beams reportedly resulted in beams one-third stiffer and with allowable bending stresses one-third greater than using beams with randomly arranged veneers. Though the SWT equipment was under development at the time, sufficient benefit was shown to recommend development of production scale machines that could test veneer MOE.

One commercial grading system (used in Trus-Joist's MICRO=LAM® (35) for a mix of C-grade (MOE = 2.15 million psi) and D-grade (MOE = 1.80 million psi) veneers) employs SWT to categorize veneer into four stiffness classes for inclusion into various PLV stress grades. One test (18) of SWT application to veneer classification studied veneer sheets 10 inches wide and 48 inches long with signal travel over the entire 48-inch length. Inaccurate results were obtained due to failure to detect diving grain and inability to detect knots which were masked as the waves traveled around the defect, but these inaccuracies were overcome by reducing the distance between sender and receiver and by separating the 10-inch-wide sheet into 2-inch strips.

PLV performance and predictability of properties were considered (19) when utilizing SWT-tested veneer. Using 1/4-by 5-inch by 8-foot Douglas-fir veneer, stress-wave transit time was measured for the entire 8-foot length. A dynamic MOE was calculated after correction for mass density of the piece of veneer. Pieces were then segregated into four groups: a) randomly selected from the population, b) high-predicted MOE, c) median-predicted MOE, and d) low-predicted MOE. Nominal 2 by 4 PLV members were subsequently fabricated from these veneer groups and were tested in flexural and tensile modes. Predictions of mechanical stiffnesses were found to correlate fairly well with measured SWT values (edgewise,  $r^2 = 0.82$ ; flatwise,  $r^2 = 0.88$ ; tensile modulus,  $r^2 = 0.66$ ). Ultimate strength predictions yielded poor correlations from both SWT MOE and mechanical-test MOE measurements. Segregation of veneers into the three SWT classes did result in three distinctive stiffness performance groups, but the strength classes were not statistically different (at 95% level).

### Summary

Tests and structural applications of parallel-laminated veneer (PLV) show that it can be a compatible substitute for stress-rated solid-sawn lumber. Continuous processing of veneers, as envisioned by PLV's first researchers, has been successfully implemented in commercial operations. Feasibility of production would be greatly enhanced by yield improvements, but the increased yields projected by early studies still require verification from actual industry yields.

Fabrication of butt joints within PLV members has received considerable study, though research into the basic mechanics of such joints is lacking. Crushed lap and scarf joints between veneer should be investigated for strength, durability and, in the case of scarf joints, feasibility of production. End jointing of nominal 1- and 2-inch PLV with finger joints or scarf joints has been assessed to be feasible in joining panel-length PLV material produced in conventional plywood operations. The development of methods or techniques that reduce adhesive-bonding costs could have a significant effect on PLV manufacturing as well as other adhesive-sensitive wood processing.

The flexibility available for producing PLV makes mechanical properties difficult to assess except on a case-by-case basis through physical testing. High research priority should be given to developing statistically based models which would allow evaluations of changes in veneer thickness, species, and veneer quality. Studies of shear strength, fastener performance, and fracture toughness should be pursued to identify the degrading mechanisms which have been hypothesized in preliminary research. Accurate assessments should be made of the level of durability required to assure product performance at expected levels. In addition, the development of more sensitive veneer-grading criteria is essential to allow consistent appraisal of PLV performance. If population variance is kept to a minimum, the reward will be high allowable design stresses.

## Literature cited

1. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. 1974. Timber Construction Manual. J. Wiley & Sons, New York.
2. BOHLEN, J. C. 1972. Laminated veneer lumber—development and economics. Forest Prod. J. 22(1):18-26.
3. \_\_\_\_\_ . 1974. Tensile strength of Douglas-fir laminated-veneer lumber. Forest Prod. J. 24(1):54-58.
4. \_\_\_\_\_ . 1975. Shear strength of Douglas-fir laminated-veneer lumber. Forest Prod. J. 25(2):16-23.
5. BRYANT, B. S. 1978. Parallel-laminated veneer: its manufacture and potential as a structural lumber substitute. Proc. of Sixth Plywood Clinic. Portland, Ore.
6. \_\_\_\_\_ , T. L. LAUFENBERG, AND J. A. YOUNGQUIST. End jointing of laminated veneer lumber for structural use. (To be published.)
7. BUILDING OFFICIALS AND CODE ADMINISTRATORS, INT. 1980. Lamineer 22 F, tension ply lumber. Res. Rept. No. 79-33.
8. ECHOLS, R. M., AND R. A. CURRIER. 1973. Comparative properties of Douglas-fir boards made from parallel-laminated veneers vs. solid wood. Forest Prod. J. 23(2):45-47.
9. FAHEY, T. D. 1974. Veneer recovery from second-growth Douglas-fir. USDA Forest Serv. Res. Pap. PNW 173. Pacific Northwest Forest and Range Expt. Sta., Portland, Ore.
10. \_\_\_\_\_ AND D. C. MARTIN. 1974. Lumber recovery from second-growth Douglas-fir. USDA Forest Serv. Res. Pap. PNW 177. Pacific Northwest Forest and Range Expt. Sta., Portland, Ore.
11. FEIST, W. C., AND R. W. JOKERST. 1979. Evaluation of surface coatings and treatments to improve exterior performance of laminated veneer products. USDA Forest Serv. Progress Rept. No. 3, FPL 3212, 4-78-8. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
12. FPL PRESS-LAM RESEARCH TEAM. 1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 175. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
13. \_\_\_\_\_ . 1977. Progress in technical development of laminated veneer structural products. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 279. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
14. FRASER, H. R. 1981. Laminated timber product makes debut in Finland. World Wood 21(5):39.
15. FRITZ, D. W. 1969. The photoelastic coating method applied to the stress analysis of wood. Master's Thesis, Oregon State Univ., Corvallis, Ore.
16. JOKERST, R. W. 1972. Residual heat of drying accelerates adhesive cure. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 179. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
17. \_\_\_\_\_ . 1978. Investigation of the potential for reduction of adhesive use in the manufacture of Press-Lam. USDA Forest Serv. Office Rept. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
18. JUNG, J. 1979. Stress-wave grading techniques on veneer sheets. USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rept. FPL 27. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
19. \_\_\_\_\_ . 1982. Properties of parallel-laminated veneer from stress-wave tested veneers. Forest Prod. J. 32(7):30-35.
20. \_\_\_\_\_ AND J. DAY. 1981. Strength of fasteners in parallel-laminated veneer. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 389. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
21. \_\_\_\_\_ AND J. MURPHY. 1983. An investigation of the fracture of butt joints in parallel-laminated veneer. Wood and Fiber Sci. 15(2):116-134.
22. KEIL, B. 1979. Trus-Joist's MICRO = LAM product stretches timber supply. Plywood and Panel 20(1):24-26.
23. KOCH, P. 1967. Super-strength beams laminated from rotary-cut southern pine veneer. Forest Prod. J. 17(6):42-48.
24. \_\_\_\_\_ . 1973. Structural lumber laminated from 1/4-inch rotary-peeled southern pine veneer. Forest Prod. J. 23(7):17-25.
25. \_\_\_\_\_ AND G. E. WOODSON. 1968. Laminated butt-jointed, log-run southern pine veneers into long beams of uniform high strength. Forest Prod. J. 18(10):45-51.
26. KUNESH, R. H. 1978. MICRO = LAM: structural laminated veneer lumber. Forest Prod. J. 28(7):41-44.
27. LARSON, D. S. 1981. The technical and marketing feasibility of producing synthetically reinforced parallel-laminated veneer material. Master's Thesis, Michigan Technological Univ., Houghton, Mich.
28. LAUFENBERG, T. L. 1982. Exposure effects upon performance of laminated veneer lumber and glulam materials. Forest Prod. J. 32(5):42-48.
29. LEI, Y. K., AND J. B. WILSON. 1979. Fracture toughness of parallel-laminated veneer. Forest Prod. J. 29(8):28-32.
30. LUXFORD, R. F. 1944. Strength of glued-laminated Sitka spruce made of rotary-cut veneers. Army-Navy Committee: Aircraft Design Criteria No. 1512.
31. MOODY, R. C. 1972. Tensile strength of lumber laminated from 1/8-inch-thick veneers. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 181. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
32. \_\_\_\_\_ AND C. C. PETERS. 1972. Strength properties of rotary knife-cut laminated southern pine. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 178. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
33. NATIONAL RESEARCH BOARD. 1981. MICRO = LAM laminated veneer lumber. Rept. No. NRE-126, Council of American Building Officials, Whittier, Calif.
34. NELSON, S. A. 1972. Structural applications of MICRO = LAM lumber. Civ. Eng. 42(7):57.
35. PIETERS, A. R. 1980. Ultrasonics, the modern approach to increasing strength predictability of PLV lumber. Presented at Forest Prod. Res. Soc., Pacific Northwest Chapter Meeting, Eugene, Ore.
36. SAMPSON, D. R. 1980. End-joint tensile strength of 3/4-inch Douglas-fir laminated veneer lumber. Master's Thesis, Univ. of Washington, Seattle, Wash.

# End jointing of laminated veneer lumber for structural use

J.A. Youngquist  
T.L. Laufenberg  
B.S. Bryant

---

## Abstract

Laminated veneer lumber (LVL) materials represent a design alternative for structural lumber users. The study of processing options for producing LVL in plywood manufacturing and glued-laminating facilities is of interest as this would allow existing production equipment to be used. This study was conducted in three phases to assess the feasibility of using visually graded veneer to produce 8-foot LVL lengths which, when end jointed, could be competitive with existing structural lumber products. Phase I evaluated panel-length 3/4-inch-thick LVL made from C- or D-grade 3/16-, 1/8-, or 1/10-inch-thick veneer, and the effect of specimen width on flexural and tensile properties. Phase II evaluated the use of vertical and horizontal finger joints and scarf joints to join 3/4-inch thicknesses of LVL. Phase III investigated end-joint configurations for 1-1/2-inch thicknesses of LVL. Comparison of the LVL tensile properties with several grades of structural lumber shows that C-grade veneer in 1/8- and 1/10-inch thicknesses can be used to produce a structural product. No width effects could be detected in this study. The strengths of all of the LVL specimens (both unjointed and jointed) compared favorably with most high-strength lumber grades. The low variability of strength properties of the LVL contributed to this favorable strength comparison.

---

Parallel-laminated veneer (PLV) panels, when ripped into lumber-width, become laminated veneer lumber (LVL). LVL is proving to be a commercially viable product in markets traditionally held by select grades of stress-rated solid-sawn lumber (6, 7). The LVL products on the U.S. market at present (6, 8) utilize a

proprietary process for manufacturing extremely long lengths of the material both in panel widths and in LVL form. The proprietary process requires a substantial capital investment, limiting production of LVL. If existing plywood facilities were adapted to processing of 5/8-inch- to 1-1/2-inch-thick panels, subsequent panel ripping and end jointing of the resultant structural components could conceivably compete both in price and performance with the highest structural grades of lumber. Herein lies the major concern of this study: Is it technically feasible to manufacture end-jointed LVL from PLV panels made in conventional plywood presses?

An evaluation of the production and marketing feasibility of LVL products made from panel lengths (16) indicated that the most promising of these applications were engineered products in long lengths such as headers, truss chords, tension lamination stock, or manufactured housing components. Another area shown to have market potential for LVL included products requiring reliable strength properties, availability

---

The authors are, respectively, Project Leader and Engineer, Composite Products, USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab., P.O. Box 5130, Madison, WI 53705; and Professor, Wood Utilization Tech., College of Forest Resour., Univ. of Washington, Seattle, Wash. This research was funded by a cooperative agreement between the Univ. of Washington College of Forest Resour. and the Forest Prod. Lab. The contributions of Raymond Nizolek, Dennis Sampson, and William W. Chastain, graduate student research assistants, are gratefully acknowledged. This research would not have been possible without the wholehearted cooperation of the American Institute of Timber Construction, The American Plywood Assoc., and industry. The assistance of Catherine Marx, Research Engineer at the Forest Prod. Lab., in providing advice and review comments on this report is greatly appreciated. This paper was received for publication in November 1983.

<sup>c</sup> Forest Products Research Society 1984.  
Forest Prod. J. 34(11/12):25-32.

in satisfactory sizes, and the capability of being treated with preservatives. Such products would include truck decks, scaffold planking, crossarms, and ladder rail stock.

In light of the potential markets for LVL products, it was of interest to evaluate some of the anticipated LVL constructions that utilized various thicknesses and grades of veneer without end joints, and then to study the properties of the more promising of these in the end-jointed form. This study was an outgrowth of earlier work at the Forest Products Laboratory on PLV products made from thick veneer (11, 17).

This study was divided into three phases. Phase I evaluated the processing variables of veneer grade, veneer thickness, and LVL width on the mechanical properties of 3/4-inch Douglas-fir LVL. Phase II involved study of vertical and horizontal finger joints and plain scarf joints in panel-length 3/4-inch LVL and their performance under tensile loading. Phase III considered jointing and face laminating of 3/4-inch (nominal 1-in.) material to produce 1-1/2-inch (nominal 2-in.) LVL with offset scarf and a three-stage — or folded — scarf joint.

No attempt was made to develop design properties for any material in this study. Sample sizes were selected for assessment of technical feasibility of producing high-strength LVL using plywood and glued-laminating (glulam) facilities.

#### Phase I — LVL performance study

The objective of Phase I was to study the effect of veneer grade, veneer thickness, and LVL width on the bending strength, bending modulus of elasticity, tensile strength, and tensile modulus of elasticity of LVL made from 3/4-inch, 8-foot panels of PLV.

A thickness of 3/4 inch was selected for several reasons: 1) a market exists for nominal 1-inch structural lumber, used, for example, in lightweight trusses for mobile homes; and 2) some softwood plywood plants in the Douglas-fir region may prefer to manufacture 3/4-inch-thick panels because the "daylight" (the opening between press plates) may be too small for the more conventional, thicker panels.

#### Specimen fabrication and testing

The three Douglas-fir veneer thicknesses selected were nominal 3/16-, 1/8-, and 1/10-inch, commonly available in West Coast plywood plants. To make 3/4-inch-thick PLV billets, four, six, and eight plies of veneer, respectively, were required. Mill-run veneer, from mixed old-growth and young-growth Douglas-fir of both C and D grades, as defined by Product Standard PS 1-74 (15), was used throughout.

Since width effects have been found to influence the strength properties of structural lumber, and since knots and knotholes in Douglas-fir veneer tend to occur in rows across the veneer width, it was felt prudent to include a side-matched width factor in the experiment. Thus 3-1/2-, 7-1/4-, and 11-1/4-inch widths were selected as representative of the normal widths of structural lumber used in the glulam industry.

A commercially produced phenol-formaldehyde resin formulation, commonly used in the plywood in-

dustry, was applied to the veneer with a double roll spreader. Normal resin spread rates (typically 60 lb./1,000 ft.<sup>2</sup> of glueline) were used. Typical pressing times for plywood with similar veneer thickness constructions were used (11 min. at 285°F for the 1/10-in. veneer), but a lower-than-normal pressure (150 psi) was used to reduce compression losses in the PLV. In all, 72 nominal 2- by 8-foot half panels (billets) of PLV were pressed at a commercial plywood plant in Tacoma, Wash. After pressing, the PLV panels were taken to a remanufacturing operation where they were trimmed and ripped into 12 sets of the 3 widths.

Half of the 8-foot-long, side-matched sets of three widths were tested in full-span tension to determine both stress at failure and tensile modulus of elasticity (MOE). Testing procedures outlined in ASTM D 198-76 (3) were used. A 48-inch gauge-length was used to measure the specimen stiffness. The other half of the side-matched sets were tested for modulus of rupture (MOR) and MOE in flatwise bending, using the test procedures outlined in ASTM D 3043-76 (4). The test machine imposed flexural stresses on the specimen by applying a pure moment force perpendicular to the plane of the panel.

#### Results and discussion — Phase I

The tensile MOE values were distributed about a mean of  $2.09 \times 10^6$  psi for all C-grade veneer specimens and  $1.72 \times 10^6$  psi for all D-grade veneer specimens (Tables 1 and 2). The flexural MOE average for C-grade material was  $2.23 \times 10^6$  psi and for D-grade equaled  $1.88 \times 10^6$  psi (Tables 1 and 2). These differences in both tensile and flexural MOE were deemed significant. Specimen width and veneer thickness did not significantly affect either the tensile or flexural MOE. Comparisons of different populations of data were performed by an analysis of variance (ANOVA) at a confidence interval of 95 percent.

The overall average tensile strengths of the C-grade constructions were significantly greater than the D-grade material (5,130 psi vs. 3,990 psi). The overall average MOR values for flatwise bending specimens also showed this result (7,190 psi vs. 5,780 psi). For both C- and D-grade veneer, the overall average MOR for flatwise bending of 3/16-inch-thick veneer LVL was significantly lower than that obtained from 1/8- and 1/10-inch veneer LVL. Specimen width did not significantly affect the flatwise bending MOR. The overall averages for both strength properties tested for LVL made with D-grade veneer were significantly lower than LVL with C-grade veneer, except for material made from 1/10-inch veneer, where a nonsignificant difference was found between grades.

Thus, significant differences for both MOE, tensile strength, and MOR for C and D veneer grades, suggest that D-grade veneer, from some mills at least, might produce satisfactory LVL if restrictions could be imposed on existing grading rules to eliminate large areas of sloped grain that are associated with burls, knots, and knotholes of Douglas-fir, but that are not measured as part of the knot or the knothole for grading purposes.

TABLE 1. — Detailed summary of test results for Phase I.

Specimen width	Veneer grade	Veneer thickness	Tension <sup>a,b</sup>		Flat-wise bending <sup>a,b</sup>	
			Avg. strength	Avg. MOE	Avg. MOR	Avg. MOE
(in.)		(in.)	(psi)	(million psi)	(thousand psi)	(million psi)
3-1.2	C	3.16	4,130 (14.7)	2.07 (13.7)	5,670 (24.3)	2.14 (14.7)
		1.8	5,420 (21.9)	1.94 (7.2)	8,080 (20.9)	2.21 (10.2)
		1.10	5,594 (16.1)	2.11 (10.4)	7,970 (21.5)	2.28 (6.9)
	D	3.16	2,730 (33.2)	1.60 (13.7)	3,970 (39.8)	1.80 (13.1)
		1.8	4,300 (24.9)	1.75 (6.2)	5,670 (25.0)	1.80 (9.5)
		1.10	5,440 (22.5)	1.77 (8.1)	7,470 (14.8)	1.86 (10.4)
7-1.4	C	3.16	3,950 (22.2)	2.04 (16.3)	6,530 (37.1)	2.20 (7.3)
		1.8	5,700 (9.6)	2.09 (8.4)	8,150 (8.2)	2.24 (6.4)
		1.10	5,850 (16.3)	2.21 (9.8)	7,340 (15.3)	2.28 (5.3)
	D	3.16	2,710 (28.8)	1.62 (14.8)	4,800 (23.2)	1.82 (9.1)
		1.8	3,660 (13.9)	1.71 (5.7)	6,340 (22.1)	1.92 (18.6)
		1.10	5,640 (17.5)	1.86 (6.9)	6,800 (8.5)	1.86 (10.5)
11-1.4	C	3.16	4,170 (25.6)	2.00 (10.7)	5,650 (16.9)	2.23 (7.4)
		1.8	5,830 (8.7)	2.13 (2.7)	7,960 (7.4)	2.25 (8.5)
		1.10	5,500 (17.0)	2.20 (7.2)	7,420 (11.1)	2.28 (6.7)
	D	3.16	2,540 (12.4)	1.63 (11.3)	4,810 (21.1)	1.89 (5.1)
		1.8	3,460 (23.5)	1.77 (11.3)	5,900 (12.3)	2.01 (12.0)
		1.10	5,460 (12.4)	1.80 (5.8)	6,260 (13.9)	1.93 (7.6)
All widths	C	3.16	4,080 (20.4)	2.3 (13.4)	5,950 (27.8)	2.19 (9.8)
		1.8	5,650 (13.9)	2.05 (7.4)	8,060 (12.9)	2.25 (8.0)
		1.10	5,650 (15.9)	2.17 (9.0)	7,580 (16.3)	2.28 (6.0)
	D	3.16	2,660 (25.7)	1.61 (12.7)	4,530 (27.7)	1.84 (9.0)
		1.8	3,810 (22.8)	1.75 (7.6)	5,970 (19.9)	1.91 (13.9)
		1.10	5,520 (17.5)	1.80 (6.2)	6,840 (14.2)	1.88 (9.2)

<sup>a</sup>Numerical average of seven tests; moisture content averaged 9.5% for tension tests, 7.2% for bending tests.  
<sup>b</sup>Numbers in parentheses are coefficients of variation (COV).

TABLE 2. — Overall summary of test results for Phase I.

Specimens	Veneer grade	Veneer thickness	Tension <sup>a</sup>			Flat-wise bending <sup>a</sup>	
			Avg. strength	5% exclusion limit <sup>b</sup>	Avg. MOE	Avg. MOR	Avg. MOE
		(in.)	(psi)	(psi)	(million psi)	(thousand psi)	(million psi)
All widths <sup>c</sup>	C	3.16	4,080 (20.4)	2,650	2.03 (13.4)	5,950 (27.8)	2.19 (9.8)
		1.8	5,650 (13.9)	4,300	2.05 (7.4)	8,060 (12.9)	2.25 (8.0)
		1.10	5,650 (15.9)	4,100	2.17 (9.0)	7,580 (16.3)	2.28 (6.0)
	D	3.16	2,660 (25.7)	1,480	1.61 (12.7)	4,530 (27.7)	1.84 (9.0)
		1.8	3,810 (22.8)	2,310	1.75 (7.6)	5,970 (19.9)	1.91 (13.9)
		1.10	5,520 (17.5)	3,860	1.80 (6.2)	6,840 (14.2)	1.88 (9.2)
All widths and all thickness	C	—	5,130	—	2.09	7,190	2.24
	D	—	3,990	—	1.72	5,780	1.88

<sup>a</sup>Numbers in parentheses are coefficients of variation (COV).  
<sup>b</sup>Lower 5% exclusion limit =  $x - t_{0.95} \times COV \times 100$ .  
<sup>c</sup>Numerical average of 21 tests; moisture content averaged 9.5% for tension tests, 7.2% for bending tests.  
<sup>d</sup>Numerical average of 63 tests.

Statistical analysis revealed that the width effect was not significant for any property tested. Thus, chance combination of defects (knots, knotholes, and sloped grain) between plies within the critical section of any individual piece of LVL (i.e., veneer grade) was more important than the influence of defects across the width of any one ply of the three side-matched specimens. Even in the narrow boards, the relatively high proportion of the width affected by wild grain of a single

veneer layer apparently was not as important as the combined effect of grain deviations through the entire cross section.

Since the intent of this study was to show feasibility, the sample sizes do not lend themselves to definitive statements regarding allowable stresses for the LVL constructions. A comparison that may prove informative is one between tensile tests of solid-sawn single-ply 2 by 6 members (AITC uses two or more plies

as a basis for assigning design allowables) and the LVL members tested in this study. Recently reported (9) tensile strength values for single plies of several laminating grades are summarized in Table 3 along with the coefficient of variation (COV) and the 5 percent exclusion limit for each group. The C-grade 1/10-inch veneer material had a 5 percent exclusion limit (Table 2) that has the same value for the 301A grade (1) of laminating stock (4,100 vs. 4,080 psi, respectively), assuming normal distribution of both populations (see Tables 2 and 3). A number of LVL configurations appear to be capable structural substitutes for the 301B grade (1). All of the LVL configurations, except the 3/16-inch D grade, are shown to be feasible substitutes for the L2 grade (13). All of the C-grade LVL made from either 3/16-, 1/8-, or 1/10-inch veneer appear to be capable of being substituted for either the L1 or L2 grades (13). The favorably low COV for the LVL material is readily seen in this comparison.

### Summary — Phase I

LVL made from the 1/10- and 1/8-inch Douglas-fir unselected, visually graded C-grade veneer used in this study has sufficient tensile strength to be feasible as a substitute for high-grade structural lumber. Laminating grades of LVL can also be made from C-grade 3/16-inch veneer. There was no effect of width for either grade or thickness of veneer used. With some visual grading restrictions with respect to sloped grain, 1/8- and 1/10-inch D-grade veneer might also be used to make LVL suitable as a substitute for intermediate grades of structural lumber.

### Phase II — 3/4-inch LVL end joints

The objective of Phase II was to determine if 1/10-inch C-grade LVL could be end jointed to produce material of satisfactory tensile strength using conventional equipment found in typical plants producing structural glulam timbers.

### Materials and methods

The 3/4-inch LVL test material was fabricated using 1/10-inch-thick veneers. Specimen joints tested

included a plain scarf, a horizontal finger joint, and a vertical finger joint (Fig. 1), as well as a control (no joint).

Douglas-fir veneer was produced at a Washington mill using second-growth, small-diameter logs (average block diam. = 10.5 in.) and at an Oregon mill that used typical old-growth logs with a wide range of diameters. All veneer was judged by mill graders to be representative of the C-grade (14) quality classification. Before laminating, the defects in each 25-inch-wide by 100-inch-long veneer sheet were carefully mapped, and the sheet's MOE was determined (10) by a non-destructive stress wave timing-test method.

Panel layup was as in Phase I, except that the panels were pressed in a single-opening hot press at the American Plywood Association laboratory in Tacoma, Wash. The 8-foot-long panels of PLV were ripped to 5-1/2-inch-wide by 8-foot-long pieces of LVL. Each type of end joint in the LVL was produced by one of three different glulam plants using commercial procedures. The scarf joint was cut with a slope length of 6-1/4 inches on the 3/4-inch LVL, a slope of 1:8.3. A phenol-resorcinol-formaldehyde adhesive was applied to the scarf, and the material was clamped and allowed to cure overnight at 110°F.

The horizontal and vertical finger joints had a finger length of 1.11 inches, a pitch of 0.23 inch, and a tip thickness of 0.03 inch. The LVL was machined using a production line setup that included an impression glue applicator, a crowder mechanism to develop end pressure, and a radiofrequency tunnel for adhesive cure. A melamine urea-formaldehyde adhesive was used for these two joint types.

Tensile tests of the three joint types and the control specimens were made with a long-span machine to test the 8-foot-long specimens in accordance with ASTM D 198-76 (3). Gauge length of each test specimen was approximately 4 feet. A total of 136 specimens was tested to failure and the results analyzed statistically.

TABLE 3. — Summary of tensile strength of lumber grades for single-ply Douglas-fir 2 by 6's.

Grade	No. of specimens (9)	Average ultimate tensile strength (9) (psi)	Coefficient of variation (9) (%)	5% exclusion limit* (psi)
301A <sup>b</sup>	20	7,450	26.2	4,080
301B <sup>c</sup>	21	5,220	36.1	1,980
Select structural <sup>d</sup>	26	4,710	33.6	2,010
L1 <sup>e</sup>	19	4,230	38.5	1,410
L2 <sup>e</sup>	22	3,370	37.5	1,200

\*Lower 5% exclusion limit =  $\bar{x} - t_{.05} \bar{x} COV/100$ . Calculation made based on data presented in reference (9).

<sup>b</sup>Identical to 301-24 laminating grade lumber described in AITC (1) except that a 4-ft., rather than 2-ft., spacing was required between maximum strength-reducing characteristics.

<sup>c</sup>Identical to 302-22 (see (1)).

<sup>d</sup>See (14).

<sup>e</sup>See (13).

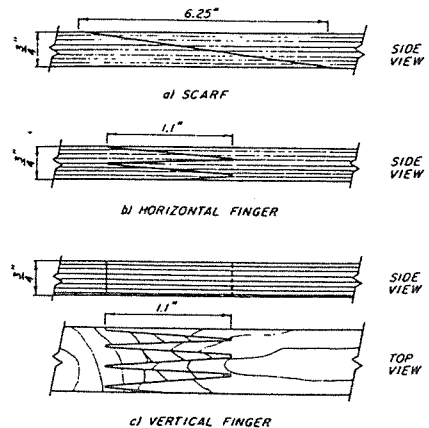


Figure 1. — End joints investigated for use with 3/4-inch LVL.

## Results and discussion — Phase II

Machining of the vertical and horizontal finger joints in the LVL resulted in fast dulling of the cutterhead. This was especially apparent in the horizontal finger joints where the hard gluelines wore the cutters at one location on the tool. An estimate of the usable time for each cutter assembly was 5 minutes compared to 4 hours for solid wood. The cutting of vertical finger joints in the LVL was estimated to shorten cutterhead life to 30 minutes.

The LVL from old-growth Oregon veneer was consistently stronger in tensile tests than the Washington second-growth veneer LVL, and this effect was statistically significant for all joints tested and for the control specimens (Fig. 2). The veneer from both log sources had the same specific gravity (0.45 oven-dry weight and volume), but the veneer from small (Washington) logs had wider growth rings and hence a higher percentage of earlywood exposed in single fingers of the end joints. After lamination, the Oregon LVL had a higher specific gravity (0.55) than the Washington LVL (0.53), due to higher compression losses during processing.

The scarf joint showed the highest ultimate tensile strength, averaging 5,210 psi for both types of veneer (Fig. 2). This compared favorably with the unjointed controls, which averaged 5,480 psi. The joint efficiency (average joint strength/control strength) of this material averaged 95 percent (10). The vertical and horizontal finger joints showed both lower composite averages — 4,550 and 3,890 psi, respectively — and correspondingly lower joint efficiencies — 83 and 71 percent, respectively.

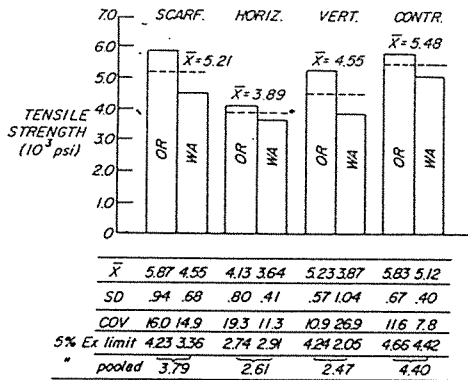


Figure 2. — LVL end-joint tensile strength for end-matched scarf joints, horizontal and vertical finger joints, and controls, made from eight plies of 1/10-inch C-grade old-growth (Oregon) and young-growth (Washington) Douglas-fir veneer, for 18 and 16 specimens, respectively, for each joint type.

5% Ex limit = lower 5% exclusion limit =  $\bar{x} - 1.755$  SD.  
(Note: This assumes a normal distribution with 16 degrees of freedom).

$\bar{x}$  = average tensile strength.

--- = average tensile strength pooled for species.

For example,  $\bar{x} = 5.21$  is the average of 5.87 and 4.55 and is the result of averaging 34 tests.

As in Phase I, the sample size precludes an accurate assignment of allowable tensile strengths for these jointed LVL configurations. Comparison of the Figure 2 data with that in Table 3 allows some inferences regarding the capability of jointed 3/4-inch LVL. Assuming normality and using the 5 percent exclusion limits for comparison purposes, all of the joint types provided performance equal to or better than all the lumber grades except for the 301A grade (1).

Differences in strength between scarf and finger joints could be due to the different glues used, or to the fact that different assembly and curing techniques were used for the two-joint assemblies.

Imperfect bonding and veneer defects initiated failures in the finger-jointed specimens. A fairly thick bondline was evident on the finger joints. This could be attributed to poor machining, low pressure on the joint surfaces as the adhesive was cured, and/or excessive assembly time (Fig. 3). Defects in the veneers outside of the joint area accounted for the failure in some of the specimens with vertical finger joints. On the other hand, veneer defects outside the joint area did not influence failures of the horizontal finger joints, as these failures occurred almost entirely within the joint. Knots and sloping grain, when encountered in close proximity to the joint and stacked in a single location in the LVL, provided a low fracture-energy path away from the joint so that failure was only partly in the joint. Another common failure observed in the vertical finger joints was not associated with a specific type of defect but with stacked areas of low-density earlywood in adjacent plies (Fig. 4). Failures in scarf joints typically were associ-

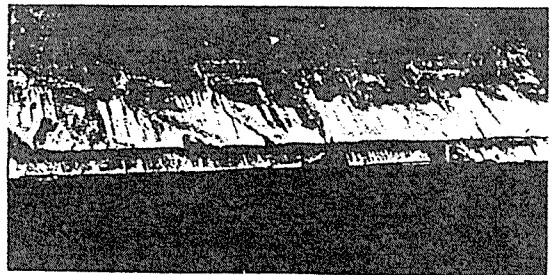


Figure 3. — Failure surfaces of a horizontal finger joint (10).



Figure 4. — Brash earlywood tensile failures with bond failures of vertical finger-joint specimen (10).

ated with knots, sloping grain, and poor bonding (Fig. 5). But there were fewer instances of multiple-ply, brush, earlywood failures such as were encountered in the finger-jointed specimens.

Twenty-six percent of the scarf-jointed and 11 percent of the vertical finger-jointed specimens failed independent of the joint. Not only was the horizontal finger joint the weakest of the three, but all failures for this joint were limited to the joint area. Both the lower strength values and the failure mode for the horizontal finger joint are attributed to burnished finger joint surfaces caused by dull cutterheads.

### Summary — Phase II

The average tensile strength of end-jointed 1/10-inch LVL made from veneer from young-growth Douglas-fir was consistently lower than LVL made from larger trees, regardless of the joint configuration being tested. Higher density of the old-growth LVL was assumed to be responsible for this difference in strengths. Combining results from both veneer sources, the decreasing order of average joint tensile strengths and joint efficiencies compared with side-matched controls (5,480 psi) was as follows: scarf joints (5,210 psi, 95%), vertical finger joints (4,550 psi, 83%), and horizontal finger joints (3,890 psi, 71%). Excessive cutterhead wear during machining of the horizontal finger joints was deemed to be the cause of their poor performance. Both the controls and the end-jointed material demonstrated, as in Phase I, that the low variability that is characteristic of LVL makes it a plausible substitute for high-quality structural lumber.

### Phase III — tensile strength of nominal 2-inch end-jointed LVL

If nonproprietary LVL is to be used in the glued-laminating industry as a substitute for tension laminations (on the tension side) of glulam beams, it will most likely be used in nominal 2-inch dimensions. It has been demonstrated in Phase I that LVL made from C-grade, 1/8-inch or 1/10-inch Douglas-fir veneer is a feasible substitute for some grades of high-strength lumber and in Phase II that 3/4-inch LVL can be end jointed satisfactorily. The primary objective of Phase III

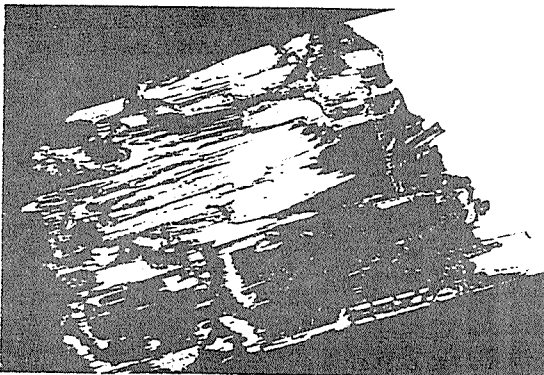


Figure 5. — Scarf-joint failure surface (10).

of the research program was to determine the properties of 1-1/2-inch (nominal 2-in.), end-jointed LVL, produced in a commercial plywood plant and end jointed in a commercial glulam facility.

A secondary objective was to evaluate the destructive tensile testing of end-jointed LVL, using both a portable short-span testing machine and the long-span test machine used in Phase II.

### Specimen fabrication and testing

Three groups of 1/10-inch C-grade (15) Douglas-fir veneer were used to fabricate 3/4-inch LVL to be face laminated into 1-1/2-inch material (nominal 2 in.). Young-growth small-diameter logs comprised the source material for one group, old-growth logs provided another, and a mix of young- and old-growth logs were peeled for the third veneer group.

Panel size and manufacturing conditions were similar to those used in Phase I except nine plies were used instead of eight to allow for compression and planing losses. An abrasive planing operation was included because of the necessity of face gluing the 3/4-inch LVL material either to itself or to solid-sawn lumber. Following rough trimming and planing on one side to achieve a 3/4-inch finished thickness, the panels were ripped into nominal 1- by 6-inch boards. In an attempt to minimize error due to substrate variation, side-matched specimens, similar to those in Phases I and II, were used.

Because of the machining problems discussed in the Phase II results, no attempt was made to produce finger joints. Of the two joint types tested, one was the plain scarf, used on 3/4-inch-thick LVL pieces with subsequent face lamination of two jointed pieces; joints were separated by 6 inches (Fig. 6, top). The second type was a commercially used three-stage — or folded — scarf joint made after lamination of two 3/4-inch LVL pieces into nominal 2-inch stock (Fig. 6, bottom). A slope of 1:8.3 was used on all the joints. The joints were fabricated in commercial laminating plants and glued into boards approximately 40 feet long. The LVL pieces were then crosscut into 7-1/2-foot lengths with the joint centered on the specimen.

Destructive tensile testing of the 2-inch LVL joints was performed using two devices — the portable AITC short-span (2-ft. gauge length) machine and a longer span machine, at Washington State University, capable of stressing 4 feet of the specimen. A total of 42 tensile tests was made on each of the two joint types using the

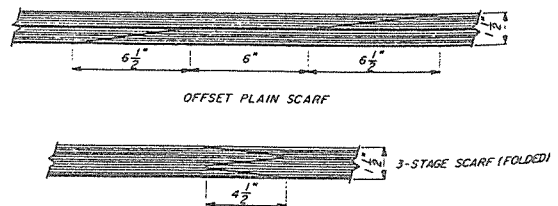


Figure 6. — Jointing methods evaluated with nominal 2-inch LVL.



procedures outlined in ASTM D 198-76 (3). Seven specimens from each of the three material groups were tested to failure on each of the test machines.

### Results and discussion — Phase III

Use of the two tension test machines showed similar tensile strengths within each test group (Fig. 7). An exception to this is in the old-growth veneer/offset scarf-joint specimens; no explanation for this anomaly has been postulated. Based upon these relatively few tension tests conducted, the portable test AITC device appears to be as capable as the longer span machine for in-plant certification of new joint configurations as well as for routine quality control. Since a statistical difference could not be substantiated for the results of the two test machines, the results are pooled in all later analyses.

Although the mean strength of the three-stage scarf joint was significantly lower than the offset scarf joint when made with the mixed young-old growth and the young-growth material groups, the variance of the three-stage scarf-jointed material remained consistently lower than the offset scarf joints. For the young-growth and old-growth material groups, the combination of the low mean and small variance of the three-stage scarf test results provided 5 percent exclusion limits that exceeded those of the offset scarf joints (Fig. 7).

Using the pooled tensile test data from the two test machines, the nominal 2-inch end-jointed LVL can be compared with tension tests of structural lumber grades (Table 3). The offset scarf-jointed material for all three material groups had means that exceeded those found

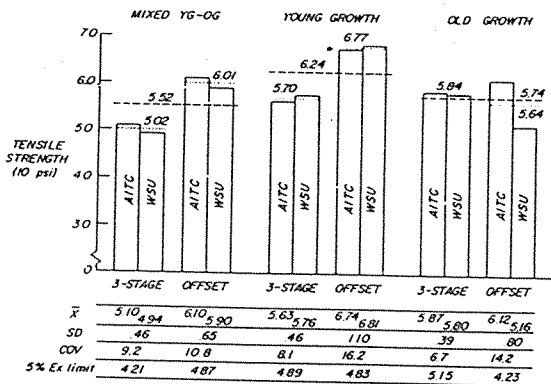


Figure 7. — Tensile strength of three-stage and offset scarf joints from three material groups in nominal 2-inch LVL made with 18 plies 1/10-in. C-grade Douglas-fir veneer and tested with two testing machines, seven specimens of each.

Mixed YG-OG = nominal 2-inch LVL associated with 18 plies of 1/10-inch C-grade young-growth and old-growth Douglas-fir veneer.

- $\bar{x}$  = average tensile strength.
- ..... = tensile tests for two test machines.
- = average tensile strength pooled for species.

for all lumber grades except the 301A. The only three-stage scarf-jointed material whose mean could not match the 301B material was composed of the mixed young-growth and old-growth veneer source.

If the assumption of a normal distribution (Fig. 8) of strength is valid for the end-jointed 1-1/2-inch LVL and for the lumber grades listed in Table 2, then an estimate of near-minimum strength values for each group may be made as the fifth percentile of the population distribution (5% exclusion limit). This 5 percent exclusion limit is typically used as a starting point for developing design stresses (12). Comparison of these values in Table 2 and Figure 7 shows that all of the lumber grades listed, including the 301A, have 5 percent exclusion limits that are lower than the end-jointed LVL materials. By multiplying the estimated fifth percentiles in Figure 7 by a 0.475 factor (2), design levels of between 2,000 psi and 2,400 psi may be attainable. The low tensile strength variance of this LVL along with high-quality end joints promises to provide a material that can be a viable substitute for the highest grades of structural lumber.

Previous research (5) showed the feasibility of using LVL for tension laminations of glulam beams. The tensile strengths of the two LVL materials used in that work averaged 6,970 psi and 5,510 psi with COV's less than 8 percent. Means of five of the six samples listed in Figure 7 fall between those cited with a COV ranging between 6.7 and 14.2 percent. Thus, the following conclusion from reference (6) seems to be relevant for some configurations of end-jointed LVL as well:

"Glulam beams with LVL tension laminations may have design strengths in bending 10 to 20 percent higher than did beams with conventional lumber-type tension laminations. This improvement was attributed to reduced variability in strength resulting in higher near-minimum strength values."

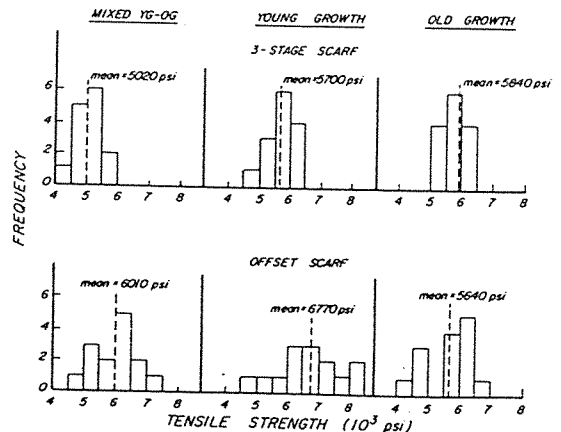


Figure 8. — Distribution of nominal 2-inch end-jointed LVL member tensile strengths (combined test machine results).

### Summary — Phase III

Nominal 2-inch LVL appears to be capable of meeting the requirements of structural lumber and can be made in existing plywood plants from readily available Douglas-fir C-grade even when jointed from 8-foot LVL. It can be end jointed efficiently using an offset scarf joint or a three-stage—folded—scarf. Tensile design levels between 2,000 psi and 2,400 psi were deemed attainable. For assessing the ultimate joint strengths in tension, a destructive in-plant test using a portable tension-testing machine was shown to provide data that did not differ significantly from a longer span test machine.

### General conclusions

Results indicate that unjointed 8-foot LVL made from mill-run C-grade 1/8- or 1/10-inch veneers can, with adequate processing quality control, be feasible as a substitute for high grades of structural lumber. Preliminary conclusions from this limited testing also show no width effect for different grades or thicknesses of veneer.

End jointing of 3/4-inch LVL with scarf joints with a slope of 1:8.3 resulted in a retention of 95 percent of the material tensile strength. Vertical finger joints retained 83 percent of the material tensile strength and horizontal finger joints yielded 71 percent. End-jointed 3/4-inch LVL provided tensile strengths that exceed the 301B (1) and the Select Structural grades of structural lumber (13). While end jointing of LVL is plausible, the reader should be cautioned to the practical problems of end jointing high-strength material and the extra quality control steps required to assure the result. Two methods of end jointing nominal 2-inch LVL from 8-foot lengths provided tensile strengths with sufficiently low variance to justify preliminary calculated design levels from 2,000 psi to 2,400 psi.

This research opens the door to a number of product and process options. Though additional quality control would be required, structural grades of LVL can be produced in plywood facilities with visually graded veneer. These 8-foot lengths, ripped to lumber widths, can

then be end jointed in a laminating plant, under proper quality control guidelines, to produce lengths of high-grade structural lumber.

### Literature cited

1. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. 1982. Standard specifications for structural glued-laminated timber softwood species. AITC 117-82. AITC, Englewood, Colo.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1975. Evaluating allowable properties for grades of structural lumber. ASTM D 2915-74. ASTM, Philadelphia, Pa.
3. \_\_\_\_\_. 1976. Static tests of timbers in structural sizes. ASTM D 198-76. ASTM, Philadelphia, Pa.
4. \_\_\_\_\_. 1981. Standard methods of testing plywood in flexure. ASTM D 3043-76. ASTM, Philadelphia, Pa.
5. BRAUN, M.D., and R.C. MOODY. 1977. Bending strength of small glulam beams with a laminated-veneer tension lamination. *Forest Prod. J.* 27(11):46-51.
6. FRASER, H.R. 1981. Laminated timber product makes debut in Finland. *World Wood* 22(5):39.
7. KEIL, B. 1977. Truss joist's Micro-Lam product stretches timber supply. *Plywood and Panel* 20(1):22-26.
8. KUNESH, R.H. 1978. Micro-Lam: structural laminated veneer lumber. *Forest Prod. J.* 28(7):41-44.
9. PETERSON, J., G. MADSON, and R.C. MOODY. 1981. Tensile strength of one-, two-, and three-ply glulam members of 2 by 6 Douglas-fir. *Forest Prod. J.* 31(1):42-48.
10. SAMPSON, D.R. 1980. End joint tensile strength of 3/4-inch Douglas-fir laminated veneer lumber (LVL). Thesis for Master of Science Degree. Univ. of Washington, Seattle, Wash.
11. SCHAFFER, E.L., J.L. TSCHERNITZ, C.C. PETERS, R.C. MOODY, R.W. JOKERST, and J.J. ZAHN. 1977. Press-Lam: progress in technical development of laminated veneer structural products. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 279. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
12. TUOMI, R.L., and R.C. MOODY. 1979. Historical considerations in evaluating timber structures. USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rept. FPL-21. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.
13. WEST COAST LUMBER INSPECTION BUREAU. 1966. Standard grading and dressing rules (No. 15) for Douglas-fir, west coast hemlock, Sitka spruce, and western red cedar. (Rev.) WCLIB, Portland, Oreg.
14. WESTERN WOOD PRODUCTS ASSOCIATION. 1970. Grading rules for western lumber. WWPAA, Portland, Oreg.
15. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. 1974. Voluntary product standard for construction and industrial plywood, PS 1-74. Amended 1978. NBS, Gaithersburg, Md. 35 pp.
16. YOUNGQUIST, J.A., and B.S. BRYANT. 1979. Production and marketing feasibility of parallel-laminated veneer products. *Forest Prod. J.* 29(8):45-48.
17. \_\_\_\_\_, D.S. GROMALA, R.W. JOKERST, R.C. MOODY, and J.L. TSCHERNITZ. 1979. Design, fabrication, testing and installation of a press-lam bridge. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 332. Forest Prod. Lab., Madison, Wis.

United States  
Department of  
Agriculture

**Forest Service**

Forest  
Products  
Laboratory

Research  
Note  
FPL-0251

May 1985

36

# Performance of a Press-Lam Bridge

## A 5-Year Load-Testing and Monitoring Program

**David S. Gromala, Research Engineer<sup>1</sup>**  
**Russell C. Moody, Research Engineer**  
Forest Products Laboratory, Madison, WI

**Michael M. Sprinkel, Research Scientist**  
Virginia Highway and Transportation Research Council, Charlottesville, VA

### Abstract

This paper summarizes the results of load tests on an experimental highway bridge erected and put into service on the George Washington National Forest in Virginia in 1977. The bridge, made entirely of Press-Lam, a laminated veneer lumber (LVL) product, was load tested 1 month, 1 year, and 5 years after erection.

The bridge continues to perform quite well and, although a slight increase in bridge flexibility was noted during this time period, the deflections were well below those calculated in the original design. Thus, laminated veneer structural members can be successfully used in exterior structures.

**Keywords:** Press-Lam, laminated veneer, bridge, load testing.

---

Gromala, David S.; Moody, Russell C.; Sprinkel, Michael M. Performance of a Press-Lam bridge: A 5-year load-testing and monitoring program. Res. Note FPL-0251. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 1985. 7 p.

A limited number of free copies of this publication are available to the public from the Forest Products Laboratory, P.O. Box 5130, Madison, WI 53705. Laboratory publications are sent to over 1,000 libraries in the United States and elsewhere.

The construction technique and materials used in the bridge tested in this study are discussed fully in the following publication: Youngquist, J. A.; Gromala, D. S.; Jokerst, R. W.; Moody, R. C.; Tschemitz, J. L. Design, fabrication, testing, and installation of a Press-Lam bridge. Res. Pap. FPL 332. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 1979.

The Laboratory is maintained in cooperation with the University of Wisconsin.

<sup>1</sup>David S. Gromala is now senior engineer with the Trus Joist Corporation, Richardson, TX.

## Introduction

In this study, a small (20-ft span) highway bridge made of Press-Lam (a laminated veneer lumber (LVL) product developed at the Forest Products Laboratory) was proof loaded to full design load three times—after 1 month, 1 year, and 5 years of use. The bridge had been put into service on the George Washington National Forest in Virginia in 1977. Testing was conducted by the Virginia Highway and Transportation Research Council. The bridge (figs. 1 and 2) was designed for a standard American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) HS20-44 (AASHTO 1973) design load. An allowable bending stress of 2,000 pounds per square inch (lb/in.<sup>2</sup>) was determined in the laboratory—on the basis of testing 18 stringers to failure.

Overall, the physical condition of the bridge is very good. The deck system, protected by an asphalt-wearing surface on top, shows only slight evidence of weather-induced checking at the exposed end grain. The stringers are in excellent condition. Only the bridge guardrail system, also made of Press-Lam, has significantly delaminated at several locations since 1977. However, a discussion of the guardrail system is beyond the scope of this paper. The reader is directed to Sprinkel (1982) for further information on this topic.

## Background

During the early 1970's, a major research program at the U.S. Forest Products Laboratory was organized to develop an LVL product that could be used as a structural lumber substitute. The product, called Press-Lam, was produced by press drying and then laminating the still hot veneers. Press-Lam was conceived as a means to manufacture large structural timbers from small trees. Although much of the research was process oriented, the program was designed to culminate in the manufacture of sufficient quantities of Press-Lam for both laboratory testing and installation into demonstration structures, the largest of which is the bridge discussed in this paper.

LVL differs in significant ways from other commercially available products such as glued-laminated timbers and plywood. LVL is manufactured from peeled veneers, whereas glued-laminated timbers are manufactured from solid lumber laminations. This provides the potential for increased yield because peeling produces no sawdust. LVL is produced with all plies oriented in the same direction, rather than alternating directions as in plywood. Use of parallel plies produces a product that behaves much like lumber.

There are several LVL products currently in commercial production. Press-Lam, not currently being manufactured, differs from these LVL products in commercial use primarily in its use of a press dryer and in the use of the residual heat of drying to cure the adhesive.

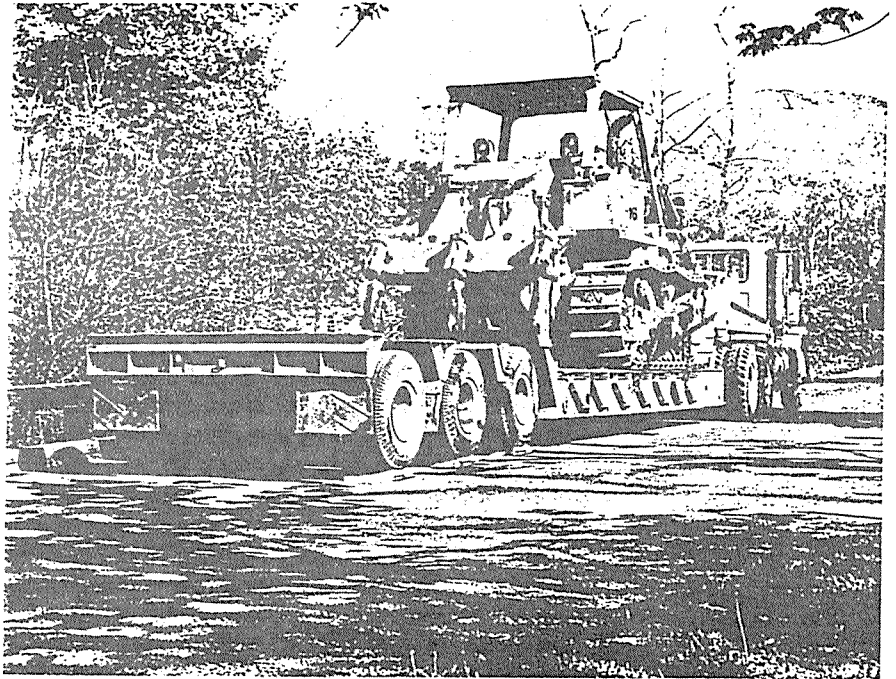


Figure 1.—Loaded rear-axle trailer used for load testing the Press-Lam bridge.  
(M85 0023-17)

## Research Methods

The bridge was loaded with the rear tandem axle of a truck 2 weeks after construction in the spring of 1977, again a year later in 1978, and once again 5 years later in 1982. The load of approximately 40,000 pounds was applied at stringer midspans at 13 locations across the bridge (fig. 1). Deflections were measured at the midspan of each stringer. Also, the moisture content on the stringers and the deck was measured after 3 months, 6 months, and then annually, using a resistance-type moisture meter.

The deflection results were analyzed by comparing the readings for the tests after 1, 2, and 5 years, and by comparing results with those predicted by the design. Moisture contents for similar locations were also compared over the 5-year period.

**Results and Discussion**

Results of the deflection readings are summarized in Table 1, and an example of the deflection profile under one loading is shown in figure 3. The bridge became slightly more flexible with age. Total deflection increased 9 percent after 1 year and 17 percent after 5 years. This might be expected, as moisture content of the bridge members has increased by up to 5 percent since 1977 (fig. 4).

Based on the deflection data, the load distribution factor for the interior stringers has remained nearly constant, decreasing less than 4 percent since installation. After 5 years, the load-distributing ability of the deck remains about 25 percent better than assumed in the initial design. Thus, deflections are all less than 75 percent of those predicted in the design.

Examination of deflection profiles for the 3 load tests for all 13 load positions confirmed the increase in flexibility. However, some of the increase in deflections appears to be a "smoothing" of the deflection profile (especially between the wheel loads) rather than an overall increase in deflections across the bridge.

If the deflections are plotted as influence lines for the stringers (fig. 5), other observations are apparent. The first is that the same smoothing effect that was indicated in the deflection profiles occurs in the influence lines. A second, more significant, observation is that the maximum deflection observed in the 1977 load test was not exceeded in the 1978 or 1982 load tests for 7 of the 11 stringers. For the other four stringers, the 1977 maximum was exceeded by 8 to 17 percent in subsequent tests.

**Table 1.—Comparison of results of three series of load tests<sup>1</sup>**

	<b>Initial loading</b>	<b>1-year loading</b>	<b>5-year loading</b>
Test date .....	May 4, 1977	April 26, 1978	May 11, 1982
<b>Loading</b>			
Total test load (lb) .....	40,780	40,280	39,400
Theoretical maximum test moment as a percentage of moment produced by 32,000 lb AASHTO axle ..	97.6	96.4	93.6
<b>Deflection</b>			
Theoretical maximum midspan deflection (in.):			
Interior stringers .....	0.446	0.440	0.431
Exterior stringers .....	0.440	0.435	0.425
Measured maximum midspan deflection as a percentage of the theoretical:			
Interior stringers .....	62.5	63.6	74.1
Exterior stringers .....	70.8	71.4	73.4
Total deflection for 13 loading positions (in.) .....	13.21	14.27	14.88
Ratio of total deflection to that at initial loading <sup>2</sup>	1.00	1.09	1.17
Interior stringer load distribution factor based on deflection data .....	5.65	5.60	5.45

<sup>1</sup>Note: Adapted from Sprinkel (1982).

<sup>2</sup>Normalized to 40,780 lb loading.

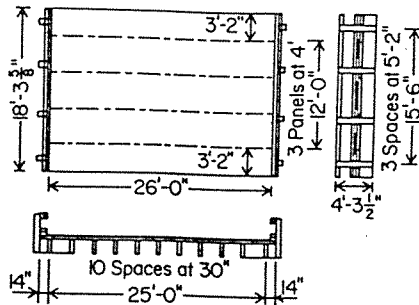


Figure 2.—Construction of Press-Lam bridge. (ML85 5007)

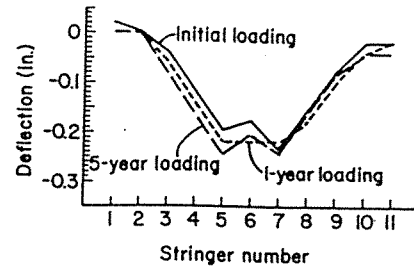


Figure 3.—Typical deflection profile for the truck positioned near the center of the bridge. (ML85 5006)

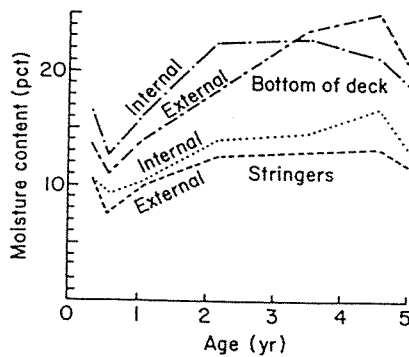


Figure 4.—Change in moisture content of various bridge components. (ML85 5004)

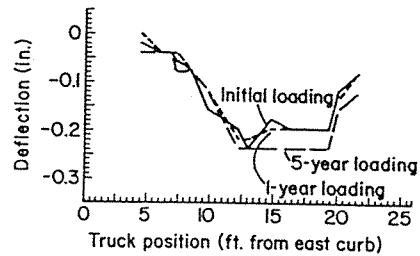


Figure 5.—Typical influence line for stringer deflection related to truck position. This shows the deflection of a stringer located at about 13 feet from the east curb when the load is located at different positions. (ML85 5005)

If one assumes that the stiffness of the structural elements remains reasonably constant over time while the composite action between the deck and stringers decreases, one might expect the type of behavior exhibited in the Press-Lam bridge. Under this assumption, the deck would retain its ability to distribute load laterally but would not effectively transmit loads longitudinally. In this way, if a given portion of the load was transmitted to the supports due to plate action in the 1977 test, a larger share of the loads would be transmitted laterally in the subsequent tests. This effect would produce smoother deflection profiles and higher deflections in those stringers not directly under a load.

Pault et al. (1977) showed that composite action in reduced-scale glulam timber bridge systems can stiffen a bridge by about 8 percent. Thus, to obtain larger increases in deflection one must assume that the stringer stiffnesses have also decreased somewhat. If one assumes that the increase in stringer deflections with age is due to a decrease in modulus of elasticity of the deck and the stringers (as a result of increased moisture content or some type of structural deterioration), both the deflection profiles and the influence lines should exhibit relatively uniform increases in deflection in the subsequent load tests. Such behavior was not observed. Thus, the most reasonable hypothesis that is consistent with the test data is that either the stiffness of the stringers has decreased relative to the deck stiffness or the composite action between them has decreased substantially.

## Summary

A prototype bridge constructed entirely of Press-Lam, an LVL product, was erected in 1977 and field tested to its design load three times over a 5-year period. The bridge continues to perform satisfactorily, in fact better than predicted by the original design calculations.

The bridge has become more flexible with age; however, maximum stringer deflections have not significantly increased. The load test data indicate that at least part of the loss in stiffness may be caused by a decrease in deck-stringer composite action. Some additional loss in stiffness may be caused by a decrease in stringer stiffness.

## Literature Cited

- American Association of State Highway and Transportation Officials.** Standard specifications for highway bridges. Washington, DC: AASHTO; 1973.
- Pault, J. D.; Gutkowski, R. M.; Goodman, J. R.; Bodig, J.** Composite action in glulam timber bridge systems. Structural Res. Rep. 17. Fort Collins, CO: Colorado State University; 1977.
- Sprinkel, M. M.** Evaluation of the performance of a Press-Lam timber bridge: bridge installation and load test. Interim Rep. No. 1. VHTRC 78-R2. Virginia Highway and Transportation Research Council; 1977.
- Sprinkel, M. M.** Evaluation of the performance of a Press-Lam timber bridge: bridge performance and load test after 1 year. Interim Rep. No. 2. VHTRC 78-R57. Virginia Highway and Transportation Research Council; 1978.
- Sprinkel, M. M.** Final report: evaluation of the performance of a Press-Lam timber bridge. VHTRC 82-R56. Virginia Highway and Transportation Research Council; 1982.
- Youngquist, J. A.; Gromala, D. S.; Jokerst, R. W.; Moody, R. C.; Tschernitz, J. L.** Design, fabrication, testing, and installation of a Press-Lam bridge. Res. Pap. FPL 332. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 1979.



**Acknowledgments**

The Press-Lam bridge project was made possible by the cooperation of many people in both State and Federal agencies (Youngquist et al. 1979).

This paper is based on data collected by the Virginia Highway and Transportation Research Council.

# Performance requirements for exterior laminated veneer lumber

Jozsef Bodig  
Joseph Fyie

---

## Abstract

Laminated veneer lumber (LVL) has been commercially manufactured for several years. Most service applications have been for interior structural uses. Current growth is encompassing both exterior and interior uses. Exterior durability requirements for LVL involve some technological unknowns. Preservative treatments for exterior use are frequently used and their effects on modulus of rupture and modulus of elasticity of Douglas-fir MICRO = LAM<sup>®</sup> (LVL) are evaluated in this report. The problem of long-term durability predictions based on short-term records is addressed. The durability of LVL is assessed as a rate process. Durability test results of clear, solid-sawn lumber and LVL are compared. The challenges of obtaining better durability data and developing more reliable accelerated aging test techniques are presented.

---

Commercialization of laminated veneer lumber (LVL) products began with the efforts of the Trus Joist Corporation. Today, this company still produces the bulk of the LVL marketed under the trade name MICRO = LAM<sup>®</sup>.<sup>1</sup> The uses of LVL began with interior applications including such traditional products as I joists, flanges, truss chords, headers, and beams. The prefabricated housing and the mobile home industries are rapidly expanding their use of LVL in areas where strength and dimensional stability are of primary importance. Exterior uses of LVL are also rapidly expanding. Scaffold planking was the first commercial exterior use for LVL. Exterior uses now include truckbed decking, kiln stickers, concrete forms, and utility structures. LVL utility structures, while of recent origin, are becoming popular. These structures utilize LVL for crossarms, deadends, box beams for elevated transformer platforms, and box-shaped poles. Figure 1 shows an LVL transmission Y-tower under load test at the Trus Joist Corporation test facility in Boise, Idaho.

Because of the quickly expanding uses of LVL structures in exterior applications and limited availability of

<sup>1</sup>A registered trademark of Trus Joist Corporation, Boise, Idaho.

<sup>2</sup>Whenever the term MICRO = LAM LVL is used in this paper, it is implied that it was manufactured from Douglas-fir.

long-term performance data (16), accelerated aging tests on Douglas-fir MICRO = LAM LVL<sup>2</sup> were initiated. This paper presents the results of research obtained to date on accelerated aging tests.

## Special characteristics needed for exterior use

The major distinction given to exterior and interior conditions is the severity of the range and fluctuation of the environmental variables. Temperature, humidity, solar radiation, and the mechanical effects of wind, rain, snow, and ice are significant variables. In addition, exterior exposure usually provides favorable conditions for biological deterioration; this may occur indoors as well as outdoors.

Satisfactory performance of LVL in exterior environments is attributed to the following major factors:

1. Strength and stiffness of veneer;
2. Strength and stiffness of glueline;
3. Control of biological degradation of the wood substance;
4. Durability of the glueline;
5. Strength and durability of end joints (if applicable).

The strength loss and delamination of LVL are assumed to be controlled by a rate process. Therefore, an opportunity exists to define in advance the material and glue-bond qualities needed at the time of manufacture for satisfactory long-term performance. Accelerated aging tests help to evaluate the quality of exterior products, however, there is no well-defined relationship available to relate the results to long-term strength performance. Since preservatives easily penetrate LVL (27), this product, if properly treated, can be thoroughly protected against biological deterioration for a long period of time.

Moisture, and temperature gradients, caused by cyclic variations of the exterior environment, produce

---

The authors are, respectively, Principal, Engineering Data Management, Inc., and Professor, Wood Science and Civil Engineering, Colorado State Univ., Fort Collins, CO 80523; and Plant Technical Director, Trus Joist Corp., 93747 Hwy. 99 South, Junction City, OR 97448. This paper was received for publication in January 1985.

<sup>3</sup> Forest Products Research Society 1986. Forest Prod. J. 36(2):49-54.

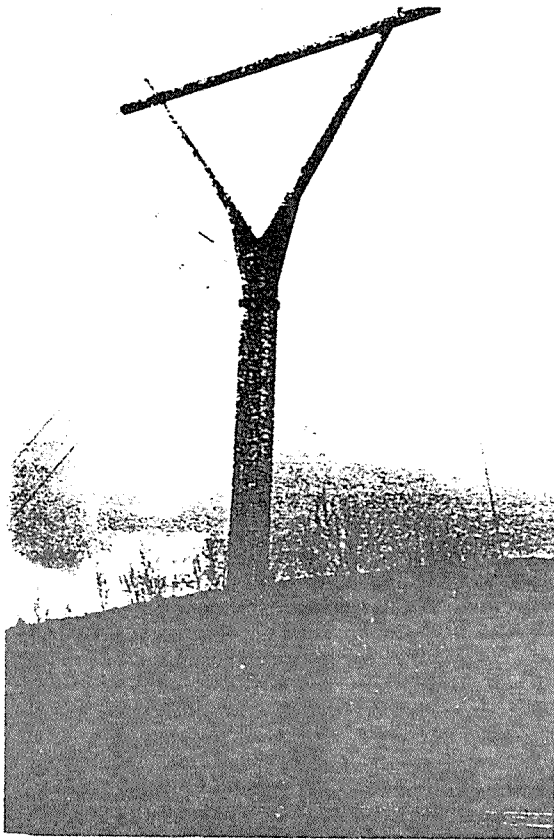


Figure 1. — Full-scale test of LVL Y-tower at the Trus Joist Corporation.

internal stresses in wood members (6, 8). Additional complications arise from the visco-elastic nature of wood products since increased levels of temperature (22) and moisture content (20) contribute to higher creep activities.

Erosion due to wind-blown sand, soil, snow, and ice can be substantial in some regions of the world. Ultraviolet radiation, especially at higher altitudes, can cause degradation of the wood substances also (9). However, none of these variables are as critical as biological degradation due to fungi (23) and insects (10). Under favorable conditions, decay and insects can destroy wood in a short time. Therefore, preservative treatment is highly beneficial to ensure long-term satisfactory performance of wood products in an exterior environment.

For solid wood products, no distinction is made in the manufacturing specifications for exterior or interior uses (26). The designer adjusts the design stress levels for exterior conditions. Furthermore, no correction is applied to preservative-treated wood and the evaluation of the rate of degradation and maintenance requirements are left to the discretion of the designer and user (18). For bonded wood products, such as glulam (1), plywood (19), and LVL, separate specifications are provided for interior and exterior uses. Exterior specifications are more stringent, for both bonding and material quality.

Commercially available LVL is manufactured with an exterior type of adhesive for which quality control is a daily requirement. PSI-83 (19) and ASTM D 905-49 (2) test methods are used to evaluate samples of end product in conjunction with performance strength tests. While stringent controls are used to maintain LVL durability, accelerated aging tests and actual exterior exposure of the products provide additional confidence. Trus Joist Corporation has collected exterior durability data on MICRO = LAM LVL during the past 15 years. Recently, emphasis has been shifted to the evaluation of strength, stiffness, and their rate of degradation.

Biological attack resistance of LVL depends on the quality of preservative treatment. Typically, American Wood Preservers' Association Standards (5) C1-84, C2-84, and C28-84 are used as guidelines for treating LVL. Additional work is needed to formulate treating and other standards which would account for the unique characteristics of LVL. Currently, efforts are underway to formulate LVL standards by ASTM and the American National Standards Institute (ANSI).

When Trus Joist Corporation began the development of LVL utility structures that require the ability to carry loads continuously for many years in exterior exposure, every effort was made to collect and assess all available exterior performance data on LVL. A review of literature generated little information on the long-term performance of wood used in exterior environments for strength degradation versus time in service. An ongoing Electric Power Research Institute project at Colorado State University (12) compiled some in-service strength performance data on utility poles, but these studies have only started to illuminate the complexity of this problem.

Performance data are available for MICRO = LAM LVL used as highway sound barriers in Minnesota. A sample section of this fence was removed for inspection and testing after 6.5 years of exposure. The inspection revealed that the LVL was in excellent condition with no significant delamination and only minor surface checking. Destructive testing of samples indicated good strength and stiffness characteristics. However, the rate of strength deterioration could not be evaluated due to inadequate control information on the mechanical properties prior to weathering.

Trus Joist Corporation established a stake test site in Costa Rica where untreated materials seldom survive a 6-month exposure. Results to date indicate excellent performance by the treated LVL stakes.

Exposure data are extremely valuable to new product development but require a long time to gather. It is clear that industry cannot afford to wait for such data prior to marketing a product. Surely a challenge exists to develop better short-term, accelerated aging techniques that could be used to quantify strength and durability performance of structural members at a given service time in the future for various geographical regions.

#### Rate process model

Currently, there are no known relationships defining the rate of strength and stiffness change of a wood

product with time of exterior exposure. While accelerated aging tests give some indication of the relative performance of different products, it is difficult to correlate these results to in-service performance (7).

An experiment was devised to obtain comparative accelerated aging test data for solid wood and MICRO=LAM LVL. The major objectives of this experiment were to: 1) determine the effect of preservative treatment on the modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) of MICRO=LAM LVL and clear solid Douglas-fir lumber, and 2) compare the rate of degradation of MICRO=LAM LVL to clear solid Douglas-fir.

Because the rate of mechanical property reduction decreases with increasing numbers of wetting and drying cycles (14), a rate model based on a stochastic process (25) was chosen. This model assumes a decreasing rate of degradation with time as shown in Figure 2a. The mathematical relationship for this model is:

$$Y_T = Y_0 e^{bT} \quad [1]$$

where:

$Y_T$  = a given property at time  $T$

$Y_0$  = the corresponding property at  $T = 0$

$b$  = a negative constant

By taking the natural logarithm of both sides of Equation [1], a linear relationship (Fig. 2b) is obtained between  $\ln Y_T$  and  $T$ , which after reorganization becomes

$$\ln(Y_T/Y_0) = bT \quad [2]$$

The ratio of  $Y_T/Y_0$  represents a normalization of the data which is the ratio of a given property at time  $T$  over the initial value at time zero. By plotting the left side of Equation [2] against time, the slope of the degradation,  $b$ , can be determined by statistical curve-fitting procedures.

#### Effect of preservative treatment

To determine the effect of preservative treatment on MOR and MOE and to define the rate of deterioration, side-matched specimens of a medium grade MICRO=LAM LVL and end-matched specimens of clear Douglas-fir lumber were chosen. One-half of the specimens were treated with pentachlorophenol-oil preservative according to AWP Standard C1, C25, and C28 (5) to a minimum retention level of 0.30 lb./ft.<sup>3</sup>.

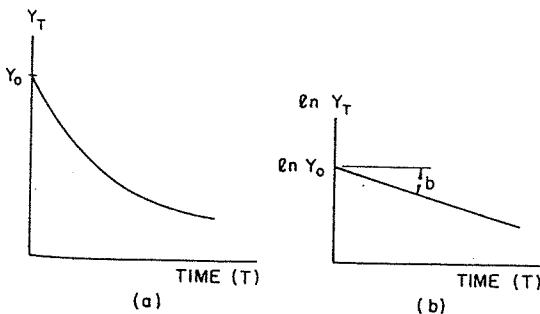


Figure 2. — Model chosen to represent the rate of deterioration: a) decreasing rate relationship, b) linearized relationship.

Thirty-two specimens each of treated and untreated MICRO=LAM LVL and a similar number of treated and untreated Douglas-fir specimens with dimensions of 1.5 inches by 5.5 inches by 32 inches were placed in the weatherometer at the Texas Forest Products Laboratory, Lufkin, Tex., and weathered according to the procedure specified by ASTM D 2898 (3). Samples were periodically removed and tested in flatwise, center-point bending according to ASTM procedure D 198-76 (4).

Forty-six specimens each of treated and untreated LVL and a similar number of treated and untreated Douglas-fir were subjected to wetting-drying cycles at the Trus Joist Products Development Laboratory, Boise, Idaho. Each wetting-drying cycle consisted of 3 days of continuous wetting and 4 days of drying in an outdoor exposure. The first cycle of wetting-drying began on August 1, 1983 and continued for 12 weeks. After this exposure, specimens were removed and were air-dried to a 12 percent nominal moisture content before testing edgewise in third-point bending. All samples were 1.5 inches by 2.5 inches by 48 inches.

No attempt was made to evaluate the difference between MICRO=LAM LVL and clear solid Douglas-fir since the former was not designed to match the strength and stiffness of the solid Douglas-fir. Thus, analysis of variance tests were conducted only to evaluate if the preservative treatment significantly affected the MOR and MOE of MICRO=LAM LVL and solid Douglas-fir.

Table 1 provides the one-way analysis of variance results. It lists the number of samples of the control and the treatment groups for each classification. Note that a portion of the samples subjected to wetting and drying cycles were retained for longer term exposure and therefore were not available for the analysis. The results indicate that only the MOE of MICRO=LAM LVL showed a statistically significant change as a result of preservative treatment.

A review of Table 2 shows that the mean MOE of treated MICRO=LAM LVL ( $1.847 \times 10^6$  psi) is only slightly lower ( $0.07 \times 10^6$  psi) than the untreated mean of  $1.917 \times 10^6$  psi. This reduction in MOE is not much more than that of solid Douglas-fir ( $0.059 \times 10^6$  psi), but proved to be significant at the 5 percent level because of the much lower coefficient of variation of MICRO=LAM LVL (6.1% and 6.6%) than those for solid Douglas-fir (16.2% and 12.2%). Thus, for all practical purposes it can be concluded that the applied preservative treatment did not significantly alter the MOR and MOE of the specimens.

TABLE 1. — Analysis of variance for the evaluation of the significance of preservative treatment.

	MOR		MOE	
	LVL	SOLID*	LVL	SOLID
No. of samples:				
Control	39	39	39	39
Treatment	40	39	39	40
F-ratio	0.12	0.19	6.85	0.73
Significance	NS	NS	5%	NS

\*Clear solid Douglas-fir lumber.

TABLE 2. — Comparison of the mean and variability of treated and untreated LVL and solid Douglas-fir.

	MOR (psi)				MOE (10 <sup>6</sup> psi)			
	LVL		SOLID <sup>c</sup>		LVL		SOLID	
	UTR <sup>a</sup>	TR <sup>b</sup>	UTR	TR	UTR	TR	UTR	TR
Mean	9,811	9,962	13,535	13,280	1,917	1,847	2,172	2,113
Standard deviation	1,690	1,403	3,538	2,946	0.117	0.122	0.351	0.258
Coefficient of variation (%)	17.2	14.1	26.1	22.2	6.1	6.6	16.2	12.2

<sup>a</sup>UTR = untreated.

<sup>b</sup>TR = treated.

<sup>c</sup>Clear solid Douglas-fir lumber.

### Rate of degradation

The model defined by Equation [1] and reorganized in Equation [2], was used to define the significance and the value of the slope, *b*. For each property (MOR, MOE), wetting-drying and weatherometer exposure of treated and untreated MICRO=LAM LVL and solid Douglas-fir, the value of *b* and the corresponding statistics were determined. Each individual mechanical property value was divided by the corresponding control mean. For each ratio, the natural logarithm (*ln*) value was computed and plotted as a function of the number of weathering cycles (*n*). The control values were designated as zero-cycle values. For the wetting-drying evaluation, data were obtained for cycles 3, 6, 9 and 12, whereas for the weatherometer evaluation test, data were generated at 11, 22, 33 and 44 cycles.

Since the  $\ln(Y_T/Y_0)$  for the control mean is zero, the regression intercept was forced through zero. The resulting slope value (*b*), the *t* value for the slope, and the standard error of estimate (SEE) are given in Table 3.

In evaluating the significance of the slope, the *t* value indicates that in six cases the slope was not significantly defined at the 5 percent level of significance (NS); in two cases it was significant at the 5 percent level, and in eight cases, it was significant at least at the 1 percent level. The nonsignificant MOR relationship is for solid Douglas-fir only, while for MOE one out of three times the nonsignificant slope is associated with MICRO=LAM LVL. The meaning of nonsignificance should not be interpreted that for these cases no reduction occurred in MOR or MOE due to weathering, but rather that because of the relatively large variation of the data, this slope could not be defined with a reasonable degree of confidence. Figures 3 and 4 illustrate this point. Figure 3 shows the relationship between  $\ln(MOR_n/MOR_0)$  for untreated MICRO=LAM LVL in wetting and drying and Figure 4 represents the same relationship for solid Douglas-fir. Note the much larger variation of solid Douglas-fir data as compared to that for LVL. The general trend of increased level of significance with decrease in standard error of estimate (SEE) is evident in Table 3.

A trend of larger negative slope for MICRO=LAM LVL than for clear solid Douglas-fir can be seen in Table 3. This would indicate that generally LVL degrades at a faster rate than does clear solid Douglas-fir. However, for design purposes the lower tail distribution of material resistance is of major importance. Thus, the lower

TABLE 3. — Regression statistics for rate of degradation.

	MOR		MOE	
	LVL	SOLID <sup>a</sup>	LVL	SOLID
Wetting - Drying: Untreated				
Slope (10 <sup>-3</sup> )	-10.331	-6.680	-6.658	-1.873
Slope <i>t</i>	-4.15 (1%)	-0.87 (NS)	-6.18 (1%)	-0.58 (NS)
SEE	0.082	0.253	0.035	0.107
Wetting - Drying: Treated				
Slope (10 <sup>-3</sup> )	-8.129	-2.720	-2.783	-4.932
Slope <i>t</i>	-4.86 (1%)	-0.37 (NS)	-1.30 (NS)	-2.21 (5%)
SEE	0.055	0.241	0.070	0.073
Weatherometer: Untreated				
Slope (10 <sup>-3</sup> )	-7.004	-3.373	-7.506	-2.280
Slope <i>t</i>	-5.56 (1%)	-2.42 (5%)	-8.13 (1%)	-1.65 (NS)
SEE	0.141	0.156	0.104	0.155
Weatherometer: Treated				
Slope (10 <sup>-3</sup> )	-7.450	-1.895	-7.420	-2.421
Slope <i>t</i>	-9.32 (1%)	-1.53 (NS)	-13.79 (1%)	-3.41 (1%)
SEE	0.096	0.149	0.065	0.086

<sup>a</sup>Clear solid Douglas-fir lumber.

negative slope of solid Douglas-fir is counteracted by its larger variability. To allow proper comparison of degradation in mechanical properties, the lower 5 percent exclusion limit, *L*<sub>5</sub>, is tabulated for cycles 12 and 44. Twelve cycles are chosen for the wetting-drying evaluation because this was the maximum number of cycles for which data were collected. Computation of *L*<sub>5</sub> at 12 cycles is also useful to compare the two weathering methods. The *L*<sub>5</sub> values at 44 cycles represent the limits of the weatherometer data.

Table 4 gives the resulting normalized *L*<sub>5</sub> values. Observation of these data shows that after 12 cycles the lower 5 percent values of the normalized data (*L*<sub>5</sub>) are higher six out of eight times for MICRO=LAM LVL than for solid Douglas-fir. The trend is reversed for 44 cycles. Further, when comparing all the normalized *L*<sub>5</sub> values in Table 4 at 12 cycles, it can be concluded that the number of wetting-drying cycles provided very close results to those of the weatherometer. A similar conclusion can be drawn from Table 3, comparing slopes although variation between specific slopes is large. The beneficial effect of preservative treatment is also apparent in Table 4 where in 11 out of 12 cases the treated material showed a higher lower 5 percent exclusion limit value than did the untreated materials.

From the various data presented, it can be concluded that both wetting-drying and weatherometer data show a decrease in MOR and MOE with increasing

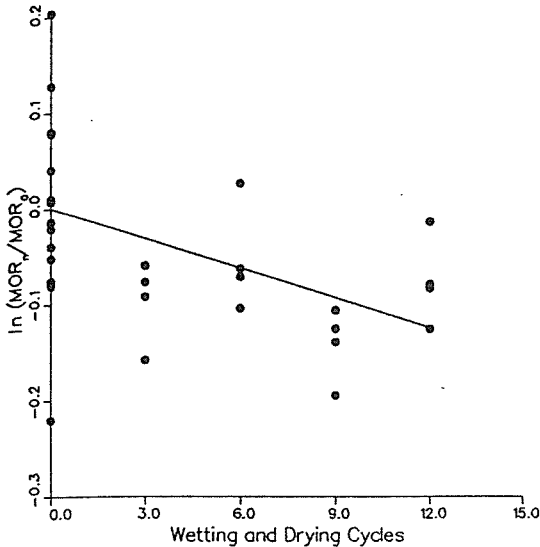


Figure 3. — Relationship between log of normalized MOR and wetting-drying cycle for untreated MICRO=LAM LVL.

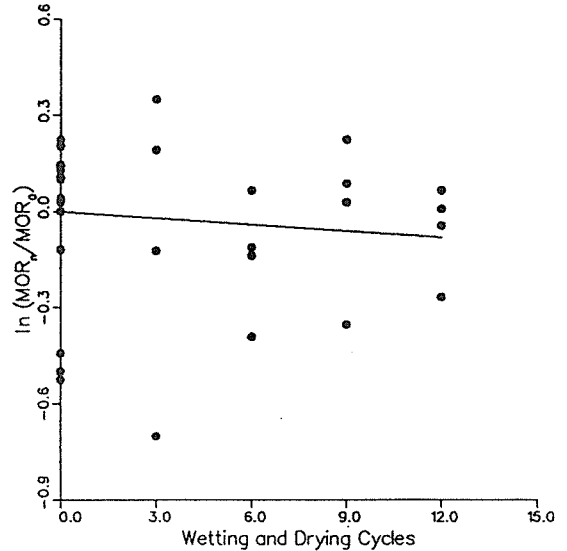


Figure 4. — Relationship between log of normalized MOR and wetting-drying cycle for untreated clear solid Douglas-fir.

number of cycles. However, due to the large variability in the data, especially with solid Douglas-fir, the relationships were not consistently significant. Excluding possible future biological degradation, no significant difference in the degradation of MICRO=LAM LVL as compared to solid Douglas-fir, especially when the lower 5 percent exclusion limit is considered, can be ascertained. Further, it should be noted that the solid Douglas-fir was clear material and the MICRO=LAM LVL represented production grade. Since the rate of degradation of wood is generally a function of material quality, it is likely that structural grade lumber would have shown a higher rate of deterioration than that shown here.

### Research needs

A review of the information available in the literature (17, 11) reveals a lack of available techniques by which the long-term strength and stiffness of a wood structure placed in an exterior environment can be predicted. Yet this specific information is needed by designers (especially those utilizing modern reliability-based design methods) to design a structure at a given level of safety specified for a future time. The problem of exterior exposure is quite complex since load-duration effects must be considered in combination with mechanical and biological degradations.

With few exceptions, wood in its natural state deteriorates rapidly in exterior exposure. The rate of biological deterioration in exterior application, especially in contact with wet ground, is much higher than the rate due to most of the physical agents. Thus, the useful exterior life of an untreated wood structure is usually controlled by the rate of biological deterioration.

The thorough penetration of preservatives into LVL has numerous advantages. The most important is

TABLE 4. — Normalized lower 5 percent exclusion limit values at 12 and 44 cycles of exposure.

No. of cycles	MOR <sub>T</sub> /MOR <sub>0</sub>		MOE <sub>T</sub> /MOE <sub>0</sub>	
	LVL	SOLID*	LVL	SOLID
Method				
Wetting-drying				
Untreated	.768	.600	.869	.815
Treated	.826	.642	.858	.832
Weatherometer				
Untreated	.723	.578	.736	.661
Treated	.776	.612	.759	.715
			.766	.603
			.747	.695
			.646	.840
			.840	.777

\*Clear solid Douglas-fir lumber.

the drastically reduced rate of biological deterioration. Thoroughly treated wood sections can provide satisfactory performance for a long period of service life. For treated LVL, mechanical deterioration takes over as the major factor controlling the service life. By preventing biological degradation, the expected rate of strength and stiffness reduction can be defined with closer tolerances. To this end the data presented here on cyclic weathering should be useful.

The fundamental problem is to define the rate of degradation as a function of in-service time for various wood products placed in greatly varying climatic conditions. This problem has yet to be addressed in any systematic way. While weatherometer data can be useful to compare products, most existing accelerated aging methods are poorly related to actual degradation of full-size structures. Freezing, in addition to wetting and drying, may have to be incorporated into the accelerated aging cycle to better correlate the results to actual performance (7).

In spite of the variety of accelerated methods devised, no satisfactory method exists today which can quantify the rate of in-service degradation of full-size structures. Therefore, the only sure way to define the rate of degradation of wood structures in exterior use is to place the structure in actual use and measure its performance as a function of time. Size effect appears to be critical, which previously has been an obstacle in accelerated aging tests.

It is difficult to predict the rate of deterioration of wood structures, and the lack of data compounds the problem. An often used alternate method is to remove structural components from service and then subject them to mechanical testing (12, 13, 24). In this way, by evaluating the mechanical properties of "representative" samples, the current load-carrying capacity of the structure can be estimated.

Nondestructive evaluation (NDE) offers another quantifiable method to evaluate the strength and stiffness of structural members, usually in situ at a given time in service (15). This technique, especially when combined with computer simulation methods, is becoming a popular tool (21).

### Summary and conclusions

Safety and economic considerations dictate the need to quantify the long-term load-carrying capacity of wood structures in exterior environments. If biological degradation is arrested by full preservative penetration, then mechanical deterioration becomes the major factor controlling the rate of degradation of wood structures.

The use of LVL in exterior environments is rapidly expanding, indicating the need to predict the long-term performance of this product. This paper has provided data on the effects of preservative treatment and cyclic weathering on the bending strength and stiffness of MICRO=LAM LVL. No significant strength and stiffness reduction of solid-sawn clear Douglas-fir and MICRO=LAM LVL is found as a result of full penetration by pentachlorophenol-oil preservative. Preservative treatment may even have a beneficial effect on slowing the rate of mechanical degradation.

When compared to the same size of clear solid Douglas-fir lumber, the rate of degradation of MICRO=LAM LVL in cyclic wetting-drying and weatherometer exposure appeared to be somewhat higher. However, MICRO=LAM LVL is much less variable than clear solid Douglas-fir and when the lower 5 percent exclusion limit is computed, no significant difference in degradation can be ascertained between these two products. Rate of deterioration data are not available for various grades of structural lumber for comparison.

Currently, there is no reliable method which can relate short-term accelerated weathering data to long-term load-carrying capacity of wood structures. The challenge is to define such a relationship, but to do so, one first has to establish parallel accelerated aging and actual in-service data. Nondestructive evaluation offers promising possibilities to evaluate the strength of a structure at regular intervals during service. The rate

of degradation for a given product and climatic region can be established by this evaluation.

### Literature cited

1. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. 1979. Manufacturing standard specification for structural glued laminated timber of softwood species. AITC 117-79. 89 pp.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1981. Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. ASTM D905-49 (Reapproved 1981) Sect. 4. Vol. 04.09.
3. \_\_\_\_\_. 1981. Standard methods for accelerated weathering of fire-retardant-treated wood for fire testing. ASTM D 2898-81.
4. \_\_\_\_\_. 1976. Standard methods of static tests of timbers in structural sizes. ASTM D 198-76.
5. AMERICAN WOOD PRESERVERS ASSOCIATION STANDARDS, C1-82, C2-82, C28-79.
6. BEALL, F.A. 1982. Effect of temperature on the structural use of wood and wood products. In: Structural Use of Wood in Adverse Environments. R.W. Meyer and R.M. Kellogg, Ed. Van Nostrand Reinhold Co. pp. 9-19.
7. BEECH, J.C., R.W. HUDSON, R.A. LAIDLAW, and L.C. PINION. 1974. Studies of the performance of particle board in exterior situations and the development of laboratory predictive tests. Build. Res. Establish., Curr. Pap. CP77/74. Princes Risborough Lab., Princes Risborough, Great Britain.
8. BODIG, J. 1982. Moisture effects on the structural use of wood. In: Structural Use of Wood in Adverse Environments. R.W. Meyer and R.M. Kellogg, Ed. Van Nostrand Reinhold Co. pp. 53-75.
9. CHANG, S.-T., D.N.-S. HON, and W.C. FEIST. 1982. Photodegradation and photoprotection of wood surfaces. Wood and Fiber, 14(2):104-117.
10. COULSON, R.N., and A.E. LUND. 1973. The degradation of wood by insects. In: Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments, D.D. Nicholas, Ed. Vol. I, pp. 277-305.
11. FREAS, A. 1982. Evaluation, maintenance and upgrading of wood structures. Amer. Soc. of Civ. Eng., 428 pp.
12. GOODMAN, J.R., M.D. VANDERBILT, M.E. CRISWELL, and J. BODIG. 1981. Probability-based design of wood transmission structures. Electric Power Res. Inst. Rept. EPRI EL-2040.
13. HUNT, M.O., and D.A. MATTESON, JR. 1976. Structural characteristics of weathered plywood. J. of the Structural Div., ASCE 102(ST4):759-768.
14. KEITH, C.T. 1960. Some effects of repeated drying and wetting on wood properties. Forest Prod. Lab. of Canada, Tech. Note No. 23.
15. LANIUS, R.M., JR., R. TICHY, and W.M. BULLEIT. 1981. Strength of old wood joists. J. of the Struct. Div., ASCE 107(ST 12):2349-2363.
16. LAUFENBERG, T.L. 1982. Exposure effects upon performance of laminated veneer lumber and glulam materials. Forest Prod. J. 32(5):42-48.
17. MEYER, R.W., and R.M. KELLOGG, Ed. 1982. Structural Use of Wood in Adverse Environments. Van Nostrand Reinhold Co. 510 pp.
18. NATIONAL FOREST PRODUCTS ASSOCIATION. 1982. National design specifications for wood construction. 81 pp.
19. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. 1983. United States product standard PS 1-83 for construction and industrial plywood. Amer. Plywood Assoc. 44 pp.
20. PEARSON, R.G. 1981. Time-dependent properties. In: Adhesion in Cellulosic and Wood-Based Composites, J.F. Oliver, Ed. Plenum Press. pp. 191-209.
21. PELLICANE, P.J. 1984. Application of the  $S_B$  distribution to the simulation of correlated lumber properties data. Wood Sci. and Technol. 18(2):147-156.
22. SCHAFER, E.L. 1982. Influence of heat on the longitudinal creep of dry Douglas-fir. In: Structural Use of Wood in Adverse Environments. R.W. Meyer and R.M. Kellogg, Ed. Van Nostrand Reinhold Co. pp. 20-52.
23. SCHEFFER, T.C. 1973. Microbiological degradation and the causal organisms. In: Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments. D.D. Nicholas, Ed. Vol. 1, pp. 31-106.
24. SCHNIEWIND, A.P., B. GAMMON and B.A. BENDTSEN. 1982. Strength of untreated Douglas-fir foundation piles after some 70 years' service. Forest Prod. J. 32(11/12):39-46.
25. SUMIYA, K. 1963. A study of fracture of wood based on the theory of stochastic processes, Wood Res. 29:1-24.
26. WESTERN WOOD PRODUCTS ASSOCIATION. 1981. Western lumber grading rules, Portland, Oreg., 222 pp.
27. YOUNGQUIST, J., F. BREVY, and J. YOUNG. 1977. Structural feasibility of parallel-laminated veneer crossarms. U.S. Forest Serv., Res. Pap. FPL 303.





### III 建築構造利用編

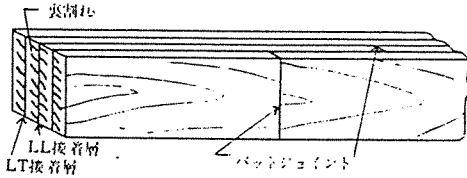


# 1 構造用単板積層材 (LVL) について

大 熊 幹 章\*

## 1. はじめに

最近、単板積層材 (Laminated veneer lumber, 以下 LVL と呼ぶことにする) に対する関心がにわかにか高まってきている。JAS の制定も急がれているとのことであり、民間においても企業化が検討されている。しかし、この材料がカナダ林産試験場において開発され、研究に着手されてから20年以上経過しているにもかかわらず、未だに本格的なプラントが存在しないということは、LVL には解決しなければならない問題が多々あることを示していることになる。我々も慎重にならなければならない。筆者はこの材料が一般の人々にやや誤つてとらえられている面があるような気がしてならない。我国における LVL のスタートにあたって、この材料の本質をよく理解し、まわり道をしないように心したい。



第1図 単板積層材 (LVL)

さて、LVL とはどのようなものであろうか。第1図に LVL を模式的に示した。一言でいえば以下になるであろう。「4~20mm の厚いロータリーまたはスライス単板を繊維を平行に重ねて接着し、厚板を作り、これを適当な巾に切断して角材となし、構造用、一般用材として用いる。」すでに LVL の技術的、経済的な長短所、特徴については J. C. Bohlen<sup>1)</sup>, P. Koch<sup>2)</sup> 佐々木光<sup>3), 4)</sup> (本誌, 28-9, 28-11 (1973) \*単板積層材の製造工程とその関連研究、に従来の文献が整理され、紹介されている。) 等によつて述べられているが、LVL の性能を特徴づける事項としては(i)接着層の存在、(ii)裏割れの存在、(iii)バットジョイントの存在の3点に絞ることができよう。ここではこの3点にポイントをおいて、東京大学木質材料科学教室で行なつてきた実験結果を含めて、LVL についての考え方を述べて行きたい。

従来、ブナ単板などを平行に積層して板を作り、これをフローリング、家具用材としてかなり使われてきた。これもたしかに LVL に相違ない。しかし、現在 LVL がトビツク的になつているのは単板から柱を作るということ、すなわち合板工場が板ではなく、構造用の角材を製造するということによるものと考えられる。イメージの拡張が必要である。

枠組壁工法における骨材として、またプレハブ住宅用パネルの枠材として LVL が採り上げられることになれば、現在いささか停滞が嘆かれている我が合板業界にとつて、今後のもつとも大きな、また手近かなエクステンションの分野として、大きな可能性を秘めているものと考えられる。

## 2. 厚単板の接着

第1図には4プライの LVL を示した。この場合、3つの接着層が存在する。接着剤のコストの点から、また接着操作の単純化のために、単板を厚くして、接着層の数を少なくすることが有利であることは当然である。一般に LVL は接着層の密度 (単位厚さ中に存在する接着層の数) が小さく、LVL の材質に与える接着層の影響は小さく、無視できるものと考えられる。ただ、単板と単板の接着は完全に行われており、十分な耐久性を有することが大切である。現在検討されている LVL の JAS 規格の原案では、構造用 LVL の外装用にあつては特類、内装用にあつては1類の接着性能を要求することになる。構造用部材として使用して行くのであるから接着は絶対的に信頼できるものでなくてはならない。ところが、LVL における単板の接着は集成材における挽板接着、合板における単板接着よりもずつと厳しい条件下で行なわれることに注意すべきである。すなわち、

- i. 単板表面の凹凸、裏割れの程度が激しいこと。

厚単板をロータリー切削する技術は完成されているようであるが、実際に工場に流れる単板表面の凹凸はかなり激しく、また裏割れの深さも50~80%のものが多い。このような単板の接着にあたっては接着剤の粘度、塗付量、圧縮圧力などに十分注意を払わねばならない。両面塗付の方が安全であろう。単板厚さのムラも問題となろう。単板の裏割れに関しては第1図に見るように、2種

\* 東京大学農学部

類の接着層が存在する。すなわち中央の接着層のように裏割れ面同志が接着される LL 接着層と、外側の接着層のように裏割れない面と裏割れ面が接着される LT 接着層の2つである。レゾルシノール樹脂を使用したラワン単板の LVL について実験をしてみると LT 接着層の方が LL 接着層より大きなせん断接着力を示す。LL 接着層では裏割れが両単板に連続して存在し、裏割れが接着性能を低下せしめていることがわかる。

ii. 単板が厚くて、剛性が大きいこと。

とくに単板に反りが生じている場合など単板を密着せしめるためには、単板の剛性が大きいので十分なプレス圧をかけなければならない。

iii. 製品が厚いこと。

圧縮して製造される製品の厚さは10~100mmとなり、合板にくらべるときわめて厚い。冷圧による製造も考えられるが、生産性、接着層の信頼性の点で、熱圧による製法を採用しなければならないであろうが、このとき中心層まで熱を伝達させるためには熱板加熱だけでは無理である。高周波加熱の採用、単板の乾燥のために作用させた熱の接着への利用、2~3 ブライづつ分けて熱圧し、あとでこれらを再プレスするなど種々工夫をこらさなければならない。LVL 以上の製造にあつてはどうしても連続製造法を採用しなければならないと考えるが、この場合熱をいかに合理的に接着層に与えるかということがもつとも重要な課題となろう。

以上述べたように LVL における単板接着は非常に厳しい条件下で行なわなければならない、しかも接着性能の信頼度は絶対的なものでなければならない。細心の配慮をもつて接着操作を行なうべきである。

### 3. LVL の材質と単板の裏割れ

#### 3.1 単板の裏割れ

生産性の向上と製品部留りをあげるために LVL はその名のとおりロータリー単板をその構成要素（以下ラミナという）として用いる。スライス単板も考えられるが特殊な場合を除いて能率の点からロータリー単板が主となろう。さて、最適条件で突かれたスライス単板は厚さ25mmでも裏割れを生じないという報告があるが<sup>9)</sup>、一般にはロータリー単板で30~80%、スライス単板で30~40%の深さの裏割れが存在する。切削速度が低い程裏割れが少なく、速度と共に裏割れの増大をみる、生産性を考慮すると切削速度をあまりおとすことはできない。すなわち、切削条件を検討して裏割れの発生をできるだけ少なくするように努めるべきであるが、現状では裏割率30~80%の裏割れが必ず存在するということである。

しかも、接着剤のコスト的な面から、および接着操作の単純化ということから接着層の数、すなわち単板のブライ数をできるだけ少くしたい。このことは単板を厚くすることを意味する。例えば、裏割率70%の10mm厚単板には深さ7mmに達する割れが存在することであり、この単板をラミナとする LVL の断面には深さ7mmの割れが無数に入っているわけである。この割れが LVL の性能にいかなる影響を与えるであろうか。この点を考察する。

#### 3.2 LVL の製造

材質の検討を行うために次の条件で LVL を製造した。

使用単板：ラワンロータリー単板で、厚さ4, 6, 9mmの3種を使用し、製品厚さ約36mmのLVLを製造した。すなわち4mm単板を9ブライ、6mm単板を6ブライ、9mm単板を4ブライ組み合せた。

単板の裏割れ：裏割率（単板厚さに対する裏割れの深さの割合）70~90%、裏割れ間隔3~6mm、角度60~80°

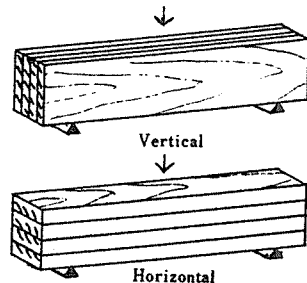
接着剤：レゾルシノール樹脂接着剤

圧縮圧力、時間：3.5kg/cm<sup>2</sup>（クランプ締め）で5分間  
高周波加熱装置：パール工業製4KW、プレート電流0.3~0.4Aで使用

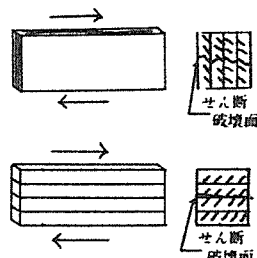
単板の組み合わせ：第1図に示すように単板の裏割れ面が内側になるように重ねて行く。したがって外側の接着層では裏割れ面と裏割れない面が接触している。中央の接着層では裏割れ面同志が接触している。

#### 3.3 せん断に対する影響

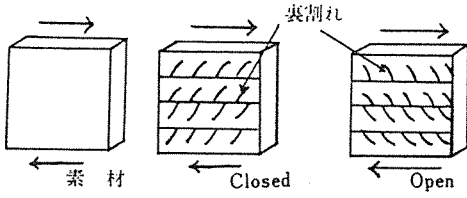
まず、第2-(a)図に示すようにスパンの短い曲げ試験、(1/t = 12~16, 1:スパンの長さ, t:試験体の高さ)を行ない、水平せん断を検討した。なお、第2-(a)図に見るようには LVL の曲げにおいては曲げ荷重の方向が接着層と平行する場合（これを Vertical と呼ぶ）と直交する場合（これを



第2(a)図 Vertical 曲げと Horizontal 曲げ

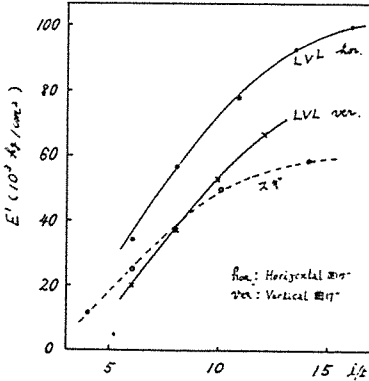


第2(b)図 せん断力とせん断破壊



第2-(c)図 Rolling shear と裏割れの方

Horizontalと呼ぶ)の2つが存在する。スパンの短い曲げにおいて生ずる水平せん断力とVertical, Horizontal試験体との関係は第2-(b)図を見るとはつきりするであろう。



第3図 見かけのヤング率E' と1/t

さて、第3図に中央のたわみより算出した見かけのヤング係数E' と1/tの関係を示す。1/tが小さくなるにつれてせん断力が大きく働くようになるが、図に見るようにLVLではE'の落ち方がスギ素材より激しい。スギ素材の断面には割れは存在しないことを考えるとせん断によるたわみの増大(見かけのヤング率の減少)に裏割れが影響していることがわらう。また第3図によるとHorizontalの方がVertical試験体よりもE'は大きくなっている。これは第2-(b)図に見るように裏割れが60~70°の傾きをもっているのでVertical試験体の方が割れの方とせん断面との方向が近づいてくると考えられる。

一方、破壊については第2-(b)図に示すように、水平せん断で破壊することがわかる。すなわち、Horizontal試験体では中央の接着層部分で破壊するが、この接着層は第2節で述べたLL接着層で、裏割れ面が相い接しており、両側の単板の裏割れが一致して、つながって、きわめて深い割れとなつていることも考えられ、せん断に対して危険な部分となつているためであろう。Vertical試験体においては中央部の裏割れを横に伝わるようにせん断破壊が生ずる。どちらの場合も裏割れがせん断に対して大きな欠点になつていることがわかる。

第2-(c)図に示すように、せん断力が単板の繊維方向に直交するように働く場合、破壊は裏割れ部分をコロガスように起るのでこれをrolling shearと呼んでいる。図に見るように裏割れを閉じるようにせん断が生ずる場

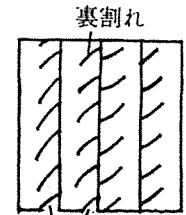
合をclosed type、開くように働く場合をopen typeと呼ぶ。当然、open typeの方が低いせん断強さを示し、6プライのLVLでは8.6kg/cm<sup>2</sup>という非常に小さな値を示した。ラワン素材の同方向のせん断強さは59.6kg/cm<sup>2</sup>という値が得られているので、LVLでは裏割れの存在のためにrolling shear強さが約15%におちていることになり、構造材料として用いる場合、このような力が働かないようにとくに注意しなければならない。

### 3.4 釘の保持力

筆者等がすでに本誌<sup>9)</sup>に報告したように、釘径が小さい場合、LVLでは素材よりも引き抜き抵抗が小さくなる。また、板目面釘打ちの方が柃目面より小さい値を示し、バラツキも大きくなる傾向がある。これは径の小さい釘を板目面に打つとき、裏割れの中にスッポリと入ってしまう場合があり、このときは引き抜き抵抗が極端に低くなるためであろう。また、釘を打ち込んだときに割れが発生する確率も素材におけるよりも高いようである。これも裏割れの影響と考える。

### 3.5 その他

第4図に見るように裏割れが深いと柃目面が欠けるおそれがある。また、使用中に裏割れに沿って表面に割れが発生することも観察されている。これらは化粧材としてLVLを使用する際には大きな欠点となるであろう。第2節において述べたように、裏割れの存在によつて接着層の強度が低下することも認められている。



欠けるおそれあり

第4図 裏割れによる柃目面の欠け

以上LVLのラミナである単板には必ずある程度の裏割れが存在すること、そしてこの裏割れがLVLの性能を強制的にも化粧的にもいちぢるしく低下せしめる場合があることを述べた。

## 4 LVLの材質と単板のバットジョイント

### 4.1 単板の縦つき

構造用の角材として使用するのであるから、長尺ものを得たい。また種々の長さのものを必要とするが、この場合は長尺ものを任意の長さに切断すればよい。ところで、ロータリーレースの大きさから単板の長さは定まってくるし、もともとLVLは合板廃材となる端切れ丸太や彎曲した原木を短く切断した短尺の丸太の有効利用ということで意味があり、ラミナとなる単板の長さは一般に短いものを考えるべきである。すなわち、短い単板か

ら長尺な LVL を製造しなければならない。このことは単板の縦つぎが不可欠であることにつながる。

アメリカ、カナダで開発されている LVL の製造工程ではラミナである単板の縦つぎは単に突合せのだけで、接着剤が積層接着の際に多少流れ込む可能性はあるが、強度的には大きな欠陥となつている。このようなバットジョイントが曲げの引張側外層にくる場合は強度低下が大きいので、第2-(a)図の Vertical の形で使用するか、あるいは最外層のラミナだけでもスカーフ、フィンガージョイントまたはジョイントなしの単板を使用すべきだという考えも多い。

工業の見地からすれば接着しないバットジョイントが最も能率的で好ましい。アメリカ風のプログマティズムではこのような欠点は容易に受け入れられ、その材質にあつた用い方が開発される。私もこのような考え方に賛成であるが、日本の場合、できることならフィンガーかスカーフでつぎたいという考えが多いようである。

しかし、単板の縦つぎは技術的にもむづかしく、工程が複雑で能率的でない。また接合効率についても引張強度で60%、ときにはそれ以下の値が示されていて十分なものとはいえない。さらに、ジョイント部が存在することにおいてはバットジョイントでもスカーフ、フィンガージョイントでも同じことであり、商品価値は低いものと見られるであろう。どうせ低く見られるのなら、バットジョイントで能率よく製造した方がよいと考える。

外層単板をつぎ目なしの一枚もので行こうという考え方も一部にあるが、生産性と長尺ものを指向するという点でナンセンスであると考え。前節で述べたように、ラミナである単板に存在する裏割れによる性能の低下はいちぢるしく、この点で LVL を品質のよいもの、素材以上の強度を持つたものとするはもともと無理なのである。それなら、スカーフ、フィンガージョイントまたはつぎ目なしの単板を使用することはただ生産性を悪くし、コストをあげるだけでまったく意味のないことと思われる。以上のことを考慮して本節ではバットジョイントの LVL 材質に及ぼす影響の検討を行う。

#### 4.2 バットジョイントの間隔と LVL の材質

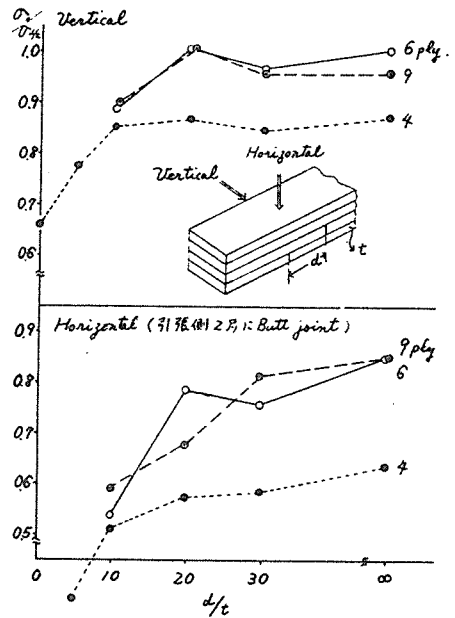
前述の接着しないバットジョイントの場合、最も問題となるのは相隣るラミナの両方にバットジョイントがある場合、その位置をどれだけずらせる必要があるかということである。このことについて以下の実験を行なつた。

前節とまったく同じ方法で4、6、9プライ、36mm厚の LVL を製造したが、この際、第1表に示すように単板のバットジョイントの位置を種々変化させた。スパン60cmとして中央集中荷重による曲げ試験を行い、曲

第1表 バットジョイントの間隔と曲げ強さ (kg/cm<sup>2</sup>)

Butt joint	4 ply		6 ply		9 ply	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
10	665	614	610	620	651	635
20	424	537	515	626	712	800
30	390	524	328	551	507	655
40	380	533	400	690	576	840
50	387	521	460	601	692	798
∞	169	405				

da: バットジョイントの間隔 t: ラミナ(単板)の厚さ  
Hor: Horizontal 曲げ, Ver: Vertical 曲げ



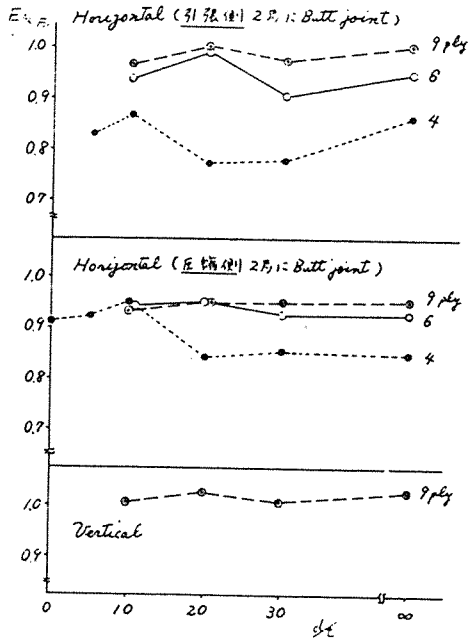
第5図 バットジョイントの間隔と曲げ強さ

$\sigma_0$ : 縦つぎのない単板(no joint)を使用したLVLの曲げ強さ

$\sigma_{d/t}$ : バットジョイントの間隔  $d/t$  のときの曲げ強さ

曲げ強さ  $\sigma$  と曲げヤング係数  $E$  を測定した。なお、荷重点の位置は Horizontal, Vertical 両試験体とも最外側ラミナのジョイントの位置に一致せしめた。結果を第1表第5図、第6図に示す。

第5図においては最外層とこれに隣接する層のバットジョイント間の距離  $d$  と単板厚さ  $t$  との比、 $d/t$  を横軸にとり、このときの LVL の曲げ強さ  $\sigma_{d/t}$  と縦つぎのまったくないラミナを使用した LVL の曲げ強さ  $\sigma_0$  との比、 $\sigma_{d/t}/\sigma_0$  を縦軸にとつて両者の関係を示した。第6図は曲げヤング係についての結果である。なお、第1表より明らかなように  $d/t=0$  は両バットジョイント間の



第6図 バットジョイントの間隔と曲げヤング係数  
 $E_0$ : 縦つぎのない単板 (no joint) を使用した LVL のヤング係数  
 $d/t$ : バットジョイントの間隔が  $d/t$  のときのヤング係数

距離が0, すなわち隣接する単板のジョイントの位置が一致することを示し,  $d/t = \infty$  は最外層のラミナにのみジョイントがあることを示す。

まず曲げ強さについて, 次のことが認められよう。

- ① ラミナにつき目のないものについては Vertical も Horizontal も同じような  $\sigma_0$  を示し, 差はないようである。またプライ数を増すと (単板厚を小さくすると)  $\sigma_0$  は増加するが, これは裏割れの深さ, 裏割れへの接着剤の浸透による補強効果によるものである。
- ② Vertical 試験体においては  $d/t$  を10以上にとれば  $\sigma_0$  からの低減はほとんど一定となる。すなわち第2層に存在するバットジョイントによる強度低下は無視できるわけである。この場合, 6, 9プライのものではつき目なしのもの ( $\sigma_0$ ) からの低減は少ないが, 4プライ (単板厚 9 mm) の場合は約15%の低減を見る。
- ③ Horizontal 試験体においては  $d/t$  を30にとつても, 曲線は上昇する傾向にあり, 一定値にならない。このことは第2層に存在するジョイントの影響を無視することができないことを示す。最外層のみにジョイントのあるもの ( $d/t = \infty$ ) においても, 6, 9プライで  $\sigma_0$  の85%, 4プライにいたつては65%の強度しかない。
- ④ Vertical, Horizontal の両試験体において, 6プライと9プライ (単板厚さ 6 mm と 4 mm) のものは  $d/t$  に対して同じような傾向を示し, 4プライ (単板厚 9 mm)

のものと同傾向が異なる。単板厚が 9 mm となると  $\sigma_0$  からの低減が急に大きくなるようである。

つぎに, 曲げヤング係数については次のことが認められる。

Vertical 試験体については9プライのものしか実験を行なっていないが,  $d/t$  10以上でつき目なしのものと同じ値を示し, バットジョイントの影響による低下はまったくくない。Horizontal 試験体については圧縮側にジョイントのあるものの方が当然のことながら引張側にジョイントのあるものより低減は少ない。またどちらの場合も  $d/t$  を10以上とればつき目のないものの値 ( $E_0$ ) からの低減は一定となり, 第2層に存在するバットジョイントの影響は無視できる。この場合, 4プライのもの (9 mm 単板使用) の低減はかなり大きく, 20%に達する。

以上の結果をまとめると, 曲げの力が加わる部材として LVL を使用する場合は Vertical な使い方をすることがよいこと, この場合,  $d/t$  は10以上とること, また Horizontal な使い方をするときは少くとも  $d/t$  は30以上とるべきであるがこの場合でも低減はかなり大きいこと, さらにラミナとなる単板の厚さは6 mm 以下にしたことなどがいえよう。

## 5. おわりに

以上, LVL の材質について述べてきた。紙面がかぎられているので製造関係のことにふれられなかつた。機会があれば書きたいと考えている。

裏割れの存在, バットジョイントの存在などによる材質の限界ということでもかなり悲観的な見方をしてしまつたが, このような欠点のある材料として受けとめ, それにあつた用途を開発して行くべきであろう。構造用集材材のような高性能材料ではないが, 低コストで能率よく生産し, 低いが安定した強度をもつ材料として, 将来, 普通構造材程度の許容応力度を認められる方向にもつて行きたい。

もつとも, 単板の切削条件を十分に検討し, 裏割れ率を20%以下におさえ, スカーフ, フィンガージョイントなどによる単板の縦つぎを行い, 細心の注意をもつて製造を行えば集材材程度の性能を期待することはできよう。ただこの場合は合板工場において合板をバタバタ作るというフィーリングとはかなり違つたものとなつてしまおう。LVL はどちらの方向にすすむであろうか。これから発展するかも知れないこの分野にとつて本文が多少とも役に立てば幸いである。

謝辞: 本文中に引用した実験データに関しては東京大学農学部海老原徹氏, 三菱商事木材部後藤剛氏に深く謝意を表します。(以下略)

## 2 構造用 LVL の製造と利用についての

### 2.3 の新しいこころみ\*

東京大学農学部

大熊 幹章

#### 1. はじめに

最近、といっても 4、5 年前より、合板原木の端切丸太の利用をねらった新しい合板工場製品である単板積層材 (Laminated Veneer Lumber 以下 LVL と称する) が話題を呼んでいる。この LVL、すなわち原単板を繊維方向を平行に積層した角材の製造プロセスは合板のそれと原理的には類似のものであって、合板製造工程を多少変更すればある程度可能とも考えられ、現在いささか停滞が嘆かれている我国の合板工業界にとって、板ばかりではなく角材の製造まで手をひろげるということで、今後のもっとも大きな、また手近かなエクステンションの分野として期待されたわけである。

ところが、現在、LVL の大規模な製造プラントは我国においても、いや世界的にも存在しないようである。新しい材料が常にそうであるように、これを構造的に使用する場合の種々の制限 (法律的に許容応力度が認められていないことなど) や、何にどのようにしてこの材料を使用するかという需要開拓の不足などがあげられるがこの材料が開発され、研究に着手されてから、すでに 20 年以上経過していることを考えると、ここらで LVL の基本にたちかえって、その特徴、開発の意義などを検討する必要がある。

現在では、LVL を造作材、家具用材、工業製品部材

※ この報告は昭和 50 年度合板部会総会 (日本木材加工技術協会) での講演および第 26 回日本木材学会大会 (静岡大学) 発表の一部をまとめたものである。

として考えるのが一般的のようである。しかし、LVL の真の用途はあくまでも構造用の角材である。すなわち、筆者は LVL を現在、住宅生産における角材としてもっとも多く使われている輸入米ツガ材にとってかわるものとしてとり上げたい。実情とはかけ離れた、ひとりよがりの考えかもしれないが、新しい材料にかける夢は大きく持ちたいものである。もし、そのような事態になれば、合板工場には板を作るラインと角材を作るラインの 2 つが存在することとなり、大きな発展につながるであろう。家具用材とはケタの違う生産規模となる。以上のようなことを考えると、LVL は何よりもコストの安いものでなければならず、さらに製材品に匹敵する性能を持つものでなければならぬことがわかる。

ここでは、東京大学杉山研究室で行われている LVL についての一連の研究の中から、2、3 の新しい工夫と、新しい考え方を紹介してみたい。LVL の建築への利用、構造用 LVL の発展ということで関係業界の方々にはいささかでも参考になれば幸いである。

#### 2. 添板押し込み法による 最外側単板の縦接合

短尺単板を利用して、長尺な角材を得るという LVL 本来の目的を実現するには単板の縦接合が不可欠である。特に、最外側単板の縦つき部 (突き付け部、いわゆるバットジョイント) は LVL の性能にきわめて大きな影響を与える。曲げを受けた場合に、このバットジョイント部が引張側になると (これを水平 (Horizontal)



曲げと呼んでいる), ジョイントのない1枚単板のLVLに比較して30%の曲げ強さしかないことが認められた。これは厚さ10mmのラワン単板4 plyのLVLについての結果である(表1参照)。このことからコア単板の接合はバットジョイントで行くにしても, 最外側単板のみはつき手のない単板, あるいはスカーフ, フィンガージョイントで接合したものを使うという考えがでてくる。現在検討されているLVLのJAS原案においても最外側単板の縦接合は認めない方針のようである。ただし, つき手を有しない単板と同程度の強度を有するつき手加工を行ったものは認容するとなっており, このことはスカーフ, フィンガージョイントは認めることにつながると考えてもよいようである。ところが, スカーフ, フィンガージョイントによる縦接合を実際にLVL製造ラインの中で行うには, 装置の問題, 能率の問題, 単板の歩留りの問題, 接合された単板のとりあつかいの問題, 製造ラインへのこの工程の組み込みの問題など多くの検討すべき問題がある。ここではLVLの最外側の単板突き付け部へ添板を押し込むという, 新しい方法によるLVLの製造法を提案したい。

図1に厚さ10mmの単板, 4 plyのLVLの側面を示す。単板の突き付け部が見られるが, 当然, 相い隣る単板層の突き付け部は一定間隔でずらされる(JAS原案参照)。さてこの場合に最外側の突き付け部A, B, C部に図2に示すように外側から第3の部材(厚さ3mm, 長さ10mmのスプールの板)をLVLの熱圧時にのせ, 20~30 kg/cm<sup>2</sup>で最外側単板層に押し込む。当然, 添板のLVL単板に接触する部分には接着剤が塗付してあり, また押し込まれたとき, 単板の繊維を切断しないように添板の端部には曲率がつけてある。この方法をN法と呼ぶことにする。

LVL構成単板が硬い場合には, 添板の押し込みが困難になることが予想されたので第2の方法(これをI法とする)を考案した。すなわち, 図3に示すようにあらかじめDie(鋳型)でImpression(痕)を単板につけておく。Die(厚さ4mm)は約180℃に熱せられており, これを熱板(180℃)

の上におかれた単板上に押しあて, 圧縮時間15 sec, Stopperで単板厚さと等しい10mmに熱板間隔を規定して, 単板にImpressionを作る。この単板を2枚, むかひ合せて, LVLの最外側単板とし, この中に添板を入れて, 熱圧しLVLを製造する。1枚単板のみによる, バットジョイント部のないLVL(コア単板についても), 図2に示すバットジョイントのあるLVL, N法, I法によって最外層の単板つき付け部を添板で補強したLVLの4種について4点曲げ試験を行ったが, 試験結果を表1に示す。試験体は断面39mm×80mm, 長さ1800mmのものである。なお, Hは水平レタル曲げ(曲げ荷重方向が単板の接着層に垂直), Vはヴァーティカル曲げ(曲げ荷重方向が単板の接着層に平行)を示す。rはN, I法における添板部のもり上りを示す値で,  $r = \frac{t_1 - t_2}{t_2} \times 100$  で表わす。t<sub>1</sub>は添板部のLVLの厚さ, t<sub>2</sub>は添

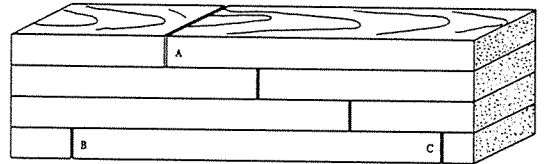


図1 LVLにおける単板の縦つき部(バットジョイント)

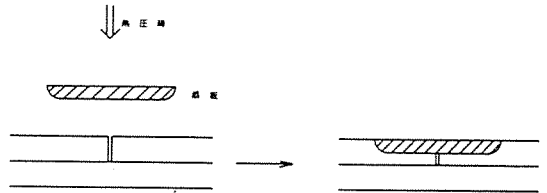


図2 添板押し込みによる外側単板の接合(N法)

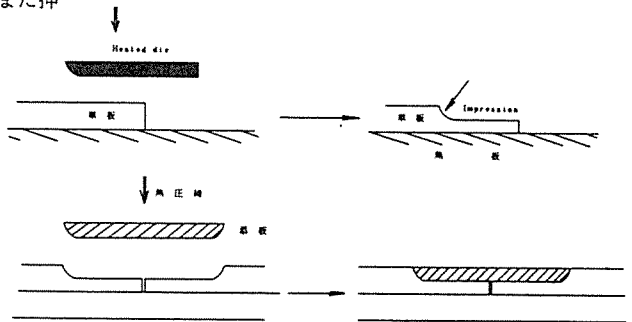


図3 添板押し込みによる外側単板の接合(I法)  
—あらかじめDieでImpressionをつくっておく—

表1 単板縦接合方法とLVLの曲げ強さ

単板	単板の縦接合の方法	r (%)	曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	
			H	V
ラワン	継ぎ手なし (No joint)		586 (1.00)	593 (1.00)
	バットジョイント		173 (0.30)	390 (0.66)
	添板による接合 (N法)	2.68	354 (0.60)	524 (0.88)
	” (I法)	0.16	319 (0.54)	561 (0.94)
カラマツ	継ぎ手なし (No joint)		493 (1.00)	357 (1.00)
	添板による接合 (N法)	0.65	266 (0.45)	249 (0.70)

r : 接合部のもり上り  $r = \frac{t_1 - t_2}{t_2} \times 100$   $t_1$  は添板部のLVLの厚さ、 $t_2$  は添板のない部分のLVLの厚さ

H : ホリゾンタル曲げ (荷重が接着層に垂直) ( ) 内は No joint のものに対する比をあらわす。

V : ヴァーティカル曲げ (荷重が接着層に平行)

板のない部分のLVLの厚さである。単板のつぎ手のないLVLに対する曲げ強さの強度比を( )の中に示した。次のことが認められよう。

① もり上り(r)は当然N法よりあらかじめ Impression を作っておくI法の方が小さい。しかし、直接熱圧時に添板を押し込むN法でも、これを構造用に使うことを考えると2.7%という値は問題にならないものと考えられる。

② H曲げも、V曲げもN、I法によるものはバットジョイントによるものより曲げ強さはきわめて大きくなる。特にH曲げにおいては2倍にも達する。またつぎ手のないLVLにくらべてもH曲げで6割、V曲げで9割に近い値を示す。

③ N法とI法では曲げ強さに差がない。すなわち、より簡単なN法で十分である。

④ カラマツLVLについても同じような結果が得られているが、カラマツ10mm原単板の品質を考えると(きわめて裏割れが激しく、あたかもスダレのようであった。又表面のあれ、厚さのバラツキも激しい)、このような数値が得られたことはむしろ意外であった。なお破壊はきわめて急激におこった。

以上述べたように、LVL熱圧時に添板を最外側単板の突き付け部にあてておくというきわめて簡単な作業によってLVLの性能がかなり向上することが認められた。

この工程はスカーフ、フィンガージョイントのような独立した、LVL製造ラインとは別のラインを必要としないことに注目されたい。なお、本実験では添板には3mm厚のスプルス製材品を使用した。ロータリ単板の使用も可能と思われる。

### 3. 長尺LVLのユニット接着による製造

LVLは短尺単板を縦つぎすることによって長尺な角材を得ることがその特徴の一つである。さて、長尺なLVLを製造するには次の2つの方法が考えられる。すなわち、

① 連続プレス (ロータリプレス、ベルトプレス)の採用

② LVLの縦接合である。

①についてはLVLにおける単板接着がきわめてきびしい条件下で行われることを考えると、現在の技術的レベルでは連続プレスの開発、採用は不可能のように思われる。すなわち単板が厚いこと(6~12mmを考えている)による裏割れ、表面の凹凸、厚さムラの激しさ、剛性の大きさ、さらに接着される製品(LVL)の厚さが合板よりずっと厚いことなどの悪条件下で特類に匹敵する接着強度を出すのは、現段階で考えられる接着剤を使用するという条件下においては連続プレスの開発は機構的に無

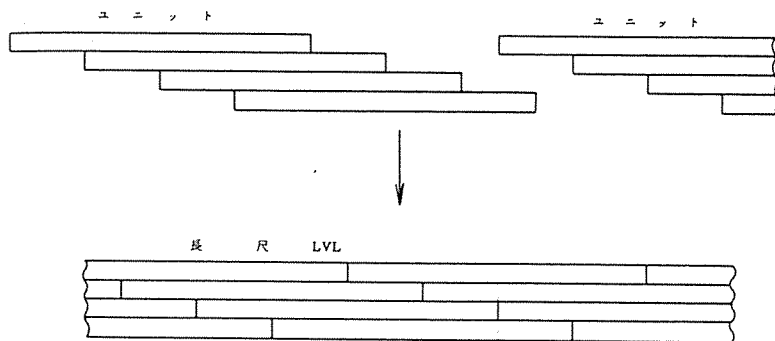


図4 ユニットの2次接合による長尺LVLの製造

理と考える。

そこで、②に示したLVLの縦接合がもっとも実現性のある長尺LVLの製造法と考える。すなわち、図4に示すような階段状のLVL(ユニット)を現在工場にある3×6尺ホットプレスで製造し、このユニットを別の一段プレス(高周波加熱装置のついているものが望ましい)で、ズラせてユニットをつぎつぎに熱圧して接合して行く。この際、前節で示した添板を最外側単板の突き付け部にのせておくことも考えられる。表1に示した実大LVL(2×4材)の試験体はこのユニット接合の方法で製造したものである。

#### 4. LVL用自動釘打ち機の開発

LVLの欠点の一つに釘接合強度の不安定なことがあげられる。この最大の原因は打ち込み時に割れが発生することが多いことである。割れの発生防止の方法としてLVLに横方向の単板を入れることが考えられている。すなわち、クロス単板を上から2層目、下から2層目に挿入することである。しかしこのようなLVLの製造工程はきわめて複雑なものになるし、その上、LVLの角材としての強度性能を低下せしめることになる。

さて、釘打ち込みによって発生する割れを防ぐ他の方法は先孔をあけておくことである。このプレドリリングすることによってさらにつぎのような利点も生じてくる。すなわち、釘径に対して70%程度先孔をあけておくこと打ち込みによる木材組織の破壊を軽減せしめるので、釘引き抜き抵抗が増大することも一般にいわれている。さ

らに打ち込み方向を規定することにもなり正しい釘打ちが行われる。又、釘打ち込みに必要な力、衝撃力も少なくてすむ。

以上に示したように、割れやすいLVLへの釘打ち込みのためには、先孔をあけておくことがもっとも有効であろう。すなわち、孔あけ用のドリルと自動釘打ち込み装置を組み合わせた新しい装置を開発できないものであろうか。現在使用されている圧搾空気式の自動釘打ち機よりも能率は低下すると予想されるが、打ち込み荷重が小さくてすむのでエアの使用は不必要になるかもしれない。ドリルによる先孔の位置に正しく釘先端をセットすることが重要であり、ドリルと打ち込み装置の一定位置への入れかえをいかに自動的に、正確に行うかという機構上の問題を解決しなければならない。しかも全体の操作がワンタッチでかんたんに行えることが必要である。現在試作を検討中である。

#### 5. 彎曲したLVLを用いた新しい木構造の開発

LVLのもう一つの大きな特徴、長所として彎曲材の製造が可能であることがあげられる。LVLは単板を積層して造るのであるから、成型合板のように曲率を持たせて接着層を硬化させれば曲げ材を得ることができる。しかも集成材のアーチ材と異なり、構造要素である単板が集成材のラミナより薄いので曲率を小さくすることができること、集成材よりも低コストで、断面の小さいもの、例えば2×4材で曲率をもったものを製造すること

など、集成材のアーチ材と異なるとらえ方をすることができ、ここに弯曲LVLを部材とした新しい木構造の開発が考えられるかもしれない。

そもそも、木構造の最大の問題点は部材の接合部をいかに処理するかということであったと思われる。例えば垂直部材と水平部材の仕口として、在来構法では種々のホゾ加工や、金具をつかい、又、枠組壁工法、パネル工法などでも特殊な金物、釘、ボルトなどを採用している。新しいところもいろいろと研究されているが、加工性、施工性、さらに強度性能においてももう一つきめ手がなく、木構造の大きな弱点になっている。

ここで曲率をもったLVL、例えば30 cm程度の曲率半径をもって、角度90°に折れ曲がったLVLの使用を考えてみよう。この部材を使えば、柱と梁、1階耐力壁中のstudと2階床根太などを繊維のおった一部材として処理することが可能となる。又、屋根勾配程度に曲げれば、2階耐力壁中のstudと屋根タルキ材を1本で処理することが可能となる。すなわち現場における仕口加工、

さて、このような接合部は単純支持よりも固定支持に近くなるので、強度的にもきわめて有利になる。成型合板を用いた予備実験によると、このような門形試験体の一定荷重によるたわみは、単純支持の場合の約半分であった。

以上、弯曲LVLを用いた新しい木構造の開発について一つの考え方を示したが、この問題は非常に多くの検討すべき事項を含んでいる。まず、弯曲LVLの製造、その性能、弯曲部と通直部の接合（通直部は製材品を使った方がコストは下るであろう。）、LVLラーメン構造体の強度についての基礎的研究、LVLの許容応力度、さらに弯曲LVLラーメンを用いた構造体（住宅）の設計、施工方法、でき上がった構造体の実大試験、各構成部材の工場生産と現場施工の範囲のかねあい（例えば、はり間方向の耐力壁は工場でつくり、けた行き方向の耐力壁は枠組壁工法的な現場施工にする。）などきわめて大きなプロジェクトとなろう。（以下略）

# 3 単板積層材の木質構造への応用

皆川 保生\*

## 1. 緒言

米國およびカナダにおいては古くから単板積層材に関する研究が行なわれ、生産方式についても数種の方法<sup>1),2)</sup>が提案されている。いずれの方法においても長さ2m内外の単板をバットジョイントで順次接着積層し、エンドレスに積層されてくる積層材を所定の長さにカットし、住宅の床根太等に利用しようとするものである。

日本においては、いわゆる構造的な利用よりも机の天板、フラッシュドア等の内芯、あるいは椅子の肘掛け等造作材的な利用がなされているのが現状といえる。我國における合板および集成材の発達過程から推し量ると積層材のこのような利用過程は尤もな面がある。一部には“木材を人目から隠れる構造物として使用するのには、資源面を考えた場合非常にもったいない。むしろ造作材としてもっと利用方法を考えるべきだ”という意見もある。確かに木目は芸術的にも優れた自然造形美であると共に自然界の摂理に基づく木材の呼吸作用は人心を柔らげ、健康面においても最も優れた造作材あるいは内装材といえる。同時に木材の比強度は他の無機質材料に比べ優れているし、加工性も比べものにならない程優位性がある等構造物としての特性も見逃がすことはできない。住宅建設時に地場産木材を構造物として使用するのが木造住宅の自然環境に対する適合性から最もよいといわれていることが事実であっても、全てを地場産材で賄うことは不可能であり、資源の有効利用という面からも加工木材の使用は不可欠となるであろう。

## 2. 木材工業における単板積層材

従来使用されている木材は全て製材業者によって製材された物を、使用目的により天然乾燥、人工乾燥をし使用している。一般木造住宅に使用される柱、梁等は殆んど全てが天然乾燥のみかあるいは未乾燥材である。したがって住宅完成後に乾燥の進行により柱面にひび割れが発生したり、狂いがきたり、天井裏でピンピンと異様な音が発生する原因ともなる。

集成材製造においてはラミナを一定含水率に調整し接着効果に信頼性を持たせるためには、人工乾燥は不可欠であろうし、少なくとも接着剤を使用する工程では乾燥

を抜きにして木材を考えることはできない。

家具、フラッシュドア等の内芯材として積層材が使用されている現状は、このような使用者側がわざわざ天然乾燥場や人工乾燥設備を持たなくても素材としてすでに人工乾燥済みであり、ある程度の広さの材料置き場さえあればことたりの材料としての需要の表われであろう。

これら内芯材用の積層材は厚みが30mm内外であり、合板の製造設備を殆んど変更することなく大量生産が容易である。すなわち今迄面材として使用されてきた薄物合板を製造していた合板産業が製材品の分野に進出してきたといえるであろう。しかもその生産速度は製材品を乾燥して所定のサイズに仕上げる迄とは比べものにならない程速い。

筆者等はいかねてより積層材の構造的利用に関する検討を重ねており、材幅1.2m、材長4.2m、材厚3.0~90.0cm迄の積層材を10~15m<sup>3</sup>/hr製造する製法の開発に成功した。ここでこの製法による積層材の特性に関し種々実験を行ったのでその概略を記すと共に、積層材を住宅構造物として使用した試作住宅を建設したのでその構法と合わせて紹介する。

## 3. 単板積層材の特性

### 3.1. 機械的性質

縦て継ぎ部を含まない公称ラワン材6樹種でそれぞれ作成した単板積層材について機械的性質の平均値の一例を第1表<sup>3)</sup>に示す。単板の厚みは4.2mm、接着剤は熱硬化性フェノール樹脂系接着剤、塗布量350g/m<sup>2</sup>で試験方法および試験体寸法は全てJIS Z 2102~2114によった。

1) 曲げ試験においては破壊強度およびヤング係数とも垂直積層型では水平積層型より低い値となったが殆んど差はないと見てよく、本結果と逆の結果<sup>4)</sup>も一部報告されている。曲げ、圧縮、引張り試験の比例限度力度の最大強度に対する比はそれぞれ0.68, 0.72, 0.79となり、一般木材でいわれている同比2/3と同等と考えて差しつかえないであろう。

2) 引張り強度の圧縮強度に対する比はおおよそ1.4となり普通木材の同比2.0~2.5に比べると多少低めの値となった。

3) せん断試験においては、せん断面が積層面と平行

\*永大産業株式会社中央研究所主任研究員

第1表 ラワン単板積層材の機械的性質

試験名	含水率試験体		最大強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		比例限度力度 (kg/cm <sup>2</sup> )		ヤング係数 (×10 <sup>9</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	
	(%)	数	$\sigma_{max}$	S. D	$\sigma_p$	S. D	$E_{//}$	S. D
曲げ試験 <sup>2)</sup>	13.9	117	609	41.3	407	34.6	88.2	4.98
	11.5	46	665	42.7	457	38.5	97.9	4.25
圧縮試験	13.2	115	384	21.9	275	41.8	109.7	11.72
引張試験	13.5	111	520	76.5	411	73.6	104.5	8.23
	13.3	114	64	10.1	—	—	—	—
せん断試験 <sup>3)</sup>	14.0	117	40	5.6	—	—	—	—
	14.3	116	72 <sup>5)</sup>	6.1	—	—	—	—
部分圧縮試験 <sup>4)</sup>	13.8	116	84 <sup>6)</sup>	8.8	—	—	—	—

- 注 1) 6樹種の気乾比重範囲は0.40~0.46~0.51(含水率8.2~9.5~10.8%)  
 2) 上欄: 垂直積層型, 下欄: 水平積層型  
 3) 上欄: せん断面が積層面と平行, 下欄: せん断面が積層面と直交  
 4) 上欄: 圧縮面が径目面相当, 下欄: 圧縮面が板目面相当  
 5), 6) 全厚の5%縮み時の耐力

の場合と直交する場合においては差が見られる。又部分圧縮においては材端および材中加力に対する差が認められず表中にはこれらの平均値を示した。

4) 各試験におけるバラツキは一般材と比べると小さく単板の積層効果は十分表われており、許容応力度を試算すれば集成材並の値となることは十分うかがえる。

いずれにしても単板の裏割れの大きさ、間隔、方向が強度特性値に与える影響は大きく<sup>5)</sup>、この対策としては、接着剤塗布量を400~450g/m<sup>2</sup>位に増加し、粘度および塗布方法を多少変更して裏割れの深部に迄接着剤を流入させることにより方向別による強度差はなくなるものと思われる。

3.2. ボルト接合における特性

木構造設計規程・同解説<sup>9)</sup>によれば木材の添板ボルト接合における短期許容耐力は、短期応力時の比例限度耐力を基準にして2面せん断平行継手の場合次式より求められている。

$$\left. \begin{aligned} Pa_{//} &= 0.56 d \cdot l \cdot F_c \dots\dots ① \\ &= 1.8 d^2 \cdot F_c \dots\dots ② \end{aligned} \right\} \text{の小さいほうの値}$$

ここに  $Pa_{//}$ : 繊維方向に平行な継手の短期荷重に対する許容耐力 (比例限度耐力)

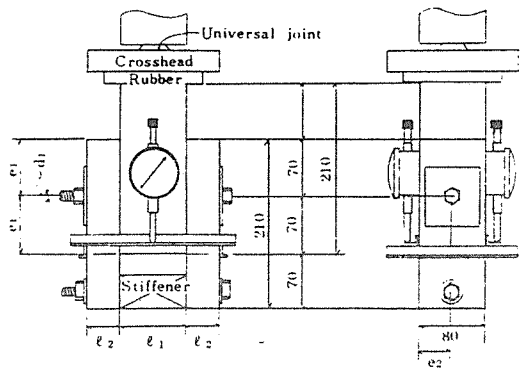
$d$ : ボルト径,  $l$ : 主材の厚さ,  $F_c$ : 材料の圧縮強度

積層材において第1図に示した形状における接合耐力を添板の厚さ  $l_2=30\text{mm}$ ,  $40\text{mm}$ , 主材の厚さ  $l_1$  を  $l_2$  に対し1倍, 1.5倍, 2倍とし, ボルト径  $d=3/8\text{in}\phi$ ,  $1/2\text{in}\phi$ ,  $5/8\text{in}\phi$ ,  $16\text{mm}\phi$  に対して材縁端距離  $e_1=8.2d \sim 4.3d$ ,  $e_2=9.9d \sim 4.9d$  として求め短期比例限度耐力の実験式を  $l \geq 40\text{mm}$  について求めたところ, 木構造設計規程における  $Pa_{//}$  が  $d$  に関する2次曲線となるのに対し本結果では直線式<sup>9)</sup>となった。本試験における終局耐力

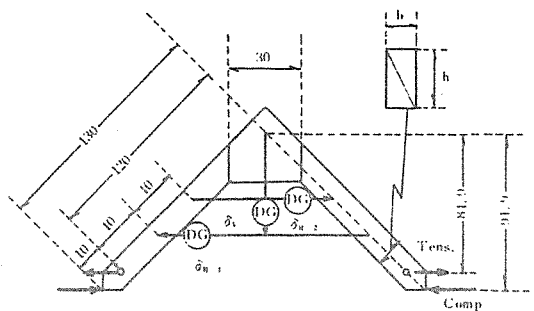
が殆んど主材の割裂によるものであるため、端あき距離は一般木材の基準値を満足しているものの積層材においては不足しているとも考えられ、この点については現在実験の進行中である。

3.3. 合板ガセット貼山形梁

合板ガセット (9mm5プライ構造用合板) を隅角部に釘・接着剤併用で貼った山形梁の脚部に圧縮および引張り荷重を加えた試験<sup>7)</sup> (第2図) において、隅角部に働く最大曲げモーメントをガセットの接着面積 (材せい  $h$ ) を変化させて測定した結果、最大曲げモーメント ( $M_{max}$ ) は接着面積 ( $S_r$ ) に比例し直線的に増加した。

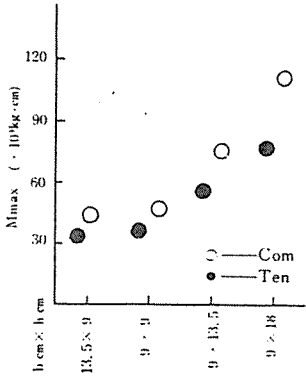


第1図 ボルト接合耐力の試験体図



第2図 合板ガセット山形梁の試験体図

すなわち  $M_{max}/S_r$  はほぼ一定の値を示した (第3図)。この値は湾曲材と直線材を組み合わせた形状の場合もほぼ同じである。  $M_{max}/S_r$  より許容耐力を試算し  $S_r$  の大きさ別の許容曲げモーメントから合板に働らく応力を求めると  $S_r$  が小さいと合板の許容応力度以上になる場合もあるがある程度  $S_r$  が大きくなると十分安全側に計

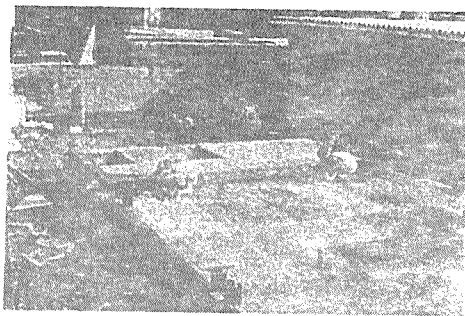


第3図 染せいと最大曲げモーメントの関係

の応力状態とほぼ同様の傾向を示すと思われるが単板の裏割れ状態、単板の厚さ等によって各応力度に対する比例定数が必ずしも集成材の場合と一致するとはかぎらず多少の変更はする必要があるかもしれない。尚本合板ガセット貼に使用した接着剤はフェノール・レゾルシノール共縮合樹脂接着剤で塗布量は500g/m<sup>2</sup>(両面塗布)、使用釘は鉄丸釘N-45をピッチ約8cmに手打ちしたものである。

#### 4. 積層材二鉸節ラーメンによる住宅の施工例

本構法は工場において作成した全長約4mのL型積層梁(節点部に構造用合板を両面より釘接着)を左右一対として、梁はね出し部間に現場で通直積層材を鉄板添板ボルト接合し二鉸節の門型ラーメンを組み立て、このラーメンを平面型のX、Y軸に規定のモジュールごとに配置して軸組を構成し、外周壁をカーテンウォールで施工するものである。

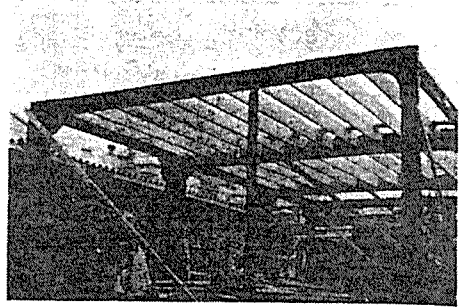


第4図 一階床及び柱脚金物

1) 第4図は一階部分の床で鉄筋コンクリート製布基礎に一般構法と同じ東立で床面を構成するプラットフォーム型式である。脚用金物はアンカーボルトに床面から取りつける。脚金物とラーメン脚部は1/2inφボルト1本留めである。

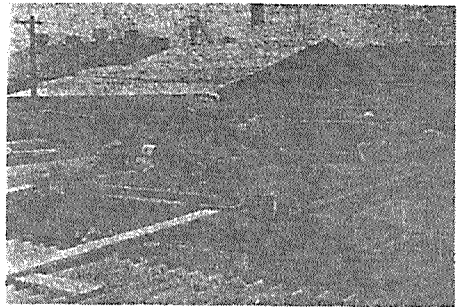
算される。したがって合板ガセット貼り山形梁を組み合わせて門形構造とした時の節点の許容耐力には  $M_{at}/S_r$  の値 ( $M_{at}$ : 許容節点曲げモーメント) は単純明解な指標となりうる。

湾曲積層材を単一で使用する場合の湾曲部の応力度については、集成材における湾曲部



第5図 一階フレームと二階床根太

2) 第5図は一階ラーメンの立ち上がり状態と二階床根太の取り付け状態である。ラーメンスパンは張間方向約5.4mで桁行方向は約3.6m、柱部分は幅約9cm、せい約25cm、梁部は幅約9cm、せい約30cmである。梁接合部は厚み3.2mm鉄板を両側から添え、ボルト1/2inφ8本留めとした。二階床根太は2'×10'材を使用し梁面との接合は根太受け金物を使用している。



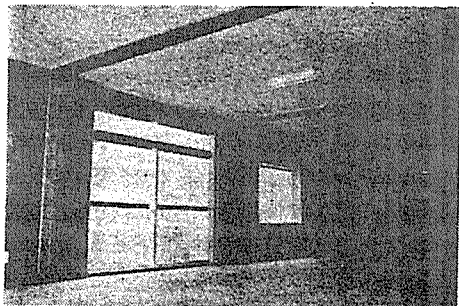
第6図 二階床及び二階フレーム組立て

3) 第6図は二階床面と二階用ラーメンの組立て状態を示す。床面は12mm構造用合板を外周部150mmピッチに内部200mmピッチにCN-50を打っている。脚部金物は床合板の上よりスクリーネイル(長さ90mm)10本を梁上面に打ちつける。ラーメン形状は一階用と同サイズのものを使用した。



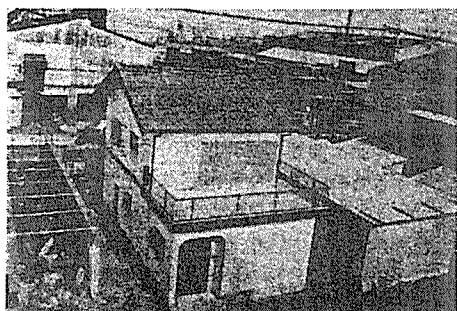
第7図 屋根トラス施工

4) 第7図は二階部屋根の構成で2'×4'材によるトラス構造とした。トラスはフィンクトラスであり節点部は12mm構造用合板ガセット両面釘打ちである。振れ留めのために真束を追加し各真束間に構造用合板9mmを両面釘打ちし釘着 Box ビームを構成した。屋根面は9mm構造用合板をCN-50打ちとし面剛性を得ている。



第8図 内部素地仕上げ完了

5) 第8図は一階内部の素地仕上げの状態である。湾曲材の一部を化粧用として表現した。この湾曲材は単板厚さ4.2mm、内側曲率半径30cmである。集成材における許容曲率半径Rはラミナ厚tの100倍以上であるが単



第9図 完成外観

板積層材の場合は単板の裏割れがある関係で150t位迄は可能と思われる。

6) 第9図は仕上り外観を示す。外観的には他工法によるものと別に変化はない。本試作住宅は一階張間方向5.56m、桁行方向11.52m、床面積62.1m<sup>2</sup>、二階張間方向5.56m、桁行方向7.63m、床面積42.4m<sup>2</sup>、延床面積102.5m<sup>2</sup>であるが、二階部共内部に柱はなく従来の一般木造構法では得られがたい広い空間を構成している。

本例は試作の状態であるが一般木造において本例のごとく節点部を合板ガセット釘接着しこれをラーメンとして取り扱うには現状では設計規準上問題はあるが、品質管理および施工管理を徹底することにより木質材でも十分ラーメンを構成でき、これによる住宅構成は住宅システムをも合理化に結びつけるものと考えられる。とりわけカーテンウォール方式による外装内装の工法は、間取りの自由性、増改築の自由性等の他に空間を必要とする店舗等その利用性には大きなものが考えられる。

#### 文 献

- 1) 佐々木 光：“単板積層材の製造工程とその関連研究”，木材工業，28—9，15—18 (1973)
- 2) 同上，28—11，6—9 (1973)
- 3) 中央研究所報告，永大産業(株) No.1 (1975)
- 4) 有馬孝礼，大熊幹章：“単板積層材の製造と材質に関する研究(第一報)”，木材工業，28—6，9—21 (1973)
- 5) 大熊幹章：“構造用単板積層材(LVL)について”木材工業，29—9，2—6 (1974)
- 6) 木構造設計規準・同解説，193 (1973)
- 7) 中央研究所報告，永大産業(株) No.2 (1976)  
(1977. 5. 13 受理)



# 4 間伐材の木造住宅への利用

## —彎曲LVLを中心にして—

東京大学農学部

大熊 幹 章

### 1. 住宅構成材料としての間伐小径材

国民に安価で良質な住宅を提供することはきわめて緊急な課題である。現在 low cost house の開発は House 55計画の進行、さらに各民間住宅メーカーの開発努力によってある程度の進展を示しているが、low cost への追求が低品質に結びつくおそれがないわけではない。

安価で良質な住宅構法システムを開発するためにはまずその住宅の構造材料を選定することが重要な問題である。すなわち、我が国の資源事情を総合的に検討し、長期にわたって安定した供給が可能であり、かつ安価な材料を選ぶことである。

ここでは low cost house を構成する材料として、我が国の人工林から得られる間伐小径材を取り上げたい。戦後、全国的に植林されたスギ、ヒノキ、カラマツなどの針葉樹人工林は今、間伐期を迎え、林野庁の計算によると年間少なくとも 20万 ha を間伐する必要があり、これは材積では 560万 m<sup>3</sup> に達し、将来ともこの供給量は増大が見込まれている。さらに、この間伐小径木のよりよい活用の途を開くことは間伐の促進につながり、このことは日本の森林をより健全な姿にするという国策上からも是非とも実現しなければならないことである。このように考えを進めてくると low cost house の主材料としてこの間伐小径材は最適なものと考えられる。

それでは、間伐小径材をいかに建築構造材料に適用して行けばよいであろうか。従来、この点に関していくつかの試みながなされてきたが大きな伸展をみせていないようである。

間伐小径木から製材される角材の特徴として、

- ① 断面が小さいこと、おおむね 70mm×70mm 以下
- ② 節などの欠点、未成熟材などによる強度低下を考慮しなければならないこと
- ③ 曲り、狂いのある程度さけられないこと、などがあげられる。建築構造材として使用する場合には、これらの事情に対処するため、おのずとスパンを短かくし、部材間隔を小にせざるを得ない。このことは使用する部材量および接合部の数の増加につながり、材料費さらには

手間の大幅な増加を来し、コストの上昇が避けられなくなる。間伐材の建築構造部材への使用に限界が存在する理由はこのような事情によるものであろう。間伐材を使うよりもベイツガを使う方が安く便利ということになってしまう。何か工夫が必要である。

そこで、ここでは本誌および木材工業誌上で京都大学木材研究所佐々木教授が提案されている間伐小径木から製造した LVL (単板積層材) を取り上げ、住宅への適用を考察する。すなわち、形状、寸法、品質が固定化してしまっている製材品ではなく、これを LVL 化し、より自由な性能を持たせ、住宅構成材への適用をより容易にするわけである。

### 2. 彎曲 LVL について

LVL は比較的厚い単板を繊維をほぼ平行にして積層接着したブロック材で、合板不適丸太 (端切丸太、彎曲丸太などの短尺もの、間伐小径丸太等) の利用を図るとともに高歩留り、集積効果による強度のバラッキの減少が期待でき、合板工場の新しいエクステンションの方向としてここ数年大きな関心を持たれたものである。しかし、現在では製材品とのコストの競合、製造法が未だ確立していないこと、何にどのようにして使うかという用途面の未開発などのために製造、利用とも大きな伸展を示していない。LVL の種々な特徴を生かす使用法が検討されているが今一つ決め手がないのが現状である。

LVL の特徴の一つとして彎曲材を容易に得られることがあげられる。すなわち、単板は薄いので曲げやすく、高周波加熱により曲率半径の小さなもの (4~6mm 厚単板を使用して曲率半径 200mm など) が得られる。この製品を従来の彎曲集成材と比較すると、

- ① 曲率半径が小さいこと
- ② 製品断面が小さいこと (高周波成型を能率よく行なうため)
- ③ 低価格で製造できること、などの特徴があり、又、交差角を小さくするような荷重に対して大きな抵抗力を示すこと、は集成材と同様である。

これらの特徴を生かす一つの使い方として Fig.1 に示すようにパネルの外周枠材のコーナー部分に使用することを考えた。Fig.1 に見るように大きな曲率を持って 90° に折れ曲がった彎曲 LVL の両

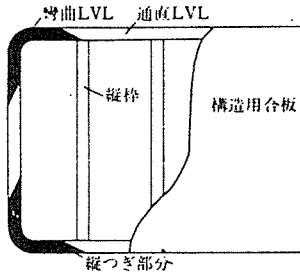


Fig. 1 彎曲LVLを外周枠組隅部に用いた耐力壁パネル

端に通直な LVL (又は製材品) を縦つきし、閉鎖した枠材を構成する。この枠材の両面又は片面に構造用合板などの面材を張り、耐力壁パネルとするわけである。

彎曲 LVL の仕様は次のようなものである。長さ約 1200mm、厚さ 4~6mm のロータリ単板 (直径 20~30cm のヒノキ、カラマツ等針葉樹間伐又は主伐丸太より製造したもの) を Fig. 2 に示すように階段状に単板をずらせ、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤を塗付し、11~17 プライ重さね、型を用いて高周波加熱によって厚さ 65mm、曲率半径 200~350mm に成型し、81mm×65mm の断面に仕上げる。一方、長さ約 600mm、直径 10~20cm の間伐丸太よりロータリ切削した厚さ 4~6mm の単板によって通直 LVL を通常の方法で製造し、Fig. 2 に見るよう

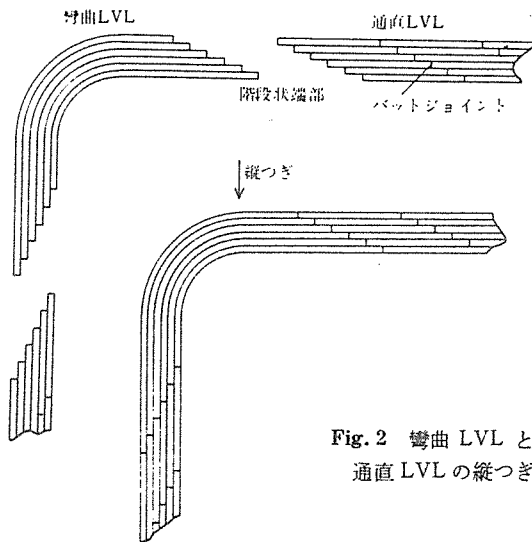


Fig. 2 彎曲 LVL と通直 LVL の縦つき

3. 彎曲 LVL を外周枠材に用いた耐力壁パネルの性能  
耐力壁パネルには上部からの鉛直荷重と地震、風など

による水平荷重が作用する。これらの外力に対して、ここで取り上げたパネル——彎曲 LVL を外周枠材の隅部に用いたパネル——がどのような挙動を示すであろうか、このことについて本格的な実験はこれから着手するところであるが、彎曲部のラーメン効果と面材部のスジカイ効果が相乗的に働き、圧縮に対しても、せん断に対してもきわめて高い性能を示すことが予備実験より認められた。

すなわち、高さ 2.42m、幅 1.82m の実大のパネルについて厚さ 5.5mm の I 類合板を片面に張り、ASTM 法によるせん断試験を行なった。せん断ひずみ 1/200 rad、時の水平荷重は 580kg を示し、同寸法の通常の枠組合板張りパネルの値 380kg に比較して 1.5 倍の剛性を示した。又、彎曲部を閉じるように働くモーメントの最大値 (破壊時モーメント) は  $8.22 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{cm}$  を示し、これは通常の住宅の耐力壁にかかる鉛直荷重に対して十分に安全な数値と考えられる。

以上のことから、パネル外周枠組のコーナー部に用いられる彎曲 LVL は水平荷重に対する通常の壁におけるスジカイ及び面材の働きを受け持ち、又、鉛直荷重に対する通常の枠組パネルの縦柱 (スタッド) のはたす役目をも受け持つことが認められた。このことは面材、スジカイ、スタッド等のパネル面をさえぎるものを一部省略することを可能ならしめる。すなわち、大きな開口部を持った耐力壁パネルが得られることを意味し、これは構造耐力上開口部の量と位置に制限をつけなければならなかった枠組壁工法、パネル工法の大きな改良につながることになる。

#### 4. 新しい工法の開発

彎曲 LVL を外周枠組のコーナー部に用いたパネルは大きな開口を持っていても、耐力壁パネルとして鉛直、水平荷重に対して一定の強度、剛性を保持することが認められれば、このようなパネルを組み合わせで安全で、自由度の大きな設計が可能となり、ここに新しい工法システムが実現することになる。

以下に、Fig.3 に示す種々の開口パネルを用いる工法の具体的な例として 2 つのシステムを取り上げ、簡単に説明する。

##### A. 大型パネル工法

Fig. 3 の A 系列の種々な開口を持ったパネルを組み合わせるものである。パネルの幅は 3.64m および 2.73m、2 種類からなり、これらを四辺に用いた 2.73×2.73、2.73×3.64、3.64×3.64 (単位 m) の 3 種の空間が建物の構成ユニットになり、これを数個任意に組み合わせ (2)

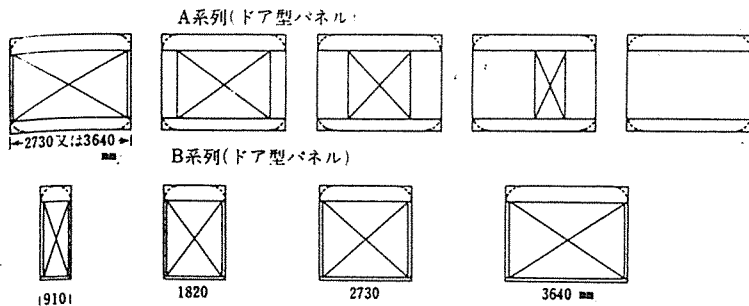


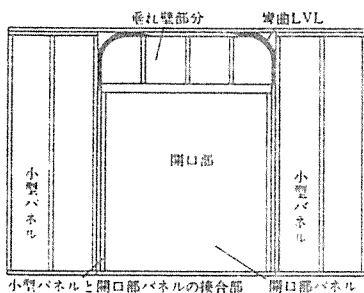
Fig. 3 開口パネルの例 Xは開口部を示す。他に窓型パネルがある

層上下に重さねて、2階建てとすることもある)、住宅を構成する。なお、パネルの横方向への連結には、81×81mmの通し柱がジョイント部材として入れられ、この部材を介してボルト、釘、スクリュー釘、接着剤等の一部又は組み合わせによって接合される。すなわち、このジョイント部材がユニットのグリッドを形成することになる。1階、2階床面などの水平面は、耐力壁パネルの上に渡した水平部材と構造用合板によって構面に形成される。なお、パネル4隅の彎曲部(彎曲 LVL 部)はパネル内部又は天井、床内に隠れることになり、デザイン的に奇異な感じを与えることはない。

#### B. 小型パネルと開口部パネルを組み合わせる工法

Fig. 3 の B 系列の彎曲 LVL を用いた開口部パネルと幅 910mm の通常の 1 P パネルを組み合わせ、自由に設計するシステムである。開口部パネルには幅が 910, 1820, 2430, 3640mm の 4 種があり、それぞれ垂れ壁、腰壁のある窓型パネルと、垂れ壁だけのドア型パネルがある。Fig. 4 に示すように、これらの開口部パネルと 910mm 幅の 1 P パネルをパネルの高さ全体にわたって釘、ボルト、スクリュー釘、接着剤等で接合するが、この場合開口部パネルの小壁部分(垂れ壁又は腰壁)には彎曲 LVL が挿入されており、この LVL の直角に折れ曲った他端が隣接する 1 P パネルの縦枠に強固に接合されるわけである。従来、この種のパネル構法においては小壁パネルと耐力壁(この場合は 1 P パネル)の結合が不十分で、大きな欠点になっていたわけであるが、本構法によれば、1 P パネルと開口部パネルは彎曲 LVL を介してパネルの高さ全体で高さ

Fig. 4 小型パネルと開口部パネルを組み合わせる工法



方向に強固に接合される。又垂れ壁、腰壁部分は彎曲 LVL と合板のゲセット効果により大きな剛性を持っており、これらが 1 P パネルと強固に連結しているため大型パネルとして 1 体化が画られる。又、現場におけるパネルの接合も複雑なものとはならないであろう。

#### 5. おわりに

間伐材よりもベイツガを使う方が

安くて、便利である。これは製材品の範囲で考えるかぎりまぎれもない事実であり、間伐材製材品の建築構造材としての使用を促進させるためには公共住宅に間伐材使用を義務付けたり、間伐材を住宅に使用した場合の減税措置とか補助金制度など政治的方法に期待する他はないであろう。このような手段が現段階では考えられないとしたら、間伐材を用いた新しい、他材料にない特徴を持った材料を開発し、さらにこの材料の特徴を最大限に生かす用途、適用方法を木造建築の中に見つけ出すことである。単板から製造される LVL は製材品に比較して、形状寸法、品質のすべての面でより自由な性能を持たせることができ、住宅構成材への適用がより容易になる。製材品には彎曲材は存在し得ないのである。

一方、建築骨組材にはいわゆるラワン材は防虫性の面で不適であるといわれている。必ず防虫処理の問題が生じてくる。この点から合板不適丸太から構造用の LVL を製造することは考えられない。となると構造用 LVL は針葉樹丸太から作られることになり、ここに間伐丸太が対象となってくるのである。ベイツガの 204 材からは LVL は作れないのである。すなわち、原材料費を考慮すると建築用の構造用 LVL はヒノキ、カラマツなどの針葉樹人工造林間伐材から製造する他はないのである。

そこで、LVL が木造建築の中で他材料に代えがたい機能を持つ材料として多量に使用される工法システムが開発されれば、ここに間伐材の揺ぎない用途が確立するわけである。

LVL は製材品の代替品であってはならない。製材品にない機能を持たなくては存在意義がない。それが彎曲 LVL なのである。本文においてはこの彎曲 LVL の建築への適用の一方法として、彎曲 LVL を外周枠のコーナー部に用いた耐力壁パネルを基本構成とするシステムを提案した。実験に着手したばかりなので基礎的データの不足はいなめないが、安全で、しかも大きな開口部のとれる住宅を低価格で実現する可能性を秘めているものとする。さらに基礎的実験をすすめたい。

## 5 構造用 LVL の利用開発の方向をさぐる

大熊 幹 章\*

### 1. はじめに

筆者らは5年前、本誌上に「単板積層材(LVL)の製造と材質に関する研究<sup>1)</sup>」と題して LVL の機械的性質について報告したが、おそらくこれが我国における LVL の構造的利用に関する実験データの最初の報告であったであろう。当時はこの新しい材料に対する関心はきわめて高く、民間においては企業化も検討されていたようである。ところが5年経過した今日、この新材料 LVL は製造、利用とも期待されたような伸展を示していないのが現状である。

もっとも、机の天板、ピアノの脚、フラッシュドアの芯材等の家具用材あるいは建築造作材としての利用はある程度行なわれている。しかし、当時 LVL に期待したものはこのような用途が主なものではなかったはずである。単板から柱を造るということ、すなわち合板工場が板ではなく、製材品に代わる角材を製造するというのではなかったか。そして家具用材とはけた違いの生産規模を考えたこともあった。何故そのような発展の道をたどることが出来なかったのであろうか。

新しい材料が常にそうであるように、これを構造的に使用する場合の種々の制限(許容応力度が認められていないことなど)や、何にどのようにしてこの材料を使用するかという需要開拓の不足があげられようが、一方では JAS 制定への作業、一部民間企業の木質構造への適用のこころみ<sup>2)</sup>、前木構協における需要開発の検討、一部研究者による研究開発等この5年間の蓄積も少なくはない。

ここではもう一度基本に立ち返ってこの材料を考え、構造的利用の方向をさぐり、はたして LVL が木材工業におけるもう一つの大形商品になりう

るのかどうか検討してみたい。

### 2. LVL の特徴——その開発の意義

すでに述べたように、数年以前には LVL についての関心も大きく、トピック的に扱われたわけであるが、その理由としては次のことがあげられよう。

(1) 合板不適材(曲がり材、短尺丸太など)および間伐小径木の利用という木材資源の有効利用に関する社会的、行政的ニーズ

(2) 合板工場が角材を製造するという、企業サイドからの手近なエクステンション分野としての期待

(3) LVL の保持する他材料にない性能上、製造上の長所に対する評価などが強調されていた。

ところがこのような大きな期待を寄せられながら一向に製造、利用とも伸展していないのが現状である。その主要な原因は次のようにまとめられよう。

(1) 米ツガ材など輸入製材品とのコスト面での競合

(2) 何に使うかという用途面の問題

(3) 製造法の確立が実際的には未だなされていない

このように種々な大問題が存在するわけである。

ここで構造用合板と LVL の建築材料としての社会の受け入れ態勢を比較してみる。昭和44年に構造用合板の JAS が制定され、荷重を受けもつ板材料としての構造用合板が確立されたが、この背景には住宅という構造物を構成する場合に構造用板材料が必ず必要であり、しかもさしあたって合板しかその対象物になりうる材料がなかったということがある。すなわち構造用合板は木造住宅にとって不可欠な材料なのである。これに対して LVL は必ずしも不可欠な材料ではない。木

\* 東京大学農学部助教授

選定その骨組材としては製材品、集成材、鉄骨製品という優秀な材料がすでに存在しており、なにも LVL をこれらに置き換える必要はないわけである。置き換えることが考えられるのは、LVL を採用するメリットがきわめて大きい場合だけである。はたして LVL はそのような材料なのであろうか。

このように考えてくると、LVL の存在意義という基本的なことから検討する必要がある。ここで利用面に関するこの製品の特徴となり得る可能性のある点を挙げてみる。

- (1) コストを製材品より安くすること
- (2) 乾燥済み材料であること——乾燥材とのコスト競争になる
- (3) 欠点の分散、除去、積層の効果などで強度のバラツキが小さいことを法的に認定されること——許容応力度がミツガ材より大であることを認定してもらうことによって構造材として上等品であることをうち出すこと

以上、(1)、(2)の項については北米から輸入されるミツガ材、将来流通してくるであろう国産小径木製材品とコスト面で競合することになるが、かなり困難な面があろう。(3)項については許容応力度が大きいことが実際使用上、真に有利なことなのか、又、単板の裏割れ、Butt jointなどを考慮すると横引張、層内せん断等に対する性能は不利となり、はたして製材品より大きな許容応力度を獲得することが可能なのか疑問になってくる。

さらに、別の特徴として、

- (4) 長尺ものが得られること

なるほど長尺になるほど製材品よりコスト面で有利となる。又、製材品では得られない長大材を得ることが可能である。ただし、この場合には集成材、鋼製品との競合となる。このとき Butt joint などによる単板縦つぎ部の製品強度へ与える影響を考えると性能、コスト、施工性などすべての面を考慮して、これら他材料にない特徴を発揮することができるであろうか。

- (5) 彎曲材を容易に作ることができること

最後の特徴として彎曲 LVL をあげることができる。製材品から彎曲材を得ることは困難であるし、彎曲集成材よりも曲率半径の小さいものを低

コストで作ることができる。これらの事実は LVL の大きな特徴であり、もし性能的に満足のできるものであり、さらに木構造の中でこの材料をその特徴を生かして使用することができるのなら、ここに構造用 LVL の進むべき一つの道があるかもしれない。このことについて第 4 節で取り上げる。

### 3. 2つの方向——低コストをねらうのか、性能上の長所をねらうのか

前節で LVL の特徴をいくつかあげた。そして LVL の開発の意義を考えるとこの特徴が木構造の中に使用するとき真に生かされるものなのか、そのメリットがどの程度大きいものなのかという問題になるであろう。これらの特徴は大きく 2 つに分けて考えられよう。すなわち、(1)低コスト、(2)高性能の 2 つである。この場合、低コストで性能の良いものが得られればもっとも望ましいが LVL においては両者を同時に望むことは困難のようである。2 つの方向のうち、どちらかに徹底した方がよいかも。ここではこの 2 つの方向について考察してみる。

#### 1) 低コストをねらう

製造コストを下げるためには、(a)工程の単純化と接着剤使用量の減少をはかること、(b)短尺丸太、小径木などの価格の安い原木を使用することの 2 つが極め手であろう。前項については厚単板を使用して、LVL のプライ数を少なくすることが肝要である。単板厚さとしては 8、10、12mm などを使用することになる。ところが、このような厚単板を使用した LVL は裏割れの増加、欠点分散効果の減少により、強度の低下、強度のバラツキの増加、寸度安定性の低下等、性能の低下を避けることができない。又、短尺丸太、小径木を使用すると単板の縦つぎ部の数は当然ふえてくることになり LVL の性能低下をきたす。小径木のロータリー切削は裏割れ、面荒れ、厚さむらをひきおこし、これ又 LVL の性能低下にむすびつく。すなわち、低コストで LVL を製造しようとすれば裏割れ、Butt joint 部の増加をひきおこし、どうしても性能低下はまぬがれない。

#### 2) 高性能をねらう

性能の向上をはかるためには、品質の良い薄め

の単板（6mm以下）を使用し、積層数を多くすることが必要である。しかし、コストが上昇することは当然である。又、高性能の長尺ものを得るには Butt joint 以外の効果的な単板縦つぎをしなければならぬ。この場合もコストがあがるであろう。

以上のように LVL においては特に性能とコストは相い並ぶことは不可能であり、製造ラインからして、どちらかに徹底することが必要のようである。又、利用面から考えて、LVL はその性能によって 1 級、2 級とグレード分けするのが良いと思われる。

第 1 表に構造用集成材、ベイツガ製材品との関係を示した。価格については筆者の推定した値であるが、実際とそんなにかけ離れたものではないであろう。小径木から厚さ 10mm 程度の単板をガリガリ剥いて作った単板から製造するいわゆる 2 級 LVL の価格  $x_1$ 、 $x_2$  については不明であるが 5～10万円/m<sup>3</sup> と考えられる。

第 1 表 製材品、集成材および LVL の用途と価格

材 料	製品の種類	価 格	用 途
		万円/m <sup>3</sup>	グループ
構造用集成材	大断面梁材、彎曲材	50	A
	集成柱	20	
1 級 LVL	彎曲材	15	A
	直線材	10	
ベイツガ製材品	乾燥材	6	B
	グリーン材	5	
2 級 LVL	彎曲材	$x_1$	B
	直線材	$x_2$	

この表より次のように考察できよう。

1 級 LVL は集成材より低コストで製造できる。したがって構造用集成柱を LVL で置き換えることが考えられる。しかし、この場合、集成材に匹敵する性能を保持することが前提であるが、単板の裏割れによるせん断、釘保持力等の低下については疑問のあるところである。又、合板不適材の使用ということになるわけでラワン材の LVL を考えなければならないが、防虫処理についての検討が必要であろう。いずれにせよ、この純構造用材としての用途（A グループ）を指向する場合には必ず許容応力度の認定が必要であり、そのた

めにはさらに多くのデータの蓄積が必要である。

用途グループ B を指向する 2 級 LVL については、5 万円/m<sup>3</sup> 以下のコストで製造することが絶対に必要である。最低限必要な性能を保証できる LVL をこのような低価格で製造することが可能であろうか。なお許容応力度に関しては、パネルの枠材など使用箇所を限定し、構造体を構成するメンバーとして認めてもらうことも可能かもしれない。

#### 4. 彎曲 LVL を用いた新しい木構造の開発

LVL の特徴の 1 つとして、彎曲材がたやすく得られることについてはすでに 2 節で述べた。ここでは彎曲 LVL を木構造に用いることに関して東京大学杉山研究室で行なっている実験結果を一部引用して、考察することとする。詳細な実験データについては別の機会に報告する予定である。

ここで取り上げる彎曲 LVL は高周波成型法によって製造されたものであり、接着剤はレゾルノール樹脂、使用単板は厚さ 10, 8, 6, 4mm 厚のラワン単板である<sup>3)</sup>。

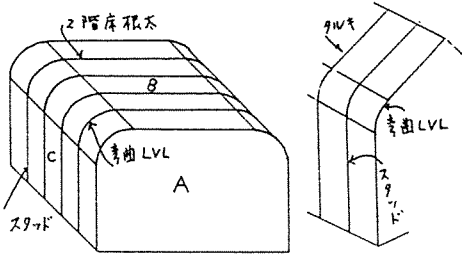
この彎曲 LVL の特徴は、

- (1) 曲率半径が小さいこと。8mm 厚の単板で、半径 30cm のものが得られる
- (2) 製造条件から考えて、積層厚さに限度があり、そのために製品断面が小さいこと。例えば 2"×4"断面など
- (3) 製造価格を製材品に近くまで、おとすことが可能であろう

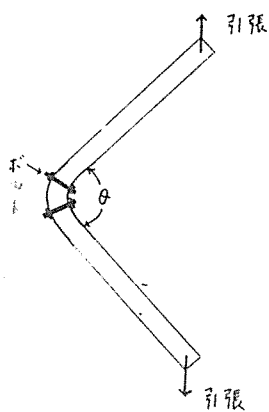
すなわち、例えば 2"×4"材の曲がったものというように集成材のアーチ材と異なるとらえ方をすることができ、ここに彎曲 LVL を部材とした新しい木構造の開発が考えられるかもしれない。

そもそも、木構造の最大の問題点は部材の接合部をいかに処理するかということであったと思われる。垂直部材と水平部材の接合については種々新しい試みもされているがもう一つきめ手がなく、木構造の大きな弱点となっている。ここで彎曲 LVL、例えば 30cm 程度の曲率半径を持ち、角度 90°に折れ曲がった LVL の使用を考えてみる。

この部材を使えば、柱と梁、1階耐力壁中のスタッドと2階床根太などを繊維のとった1部材として処理することが可能となる。又、屋根勾配程度に曲げればスタッドとタルキ材を1本で処理することができる。すなわち、現場における仕口加工を彎曲部材と直線部材の接合に置き換えることができる。しかもラーメン的な効果が期待でき、強度的にもきわめて有利となろう。



第1図 木構造における彎曲 LVL の使用例



第2図 彎曲 LVL の強度試験 (引張)

引張力によるモーメント  $M$  と角度  $\theta$  の変化  $\Delta\theta$  の関係を求める

第1図に使用の1例を模式的に示した。小さな断面の彎曲 LVL を多量に使用し、A壁のように彎曲 LVL を外周材に使用した耐力壁パネル、彎曲部を支持部とする水平面 B 等に見るように、彎曲 LVL のラーメン効果と合板のスジカイ効果の2つを期待する木構造であり大断面アーチ材による集材材構造とは異なるものである。

彎曲 LVL の強度性能については荷重と彎曲部の角度変化 ( $M-\Delta\theta$  の関係 第2図参照) の実験を行なっている。現在までのところ

- ・  $M-\Delta\theta$  曲線はきわめて安定した直線を示し、この材料の安定性を示している。
- ・  $M-\Delta\theta$  関係は単板厚さ、曲率半径に影響される。
- ・ 圧縮 (角度が閉じる) の方が引張 (角度が開く) よりもかなり強いこと、とくに最大モーメントの差が大きい。
- ・ 彎曲部を第2図に示すようにボルト締めし、厚さ方向の変形をおさえると引張の場合の強度が

飛躍的に増大する。

などの結果が得られている。

以上、彎曲 LVL を用いた新しい木構造の開発について一つの考え方を示したが、曲率をもった部材を箱形構造である住宅構成部材にとり込むことにはデザイン上、施工上きわめて困難な面があり、さらに現状では設計規準上多くの問題があるが、接合部の単純化、構造強度の増加のために、又 LVL の用途開発のために一つの有効な方法と考える。この問題は非常に多くの検討すべき事項を含んでおり、大きなプロジェクトとなろう。さらに実験、考察をすすめる予定である。

### 文 献

- 1) 有馬孝礼, 大熊幹章: 木材工業, 28-6(1973)
  - 2) 皆川保生: 木材工業, 32-9 (1977)
  - 3) 永大産業(株)中央研究所報告 No. 2 (1976)
  - 4) 佐藤雅俊: 第28回木材学会大会要旨集 (1977)
  - 5) 木構造設計規準・同解説 (1973)
  - 6) 大熊幹章: AWCOM No. 25 (1976)
- (1978. 2. 3 受理)

(10ページよりの続き)

算した。

今後、ここに示した考え方を裏付ける多くの実験を行なわなければならないが、やはり実際使用における強度低下を測定し、促進試験である繰返し荷重試験の繰返し回数を使用時間というタイムスケールに合わせる作業を行なわなければならない。又、許容応力度については(1)式における劣化係数  $f_3$  ばかりではなく、バラツキの係数  $f_1$  およびクリープについての調整係数  $f_2$  を求めねばならず、さらに多くの実験、調査が必要である。

### 文 献

- 1) 林 燦輝・大熊幹章: 木材学会誌, 23, 660 (1975)
- 2) J. D. McNatt: USDA Forest Service Research Paper, FPL 270 (1975)
- 3) 中井 孝: 木材工業, 33, 158 (1978)
- 4) 清水建設 House 55 開発室資料, 未発表
- 5) J. D. McNatt: USDA Forest Service Research Paper, FPL 267 (1975)
- 6) 大熊幹章: 木材学会誌, 22, 184 (1976)
- 7) 大熊幹章: 木材学会誌, 22, 303 (1976)
- 8) 大熊幹章・岩下 陸・佐野弥三郎: 木材工業, 32, 257 (1977)
- 9) 大熊幹章・森泉 周: 木材学会誌, 23, 513 (1977)

(1978. 4. 26 受理)

# 彎曲 LVL の木構造への適用に関する基礎的研究(第1報)

—高周波加熱による彎曲 LVL の製造とこれを用いた組み立て梁の曲げ剛性—

佐藤 雅俊\*<sup>1</sup>・大熊 幹章\*<sup>2</sup>

The basic studies on the application of curved LVL to wooden construction (1)

—Manufacturing conditions by high frequency heating and bending stiffness of the wooden composite beam, using curved LVL at the corners of beam framing—

Building Research Institute, Ministry of Construction

Masatoshi SATO

Faculty of Agriculture, University of Tokyo

Motoaki OKUMA

LVL (Laminated Veneer Lumber) can be easily formed into a curved shape, winding in right angle with small radius of curvature. We are planning to apply the curved LVL to the wooden house construction because it is expected to give large stiffness and strength to the house construction.

In this paper, results of the following two experiments were reported. (1) Fabrication of the curved LVL by means of high frequency heating. (2) Bending stiffness of the wooden composite beam, using curved LVL at the corners of beam framing.

Results obtained are summarized as follows:

- (1) Bonding strength between veneers of all glue lines in curved LVL showed the excellent values.
- (2) Relationship between allowable minimum radius of curvature of curved LVL ( $R_0$ ) and thickness of veneer ( $t$ ) was represented by the following formula.  

$$R_0 = 75t - 10 \quad (0.4\text{cm} \leq t < 1.0\text{cm})$$
- (3) The spring back (recovery) of the curvature of LVL, at the time of one month after pressing, was not so significant.
- (4) Composite beam, using curved LVL at the corners of beam framing, were subjected to the vertical load and showed very high bending stiffness.

## 1. はじめに

LVL (単板積層材)については、ここ数年大きな関心が寄せられ、本誌においても何回か、製造、材質、利用について論ぜられてきた。しかし、LVLの本来の用途、構造的利用に関しては未だ決め手がないようである。

LVLの特徴の一つとして彎曲材が容易に得られることがあげられる。製材品との競合等を考えると、LVLは彎曲部材としてとらえることが用途確立の近道ではな

らうか。

ここでは、彎曲 LVL 製造の基礎実験として高周波加熱成型条件と材質を検討し、さらに彎曲 LVL 利用の一例としてこれを両端に用いた木製梁を考案し、その剛性を検討した。

## 2. 彎曲 LVL の製造

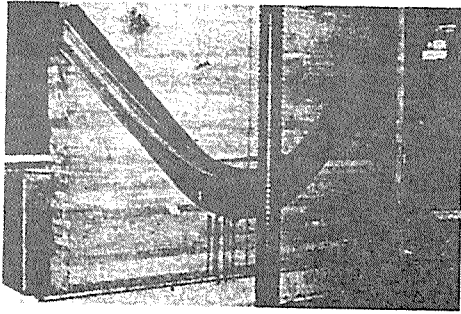
### 2.1 製造方法

彎曲 LVL の製造には高周波加熱成型装置を用いた。

\*<sup>1</sup> 建設省建築研究所, \*<sup>2</sup> 東京大学農学部助教授・農博



この装置は第1図に示すような成型用の木型と、出力4kWの高周波発振装置および圧縮力をかけるための30tonのアムスラー万能試験機からなっている。なお、木型は第1図に見るように20mm厚のブナ挽板を積層接着したもので、4種類の曲率半径(20, 35, 50, 75cm)をもつものを用意した。又、内部には電極として2mm厚のアルミ板を貼ってある。



第1図 彎曲 LVL の製造  
木型の間に単板をはさみ圧縮を開始したところ

以上の装置によって、長さ180cm(繊維方向)、幅15cmの長方形単板を使って、中央部で90度に折れ曲った、材せい約9cmの彎曲 LVL を成型した。

供試単板としては、レッドラワン(の)ロータリ単板を用い、単板厚さは4, 6, 8, 10mmの4種類である。各単板には、単板厚さの90%程度の裏割れが間隔5~8mmで入っていた。

## 2.2 製造条件と単板の接着力

### 2.2.1 高周波加熱による接着層の温度上昇

高周波加熱による接着層の温度上昇が、接着剤の硬化のために十分なものであるかを検討した。成型条件は次のようなものである。

高周波発振装置：パール工業

木型：曲率半径35cmのもの(雄型凸出部の曲率半径)

単板および単板構成：長さ180cm, 幅11cm, 厚さ6mmの単板15枚積層, 単板含水率約10%

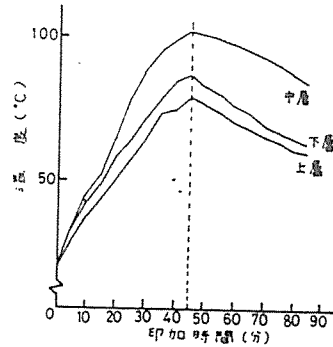
接着剤：高周波用レゾルシノール樹脂接着剤(大日本インキ化学工業K.K, プライオーフェンMD-511)  
塗付量 300g/m<sup>2</sup>で両面塗付

圧縮圧力：10kg/cm<sup>2</sup>、ただし、第1図に見るように、雄型と雌型の間には単板をはさみ、上方から鉛直方向に圧力を加えるが、木型は直線部と彎曲部からなっており、所定の圧縮力が各部位に平均して加わっているか不明である。このことについては後に検討するが、ここでは単板に平均的に荷重がかかるとして、単板面積から、雄型に加える全荷重を算出した。

印加電流を400mA と一定にして高周波加熱を行ない、

LVL の側面にあけた孔の中にさし込んだアルコール温度計を用いて、経過時間による温度上昇を測定した。測定箇所は LVL の長さ方向に両端部と中央、LVL の厚さ方向に上層、中層、下層の合計9ヶ所である。

実験結果を第2図に示す。LVL の長さ方向については両端部と中央部でまったく差がなかったため、これらについては平均値でまとめて示した。



第2図 印加時間と接着層の温度上昇

上層：彎曲 LVL の内側(凹側)表面より12mm

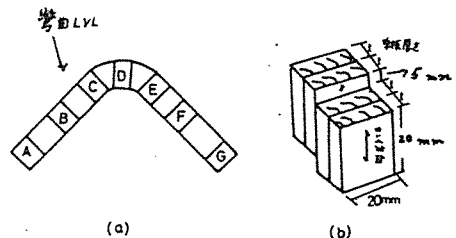
中層：彎曲 LVL の厚さの中央(表面より39mm)

下層：彎曲 LVL の外側(凸側)表面より12mm

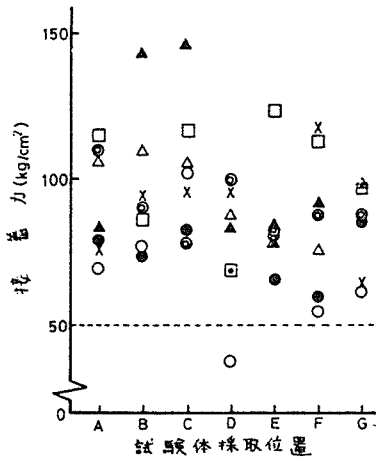
分経過後、高周波印加を中止し(第2図の点線を示す)、材内の温度降下を測定した。図に見るように、温度降下はきわめてゆるやかであり、余熱の利用も十分に考えられる。

### 2.2.2 接着力

上記の条件で製造した彎曲 LVL について、単板の接着力を測定した。なお、高周波の印加時間については、余熱の利用等、かなりの時間短縮が可能と考えられるが、ここでは安全を考え、30分間の印加を行なった。第3図(a)に示す LVL の各位置から、第3図(b)に示す接着力試験片を1層おきに採取し、ブロックせん断試験を行なった。なお、LVL の単板の積層は、単板の裏割れ面と表面(裏割れのない面)が互いに接するように接着してある。



第3図 接着力試験片採取位置および試験体の形状



第4図 彎曲 LVL からの試験体採取位置と接着力の関係

A~G: LVL の長さ方向における試験体採取位置を示す。第3図参照

○●△▲□×◎: LVL の厚さ方向における試験体採取位置を示し、この順に上から (LVL の門側) 1, 3, 5, 7, 9, 11 層目の接着層を示す

実験結果を第4図に示す。図中の破線は、JAS 構造用集成材ラワンBの基準値を表わす。図を見ると、LVL の各部位における単板接着力は、いずれも基準値を大幅に上廻り、良好な接着力を示している。又、LVL からの試験片採取場所と接着力の間に一定の傾向が認められない。一方、木破率 80~100% を示しており、集成材の基準値60%を越えていた。これらの結果により、ここで採用した LVL の製造条件により、十分な接着力をもつ彎曲 LVL が得られることが認められ、以後の彎曲 LVL の製造も全く同じ条件を適用することにした。

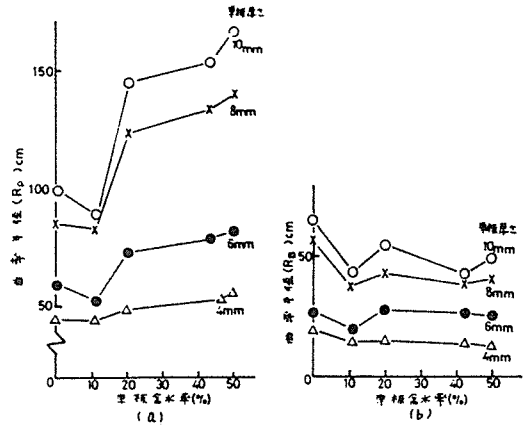
### 2.3 最小安全曲率半径について

彎曲 LVL の特徴を生かすためには、できるだけ小さな曲率半径をもって LVL を折り曲げたい。しかし、単板の材質、厚さ等との関連で限度が存在する。ここでは単板に破損を生じないで、曲げることのできる最小の曲率半径を最小安全曲率半径  $R_0$  とし、 $R_0$  と単板含水率、単板厚さとの関係を検討した。

#### 2.3.1 単板含水率と最小安全曲率半径

彎曲 LVL の最小安全曲率半径は、当然これを構成する単板をどの程度まで安全に曲げ得るかということと関係がある。単板の含水率を高めれば、材質が軟化し、大きな曲率に曲げることができるよう考えられるので、検討してみた。すなわち、単板厚さを  $t$  とした場合、スパンを  $48t$  とし、幅 3 cm の試験片について中央集中荷重で曲げ試験を行ない、荷重一たわみ曲線を求め、比例限度における単板の曲率半径  $R_P$  を測定した。第5図(a)に  $R_P$  と単板含水率の関係を示す。

図を見ると、単板含水率10%で、曲率半径が最小とな



第5図 単板含水率と  $R_P$  および  $R_B$

$R_P$ : 単板の曲げ試験における荷重一たわみ曲線の比例限度における曲率半径

$R_B$ : 同上曲げ破壊時の単板の曲率半径

り、一番大きく曲げることが認められる。含水率が高くなるにつれて、比例限度に達する曲率半径は大きくなり、あまり曲げることができないことを示している。これは含水率増加にともなって、単板の曲げ性能が低下するためと考えられる。又、単板厚さが厚くなるほどこの傾向は顕著である。実際の彎曲 LVL 製造においては単板は塑性域に入るまで曲げられていることを考慮し、破壊時の曲率半径  $R_B$  を求め、含水率との関係を第5図(b)に示した。 $R_P$  はほど顕著ではないが、 $R_B$  についても含水率との関係は同じ傾向を示し、含水率10%で曲率が最も小さくなるまで曲げられることが認められる。

単板含水率10%で、最も大きく曲げ得るという結果は LVL の圧縮接着の面からみれば、接着を完全に行える含水率範囲であり、好都合である。以上のことから、本実験においては、すべて単板含水率を約10%に調整して製造を行なった。

#### 2.3.2 単板厚さと最小安全曲率半径

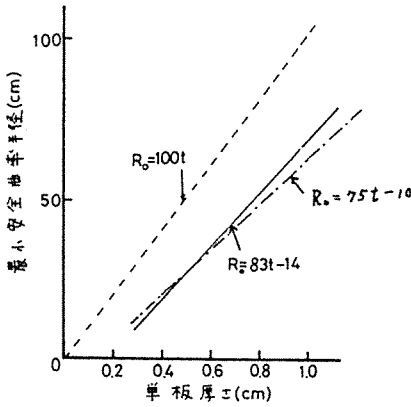
第5図に見るように、単板厚さが厚くなると最小安全曲率半径  $R_P$ 、 $R_B$  は大きくなる。Finnorn と Rapavi<sup>12)</sup> は集成材のラミナについて、曲げにおける比例限度 ( $R_P$ ) と破壊時 ( $R_B$ ) のほぼ中間の塑性域における曲率半径を彎曲集成材の最小安全曲率半径  $R_0$  と定め、次式を提案している。

$$R_0 = 2R_B - R_B^2 / R_P \dots\dots\dots(1)$$

この式を本実験にあてはめ、含水率10%の単板について、最小安全曲率半径  $R_0$  と単板厚さ  $t$  の関係を求めると

$$R_0 = 83t - 14 \quad (0.4 \leq t \leq 1.0) \quad \text{単位: cm} \dots\dots(2)$$

が得られた。これを第6図に示す。図中破線で示したのは、木構造設計基準において、彎曲集成材について定め



第6図 単板厚さと最小安全曲率半径との関係  
 ———: Finnorn & Rapavi の式にあてはめた場合の  $R_0$   
 .....: 木構造設計基準の  $R_0$   
 ———: 彎曲 LVL の観察からもとめた  $R_0$

られている  $R_0 \geq 100t$  を示したものである。

一方、4種類の木型と4種類の単板厚さを組み合わせ、実際に16種類の彎曲 LVL を製造したが、この際に単板の破損状態を観察し、第1表を得た。

第1表 彎曲 LVL の観察による評価

単板厚さ (mm)	曲率半径 (cm)				注)
	20	35	50	75	
4	A	A	A	A	A……単板の破損がなく製造できたもの
6	C	A	A	A	B……製造した彎曲材の凸側が破壊していたもの
8	D	B	A	A	C……製造した彎曲材の凹凸側が破壊していたもの
10	D	C	B	A	D……製造不可能

製造コスト、製造工程等を考慮すると、できるだけ厚い単板を使用し、できるだけ曲りの大きい彎曲 LVL を得たい。したがって第1表から各曲率半径について単板の破損なく製造できたもの A のうち、単板厚さの最も大きなものの組み合わせを選び出し、両者の関係を式に求めると

$$R_0 = 75t - 10 \quad (0.4 \leq t < 1.0) \quad \text{単位: cm} \dots (3)$$

が得られた。この実験式も第6図に示しておく。

第6図を見ると、彎曲 LVL は単板の破損なく(3)式まで大きな曲率をとって曲げることが可能であり、これは集成材についての(1)、(2)式よりもはるかに下に位置する。すなわち、単板に存在する裏割れ等のために、挽板より大きく曲げられるわけであり、単板が挽板よりも薄いことと相まって、ここに、彎曲集成材よりも小さな曲率半径をとって曲げることができるという彎曲 LVL の大きな特徴が裏付けられた。

もっとも、このような場合、単板は比例限度をこえて曲げられており、塑性領域に入っているわけで、たとえ単板の破損がなく LVL が成型されていてもこのことが

彎曲 LVL の性能に悪い影響を与えていることも考えられる。このことについては次報で考察することにする。

#### 2.4 製造後ののはねもどり

高周波加熱により成型された彎曲 LVL は、木型からはずした際、あるいは長期間使用中に若干のはねもどり(彎曲 LVL の形状が木型の形状からずれてくること、一般には曲率が減少するように変形する)を生ずることが考えられる。製造直後と1ヶ月放置後のはねもどりを測定した。この場合彎曲 LVL の交差角  $\theta$  (両直線部分の延長線の交差角) と曲率半径  $R$  を測定し、それらを木型の  $\theta$  および  $R$  と比較し、その比をもってはねもどりの量を表わすこととした。

第2表 彎曲 LVL の製造後ののはねもどり

曲率半径 (cm)	単板厚 (mm)	交差角 (%)		曲率半径 (%)	
		$\theta_0$	$\theta_1$	$R_0$	$R_1$
20	4	99	100	99	99
	6	100	100	99	100
35	4	99	99	99	99
	6	100	99	100	99
	8	99	99	100	99
50	10	100	100	100	100
	4	99	99	99	98
	6	99	99	99	98
	8	99	99	99	98
75	10	99	99	99	99
	4	99	101	98	99
	6	95	97	96	98
	8	104	103	102	101
	10	95	96	96	97

$\theta_0, \theta_1$ : 木型の彎曲部の交差角度に対する彎曲 LVL の製造直後および製造1ヶ月後の交差角度の比 (木型の交差角度に対するパーセントで示す)。

$R_0, R_1$ : 木型の彎曲部の曲率半径に対する彎曲 LVL の製造直後および製造1ヶ月後の曲率半径の比 (木型の曲率半径に対するパーセントで示す)。

結果を第2表に示す。この表より、はねもどりは交差角、曲率半径ともきわめて小さく、木型のそれを100とすると98~102内にあり、しかも単板厚さ、曲率半径、製造後の放置時間等によって一定の傾向がなく、実際の使用を考えた場合は、ほとんど問題にならないものと考えた。なお、長期の使用、又屋外使用等の厳しい環境においた場合についてはさらに実験を行なわなければならない。

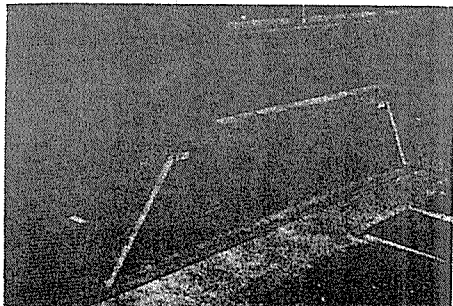
#### 3. 彎曲 LVL の利用の一例——彎曲 LVL を両端に用いた木製梁

前節までに述べてきたように、彎曲 LVL は彎曲集成材にない特徴を有する。すなわち、大きな曲率で曲げられること、接着剤コスト、高周波成型の能率などの制約から小断面材の製造が適していること、総じて集成材 A ーチよりも低コストで得られることなどである。これらの特徴を生かして木構造の中に適用することができ

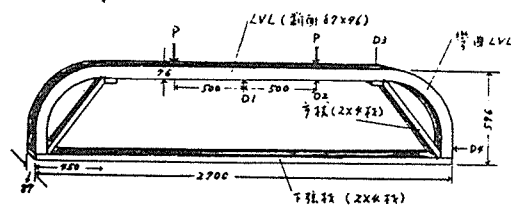
よ、ここに LVL の揺ぎない用途が開けてくる。現状では LVL は製材品の代替としては成り立たない。コスト的に競争しえないからである。LVL でなければならぬような部材を作り、これを合理的に木構造に取り込むシステム、新工法を開発することが必要である。

さて、彎曲 LVL の用途は多々考えられるが、ここではその一例として、第7、8図に示すような両端部を彎曲 LVL で固めた木製梁を取り上げ、その曲げ剛性を測定したので、予報的に報告したい。

### 3.1 彎曲 LVL を用いた木製梁の構造



第7図 両端に彎曲 LVL を用いた木製梁



第8図 彎曲 LVL を両端に用いた木製梁の詳細 (単位 mm)

D1~D4:変位測定点, P:荷重

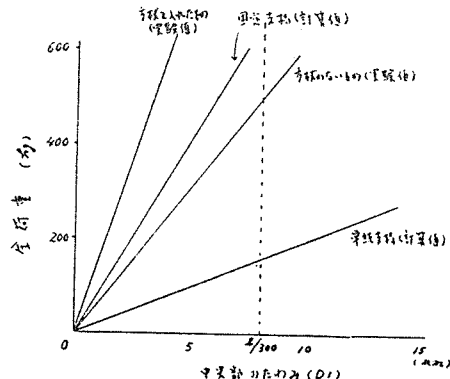
第7図、第8図に見るように、2つの彎曲 LVL をその間に通直 LVL を縦接合して、アーチ状の部材を作り、その下部に2×4材を釘どめする。コーナー部材に同じく2×4材を用いて方杖を挿入する。方杖の下部は彎曲 LVL と下弦材のコーナー部に突き付けて釘どめするが、上部は LVL の単板2枚分だけ欠き込んで、その中にとがらせた先端を引っかけて固定する。また、ズレを防ぐために2×4材を切断したブロックを釘どめし、ストッパーとする。

本実験はあくまで予備実験であるので、第8図に示す長さ2,700mm、高さ600mm、幅87mmの寸法の梁を一例として取り上げたにすぎない。なお、LVL の彎曲部の曲率半径は内側で350mm、6mm 単板を13枚積層した材せい76mm のものである。LVL の縦接合は、第7図に見るように階段状の Butt joint であるが、本来は joint 間をさらに長くとるべきであり、できることなら2次的に縦接合するのではなく、一体成型すべきであろう。さ

らに検討を続けたい。なお、木製梁の片面又は両面には合板等の面材が張られるのが普通であるが、今回は面材を張れないような用途があることを考慮し、これを用いなかった。

### 3.2 木製梁の曲げ試験および試験結果

木製梁を組み立てる前に、通直 LVL について中央集中荷重による曲げ試験を行ない、LVL の曲げヤング係数を求めておく。ついで木製梁を組み立て、スパン2,620mm にとり、4点荷重により曲げ荷重をかけ、各部の変形を電気式ダイヤルゲージにより測定した。第9図に上弦材の中央部のたわみ(通直 LVL の鉛直たわみ)と全荷重の関係を示す。



第9図 木製梁の荷重-たわみ曲線

この図には、先きの通直 LVL の曲げ試験より求めたヤング係数から計算によって、同一断面(幅87mm、高さ76mm)の LVL について、同一スパン(2,620mm)同一荷重方式による単純支持および固定支持の場合の荷重-たわみ(スパン中央部)曲線をも合わせて示した。又、方杖をはずした木製梁についても実験を行ない、その荷重-たわみ曲線も示した。第9図より次のことが認められよう。

① 彎曲 LVL を用いた木製梁は、方杖がない場合でも単純支持材よりもはるかに大きな剛性を示す。これは彎曲 LVL が、その角度を閉じるように働く力に対して大きな抵抗を示すためである。ラーメン的性能を保持しているわけである。もっとも、第8図に示す彎曲 LVL 脚部の水平方向の変位——ダイヤルゲージ D4 による測定値——は殆んど0であり、このことから彎曲 LVL の交差角は一定を保っているのではなく、変化しているわけで、完全なラーメンとはいえない。

② しかし方杖のない木製梁の剛性は、固定支持の場合の剛性にはおよばない。単純支持と固定支持の中間の性能を示している。

③ 一方、方杖を入れた木製梁は、極めて大きな剛性を示し、固定支持の場合よりも、たわみが少ないことが

認められた。これは一見ありえないことのように思えるが、本木製梁においてはコーナー部が彎曲材と方杖によって、極めて強固に三角形に固められており、鉛直荷重が上弦材にかかっても、方杖の上部と彎曲 LVL の交点は変位することなく、あたかもこの点が曲げの支持点になるような挙動を示し、スパンの短い(1,800mm)、固定支持の曲げが行なわれていることになるものと考えられる。

### 3.3 彎曲 LVL を用いた木製梁の利用について

上述したように、本木製梁は極めて大きな剛性を示すことが認められた。彎曲 LVL の単板構成、材せい、曲率半径の大きさ、梁の高さ、方杖の断面の大きさ、配置、方杖、下弦材と LVL の接合方法等さらに詳細な実験を行なう予定である。本木製梁は木構造における横架材として使用されるわけであるが、その用途と特徴を述べておく。

① 曲げ剛性が極めて大であるので、大きなスパンが小断面材 (LVL の断面) でとれる。開口部上部の垂れ壁パネルとして最適であろう。

② この場合、下弦材 (下枠) には荷重がかからないので、例え上弦材 (LVL 部) がたわんでも、全く変形

を生じない。下枠材の下に入るサッシ等に荷重がかからないのは大きな利点である。

③ 十分な剛性を保持するので、側面にウェッジ効果を期待して合板を張る必要がない。すなわち、この木製梁を垂れ壁パネルとして使用する場合、この中空部をランダムとして利用できる。

④ 水平荷重については、この垂れ壁パネルのせん断剛性そのものが大きいので、両隣にくる耐力壁パネルとの連結をよくすれば、連続壁体として高い剛性を持つであろう。

⑤ その他、桁、根太さらには屋根トラスの代りに大きな用途があろう。

### 引用文献

- 1) 有馬孝礼, 大熊幹章: 木材工業, 28(6) (1973)
- 2) 皆川保生: 木材工業, 32(9) (1977)
- 3) F. P. L.: F. P. L. Rept 175 (1972)
- 4) W. J. Finnorn & A. Rapavi: F. P. J., 9 (8) (1959)
- 5) 木構造設計規準・同解説, 193 (1973)
- 6) 大熊幹章: 木材工業, 33(6) (1978)  
(1979. 1. 12 受理)

## 7 構造用 LVL の利用開発の方向をさぐる(その2)

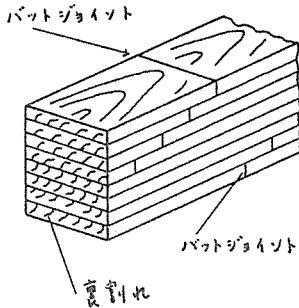
大熊 幹 章\*

筆者は本誌33巻6号に「構造用 LVL の利用開発の方向をさぐる」と題して LVL についての私見を述べさせていただいた。当時から2年近く経過したのであるが、この間昭和53年8月に一般用途に用いられるものを対象とした日本農林規格が制定されたものの、LVL をめぐる情勢には一見変化はないようである。しかし資源問題、住宅の質的向上への要請など LVL、特に構造用 LVL の登場を望む胎動が感じられる今日である。そこで再び筆をとり、LVL の製造、利用について若干の考えを述べさせていただきたいと思う。

### 1. 建築材料としての LVL 開発の意義

単板積層材 (LVL) は第1図に示すように比較的厚い単板を繊維をほぼ平行にして積層接着したブロック状の材料である。LVL の特徴を同じブロック材料である集成材と比較すると、

- ① 製造工程が合板と類似しており、原木から製品に至る流れが単純で、より省力化された工業に成りうる。
- ② 製品への歩留りが高い。
- ③ 端切丸太、彎曲丸太など合板不適丸太の利用が可能である。



第1図 LVL の模式図

- ④ 単板のバットジョイント部をずらせることによってより簡単に長大材が製造できる。
  - ⑤ 集成効果による強度のバラツキのより大きな減少が期待できる。
- 等があげられるが、要するに合板不適丸太から低コストで安定した性能を持つ柱状製品が得られる

ことに注目すべきであろう。このような新材料 LVL を現在の社会情勢と結びつけて考えるとその生産、利用を伸展せしめることによって、

- ① 合板工場が板に加えて、柱等の骨組材料をも製造することになり、一大エクステンションとなる。
- ② 住宅構造における最も重要な骨組材料を工場製品化することによって住宅の質的向上は大きなものがある。
- ③ 低質材の有効利用が促進される。

以上の3点の実現が可能となり、極めて大きな社会的意義が存するものと考えられる。LVL の生産、利用開発がすすみ、これが次の大形商品に仕立てあげられれば、我国木材工業、住宅産業の発展に大きな影響を与えることになろう。

### 2. 何故実績があがらないのか

このように大きな期待を受けて登場してきた LVL は、ここ数年大きな関心をもたれているにもかかわらず建築部材としての使用の現状は微々たるものにすぎない。何故実績があがらないのであろうか。

材料を開発するにあたって、その材料の大きな需要を開拓するためには建築構造材への適用を計ることが最も効果的である。この場合、新材料に構造材料としての認定を取得させねばならないという法的制約は常に厄介な問題となる。LVL についても構造材料としての認可を得るよう最善の努力を尽くさねばならないが、そのまえにここでは、実績があがらない理由をこの材料の本質に立ち返ってもう一度検討してみたい。

筆者は次の2点を最大の理由と考えている。

- ① 製造方法が確立していない。
- 再構成材料である木質材料を能率よく造る方法としては現在の技術レベルでは平板ホットプレスを用いた熱圧縮法による以外考えられない。とこ

\* 東京大学農学部助教授

るので LVL は板ではなく、ブロック材として考えねばならないので、これをホットプレスで造るとなると熟圧時間が長くなり極めて都合が悪い。薄ものを造り、この両面に単板を貼り足して行く方法、20mm程度の原板を造り、これを2枚、3枚と2次的に接着する方法、クランプ等による冷圧法、高周波加熱、乾燥余熱の利用など多くの工夫がなされているが、どの方法を採用するか問題である。しかも LVL の特徴である長尺もの（4 m 50cm はほしい）を考えねばならないので更に面倒である。製造工程が合板と類似しているといわれているが実際は極めて困難な問題を含んでいるといえよう。

② LVL の本質およびそれを活かす用途についての定見が未だ得られていない。

新材料である LVL は同じ骨組材料である製材品、集成材と競合状態にあることは当然である。これらの材料に取って代って使われるためには LVL 使用のメリットが大きくなければならない。ではメリットとして何を主張したらよいであろうか。すでに前報で述べてきたことであるが、次の2つの方向に集約されよう。

(i) 低コスト材をねらう。そのために、

●短尺丸太、小径木等の低価値原木の利用を計る。→製品価格に占める原材料費の割合が低下し、低コスト材が期待できる。しかし単板品質の低下、縦つぎ部（バットジョイント）の増加により性能低下をきたす。スカーフ、ミニフィンガーを採用すれば性能はアップするが工程が増加しコスト上昇を招き、当初の目的からはずれてくる。

●厚単板（6～10mm）を使用し、プライ数を減少させる。→工程の単純化と接着剤使用量が減少し、低コスト材となる。しかし単板の裏割れの増加をきたし、さらにプライ数の減少は集成効果を低下させ、強度、寸度安定性に悪影響を与え、一般に性能低下につながる。

(ii) 高性能材料（許容応力度の大きい材料）をねらう。そのために、

●薄単板（1～4mm）を使用し、プライ数を増す。単板品質が向上するとともに集成効果

が増大して性能は上昇する。しかしコストがアップすることは当然である。

●長尺単板を使用し、縦つぎ部を減少させる。縦つぎをするときにはフィンガー、スカーフジョイントとする。→高性能材となるがコストは上昇する。

(i) (ii) どちらの方向が構造用 LVL の進むべき道であろうか。新材料としての LVL を考えた場合、(ii) の高性能材料と認知したいというのが世間一般の考えのようである。特に単板という薄いラミナを数多く重ね、多量の接着剤を使用して製造するのであるから、集成材の許容応力度よりも高い値を取るのには当然であり、そうでなければ合わないという考え方である。筆者はどうしてもこのような考えに同調することができないのである。

高性能材料をねらえば上に述べたように必ずコスト上昇につながり、低コスト材としての LVL の長所を失うことになる。一般の柱、胴差し等に製材品に代って使うことはできなくなる。更にバットジョイントの存在を拒否すれば LVL の一大特徴である短尺丸太の使用、長尺ものの製造をあきらめねばならない。又、単板には多かれ少なかれ必ず裏割れが存在するのであり、これは特に LVL の横引張、せん断性能に大きな影響を与える。性能の上から構造用集成材と競合するのはかなり困難ではなからうか。

このように考えてくると LVL は(i)の方向、すなわち集成材よりは性能はおちるが、低価格な材料と位置づける他はないと思われる。この場合でも乾燥材であること、同一品質のものが大量に生産される工場製品であること、長尺なものが得られること、彎曲材が得られること等の LVL の特徴は当然保持されている。

LVL は構造用集成材のような大きな許容応力度をもつ高性能材料ではないが、低コストで能率よく大量に生産し、低い安定した強度をもつブロック材料として製材の普通構造材程度の許容応力度を取得する方向にもって行きたいと考える。

LVL を何に、どのように使うかということは最も重要な課題である。筆者はすでに述べてきたように LVL を大量生産、大量消費の材料と考えて行きたい。大スパン I 型 beam のフランジ材の

ような特殊用途をねらうのではなく、一般住宅の柱、梁材としての用途を目指したい。そのような用途でなければ次の大形商品にはなり得ないからである。

### 3. LVL の建築への利用について——LVL を用いて組み立てた box 型材料

前節までに LVL は大きな期待をもたれている材料であるが、少しも建築における実績があがっていないことを述べ、その理由を製造、材質の面から検討した。

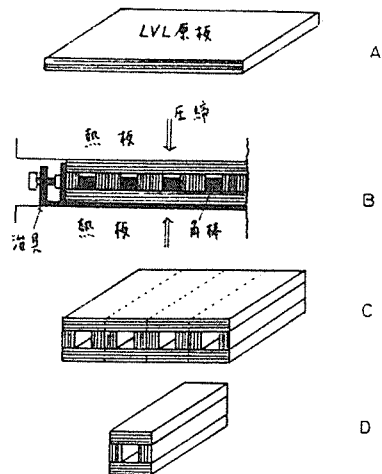
LVL の建築への利用を促進するためにはこれらの点について明解な解答を用意しなければならない。すなわち、如何に能率よく、低コストで材料を製造するか、この材料を如何に柱、梁に転換し、一般住宅の中に取り込むかということである。これらのことについて次のように考えていきたい。

#### ① ホットプレスによる薄目の LVL 原板の製造

十分な強度と耐久性を持った接着製品を能率よく製造するためにはホットプレスによる熱圧縮法を採用する以外はないこと、しかも圧縮時間の短縮という制約下では製造原板の厚さを20~30mmにとどめざるを得ないと考える。すなわち、長尺多段ホットプレスにより4~6mm単板を用いて4~7プライの20~30mm厚 LVL 原板を造ることである。この際、飛距を十分にとりつづらせた単板縦つぎ部(パットジョイント)が当然存在する。

#### ② LVL 原板のブロック材料への転換

大量に生産される厚さ20~30mmの LVL 原板から柱のようなブロック材料を造る方法、すなわち、板材をブロック材に転換させる方法は種々考えられるが、第2図にその1例を示した。図に見るように2枚の LVL 原板の間に所定の幅に切断した LVL を側面端部に接着剤を塗付して立てて挿入し、中空部の間隔を調整する角棒を中にはさんで治具を側方から締めつけて固定したのち、この治具ごと平板プレスに入れて圧縮接着する。接着完了後、治具および角棒を取りはずし、所定の幅に縦方向に切断して box 型ブロック材を得る。



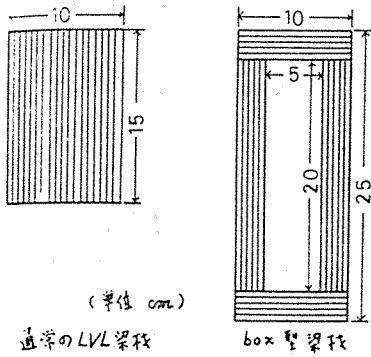
第2図 box 型材料(柱)の製造法の一例

- A: ホットプレスで熱圧製造された厚さ20~30mm、幅900~1,200mmの LVL 原板
- B: 2枚の LVL 原板の間に所定の幅に切断した LVL を側面端部に接着剤を塗布して挿入し、固定治具にて位置を固定したのち、治具ごと平板プレスに入れ、圧縮接着する。
- C: 接着完了、治具および中空部間隔調整角棒を取りはずしたのち点線線を縦方向に切断
- D: 完成した box 型柱

板で造って、柱にして使うわけである。この材料の特徴として次のようなことがあげられる。

- (i) 接着される側面が LVL では合板と異なり全断面にわたって追桁面となるので良好な接着が得られる。
- (ii) LVL 原板に多少の反り、ねじれがあっても4枚を box 型に集成すれば正常な角柱が得られる。
- (iii) 板の幅を変えることによって任意の断面寸法をもつ正角、平角材が得られる。しかも長尺ものが自由に得られる。
- (iv) 梁の場合を例にとると、内部が中空であるので同一重量でムク材よりも大きな断面に仕立てることが可能となり、断面2次モーメントが大となる。第3図に示すように幅10cm、高さ15cmの断面をもつムクの梁材と同重量の box 型 beam では断面2次モーメントは計算上3.45倍となり、同一荷重下でたわみが1/3.45になる。
- (v) この中空部を利用して新しい継手、仕口が工夫できよう。又、パイプ、コード等のスペースとしても利用できる。
- (vi) 中空部があるため防腐処理等の薬剤処理もし



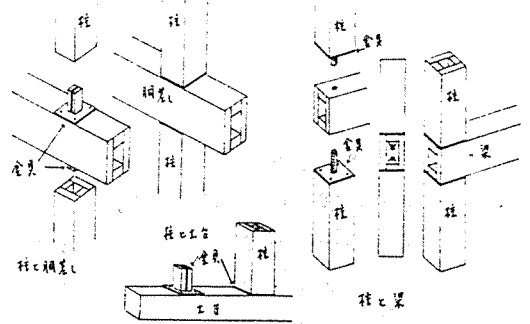


第3図 同一重量のLVL梁材とbox型梁材の断面2次モーメントの比較

図に示す寸法の製品の場合、断面積  $150 \text{ cm}^2$ 、断面2次モーメント：ムク材  $I_1=2,813 \text{ cm}^4$ 、box型材  $I_2=9,688 \text{ cm}^4$ 、 $I_2/I_1=3.45$

やすいであろう。

以上のように製材品、集成材にない種々の特徴をもった構造材料が得られる。そしてこの材料はLVLのもつ他材料にない特性、すなわち、乾燥済みの、品質にバラツキが少ない、低コストの大量生産工場製品であり、しかも長尺なものであるという特性を十分に活かして実現されるのである。LVL以外のものからは到底得られないものである。



第4図 cap型金具を使用したbox型材の仕口接合の例

#### 4. 本材料の建築への適用例

前節で示したbox型材料は在来軸組工法およびその他の工法住宅におけるやや大き目の断面をとる骨組材料（柱、梁、桁、まぐさ等）として取り込むことが可能であろう。第4図にcap型金具を用いた仕口接合の例を示す。

現在、本材料について製造、材質、これを用いた住宅構造について実験を始めているが、多くの方の御協力を期待したい。特にLVLを構造材料として認可されることが是非とも必要であり、業界、学界が一致協力して努力すべきであろう。

(1979. 12. 10 受理)

# 8 LVLを用いたbox型材料の建築への適用

東大農 大熊幹章

## 1. まえがき

資源問題、住宅の質的向上への要請などをきっかけ、LVL、特に構造用LVLの登場を望む胎動が感じられる今日である。ところが、LVLは大きな期待を持たれている割には、建築部材としての利用の実績があがらないようである。その理由としては、

- ① 製造方法が確立していないこと、
  - ② 性能上の問題点が一部解決されていないこと、
  - ③ 何にどのように使うかという用途面の開発がすすまないこと、
- の3点があげられよう。ここではこのような問題を解決するための方策の一つとして、LVLを用いて組み立てたbox型材料を取り上げ、製造法、材質を検討し、建築への適用を考察する。

## 2. box型材料の製造

### 2.1 LVL原板の製造

厚さ6mm、長さ90cmのラフソ又はカラマツ単板を用いて、厚さ30mm(5ply)、長さ3mmのLVL原板を熱圧縮法によって製造した。原板には18cm間隔に互にズラせた単板の継ぎ目部(Butt Joint)が存在する。

### 2.2 LVL原板のブロック材料への転接

所定の中に切断したLVL板の側面に接着剤を塗付し、Fig.1に示すようにbox型に組み立て、一方向から圧縮して中空の柱、梁を製造した。

## 3. box型材料の材質

### 3.1 曲げ試験

Fig.1に示した断面寸法をもつラフソ中空材料の曲げ試験を行なった。EI、見かけのE、 $\sigma_b$ をTable 1に示す。なおLVL原板の試験も行ない、 $E_0$ を求め、これを用いて通常のムク材のE、Iも算出した。これもTable 1に併せて示した。

### 3.2 横圧縮試験

11.2 x 9.7cmの鉄製荷重ブロックを用い、側面から圧縮荷重をかけた(部分横圧縮試験)。結果をTable 1に示す。

## 4. box型材料の建築への適用

部材の接合に關して本材料の中空部を利用した種々の方法が考えられる。Cap型金具を用いる仕口を考察した。

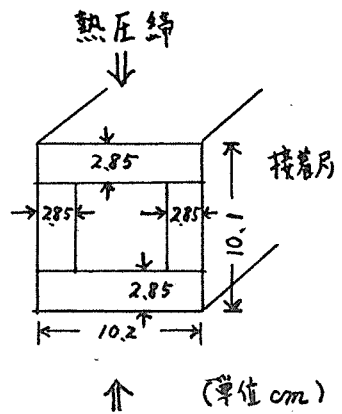


Fig.1 box型材料

Table 1 実験結果

$E_0$	$E_0 I_0$	EI	E	$P_{max}$	$\sigma_b$	$P_{0.5}$	$P_1$	$P_5$
158.2 $\times 10^3$ kg/cm <sup>2</sup>	141.2 $\times 10^6$ kg-cm <sup>2</sup>	127.4 $\times 10^6$ kg-cm <sup>2</sup>	142.7 $\times 10^3$ kg/cm <sup>2</sup>	3750 kg	640 kg/cm <sup>2</sup>	2.2 kg/cm <sup>2</sup>	13.8 kg/cm <sup>2</sup>	92 kg/cm <sup>2</sup>

$P_{max}$ : 21.0 x 12.0 cm, 中央集中荷重による最大荷重,

$P_{0.5}, P_1, P_5$ : それぞれめり込み時 0.5, 1, 5 mm における荷重 (kg/cm<sup>2</sup>)

## ㊦ カラマツ L V L の用途開発

— 全体的な方向づけ —

倉田久敬 小倉高規\*

### 1. はじめに

カラマツ材利用技術にかかわる諸問題は、北海道において依然として、古くて新しい問題である。その解決策の一環として林産試験場では、昭和55年度からカラマツ材で単板積層材（L V L = Laminated Veneer Lumber）を製造する試験を開始している。技術的に困難な問題も多いが、新しい提案も含めて解決の目途がつつある<sup>1)</sup>。

しかし、カラマツ L V L が木材工業の一分野として確固とした位置を確立するためには、製造技術ばかりでなく、生産された L V L をどのように利用するかという用途の確立が必要である。

本報告は、個々の用途の具体的問題点を検討するに

先立って、L V L の用途開発に関する全体的な方向づけを試みたものである。

### 2. L V L の用途開発に関する日本での動向

単板の繊維方向をそろえて積層接着した材料は、かなり古くからあり、平行ばり合板等の名称で家具・楽器等に使われてきた。しかし、ここでいう L V L は比較的厚いロータリー切削単板を、数枚ないし数十枚重ね合わせて積層接着した長尺材で、家具・造作材としても用いるが、むしろ一般構造材料又は工業用材料をねらったものを意味する。

その利用方法・用途開発に関しては種々の提案がなされている。たとえば、湾曲 L V L を利用した住宅用

梁<sup>2)</sup>ボックス型構造の柱・梁<sup>3)</sup>といった具体的な試作実験から、湾曲LVLを利用した建築工法といったまったく新しいシステムの提案<sup>1),5)</sup>までである。また、単板積層材に対して挽板積層材ともいうべき集成材と同様な用途をねらって、実物住宅に適用した例<sup>6)</sup>もある。

ところで、具体的な用途をあげるということは、LVLの現物がなく、各種特性・性能・価格等が明確でないという時点では難しい。そのような点から具体的な用途ではなく、LVLの特性をふまえた用途開発の方向づけを試みた論文もある<sup>7),8),9)</sup>。

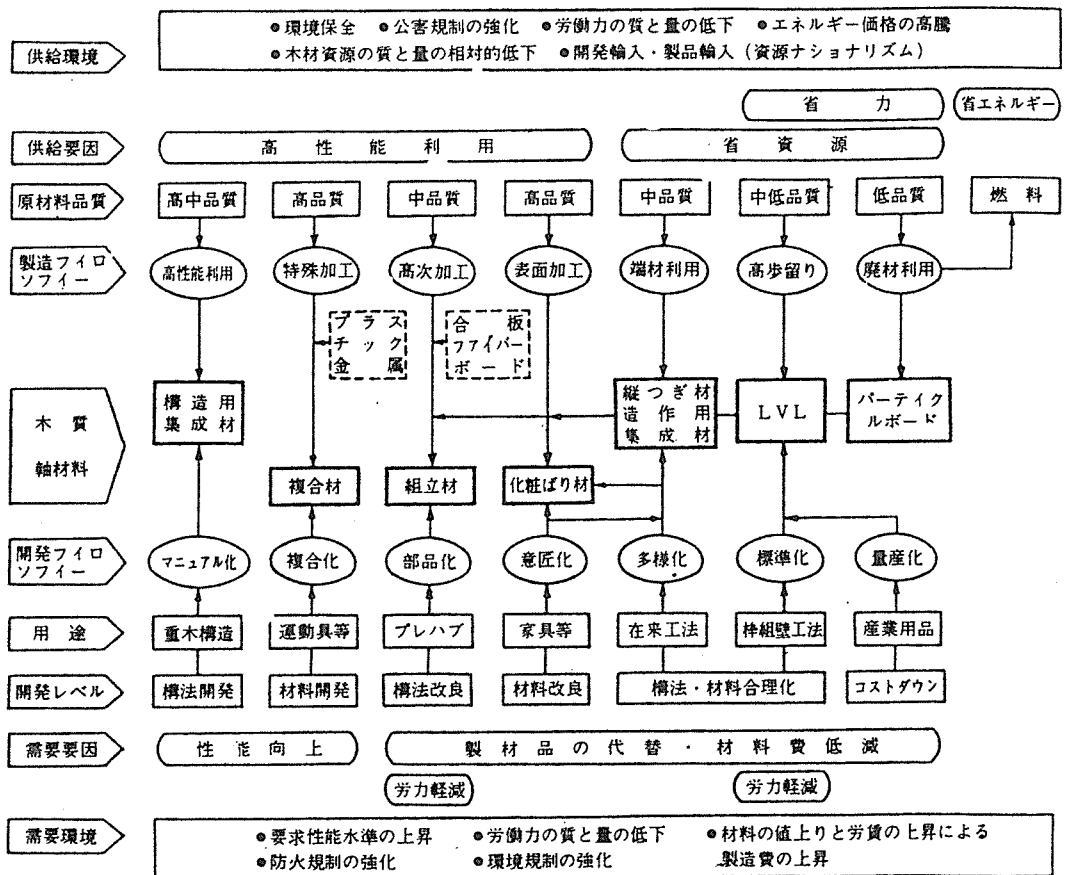
3. LVLの用途開発の方向

LVLの用途開発は、LVLの本質にたちかえり、それを生かす方向で考えるべきだといわれている<sup>10)</sup>。まことに、もっともな事である。具体的な用途を検討

するときには、常に、原点にたちかえてみる必要がある。しかし、原点にたちかえると、それだけで何らかの具体的な用途が思い浮ぶというものではなく、それなりに考えなければならない。

ここでは具体的な用途をひろいあげてみたい。そのとき思いつくままに拾いあげたのでは能率も悪いし、第一に見落としが生じる。なんらかの方法で系統的な検索を実行しなければならない。藤井が行った検索<sup>11)</sup>は、LVLに関する日本での最初の本格的なものである。ただし、藤井の検索は従来からの木材の利用分野を中心にしている。ある面でこれは仕方のない点ではあるが、LVLのような新しい材料の用途開発にあたっては、従来木材が使用されていない分野での利用の可能性も検討してみたい。

3.1 従来からの木質材料の使用分野での用途



木質軸材料とその需給環境および開発要因<sup>11)</sup>

LVLの用途開発に関して系統的に検討した資料は、先述の藤井の報告以外にはほとんどない。その報告では各方面からの需要開発の方向づけを試みている。

それらの中で、木質軸材料に関する需給環境からみたLVLの位置づけ(同報告の 図-18 木質軸材料とその需給環境および発展要因)を試みたものが興味深いので転載する。原料供給サイドの諸要因が上半分に、製品需要サイドの要因が下半分に位置し、それら両者から導かれる木質軸材料を中央において、相互の関係を示している。この図については、藤井も特に解説していないが、おそらく次のように読むものと思われる。たとえば、原料供給サイドで省資源という要請から、今まであまり利用されていなかった中低品質の原料を高歩留まりで製品化するとするならばLVLが有利となる。その場合、高能率で生産する必要性が予想されるので、省力も供給サイドの要因となる。一方、需要サイドからみると、製材品に代わる比較的低価格の製品が要求され、LVLがそれに合致する可能性が高い。具体的用途としては碎組壁工法用の材料がもっとも近い射程距離にあると思われるが、そのためにはLVLの品質(広い意味での)に関する標準化が必要であり、また開発レベルとしてやっておかなければならないことは、LVLを合理的に用いるための構法の開発である。製品レベルとしてLVLをみると、パーティクルボード、造作用集成材等との関係やプレハブ部材、家具等への利用も検討しなければならぬ。

図の「用途」—「開発フィロソフィー」—「木質軸材料」の流れを参考に、具体的用途がどのようになるのかについて以下に検討してみる。

#### ○重木構造—構造用集成材代替材

構造用集成材の代替材をねらうことになるので、高い性能が要求される。すこし難かしい用途ではあるが、不可能とはいききれない。ただし、性能に関しては、最低これだけは必要という絶対的なものがあるため、原木には高品質材を用いなければならず、単板も裏割れ等のない比較的薄いものが必要と

なる。これらコストアップ要因をかかえながら、価格—性能比をどこまで高め得るかがキーポイントとなる。

大熊の提唱した湾曲LVLによる新しい住宅建築工法<sup>4)</sup>の考え方は興味深い。ただし、工法開発を伴うので大型のプロジェクトなり、十分な準備が必要である。

#### ○運動具等—複合材

木製運動具は本来LVL形式の材料で作られているが、金属、プラスチック等との複合化によって新しい材料が開発できないかという点にねらいがある。たとえば、ピアノ線でプレストレスを与えたテニスラケット等はどうか。

この用途には、ひとつでよいから何か特色のある優れた性能を引き出すことが必要である。性能的に可もなく不可もなしということでは駄目である。大量需要は望めないが、高い附加価値性が期待できる。

#### ○プレハブ—組立材

ボックスビームのフランジ材やラチス梁のコード材には長尺材が要求され、LVLの特徴のひとつを生かすことができる。

#### ○家具・建具—化粧材

みかけの美しさ、デザイン上のおもしろさが要求される。強度性能はあまり必要ないが、良好な仕上げ加工性、塗装性等が要求され、特に狂いがあってはならない。

フラッシュ構造家具の枠材としての利用も考えられるが、價格的に他材料と競争できないと思われる。

#### ○在来工法—造作用集成材代替材

単板のうちに防腐処理してからLVL化する技術が開発されるなら、ほぼ完全に近い防腐処理木材を得ることができる。高い耐朽性能が要求される部材への利用は非常に有望である。

化粧ばり造作用集成材の中しん材としての利用も考えられるが、価格での競争となり、難かしい面もある。

#### ○碎組壁工法用材

L V L の特徴である幅広・長尺材を作り得る特色を生かせば、可能性もあるが、輸入製材との価格競争となる。

### 3.2 従来、木材が使用されていなかった分野での用途

新しく開発された材料の用途を、それまで木材が使用されていた分野に限定して考えると、需要開発の仕事は比較的楽ではあるが、木質材料同志の競争となり、結局限られたパイを仲間同志でうばい合うことになる。木質材料全体の発展のためには、従来他の材料が使用されていた分野に大胆に進出してゆく必要がある。これは言うに易く行うに難い見本のようなものであるが、そのひとつのアプローチとして以下のような検討を試みた。

#### 3.2.1 他分野で木質材料がくい込めそうな部分の探査方法

従来、木質材料が使われていなかった分野で、くい込めそうな部分はどこか？ これをみつけるためには、木質材料に対する深い理解、他分野に関する広い知識、この両者を結びつける卓越した洞察力とが必要である。

しかし、漫然と考えていたのでは偶然にすばらしい思いつきに出会うことはあっても、常にそうだとは限らない。むしろ、格好の進出分野を、気付かずに逃がしてしまいう危険性が高い。どうしても系統的な探査が必要となる。

そのひとつの方法として、日本標準商品分類<sup>12)</sup>に記載されている商品を、木質材料で製造できないか、という観点からの探査を試みた。

#### 3.2.2 日本標準商品分類について

日本標準商品分類は、昭和25年に初めて設定され、その後、社会・経済の進展にともない数回改定がおこなわれている。刊行の目的は工業統計調査、生産動態統計調査をはじめ、諸統計調査のために商品を分類することにある。現時点での最新版は昭和50年3月に改正されたものである。

対象としている商品の範囲は、価値のある有体的商品のすべてであるが、土地、家屋、立木、地下資源は

含まれない。

対象となる商品がこのように全分野を網羅しているので、重複・脱漏なくいずれかの項目に編入するための分類原理には、商品の ①成因、②材料、③用途、④機能 を適宜混用している。

分類は大・中・小の3段階とし、第1段階の大分類は1～7の7項目、中分類は2桁、小分類は3～7桁の数字で示している。

日本標準商品分類の目的は以上のように、統計資料作製である。これを新材料の用途探査に使うには無理があるが、他に適当な方法もないので、今回はこれにたよった。

#### 3.2.3 木質材料の使用が可能と思われる商品

従来、このような探査は試みられた例がないので、L V L に限定せず、広く木質材料全般にわたる用途を捨てることにする。更に現実の問題として使用されるかという点はひとまず置いて、とにかく可能性のありそうなものはすべて拾い上げた。したがって、現時点では荒唐無稽だったり、時代錯誤もはなはだしいと思われるものもあるが、木材以外の商品にはどのようなものがあるのかを知り、将来木材が進出可能なものをその中から見つけだすことができると思われる。

以下に木質材料の使用が可能と思われるものを、日本標準商品分類から拾って列挙する。各項目は ①分類番号、名称 ②上位 ③及び下位分類番号、名称（項目が最上位又は最下位分類である場合は、上位又は下位分類番号、名称は記載されない） ④必要があれば著者コメントから成っている。なお、名称に関しては、日本名ではかえって分かりにくいものがあるので、それらについては英名をつけた。

##### (大分類2 粗原料)

- ① 11 5 木材の素材
- ② 11 食用に供しない植物粗製品
- ③ 11 51 圓鋸丸太、そま角及びその他の素材 ～ 11 52 輸入丸太、そま角及びその他の素材

##### (大分類3 加工基礎材)

- ① 18 52 エポナイト製品
- ② 18 5 工業用ゴム製品
- ③ 18 521 電そう Battery cases ～ 18 529 その他のエポナイト製品

④ 耐薬品性と同時に強度も要求される分野には、WPC、強化木等が利用できないか。

- ① 18 542 ゴムタイル
- ② 18 54 ゴム板, ゴムタイル及びゴムマッティング
- ③ WPC, 強化木等による木質タイルはどうか。

- ① 18 569 その他の防振ゴム
- ② 18 56 防振ゴム
- ③ 詳細な性能設計ができない不利な点はあるが、非常に低価格が要求される分野があれば、木質防振材の開発はどうか。

- ① 19 木製基礎材
- ② 19 1 製材 ~ 19 9 その他の木製基礎材

- ① 20 5 繊維板
- ② 20 パルプ及び紙
- ③ 20 51 軟質繊維板 ~ 20 59 その他の繊維板

- ① 28 11 れんが
- 28 12 粘土がわら
- 28 14 タイル
- ② 28 1 粘土基礎製品
- ③ 28 111 普通れんが ~ 28 119 その他のれんが
- 28 121 ゆり薬がわら ~ 28 129 その他の粘土がわら
- 28 141 内装タイル ~ 28 149 その他のタイル
- ④ 木れんが、墨根瓦、木タイル等が利用できないか。

- ① 28 413 コンクリート柱
- 28 414 コンクリート杭
- 28 415 コンクリート板
- ② 28 41 コンクリート製品
- ③ 28 4131 鉄筋コンクリート柱 ~ 28 4139 その他のコンクリート柱
- 28 4141 鉄筋コンクリート杭 ~ 28 4149 その他のコンクリート杭
- 28 4151 鉄筋コンクリート板 ~ 28 4159 その他のコンクリート板
- ④ 木質材料の使用される可能性あり。特に捨杭等の可能性は高い。

- ① 28 43 木材セメント製品
- ② 28 4 セメントの2次製品
- ③ 28 431 木毛セメント板 ~ 28 439 その他の木材セメント製品

- ① 28 52 石こうボード製品
- ② 28 5 石こう基礎製品
- ③ 28 521 石こうボード ~ 28 529 その他の石こうボード製品
- ④ 窯燃処理法が開発されれば、強度面から木質材料が使用される可能性は大。

- ① 33 113 住宅用鉄骨
- ② 33 11 鉄骨
- ④ 現状では鉄骨が使用されるか、木質材料が使用されるかは価格によって決められている。木質骨組材が使用されるためには、住宅全体の中でのコストダウンを図る必要がある。

- ① 33 124 広告用鉄塔
- ② 33 12 鉄塔
- ④ デザイン上から、木質材料を使用する方が良いものもあるのではないか。

- ① 33 13 鋼橋
- ② 33 1 建設用金属製品
- ③ 33 131 道路橋 ~ 33 139 その他の鋼橋
- ④ 国立公園内の橋をデザイン上の理由から木橋に。

- ① 33 14 海洋プラットフォーム
- ② 33 1 建設用金属製品
- ④ 防錆上の理由から、甲板に木質材料が使えないか。

- ① 33 159 その他の液体貯蔵そう
- ② 33 15 貯蔵そう
- ④ 防錆上の理由から木質材料が便利でないか。

- ① 33 16 金属さく, 金属門及び金属格子
- ② 33 1 建設用金属製品
- ③ 33 161 金属さく ~ 33 163 金属格子
- ④ 安価であればデザイン, 防錆上の理由で木質材料が使用される。

- ① 33 191 階段
- 33 192 遊歩道
- ② 33 19 その他の建設用金属製品
- ④ 安価であれば木質材料も使用される。

- ① 33 195 まくら木
- ② 33 19 その他の建設用金属製品
- ④ コンクリートまくら木に置き換りつつあるが、分岐・橋梁等で切り使いをする部分には木質まくら木が通している。完全防蟻処理LVLが完成するなら有望。

- ① 33 196 コンクリート用わく板
- 33 197 鋼管足場
- ② 33 19 その他の建設用金属製品
- ④ 小規模な建設現場で切り使いを必要とする場合には、木質材料は有利である。

- ① 33 199 他に分類されない建設用金属製品
- ② 33 19 その他の建設用金属製品
- ④ たとえば足場板, あゆみ板等。

- ① 33 21 金属とびら
- 33 22 ジャック
- 33 23 サッシ
- ② 33 2 建設用金属製品
- ③ 33 211 鋼製とびら ~ 33 219 その他の金属とびら
- 33 221 軽量ジャック ~ 33 229 その他のジャック
- 33 231 鋼製サッシ ~ 33 238 サッシ用附属金物
- ④ 価格によって木製とびらの使用される余地がある。特に軽量ジャックは、開口面積が大きくなると強度的に弱く、農業倉庫等では木製とびらの方が優れている。

- ① 33 36 金属日よけ
- ② 33 3 金物
- ③ 33 361 ブラインド ~ 33 369 その他の金属日よけ
- ④ 木製ストームウィンドー等の開発。

- ① 36 52 くつ型及びくつかかと木
- ② 36 5 製くつ材料及び附属品
- ④ 従来から木質材料が使用されている。

- ① 36 715 絶縁用積層板
- ② 36 71 電気絶縁材料
- ③ 36 7151 けい素樹脂積層板 ~ 36 7159 その他の絶縁用積層板
- ④ マイカ, プラスチック等が電氣的には優れているが、強度

面では必ずしも十分とはいえず、WPC系木質材料の用いられる可能性あり。

- ① 35 72 電気架線金物
- ② 36 7 電気絶縁資材
- ③ 36 721 通信電力用架線金物 ～ 36 723 ケーブルつり金物
- ④ ねじ・ボルト・釘類は金属以外の材料は考えられないが、架線をつるためのバーや架線同志の接触を防止するバー等には、WPC系木質材料が使用できないか。
- ① 36 8 産業用ブラシ及びびけ
- ② 36 その他の加工基礎材
- ③ 36 81 工業用ブラシ ～ 36 83 産業用ほうき
- ④ フィラメントを植える基材としての木質材料は、従来から使用されている。
- (大分類4 最終製品)
- ① 38 91 風力機関 Wind engines
- ② 38 9 その他の機関及びタービン
- ③ プロペラに木質材料が利用できる。
- ① 44 3 破砕機及び摩砕機の補助機
- ② 44 破砕機、摩砕機及び選別機
- ③ 44 31 ぶらい分機 ～ 44 39 その他の破砕機及び摩砕機の補助機
- ④ 振動式ぶらい分機、振動式フィダ等の枠を木質材料で作ると騒音等で便利でないか。
- ① 45 52 貯蔵そう(化学装置に限る)及び電解そう
- ② 45 5 塔そう機器、貯蔵そう及び電解そう
- ④ 耐酸・耐アルカリ性のタンクに木質材料はどうだろうか。価格が安ければ可能性あり。
- ① 46 4 冷却塔 Cooling towers
- ② 46 冷凍機、冷凍機応用製品及び装置
- ③ 46 41 空調用及び冷凍用冷却塔 ～ 46 42 工業用冷却塔
- ④ 防錆上から木質材料の優利性はないだろうか
- ① 47 828 ボビン
- 47 831 シャットル
- ② 47 82 紡績機械用部品及び糸仕上・加工機械用部品
- 47 83 織機・編組機械用部品
- ④ 従来、木質材料が使用されていた。
- ① 47 9185 テーブル
- 47 9186 足部
- 47 9288 テーブル及び脚部
- ② 47 918 家庭用ミシンの部品及び付属品
- 47 928 工業用ミシンの部品及び付属品
- ④ 従来から木質材料が使用されている。
- ① 50 151 浮子
- ② 50 15 網漁具付属品
- ③ 50 1511 ガラス製浮子 ～ 50 1514 金属製浮子
- ④ 木質材料が使えないか。価格、耐久性によっては可能性あり。
- ① 50 313 養魚、生ず、かご Fish preserve. Store pot. Basket
- ② 50 31 魚類養殖器材
- ③ 50 3131 生ず網 ～ 50 3139 その他の養殖器材
- ④ 木製生ず

- ① 50 321 いかだ
- ② 50 32 貝類養殖器材
- ④ 価格が安ければ木製いかだが利用される。
- ① 50 331 養殖網・支柱
- ② 50 33 海草類養殖器材
- ③ 50 3311 養殖網 ～ 50 3319 その他の養殖網・支柱
- ④ 木製支柱はプラスチック製支柱よりも強度的に優れているのではないか。
- ① 70 81 車体及び台わく
- ② 70 8 車輛部品
- ③ 70 811 機関車用車体及び台わく ～ 70 818 車体及び台わくの部品並びに付属品
- ④ 旅客車、貨車の車体の一部に木質材料が使えないか。
- ① 71 7 車体 Bodies for motor vehicles
- ② 71 自動車及び自動二輪車
- ③ 71 71 四輪、六輪の車輪を有する自動車の車体 ～ 71 79 その他の車体
- ④ 貨物自動車の車体、荷台に木質材料を。
- ① 73 その他の輸送用車輛
- ② 73 1 産業用運搬車 ～ 73 4 畜力車
- ④ 車体に木質材料を。
- ① 74 25 はしけ(非自航)
- 74 26 舟艇
- 74 312 つり漁船
- 74 314 採介そう漁船
- ② 74 2 特殊用途船
- 74 31 漁ろう船
- ③ 74 251 一般貨物用はしけ ～ 74 259 その他のはしけ
- 74 261 プレジャーモーターボート ～ 74 263 ろかい船
- 74 3121 まぐろはえなわ漁船 ～ 74 3129 その他のつり漁船
- 74 3141 真珠貝採取漁船 ～ 74 3149 その他の採介そう漁船
- ④ 木造船。
- ① 75 13 滑空機
- 75 411 木製プロペラ
- ② 75 1 航空機
- 75 41 プロペラ
- ③ 75 131 初級滑空機 ～ 75 139 その他の滑空機
- ④ 木質材料の優位性は高いが、用途が限られている。
- ① 77 183 銃床
- ② 77 18 銃の部分品及び付属品
- ③ 77 1831 けん銃の銃床 ～ 77 1839 その他の銃の銃床
- ④ 従来から木製が使われている。
- ① 78 13 木材を主たる構造材料とした建築物
- ② 78 1 工業生産建築物
- ③ 78 131 住宅 ～ 78 132 住宅以外の建築物
- ④ 木質材料として、もっとも力をそそぐべき分野。
- ① 78 21 パネル
- 78 22 建築用構成部材
- ② 78 2 建築用構成材
- ③ 78 211 屋根パネル ～ 78 219 その他の床パネル
- 78 221 玄関セット ～ 78 229 その他の建築用構成部材
- ④ 木質材料として、もっとも力をそそぐべき分野。



	用途	可能性	摘要
① 78 3 建築(物)用ユニット	木造建築物 組立品部材 フチス梁用弦材 ボックスビーム用弦材 I型ビーム用弦材 パネル用枠材	○	設計上要求される強度性能を満たすかが第1の要件となる。他にたとえば、仕口部分での破壊につながるような加工上の欠点が発生しないか等も検討する必要がある。L V L の価格は、製品価格が比較的高く評価されるので、極端には安くなくとも良い。
② 78 工業生産建築物及び建築部材			
③ 78 31 ルーム(室型)ユニット ~ 78 32 プレレン(面型)ユニット			
④ 木質材料として、もっとも力をそそぐべき分野。			
① 80 91 バレット	製材代替品 土台	○	単板時に防腐処理することにより完全防腐材とすることができれば、非常に有望な用途である。積圧縮強度、部分圧縮強度、釘保持力等の検討が必要である。
② 80 9 その他の容器			
④ これから重視してゆくべき分野。			
① 84 73 つえ(ステッキ)	間柱	△	強度的にはあまり強くなくてもよい。価格の安いことが要求される。
② 84 7 かざ及びつえ			
③ 84 731 木製つえ ~ 84 739 その他のつえ			
① 85 51 げた(下駄)	大引	○	L V L では大断面、長尺材が容易に製作できる。もし強度が弱ければ断面を大きくすることで補える。製材では大断面、長尺材の入手が困難となるので、L V L の利点が生かされる。
② 85 5 和風風物			
③ 85 511 男ものげた ~ 85 519 その他のげた			
④ 生活習慣の変化で需要減少。高級化指向。			
① 88 家具	その他の製材	△	必要な強度が満たされるのか、製材と競合できるほどの低価格が実現できるのかの2点が決定要因となる。
② 88 01 たんす ~ 88 99 その他の家具			
① 89 2 暖房機器			
③ 89 暖房用、食品調理器具及び装置並びに衛生設備用品			
③ 89 21 ストープ ~ 89 29 その他の暖房機器	化粧張集成材用中芯材	△	競合品より低価格であれば使用される。
④ 床暖房等の低温よく射暖房に木質材料が使用できないか。			
① 91 娯楽装置、がん具及び運動競技用品			
③ 91 1 遊園地、射的場装置、ばちんこ装置その他類似の娯楽装置 91 3 運動場装置 91 4 室内娯楽用具 91 5 がん具及び人形 91 6 運動競技用品			
④ 木質材料の特質(あたたかみ、やわらかみ等)を生かすような使い方。	家具、建具	○	外観上の欠点のないL V L が製造可能という点が第一要件である。カラマツ材は針葉樹のうちでは比較的硬いが、それでも家具としては軟かい。L V L 製造工程で硬度を高くする技術が開発できないか。また、椅子等を対象とする場合、強度がたりないので、補強方法を検討しなければならない。しかし、L V L のような人工的な素材は、デザインとしてはあきらめ易いという宿命を負っている。
① 93 142 ベン軸 93 15 鉛筆 93 421 製図板 93 4233 T定規 93 71 罫箋 93 741 バレット 93 76 絵の具箱 93 77 罫架			
② 93 文具、紙製品、事務用具及び絵画用品			
④ 木質材料の特質を生かすと共に、高級化をねらう。			
① 94 その他の家庭用装置及び家庭用器具	各層部材の中芯 窓枠材	△	競合品との価格競争となる。
④ 日常品は安価で、木材の特質を生かすよう。工芸品は高級化をねらう。			
① 95 1 かばん類			
④ 高級化をねらった楽器用ケース、刃物を傷めないための木製工具箱。			
① 95 2 楽器 95 3 マッチ、ろうそく、くん物及び絨香 95 4 裁縫用小物用具 95 5 化粧用小物用具 95 6 マネキン及び模写 95 7 標識及び広告用品 95 8 宗教用具	家庭用品、工芸品 (食卓小物、飾物等)	○	所定寸法の材料を得るのに集成材よりは安価である。ただし、釘保持力等に不安がある。また、裏割れ等に原因する欠け、裂け、割れ等が発生するので、細かな加工が不用な工法を開発する必要がある。
④ 需要量は多くないが、木質材料に親んでもらう意味から大切にしたい。			
① 94 93 142 ベン軸 93 15 鉛筆 93 421 製図板 93 4233 T定規 93 71 罫箋 93 741 バレット 93 76 絵の具箱 93 77 罫架			
② 93 文具、紙製品、事務用具及び絵画用品			

4. カラマツ L V L にとって可能性のある用途  
 カラマツ L V L 利用の考え方や、木質材料が非木質材料の分野に進出できないかという観点からの用途について述べてきた。これらのうち、カラマツ L V L の用途として可能性があり、検討の対象として取り上げ得るものを抜き出し、問題点を整理してみる。

工 材 料 業

パレット

- 性能、需要量からみて、LVL利用のひとつの中心となる。強度性能、釘保持力等のパレットの耐久性に関する面からの検討が必要となる。パレット材の価格は、現在非常に低い。LVLがそこまで安くならないのであれば、耐久性向上等で、補う方向の検討が必要である。

電柱脚木

- 高い耐久性がLVLで得られるならば、有望な用途である。現在、鋼製脚木が中心であるので、價格的にこれと競争しなければならぬ。

まくら木

- 耐久性の問題ばかりでなく、保線技術との関連で、ほとんどのまくら木がコンクリート製に変わった。しかし、分岐部分は切り使用をするために、将来とも木製が使われるという。カマツLVLが使われるためには、単板時処型による完全防腐方法の確立と、大釘等の保持力不足を解決する工法の開発が条件となる。

足場板

- 十分な強度性能を有する製品を作ると共に、耐久性向上が必要開発のかぎとなる。また、鋼製足場板にみられる機能性も追求しなければならない。

貨車、貨物自動車、コンテナ等のデッキ用はめ板

- 強度、耐久性、耐摩耗性等の性能が十分か否かによって、需要がきまる。

サイロ、タンク等の壁体

- スターブサイロ壁体としての利用。

注) 可能性欄の記号の意味  
 ●: かなり可能性が高く、積極的に研究開発を進めるべきもの。  
 ○: 技術的問題点はあるが、解決可能と思われるもの。  
 △: 可能性はあるが、價格的、性能的、技術的問題点があり、十分な予備の検討が必要なもの。

5. おわりに

広い視野からのLVLの用途開発をねらう予定であったが、結果的にはありきたりの用途しか発見できなかった。しかし、これは容易に又はさほど困難な問題なく利用に結びつく可能性のある物を対象にしたためであり、将来的にはこれにとどまらず、あらゆる可

性を追求してゆく必要がある。

また、総合的な用途検索の手段として日本標準商品分類を使用してみたが、もともと刊行の目的が統計調査の便宜にあるため、十分な検索ができなかった。たとえば、輸送用各種コンテナ類は同分類では、他に分類されない容器、の中に含まれていて拾い出せない。今回はやむを得ず日本標準商品分類を用いたが、このような目的の検索をどう実行するかについては検討の必要がありそうである。

この報告は総合的な方向づけを試みたものであるので、以後順次、可能性の高い用途について具体的な検討を進める予定である。

文 献

- 1) 小倉高規・LVLの製造技術、大鹿テクニカルノート技術編、No.93 (1980)
- 2) 佐藤雅俊、大熊幹章：彎曲LVLの木構造への適用に関する基礎的研究(第1報)、木材工業、34、3、108 (1979)
- 3) 大熊幹章：LVLを用いたbox型材料の建築への適用、第30回日本木材学会大会研究発表要旨集、102 (1980)
- 4) 大熊幹章：構造用LVLの利用開発の方向をさぐる、木材工業、33、6、258 (1978)
- 5) 大熊幹章：間伐材の木造住宅への利用 —彎曲LVLを中心として—、木工機械、No.90、15 (1978)
- 6) 曾川保生：単板積層材の木質構造への応用、木材工業、32、9、406 (1977)
- 7) 佐々木光：単板積層材の製造工程とその関連研究(Ⅱ)、木材工業、28、11、255 (1973)
- 8) 大熊幹章：構造用単板積層材(LVL)について、木材工業、29、9、373 (1974)
- 9) 佐々木光：間伐材及び林地残廃材の利用 —とくにLVLについて—、木材工業、33、8、329 (1978)
- 10) 大熊幹章：構造用LVLの利用開発の方向をさぐる(その2)、木材工業、35、3、124 (1980)
- 11) 藤井毅：技術開発推進事業報告書 —構造用LVLの需要開発—、日本住宅・木材技術センター(1981)
- 12) 行政管理庁行政管理局統計主幹編：日本標準商品分類(昭和50年3月改正)、社団法人全国統計協会連合会(1978)

—試験部 複合材試験科—

—\* 副 場 長—

(原稿受理 昭56.10.5)

# 1 ○ 単板積層材 (LVL) の製造と利用状況

大鹿振興株式会社研究技術部第三研究課長

荒木五郎

## 1. はじめに

LVLの製造方法や利用方法についてはこれまでに数多くの提案がなされておりますが、実際の製造方法は合板の製造設備を用いたものがほとんどです。LVL用の機械としては、単板を縦継ぎするスカーフコンポーザーが導入されている程度で目新しいものはなく、繊維方向を同一にして接着するには問題がたくさん残されています。

また、利用状況を見ると家具、木工を中心に昭和50年以降ややまとまった量が使用されてはいるが、他の木質材料の使用量と比較すると満足する状況ではありません。

この間、昭和53年9月にJAS規格が施行され木質材料の仲間入りをしましたが、JASの認定工場は5工場で格付数量は年間3,000㎡程度にとどまっているのが現状です。

## 2. 製造状況

LVLには統計資料がないので推定ですが、年間5～6万㎡(3mm, 3×6尺換算1,000～1,200万枚)が生産されています。この数量は、表1の他の木質材料の生産量と比較するとまだまだ少量であります。製材品や合板の量と比較すると特にその量は小さく、集成材との比較でようやく20%位の値になっています。用途から見ると製材品の中の家具用材と集成材の中の造作用集成材の一部が置き換えられて使用されているものが主体で、この他合板やパーティクルボードもLVLに変わっているものが少量あります。

生産している工場数とその数量の推定は表2の通りで、15～17工場で生産されていますがほとんどの工場は合板の生産ラインで注文生産的な製造をしており、数量の変動も激しい。このことはまだ安定した需要が少ないことと機械設備の立ち遅れのためであると思えます。

## 3. 製品の種類

### 3-1 使用されている樹種

- ① 南洋材—メランチ類、カポール、クルイン、アガチス等

表1 他の木質材料の生産量との比較(昭和55年)

製品名	内 訳	生産量
L V L	芯材, 化粧材用等	50 千㎡
製 材	建築用材	28,260
	家具建具用材	2,512
	土木梱包その他用材	4,395
	合 計	36,858
集 成 材	構造用	115
	造作用	169
	合 計	284
合 板	普通合板	8,000
削 片 板	単層, 多層ボード等	1,100

表2 工場数と生産量(推定)

月間生産量	10万枚以上	5～10万枚	5万枚未満	若 干
工 場 数	4	5	3	3～5

注 1.月間生産量は、3mm 3×6換算 2.JAS認定工場5社

- ② 米 材—米マツ, 米モミ等  
 ③ 国産材—ブナ, タモ, セン, シナ等  
 ④ その他—メープル, 竹等

上記の樹種の中では、メランチ類が最も多く家具の分野で芯材あるいは面縁材として利用されている。米材は集成材の代替として一部に使用されており、国産材のブナ、タモ、セン、シナ等は化粧材として使われている。これらの樹種は、1樹種だけで作られる場合と2種類以上の樹種を用途に応じて組合せて使用する場合があります。例えば、メランチ類を中芯に用いて表層に国産材を化粧貼りしたものやすべて高比重材のカポール材で一して強度部材として使用するもの等製品に要求される美観、性能、価額によって使い分けられています。

### 3-2 単板構成

原材料単板の厚さは、合板の場合と同様に0.7～4.5mm位の範囲のものが用いられていますが、LVLの場合には表面ばかりでなく側面(積層面)も利用するので、合板

ように表面に高品質の薄い単板を使い中層は低品質の厚い単板というような単純な組合せでは製品にならない場合が多くあります。例えば、積層面化粧面として利用する場合には表層から中層までのすべての構成単板の品質をそろえる必要がある等、それぞれの用途に応じた工夫がなされています。

単板の繊維方向の長さが必要寸法に満たない単板は、スプレッターで貼り上げるときにバットジョイントの状態で接着されるものが多いが、この場合にはジョイント部分に開口を生ずるので、特に化粧材用ではあらかじめホットメルト接着剤を用いてスカーフジョイントしたものを使用している。

単板の仕組み方は、反りを防止するために原則として表面と表面、裏面と裏面が接着面となるように積層されるが、さらにすべての単板を平行積層するのではなく直交単板層のあるLVLも製造されている。これは釘や木ネジを打込んだ場合の割れ防止にも役立っています。

### 3-2 厚さ及び寸法

厚さの種類はほぼ合板と同じですが、薄物は狂い（反り、振れ）が出ることで需要もないことから主体は9～36mm位のところで、その間には9, 12, 15, 18, 20, 21, 24, 25, 27, 30, 35, 36mm等があり、さらに100mm位まで多くの種類のものが製造されています。板面寸法の主体は3×6尺(900×1800mm)ですが、他に3×8, 4×6, 4×8, 4×13尺等のサイズがあり、さらに特注寸法に小割りしたものがああります。

### 3-3 接着剤

接着の程度は、JASI類とII類あるいはこの中間程度の接着力を有するものが作られています。従って、接着剤はユリア樹脂、ユリアメラミン樹脂が使われていますが、ホルムアルデヒドの放散量のJAS規格の施行に伴って製品中のホルムアルデヒド残留量の少ないものも作られています。JAS規格におけるホルムアルデヒド放散量の基準値は、FⅠ, FⅡ, FⅢの3段階のグレードに分かれております。参考までにFⅠグレードとは、10%のデシケーター中に150×50mmの製品10枚を20℃で24時間放置した場合、このデシケーター中の300mlの水の中に吸収されたホルムアルデヒドが平均0.5mg/l, 最大0.7mg/l以下の場合であり、同様にFⅡは平均5mg/l, 最大7mg/l, FⅢは平均10mg/l, 最大12mg/lである。

### 3-5 二次加工

- ① 化粧貼り—つき板, 化粧紙, 樹脂シート等
- ② 塗 装—ウレタン, ポリエステル樹脂塗装等
- ③ 防虫処理—接着剤に防虫剤を混入する方法が主体
- ④ その他—漂白, 染色, WPC処理等

化粧貼りについては、LVLのメーカーが最終仕上げまで行っている場合と需要家あるいは二次加工業者が注文生産で行う場合がありますが、塗装されたものについてはいわゆる塗装LVLとして製造されているものではなく需要家が用途に応じて仕上げています。しかし、いずれも量的にはまだまだ少ないのが現状です。

防虫処理に関しては、近年ヒラタキクイムシによる被害の拡大に伴ってその要求は多く、特に虫害を受けやすい材であるメランチ類を材料としたLVLでは多くの製品が処理されています。処理方法としては、防虫薬剤の塗付や含浸法もありますが、接着剤中に薬剤を混入したものをを用いて接着するいわゆる接着剤混入法が製造上最も簡便な方法なので大多数の製品はこの方法で行われています。防虫薬剤としてはクロルデンの製剤品が用いられている。

その他漂白, 染色, WPC処理等の特殊加工されたLVLが化粧材料やスポーツ用具の材料として用いられています。

## 4. 利用状況

前項の製品の種類のところで利用方法との関連について説明致しましたが、用途と使用例を分類すると4-1, 4-2のようになります。利用方法で圧倒的に多いのは、家具分野を中心とした各種フラッシュパネルの芯材用のものです。その他の用途についても各所で研究が進められておりまして、着々と用途は拡大しておりますが量的にはまだ少ないのが現状です。

### 4-2 用途

- ① 建築用
  - 構造材—開発中
  - 造作材—造作材の芯材として用いる
- ② 家具、建具用
  - 芯 材—各種フラッシュパネルの芯材
  - 化粧材—表面または積層面を化粧面として用いる
- ③ 楽器、運動具、装飾用品
  - 強度部材—骨組材として用いる
  - 化粧材—積層面の意匠的に用いるのが主体
- ④ 車輛、船舶、産業用品等
  - 強度部材—重量支持材として用いる
  - 化粧材—金属等の異種材料の中で木質の美観を用いる

### 4-2 使用例

- ① 建築用造作材
  - ア 長押し, 框等の芯材
  - イ 階段部材
  - ウ 窓枠等
- ② 家具用
  - ア 箱物家具のパネルの芯材及び面縁材

表3 用途と主な要求性能

項目	内容	芯材	化粧材	強度部材
1 寸法精度	幅、厚さ、長さの精度	○	○	○
2 比重	重さの程度	○	○	○
3 硬度	表面、積層面の硬さ		○	○
4 摩耗性	表面、積層面の耐摩耗性			○
5 膨張・収縮率	反り、割れ、幅、厚さの変化	○	○	○
6 吸湿率	湿気のすいやすさ	○	○	○
7 機械的強度	引強、圧縮、曲げ、剪断等			○
8 釘、ネジの保持力	釘、ネジの引抜抵抗	○		○
9 タボ構造剛性度	タボの引抜抵抗	○		○
10 接着の程度	タイプI、タイプII	○	○	○
11 接着性	表面、積層面の接着性	○	○	○
12 ホルマリンの放散量	F1、FII、FIIIタイプ等	○	○	○
13 塗着性	塗料の着着性、吸収の程度		○	
14 加工性	切削、サンディング適性	○	○	
15 美観	色、肌目、木目、変色等		○	
16 臭気	付着臭の有無		○	○
17 耐久性	防虫、防霉、耐熱性能	○	○	○

表4 LVLの木ネジ保持力

樹種	打込面	引き抜き抵抗(kg)		打込時の割れやすさ
		最小~最大	平均	
レッドメランチ	表面	43~57	50	A
	側面	48~58	51	A
	木口面	24~30	26	A
カポール	表面	62~80	71	A
	側面	53~70	61	A
	木口面	24~36	29	A
エリマ	表面	33~40	37	A
	側面	25~35	29	A
	木口面	12~17	14	A
カメレレ	表面	31~46	39	B
	側面	30~45	39	B
	木口面	—	—	C
スポンディアス	表面	34~49	43	A
	側面	31~40	35	A
	木口面	17~23	19	A
アンペロイ	表面	34~39	37	A
	側面	28~39	35	A
	木口面	14~20	16	A
カロフィルム	表面	42~67	54	B
	側面	48~71	53	B
	木口面	—	—	C
ターミナリア	表面	59~73	67	A
	側面	58~70	62	A
	木口面	12~31	20	B
タウン	表面	90~115	98	A
	側面	65~86	74	B
	木口面	—	—	C

注 割れやすさのランク A:比較的割れにくい  
B:割れやすい C:割れて打込めない

- イ 引出しの側板
- ウ 脚物家具の脚部、横架材、背板等
- ③ 建具用  
ドア、間仕切パネルの芯材等
- ④ 楽器用  
ピアノ、ギター等の骨組材
- ⑤ スポーツ用品  
ゴルフのヘッド、ラケットのフレーム等
- ⑥ 車輛等  
トラックの荷台等

5. 用途と主な要求性能

LVLの用途を芯材、化粧材、強度部材に大別したとき、それぞれの用途で要求される性能項目を一覧表にすると表3のようになります。個々の項目についての説明は省略致しますが、寸法精度、膨脹収縮率、吸湿率、接着性、接着性といった項目はいずれの用途でも留意すべき項目であり、耐久性も程度の差はありますが必要な項目になっています。

なお、LVLの主用途が家具部材ですので木ネジ保持力の試験結果を表4に示します。レッドメランチ及びカポールは、2.7mm等厚8プライのLVL、その他は3.2mm等厚5プライのLVLを使用しました。使用した木ネジは長さ20mm、径が2.9mmで打込深さは10mmです。

木口面の値の低いことは当然ですが、樹種によってかなりの優劣があるようですので参考にして下さい。

6. おわりに

LVLの現状は、前述の通りで量的には芯材用が多いのですが、この分野は低質材でも使用可能なところからLVLの特性を十分に生かした用途とは言いがたい。

しかし、芯材といえども相当の努力を払って作り上げた分野であり、LVLの普及と製造方法の基礎を確立した功績は大きなものがあります。

本来、LVLの開発目標は構造用にあったわけですが、我国では性能データが不足していることと材料の主流が強度的に信頼性の低いラワン材であったこと等のために残念ながら大幅に開発が遅れています。しかし、米国ではすでに米マツのLVLが梁やトラス等に使用され許容応力度も定められていますので、現在各所で行われている研究を進めて行けば近い将来米国並みの使い方が出来る時が来るものと期待されます。

なお、製造システムについてはLVL独自の製造システム、特に調板、接着工程関係の機械装置の開発が待たれるところで、将来の大型需要に備えて関係業界の研究に期待しております。

# 1.1 カラマツ間伐材による林産試型LVLの用途開発

北海道立林産試験場 真田康弘・高谷典良・田口 崇  
野崎兼司・小倉高規

## 1. はじめに

昨年の本講演集で発表した製造システムによる林産試型のLVL(単板積層材)を実際に使用した例について紹介する。

林産試型のLVLはカラマツ間伐材を利用するために開発したもので、厚さ4mm、長さ45cm、幅48cmの単板を縦つぎし、高周波加熱によって積層接着して造られる。長さ3.7m、幅48cm、積層厚最大約50cmのブロックとすることができ、これを帯鋸で接着層に垂直に切断して利用する。

林産試型LVLの特長として

- 乾燥材である。
- 積層数、ブロックの切断幅を変えることで、薄い板から大断面の柱まで寸法を任意にとることができる。
- 長尺材が得られる。(当場のシステムを改良すれば、3.7m以上の製品も製造可能である。)

などがあげられる。柱や合板などのコア材として使用する方法もあるが上記の特長とともに積層面にあらわれる人工疵が新鮮な印象を与える材料であることなどから、家具や内装材、階段、窓枠、構造材などとしての利用を試みた。當場での試作の他に建築家や家具メーカーなどに使って頂いた。

なお接着剤はユリア樹脂とレゾルシノール樹脂を用途に合わせて使い分けている。

## 2. 性 能

### 2.1 釘による割裂

LVLの内装材への適用を考えて壁材を想定した12mm厚の板での釘打ちによる割裂を素材と比較した。

図1に示すように試験体に縦横1cmずつ離れた点A~Fをとり、長さ38mmの釘を打ち込んだ。A~Cで木口からの距離、D~Fで側面からの影響を調べた。

表1は各10体の試験体の各点で割れた試験体数を示している。LVLが素材より割れにくいことがわかる。

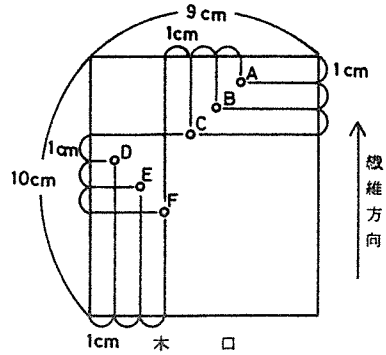


図1 釘による割裂試験体

表1 釘による割裂

	LVL証目		LVL板目		素材板目	
	辺材	心材	心材	辺材	心材	心材
A	3	3	6	10	10	
B	3	2	1	10	8	
C	2	0	0	5	6	
D	4	0	2	10	10	
E	3	0	0	2	3	
F	3	0	0	5	2	

### 2.2 吸水性

窓枠などに用いられる場合を考えて吸水性の試験を進めている。

辺材のみ及び心材のみによるLVLと素材(心材部)から縦横約4cm、縦横方向5mmの試験体を作製し深さ約5cmの水中に浸漬して求めた膨潤率と吸水率を図2に示す。

板目方向の膨潤は最終的には3者ともあまり変わらずなる。

積層方向では辺材LVLが特に大きな膨潤を示す。これは乾燥による厚さ減りが辺材では心材よりも大きいことなどの影響と考えられる。

カラマツLVLは辺材と心材でかなり異なった吸水性を持ち、心材で造ったLVLは直接水のかかる場所でも膨潤は少ないものと思われる。なお辺材と心材は含水率が異なるので単板を区分けしてから乾燥することになるので、辺材と心材を分けたLVLを造ることは

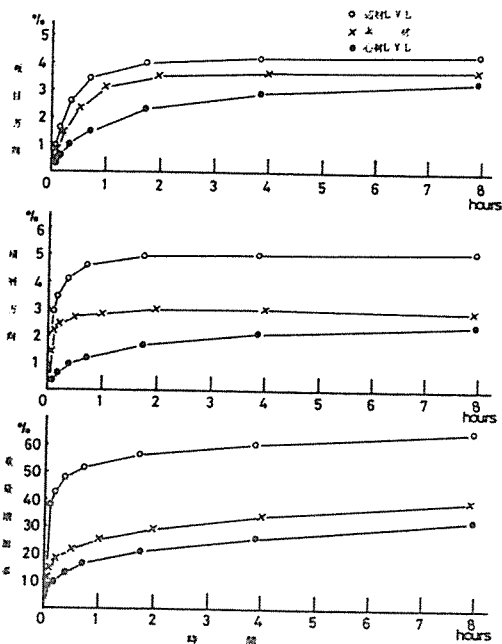


図2 膨潤率と吸水率

作業上可能である。

### 2.3 強度

LVL中の辺材率が強度に及ぼす影響を図3と図4に示す。これは204材寸法のLVLをスパン240cmで接着層に平行に荷重した4点曲げ試験の結果である。横軸はLVL中に占める辺材の割合を、実線は全体の回帰直線を示している。

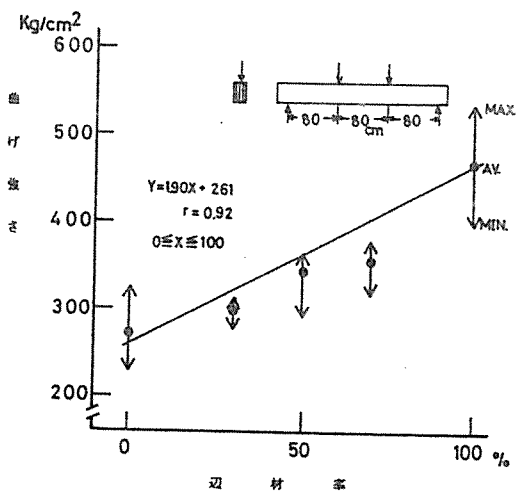


図3 曲げ強さ

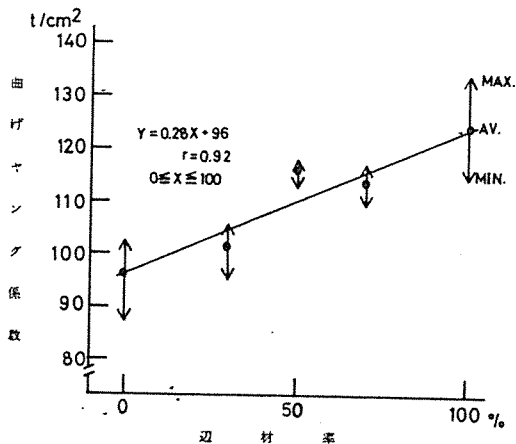


図4 曲げヤング係数

曲げ強さ、曲げヤング係数とも辺材率が増すに従い直線的に増加し、0%と100%を比較するとそれぞれ約1.7倍と1.3倍となる。またそれぞれの辺材率における曲げ強さとヤング係数はばらつきが少ない。

### 3. 使用例

前述のようなLVLの特長を生かした試作品を写真で紹介する。

#### 3.1 家具

写真1の食堂テーブルはLVLの板を幅はぎしているがぎ目は目立たず一枚のように見える。辺材材の組合せ方によって見た目の印象が変わる。

後ろの壁面はLVLにオイルステインを塗布した後、サンダーをかけて仕上げたもので、表面の塗料は削られてなくなり、裏割れなどから浸透した塗料だけが残る。欠点を逆に生かした独特の塗装法である。

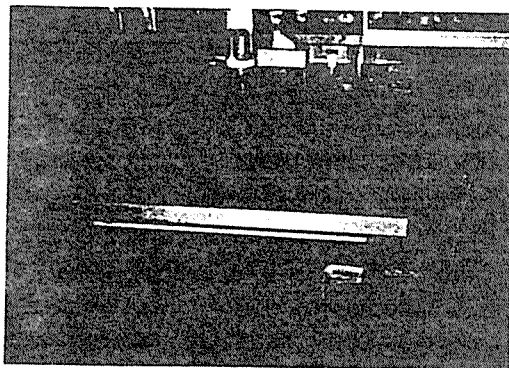


写真1 食堂テーブル

写真2は道立旭川美術館の会議用テーブルで、厚板を用いているため高級感を感じさせる。木口部分は丸く削ることで化粧性が高まり、ふち張りを要しない。

当場のLVLをこのように使用する場合、バットジョ

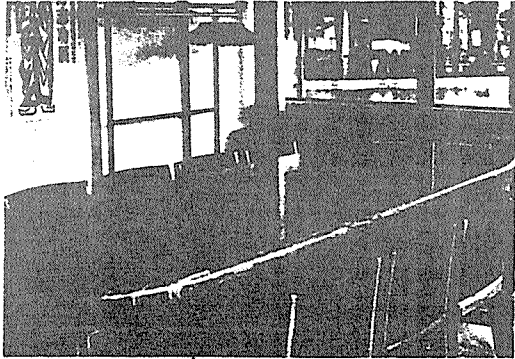


写真2 会議テーブル



写真3 壁材, 木口フロア, ドア

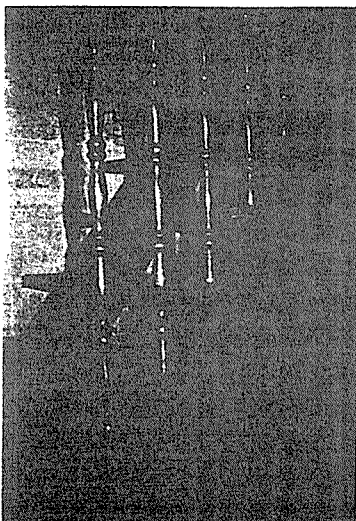


写真4 階段

イント（以下B Jと省略する）の隙間が最大の問題となる。スカーフジョイント化や塗装下地処元の工夫などが望まれる。

### 3.2 内装材, 造作材

写真3は壁材と目地樫にLVLを使用した例である。また床はLVLの木口面を市松模様にしたもので、他の床材とは全く異なった印象を与える。年輪は集成材の木口のようにはっきりせず、また色調も同じLVLの他の面

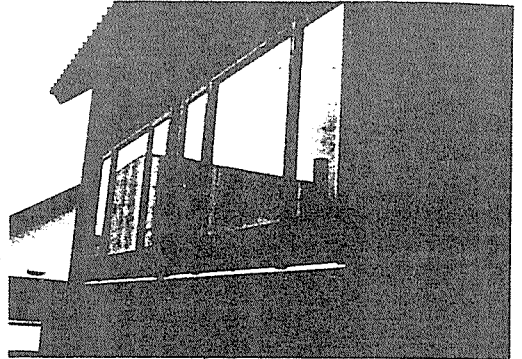


写真5 窓 枠

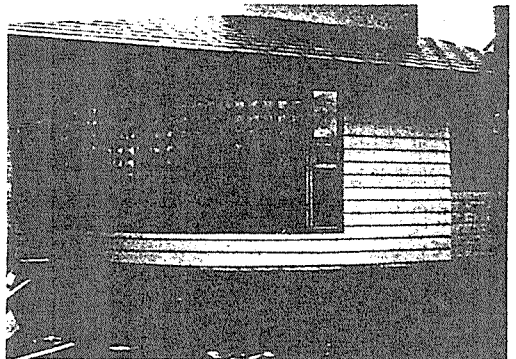


写真6 ガラスブロック 枠

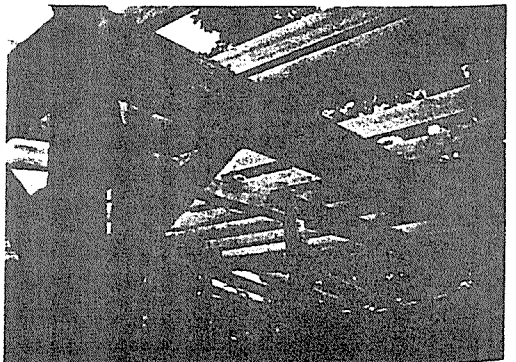


写真7 構造材



とは異なり濃色である。この木口面はテーブルなどへの利用も考えられる。

着色塗装をした場合、辺材が心材より塗料を多く吸収するため辺材が濃く着色される。

量産した場合、このLVLの製材品（ユリア樹脂を使用）は1m<sup>3</sup>当り約10万円になると予想されるので現在1m<sup>3</sup>当り10万円以上する南洋材製材の代替品となりうると思われる。この場合写真4のように階段材などとして使用することが期待できる。

### 3.3 窓枠、戸

木製窓枠が見直されているが、LVLは乾燥材であるうえ、寸法を自由にとれるため加工によるロスが少ないので窓枠材としての使用を考えた。写真5に当场試作の窓枠の例を示す。当场のLVLはBJが目立つので化粧性を高めるために板目面に突板を張るなどの工夫も考えられる。

写真6では窓枠とガラスブロックの枠にLVLを使用している。ガラスブロックの枠は幅の広い板から湾曲材を削り出して用いている。

屋外に面して使用する場合はWPC化によって耐久性や寸度安定性を高めることも有効であろう。

### 3.4 構造材

当场のLVLは集成材よりも安く生産できるので、4m以上の材を供給すれば、大断面、長尺の構造材としての使用が期待できる。

写真7はLVLを構造材として使用した建築中の川湯

の観光案内所である。この柱や梁のように化粧的效果も果している。仕口の加工にあたってはLVLが欠けやすいなどの性質を持つ材料であるため、注意を要する。

## 4. 使用感

試作品を製作された方から使用感を伺ったので表2に示す。

加工にあたってはBJが多いこと、裏割れの存在、接着層が多いことなどが問題となる。BJは原木の玉切り長さを長くして単板長さを増すことや、スカーフジョイントに変えるなどすればかなり改善できると思われる。接着層が硬いために鉋の刃が欠けやすく、また裏割れによって表面が毛羽立ちやすいため、サンダーの使用が望ましい。軟らかい接着剤を用いたり、単板を薄くして裏割れを減らすなどして加工性を向上することも考えられる。

## 5. おわりに

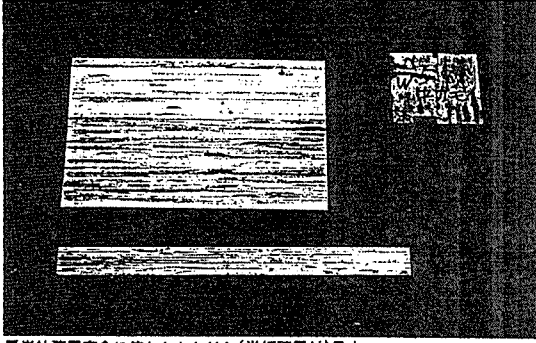
以上のようにLVLの用途としては付加価値の高いものをねらうべきであろう。強度や吸水性も辺心材の組合せによりある程度必要な品質のものを得ることが期待できる。今後はWPC化、防虫、防腐処理、他材料との複合化なども考えていく必要がある。

なお強度試験のデータは当场森泉、前田両研究員との共同研究から引用した。

表2 LVLの使用感

	M 社	A 社	T 社	Y 社
使用部位	・階段踏み板	・窓枠	・造作材、階段、窓枠	・内装材、窓枠
長 所	・狂いが少ない	・自由な寸法がとれる	・積層面の人工桎が面白	
短 所	・現場での鉋の刃こぼれ ・角の欠け ・ジョイントの隙間	・刃こぼれ ・仕上げ面が悪い	・表面の毛羽立ち ・ジョイントの隙間 ・刃こぼれ	・刃こぼれ
備 考	・ラワン製材より安価	・ジョイントはラフな使い方、ラフな材料との組合せでは問題ない	・長寸の製品がほしい ・加工、塗装マニュアルがほしい	・内装材として良い ・床板への使用も考えられる

(写真：三島 敏)



厚岸林務署庁舎に使われたLVL(単板積層材)見本

これまでカラマツ材といえば、  
建築用材としてかえりみられることはなかった。  
そのカラマツの中でも、  
中小径木だけを使ったモデル建築が  
北海道で相次いで建てられた。  
弟子屈町川湯観光案内所、厚岸林務署庁舎の二つである。  
ここで示された技術群は、  
北海道のカラマツに限らず、  
わが国全体の木造技術の見直しにも通じる  
可能性を秘めている。

■間伐材利用技術開発 1 2

# 単板積層材,木製トラスで カラマツの用途開発目指す

## 明日の木造建築のあり方をも示唆する先端2例

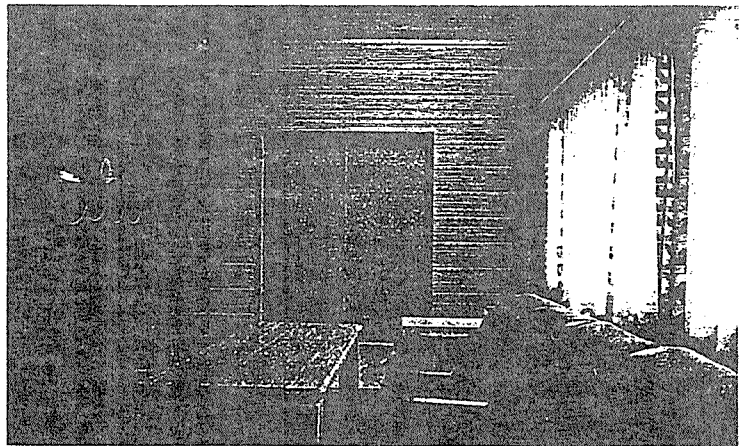
わが国で使われる建築用材の主なもの、スギ、ヒノキ、それにマツくらい。カラマツについては、大径木から取ったものはヒノキに似た美しさがあるといわれるが、ごく限られた地域で、限られた用途に使われるだけである。反り・ねじれ・割れなど材の狂いが生じやすい、材質が硬い、節が多い、樹脂分が多い、釘を打つと割れやすいなど、建築用材とするには都合の悪い性質が多いためとされている。

ところが、そのカラマツ材、中でも中小径木だけを使って建てた木造建築が北海道で2件、相次いで完成した。その一つ、弟子屈(てしかが)町川湯観光案内所は、カラマツの間伐材から造った単板積層材・LVLを構造用の角材として使った点に、もう一つの厚岸(あつけし)林務署庁舎は、カラマツ中小径木から製材した断面120×60mm

の角材でスパン約10mの合板釘打ガゼットトラスを構成した点に特徴がある。

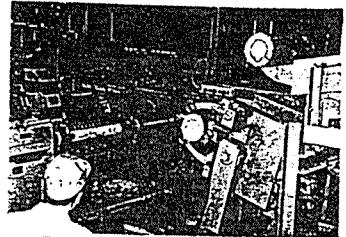
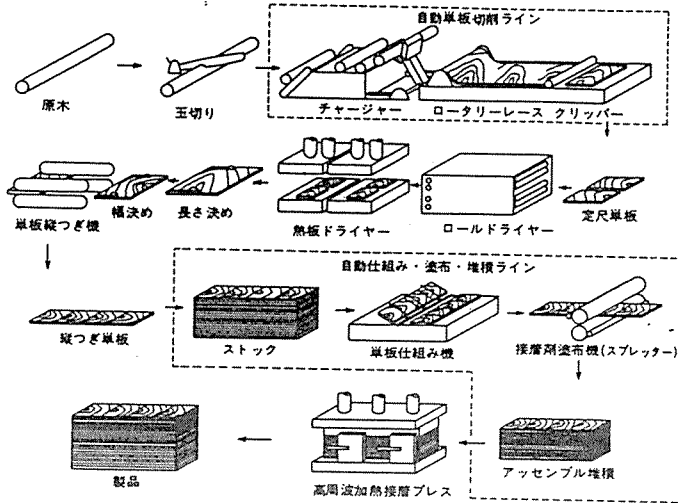
カラマツ材活用、技術的にはほぼ解決  
現在、北海道には約50万haのカラマツ人工造林が存在し、全人工造林に

占める割合は40%に達している。全国的に見ればその割合は数%であるのと比べると、北海道はいかにカラマツが多いかが分かるだろう。そのほとんどが昭和30年をピークとする戦後の造林であり、ここ数年が間伐の最盛期となる。

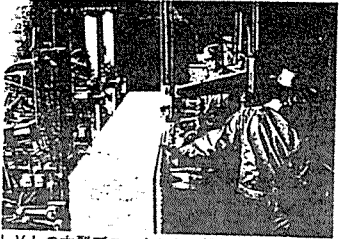


カラマツ間伐材LVLの開発を担当した小倉高規氏の自宅内部。ここで初めてLVLが建築材料として使われた。テーブルもLVL製

●LVL(単板積層材)の製造工程図



50cm長さに切りそろえた間伐材からの単板むき加工



LVLの大型ブロックからの板材製材

●LVL(105mm角・長さ2m)の強度性能

項目	構成単板	曲げ			せん断			平均
		平均	最大	最小	平均	最大	最小	
曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	iのみ	355	370	340	340	360	330	420
	i,o混合	485	500	470	445	465	410	
ヤング係数 (ton/cm <sup>2</sup> )	iのみ	80	80	80	80	80	80	80
	i,o混合	95	100	90	100	100	95	
縦圧縮強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	iのみ	365	370	360				300
	i,o混合	420	430	410				
ブロックせん断強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	iのみ	68	73	59	70	60	60	
	i,o混合	58	59	57	76	77	71	

単板の区分 i = 丸太の比較的 inner 側より得られた単板  
o = 丸太の比較的 outer 側より得られた単板

「もうカラマツが植えられる所はほとんど植えてしまった」(厚岸林務署長・神原庸至氏)というから、今後カラマツ人工造林が急激に拡大することはないだろう。しかし50万haの人工造林が次々に主伐期を迎える時期になれば、カラマツ材の生産量が急増することは目に見えている。

そのために、北海道では道立林産試験場を中心に、カラマツ材の利用技術の開発が進められてきた。「技術的には

ほぼ解決した」(日本住宅・木材技術センター試験研究部長・小倉高規氏、今年1月まで同試験場副場長)という。が、前述の通りカラマツ材の建築分野での使用実績は、間伐材はもとより、主伐材についてもないのに等しい。また一般の認識も低い。広大な面積のカラマツ人工林をかかえる北海道では、その用途開発、需要喚起は緊急の課題である。

そこで、今までに開発された技術を

集大成し、モデル建築を建てることによって、カラマツ材の利用拡大を図ろうというのが、この2棟の建物の狙いなのである。両者とも構造材以外の部位、例えば開口部、内外壁、天井、床、家具・什器、塀などにLVL、板材、半割丸太、丸太の形でカラマツ材が積極的に使われており、弟子屈町川湯観光案内所の場合は100%、厚岸林務署庁舎の場合も約94%がカラマツ材で構成されている。

## 低質木材から製材品を得る L V L

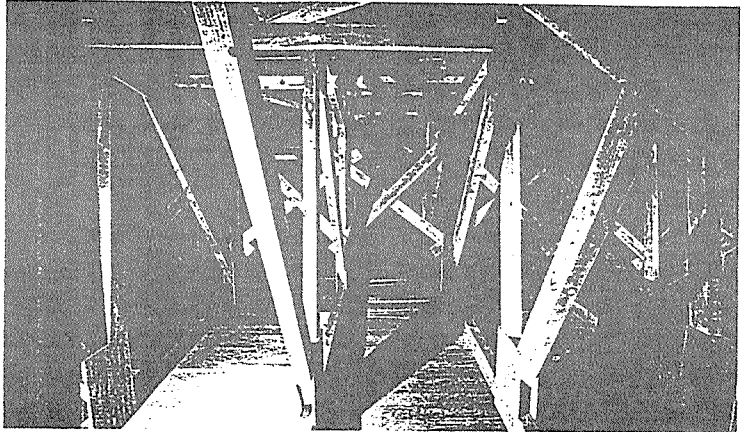
では L V L とは何か。ラミネーテッド・ベニア・ランバーの略で、日本語訳は単板積層材となる。その名が示す通り、数mm厚の単板を繊維方向を揃えて数枚から10数枚重ね合わせ、接着して造った角材である。この角材を積層面側から薄く製材すれば板材が、厚くすれば適当な断面の角材が得られる。

製造工程図からも分かるように、原木丸太から皮をむくようにして削り出された小サイズの単板（繊維方向 450、幅 480 mm）を縦継ぎし、互いに継ぎ目をズラして積層するため、間伐材のような小径木、低質材からでも大断面（最大 450 × 480 mm）長尺（最大 3600 mm）の角材が得られること、繊維方向が揃っているために積層面が人工の柾目模様となる特徴がある。

また、単板を熱板乾燥するために間伐材のまま乾燥するのに比べて確実に、しかも短時間で乾燥でき、バラツキの少ない均質な材が得られることも長所といえる。

その半面、接着面側にむき加工した際の裏割れや縦継ぎ線が現れること、接着剤層が堅くて通常の木工工具による加工が難しいこと、強度に対する縦継ぎの影響が今一つはっきりしていないことなどの短所もある。強度については、105 mm 角・長さ 2000 mm の材で、同サイズのカラマツ芯持材と同等という試験結果が出ているが、構造材とするにはさらに厳密な確認が必要だろう。

もう一つ気になるのは価格だろう。小径木を原料とするため工程は可能な限り自動化できるよう工夫されているが、大径木に比べれば加工手間は多くなり、材積の歩留まり率も落ちる。また製品価格の接着剤価格への依存の度合いも高いことから、1 m<sup>2</sup> 当たり製材前の大型ブロックのままで 7~8 万円、



会議室屋根(大屋根)部分の合板釘打ガゼットトラス。部材断面 120 × 60mm、スパン 10.92m、間隔 91cm

製材・仕上げ加工したもので 9~10 万円と見積もられている。

一般の木材と比べて決して安い価格ではないが、その代わり完全乾燥、均質、意匠性が高いなどのメリットもある。従って窓枠や木製サッシ、内外装仕上げ材などより高級な部材として使おうとの主張がある。その一方で集成材よりは安価なので大断面・長尺の構造材を追求すべきだとの見方もある。L V L の用途開発は今後の課題といえそうだ。

わが国の木造工法を見直す契機にも

ところで、北海道がなぜカラマツ林の多い特異な造林構成となったのか。気候風土の違いは当然考えられる。だが、社会経済的背景も見逃せない。

カラマツの中小径木は炭鉾の杭木に適しており、しかも成長が速いことから、30年生くらいで伐採することを考えて盛んに植林された。だが、石炭産業も、今では衰退の一途。残されたカラマツ林は建築用材として育成せざるを得ない。そのためにカラマツ間伐材の活用、カラマツ材の用途開発が求められている、とはいえないだろうか。

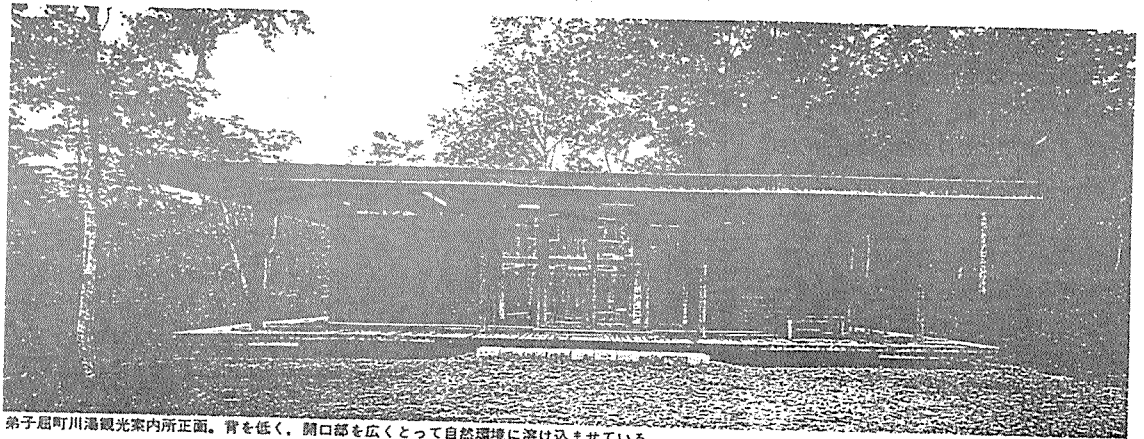
とすれば、この 2 棟のモデル建築に

示された技術は北海道固有のものなのか。決してそうではない。例えばカラマツ材以外でも間伐材の活用は求められており、数多くの手法が開発されているが、どれも今一つ伸び悩んでいる。

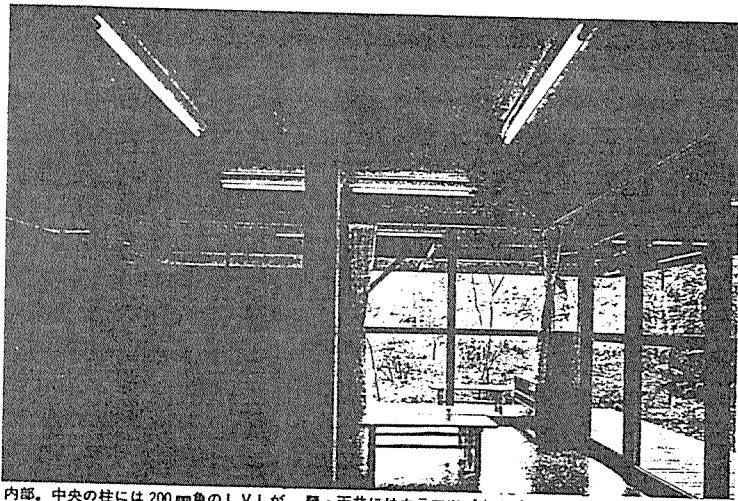
その理由は、やはり間伐材から取った製材のコスト高と品質のバラつきに求められるだろう。その点、L V L は使える技術である。現に 59 年中には岐阜県と宮崎県で二つの L V L 工場が稼働する見込みだ。そこでは原料にスギの間伐材が使われるという。

合板釘打ガゼットトラスも同様だ。現在、わが国におよそ 1000 万 ha の人工造林が存在するが、その多くは戦後の急速な植林によるものである。近い将来、それらの造林が伐採期を迎え、多量の国産材が出回ると考えられる。その際は大径木だけでなく、中小径木も一緒に産出される。外材輸入のように大径木だけを選択的に使うことは許されない。当然、木造建築工法も変わらざるを得ないだろう。その時、このトラス工法も有効な一手法となるはずだ。

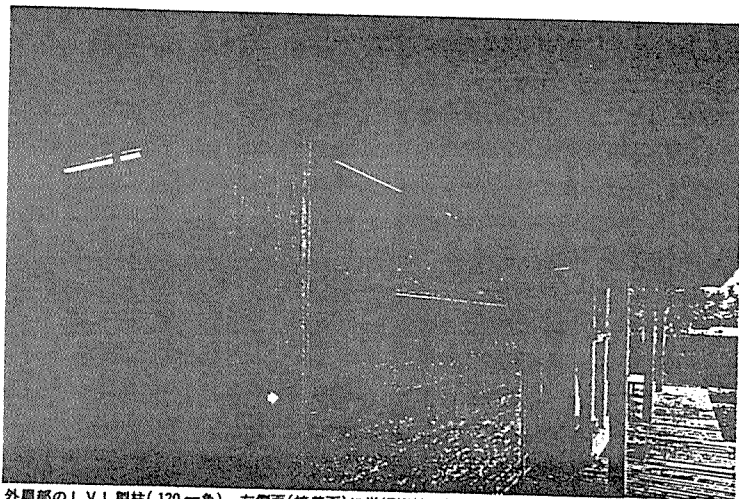
カラマツの用途開発を目的に建てられた二つの建物は、わが国の明日の木造建築を示すものでもあるといえるのではないだろうか。



弟子屈町川湯観光案内所正面。背を低く、開口部を広くとって自然環境に溶け込ませている



内部。中央の柱には200mm角のLVLが、壁・天井にはカラマツパネルボードが使われている



外周部のLVL製柱(120mm角)。左側面(接着面)に単板縦継ぎ線が見える

### ■弟子屈町川湯観光案内所 構造を単板積層材で構成 接合法の開発が今後の課題

弟子屈町川湯観光案内所は、木造平屋建、延べ面積約46㎡と、小じんまりした建物である。構造も小規模で軽微な木造建築によく見られる垂木構造(垂木小屋組)が採用されている。しかしこの建物を構成する木材は100%カラマツ材である。特に柱、母屋、垂木などの構造材にカラマツ間伐材によるLVL(単板積層材)が使われている点が特徴的だ。

背景が透けて見えるよう自然と調和

弟子屈町は阿寒国立公園のほぼ中央に位置し、東に摩周湖、西に屈斜路湖を控えた道東観光のメッカである。毎年夏には音楽フェスティバルを開催し、今また観光文化センターの建設が計画されているなど、観光開発に力を入れる町民の期待は大きい。この案内所もその観光政策の一環として建てられた。

国立公園内に立地することから、当然、建物に対する環境行政上の規制は厳しい。ガラスを前面に押し出した近

代的な壁面やアールの多いデザインはもちろん、レンガも許されないという。川湯温泉の旅館街を見ると、真四角なホテルはなく、皆、和風の庇がついている。自然環境との調和の要請がいかに強いかがうかがわれる。

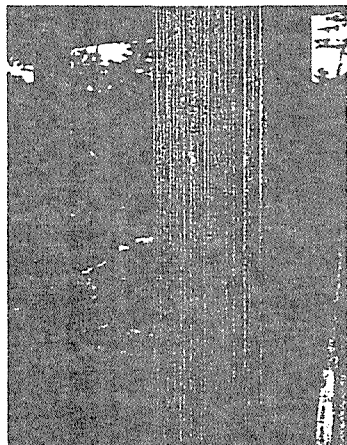
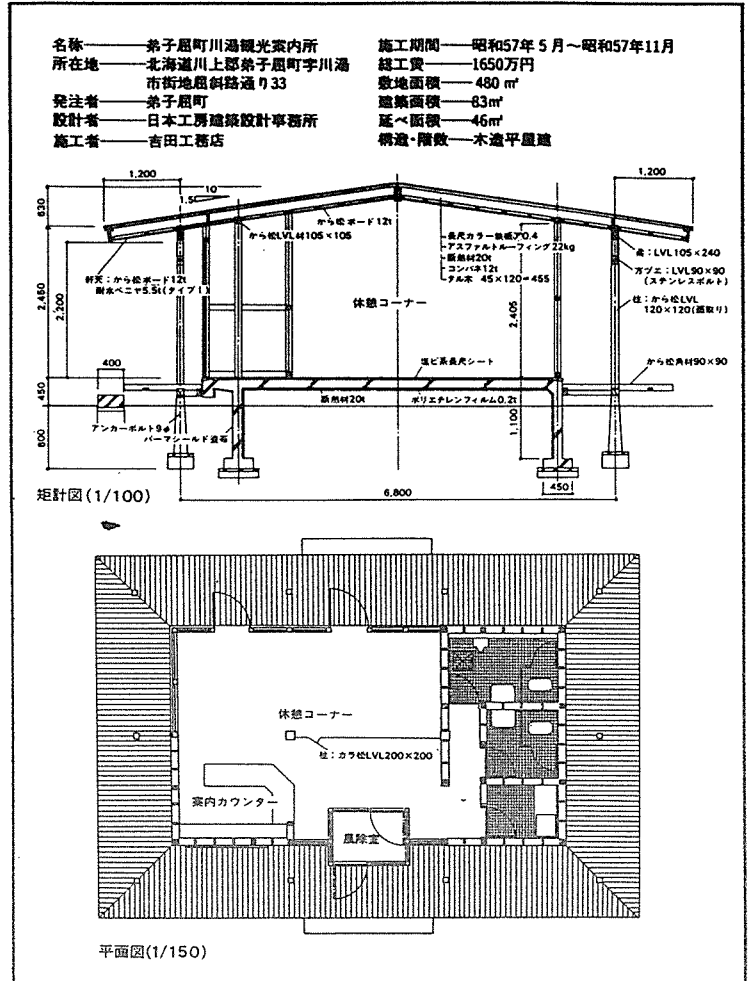
一方、施主である弟子屈町側は観光案内所という建物の性格から、地元産の材料を前面に押し出した建物を望んでいた。ちょうどその時、北海道立林産試験場からLVLの使用が提案されたわけである。道東・網走地区はカラマツ材の一大産地になろうとしていることから、オールカラマツ材の建物、LVLの使用が決定された。

建物は、ゆるい勾配の屋根と垂木構造によって背が低く抑えられ、左右対象の端正な外観を呈している。また開口部が広く取られ屋根と板張りの外壁との間にはガラススリットがめぐらされている。これらが周囲の自然との調和のために採られたデザイン手法であることは容易に理解できる。設計者である日本工房建築設計事務所設計部長の滝本邦彦氏は、「カラマツ材の木膚を表面に出して自然との調和を図ると同時に、木の固まりとするのではなく、バックが透けて見えるような自然に溶け込む仕掛けを考えた」と説明する。

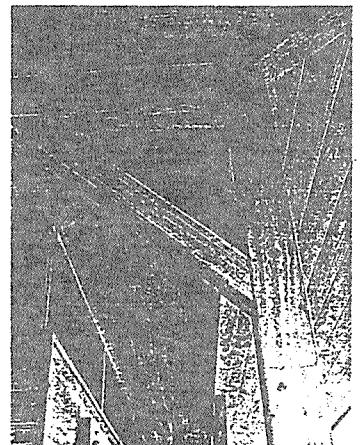
また外壁を主要構造体とせず、高床式の外部回廊部分に露出した8本の柱に荷重を持たせた構造は、シンメトリックなプロポーションとともに軽快な雰囲気を作り出している。この軽快さ、明るさは利用者にも好評のようである。設計の狙いは十分生かされたといえるだろう。

接着面の継ぎ線はデザイン処理可能

ではLVLに対する設計者の評価はどうか。ここでは構造材のほか、開口部材（窓枠とサッシ）にもLVLが使



外周部に露出したLVL構造柱（120mm角）



軒天、ガラススリット部分を見上げる



われている。今回の取材を通じて最も多く指摘されたLVLの問題点は、接着面(板目面)側に450mm間隔で現れる縦継ぎ線の存在だった。ここでも室内に露出する200mm角の2本の柱だけは、積層面(柾目面)の薄板を貼って接着面を隠している。しかし滝本氏は「継ぎ目の線はそんなに気にならない。デザイン上の配慮で十分処理できる。それよりも間伐材の利用という点に価値を認めたい」と肯定的だ。が、「商業ベースで普及させるには、他の木材と同等か若干安い程度までコストダウンしないと市場に流すことは難しいだろう」と、コスト上の問題を指摘する。構造材として使う場合は、LVLの持つ人工柾目の装飾性が生かされにくく、その分だけ厳しいコスト競争を強いられるわけだ。構造材とするなら単材では得にくい大断面・長尺ものを指向するのの一つの手だろう。ただし、これには強度等の性能の確認が前提となる。

LVLについてのもう一つの問題は、構造部材としての接合法である。ここでは、ほぞつぎなど従来の木造構法と同じ仕口・継手が使われているが、「LVLにこういう木材と同じ加工をしているのか疑問だ。特に仕口集中部についてはもっと単純明快な接合法を開発すべきだと思う」(滝本氏)との指摘があった。

また施工者側からは、「接着剤が堅く、大工道具の刃こぼれがする」との不満が聞かれた。この点について、日本住宅・木材技術センター試験研究部長の小倉高規氏(今年1月まで道立林産試験場副場長)は、「超硬金属で専用工具を作ればいい。技術的にはクリアーできる」という。が、その工具はまだできていない。LVLを構造材として使うには、接合法、加工工具など周辺技術の整備が今後の課題のようだ。

## 厚岸林務署庁舎

### 木製トラスで大スパン実現 釘打ち接合に改良の余地も

「カラマツだけで家が建つことを実際の建物で示し、カラマツ材の需要拡大を図る」(厚岸林務署長・神原庸至氏)。この建物は、林務署庁舎であると同時にこんな狙いが込められたモデル建築である。カラマツ材利用技術の展示場なのだ。従って、旧庁舎の建て替え決定と同時に、北海道林務部、道立寒地建築研究所、道立林産試験場、それに民間設計事務所有志を結集してプロジェクトチームが編成された。

そして、昭和56年4月以来7カ月間の検討の結果、合板釘打ガゼットトラス架構による大屋根構造、木造平屋建(一部2階)、延べ面積408㎡、総工費1億3000万円の大デモンストレーションが完成した。竣工は57年12月である。「大」を付けたのは誇張ではない。木材をふんだんに使っているためか、実際の規模以上に大きく、立派に見える。

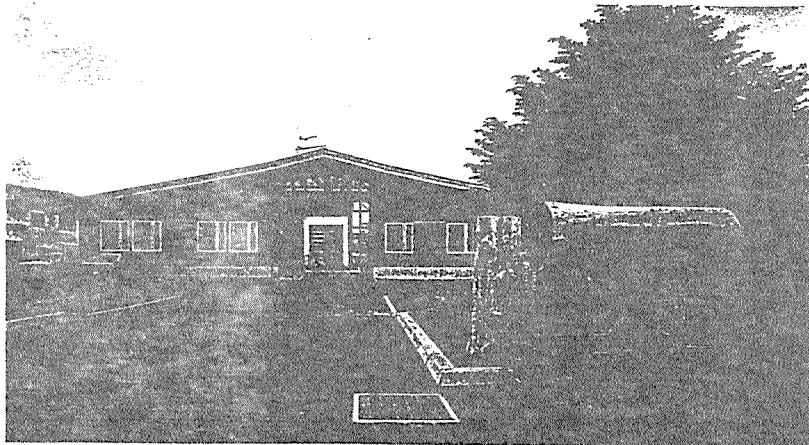
使用木材の内、94%はカラマツであるが、署長室のはめ板にはオンコ(イ

チ)のムク板のような高級なものも使われている。設計者である北国の住まい相談所所長の一宮忠雄氏は「地盤が良くないこともあって頑丈に造りすぎた。上物だけで坪80万円というのも、ちょっとぜいたくな」と漏らす。LVL(単板積層材)も使われているが、弟子屈町の場合と異なり、開口部材、造り付けロッカー、幅木などの化粧部材が中心である。

当然「署員には快適な庁舎と好評。民間の設計者の見学も多い」(同署次長・石田保氏)。既に、この庁舎を参考にして、カラマツ材による飲食店や住宅が建てられつつあるという。また、今春には、ここで日本木材学会北海道支部の研修会も催された。さらに次の計画として、美深林務署をこの方式で建てることも決定されているという。モデル建築の狙いは見事に当たったといえよう。

#### 120×60角材で木製トラス構成

構造材としては、同署管内から40年生のカラマツ人工林を間伐して使われた。40年生とはいっても、径級は24~44cmで中小径木の域にある。これを120mm角・長さ3600mmの柱材に製材す



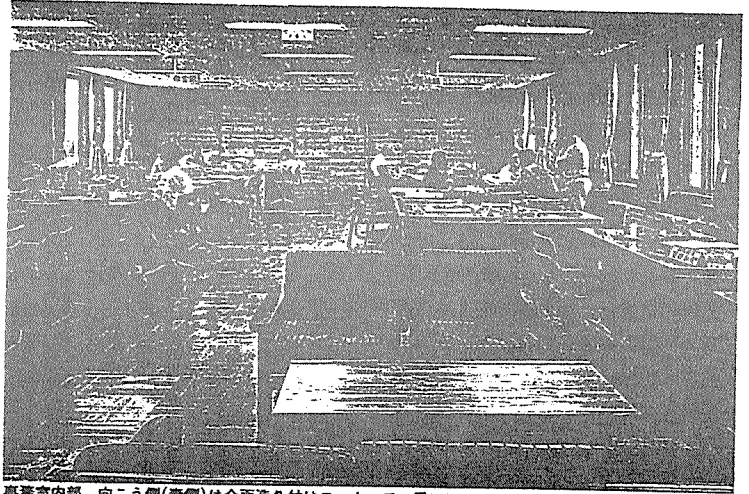
厚岸林務署庁舎正面。外壁はカラマツパネルボード(エンボス加工)横張り、窓間にはカラマツ丸太半割材

ると芯持材あるいは樹芯近くでの木取りが多くなり、乾燥による狂いが生じる。そのために高温高湿スケジュールによる圧縮乾燥が行われた。この技術も道立林産試がノウハウを持っており、その指導の下に厚岸木材工業組合の工場で行われた。

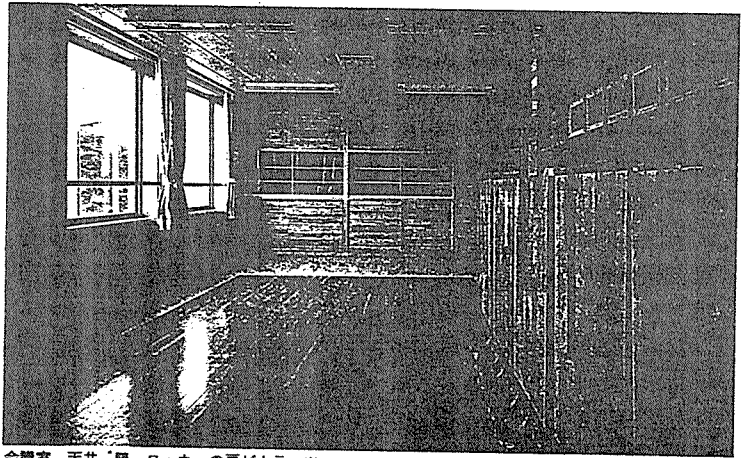
事務室及び会議室部分の屋根には大スパンのトラス架構が採用されている。これは断面 120 × 60mm の部材を構造用合板のガゼットプレートで両側から挟み、釘打ちで接合するもので、「合板釘打ガゼットトラス」と名づけられている。

軽量鉄骨トラスでよく使われる鉄板ガゼットとリベットによる接合を木製トラスに置き換えたものと思えばよい。トラスは、事務室部分が9.10mスパン両流れ、会議室部分が10.92mスパン片流れで、間隔はいずれも91cmである。

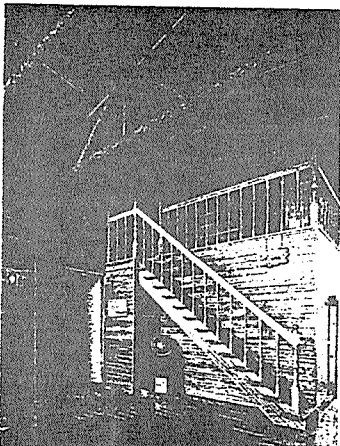
トラス製作は現場に原寸図を墨付けしたステージを組み立て、そのうえで行われた。また接合部の釘打ちに対しては、部材、合板ガゼットともに十分な端あきと縦・横の釘間隔が確保できるよう接合部ごとにブリキ製の型を造り、それで釘位置の墨付けが行われた。さらに、表と裏で釘位置が交互にズレ



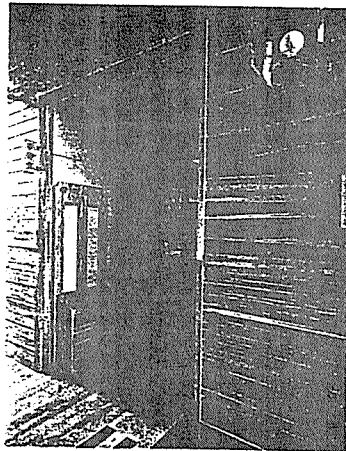
事務室内部。向こう側(姿側)は全面造り付けロッカーで、扉にはLVLが使われている



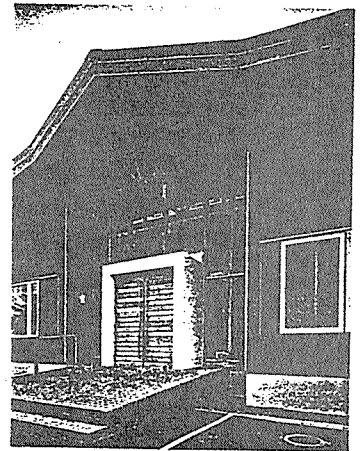
会議室。天井、壁、ロッカーの戸がカラマツ



玄関ホールと丸太トラス。向こう側のボイラー室上部が展示コーナーになっている



玄関ホールから事務室入り口を見る

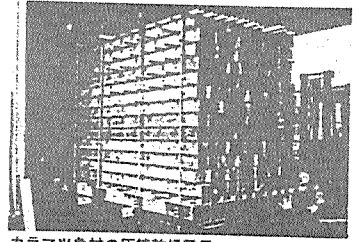
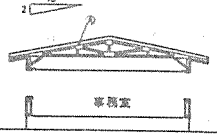


玄関扉はカラマツパネルフラッシュ戸。白い部分は防火規制上取り付けられたコンクリート枠

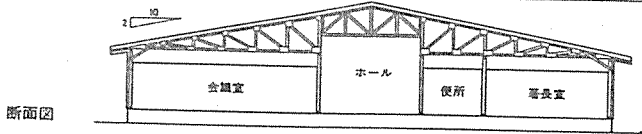


名称——北海道厚岸林務庁舎  
 所在地——北海道厚岸郡厚岸町梅番町1-26  
 発注者——北海道林務部  
 設計者——北國の住まい相談所  
 施工者——厚岸木材工業協同組合  
 施工期間——昭和57年5月～57年12月  
 総工費——1億3000万円

敷地面積——2421m<sup>2</sup>  
 建築面積——412m<sup>2</sup>  
 延べ面積——429m<sup>2</sup>  
 構造・階数——木造平屋造

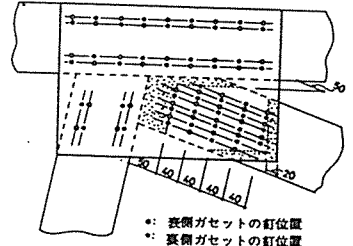


カラマツ角材の圧縮乾燥風景

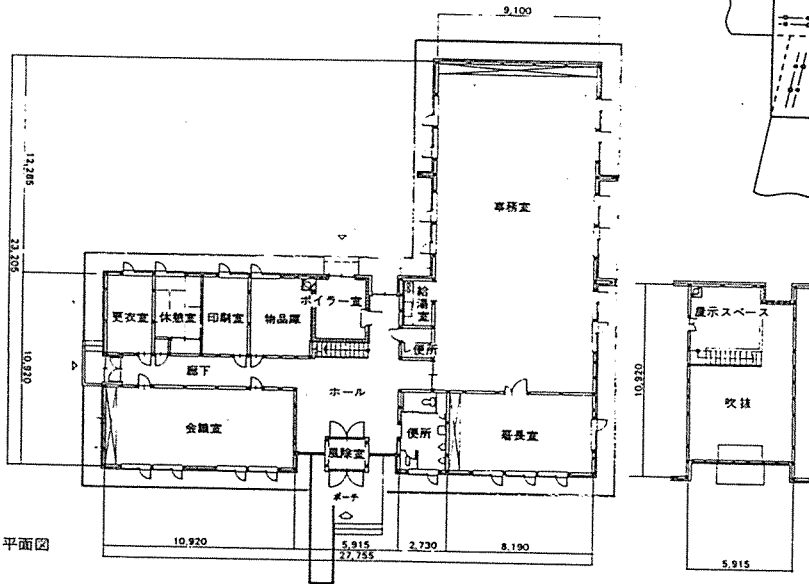


断面図

●両流れトラス(スパン9.10m)の釘打位置図  
 (断面図中②の接合部)



●: 表側ガセットの釘位置  
 ○: 裏側ガセットの釘位置



平面図

るよう、型は1カ所に2枚用意された。「膨大な量の釘を手作業で、しかも精度良く打つために工務店は大変苦労したようだ」(同署総務課長・和崎光治氏)という。このあたりに改良の余地が残されているようだ。

半端ものの感まぬがれぬ縫ぎ目の線

LVLについては、構造的な使用がなされていないだけに、おおむね好評だが、ただ一つ、接着面の縦縫ぎ線に対しては「いかにも半端物を使ったよ

うに見える」(和崎氏)と評判が悪い。サッシではちょうどこの面が内外の側面に出る(積層面が見込み側)ため、内側には積層面の薄板貼り、外側にはベンキが塗りが行われた。石田氏も「積層面だけを天板に使ったテーブルを見せられた時、これはいいと思った。それに惑わされて板目面があることに思いが至らなかった」と述懐する。

この問題に対して、一宮氏は、「45度斜めの面で製材すれば4面積層面とすることができる。確かに材料は少し

ダになるが、もともと間伐材の利用なのだから、それくらい許されるはずだ」と提案する。

もう一つ、「あまり大面積でLVLを使うと、積層面の模様が少々どく感じられる」(北海道住宅都市部建築指導課長・川治正則氏)との指摘もあるが、これは室内空間の大きさにも関係するようだ。ここでは事務室の妻側全面がLVL製のロッカー戸でおおわれていたが、くどい感じはなく、むしろ好ましく思われた。(加納 昇)

## 新技術・新製品

# 1.3 トラスジョイスト社における LVL の

## 製造および利用技術

Sherman A. Nelson\* (徳田迪夫\*\*訳)

日本においては LVL (Laminated Veneer Lumber) の利用は未だ十分進んでおらず、製造基準や許容応力度も確立していないのが現状である。その主な原因としては経済性の面と LVL に適した構法の開発の遅れの2つが考えられよう。一方、北米では近年、大径の針葉樹材が得にくくなってきているのと、LVL 製造技術が飛躍的に発展した結果、LVL の構造用材としての利用が進んでいる。ここでは、LVL の製造のバイオニアとして米国およびカナダで実績を上げているトラスジョイスト社の紹介をしてみたい。

### 1. トラスジョイスト社と主な製品

トラスジョイスト社は 2×4 材をフランジとし、鉄パイプをウェブとしたオープンウェブ梁を生産する木材会社として 1960 年 Harold E. Thomas と Arthur L. Troutner によって設立された。設立当初から製品の直販方式によって、従来とは異なった特別のサービスを消費者に行ってきた。直販方式には、トラブルが生じたとき、ケースに応じた適切な処置を施すことができるという利点がある。今日トラスジョイスト社は木材を構造用材として利用する技術、特に LVL を連続的に大量に生

産する技術とそれを複合梁として利用していく技術において業界をリードしている。本社はアイダホ州ボイシー市にあり、資本金 450 万 US ドル、従業員 1300 人で、米国およびカナダに 13 の工場を持っている。年商は約 1 億ドルで、年々増加している。

主要製品は LVL (商品名マイクロラム) とこれを構成部材として作られた複合梁である。マイクロラムは小径の針葉樹材単板を原料として作られる厚さ 19 mm ~ 63 mm、幅広 (最大 1.2 m) で長尺 (最大 24 m) の厚い構造用材で、強度の大きさ、均質性、寸度安定性、経済性において製材品や集成材よりもすぐれた特徴を持っている (写真 1)。複合梁には、マイクロラムをフランジ材とし、構造用合板をウェブ材とした TJI と呼ばれる複

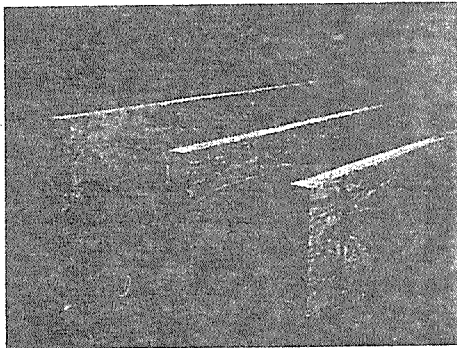


写真 1 各種のマイクロラム

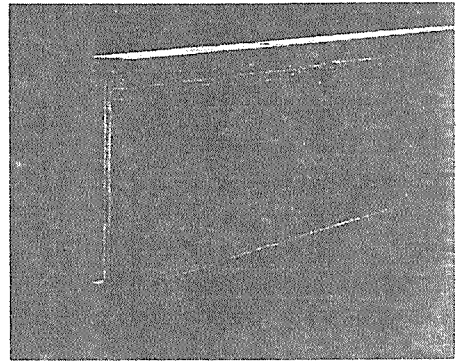


写真 2 TJI



写真 3 Tjlx の曲げ試験

\* トラスジョイストコーポレーション主任技師  
\*\* 東京大学農学部

合梁(写真2)と、マイクロラムをフランジ材とし、鉄パイプをウェブ材としたオープンウェブトラス(TJLX, 写真3)がある。

1983年10月に日本における市場開拓と、国産材の有効利用を目指して、株式会社トラスジョイント・ジャパン社が発足した。営業内容は次の4つである。

- (1) トラスジョイント社の構造用LVL(マイクロラム)の輸入販売
- (2) TJI や TJLX の輸入販売
- (3) マイクロラムや TJI 等の製造技術のライセンスおよび機械装置の販売
- (4) マイクロラムの構造用材料としての関係官庁による認定の推進

なお、本年初め、マイクロラム、TJI および TJLX の曲げ試験を日本において行った。結果の一部は木材学会大会(1984年、名古屋)において発表された。

ここでマイクロラムと TJI についてももう少し詳しく触れてみる。

## 2. マイクロラムの製造と性能

数多くの企業がLVLの製造法の改革を試みてきたが、1960年代後半にトラスジョイント社が初めてLVLの連続プレスに成功した。マイクロラムは1/10"~1/8"のダグラスファー単板を乾燥後超音波でグレーディングをし、フェノール樹脂を塗付した後、長さ33mの長い連続プレスの中に単板を連続的に横から押し込んで製造される。単板は自動的にラップジョイントされ、いくらでも長い材が効率よく生産されていく。トラスジョイント社のマイクロラム生産量は年間約20万m<sup>3</sup>である。マイクロラムの長所として次の5つの項目が挙げられよう。

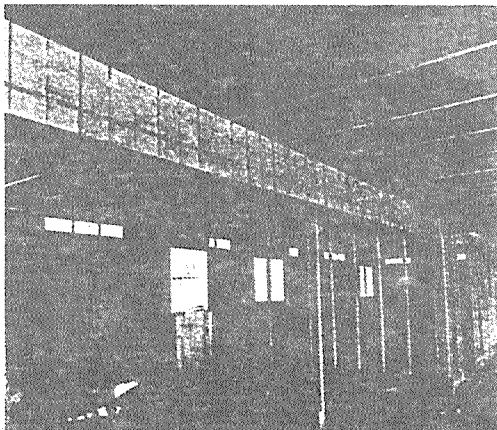


写真4 マイクロラムと TJI の利用例

- (1) 製材品に比べ原材料利用の歩留りがはるかによい(約47%向上する)。
- (2) 製材品としては使えない低品質でしかも小径の材を利用できる。
- (3) 製材品に比べると、そりや割れが生じにくい。
- (4) 長尺の製品が得られる。
- (5) 強度が製材品より大きく、しかもバラツキが小さい。したがって許容応力度を大きく取ることができる。たとえば、ダグラスファー素材(グレードの高い Select Structural)の許容曲げ応力度との比較を行ってみると、グレードの低いマイクロラム1.8Eでも約30%、グレードの高い2.2Eでは約70%値が大きい(資料 Design Values for Wood Construction, National Design Specification for Wood Construction March, 1982 および National Research Board NRB-126)。

マイクロラムの用途としては梁としての利用のほか、建設用足場板、コンクリート型枠、トラックのデッキ等がある。米国では、スパン120mにも及ぶアーチ形式のトラス部材としての利用例もある(アイダホ州モスコウ市)。

## 3. TJI の種類と利用

TJIには5つの種類があり、最も小型のものはTJI/25で、断面44mm×38mmのマイクロラムをフランジ材とし、4×8尺の9.5mm厚構造用合板を表層の繊維方向が材軸と直交するように配してある。ウェブはフランジに切られた溝に圧入接着され、ウェブ同士はバットジョイントである。梁せいには240mmと300mmの2種類がある。最も大型のTJIはTJI/55で、89mm×38mmのマイクロラムをフランジ材とし、13mm厚の合板をウェブ材としている。梁せいは760mmである。TJIのウェブはハンマーで軽くたたくと配管や配線用の

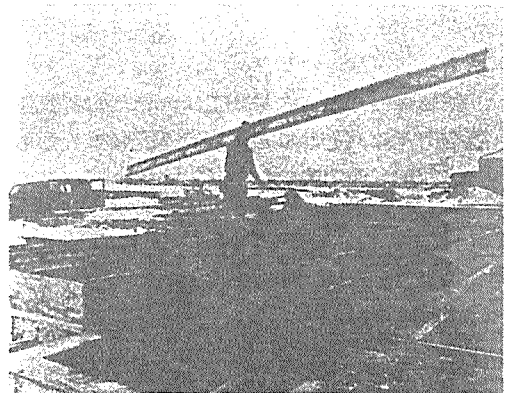


写真5 施工中の TJI

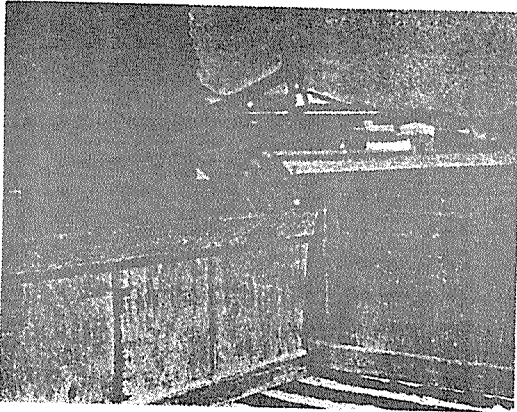


写真 6 TJI 同士の取り合い

穴が容易にあけられるようになっている。TJI の主要用途は床梁と小屋梁である。現在トラスジョイスト社の TJI 生産量は年間、長さにして 15 000 km に及んでいる。

米国におけるマイクロラムや TJI の製造基準と施工方法は National Research Board (NRB) によって取り決められ、製品の品質を保証している。

NRB-126 (March 1983) はマイクロラムの製造基準および許容応力度を定め、NRB-200 は TJI の製造基準、施工法 (ウェブ材の配置法、釘打ち方法等)、許容モーメント、許容せん断力、耐火工法等の規定を細かく定めて

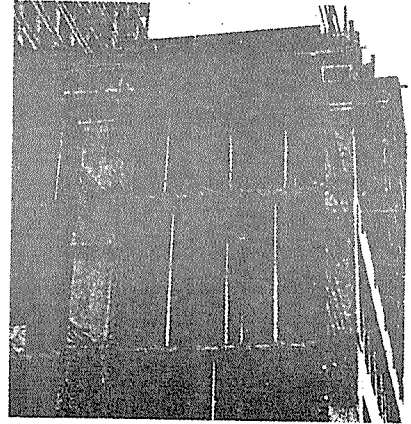


写真 7 マイクロラムのコンクリート  
フォーミングとしての利用

いる。

写真 4 は大梁としてマイクロラムを、小梁として TJI を用いた例である。写真 5 は TJI を取り付けている現場の写真である。かなり長尺の梁でも重量が軽く、持ちやすいので施工が容易である。写真 6 は TJI 同士の取り合いを示している。釘打ちも容易である。写真 7 はコンクリートフォーミングとしてマイクロラムを利用した例である。

(1984.4.16 受理)

# 1-4 LVL生産の現状と将来性

## 1. LVLとは

「LVL」とは、ベニヤ単板を繊維方向に平行に積層接着した製品の呼称である。

アメリカおよびカナダでは、針葉樹二次林材を原料として構造用製材相当品を目標に研究開発が進められ、1970年（昭和45年）ごろ、期せずして多くの研究機関により相次いでその成果が発表された。「LVL」という名称は、そのころにこれら開発製品につけられた名称である。

わが国では、これらの情報を得て、昭和47年ごろから官民の研究が進められる一方、相前後して合板工場等でも、南方産樹種、国産樹種による平行積層製品の試作が行われた。合板工場等における試作は、新製品の開発、刺芯利用等による歩止り向上、未利用樹利用開発等さまざまな目的をもって開始され、製品も、家具部材中芯用、家具部材用、楽器部材用等のほか、アメリカ、カナダにおけると同様、構造用製材相当品を目標とする例などさまざまな展開をみせた。これら製品は「平行合板」「単板積層材」またはアメリカ等の例にならって「LVL」と呼ばれていたが、昭和53年ごろにはこれら開発製品が市場に出回るようになり、同年「単板積層材の日本農林規格」が制定され、家具用中芯材や建築用造作材（非構造用材に限る）に適用されることになった。

したがって、これら製品の正式名称は「単板積層材」であるが、関係者の間では「LVL」の通称が多用されている。

その後、徐々にではあるが製品市場も拡大しつつあり、関係業界では新しい木質材料として、今後の成り行きが注目されている。しかしながら現時点では、市場製品の絶対量は

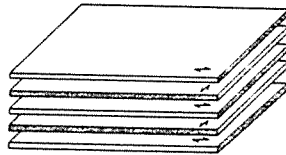
まだ少なく、また二次加工されて使用される場合がほとんどであるため、LVLの素材そのものが一般の目に触れる機会は極めて少ないと思われる。

図・1は、LVL素材の製品イメージを把握しうよう、模式図で示したものである。

①は、一般の合板であり、単板は繊維方向を交互に積層接着され、製品イメージとしては薄板材までは面材である。製品の幅、長さ寸法に調板された単板を用い、接着は合板工場の主機械であるホットプレスによっている。

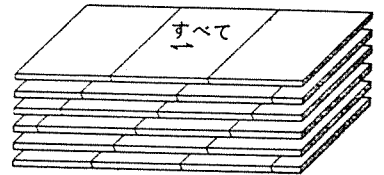
②は、単板の繊維方向を揃えて積層しており、その意味ではLVLではあるが、合板工場の製造設備そのまま、または機械装置・レイアウト等の改良・変更等によ

① 合板



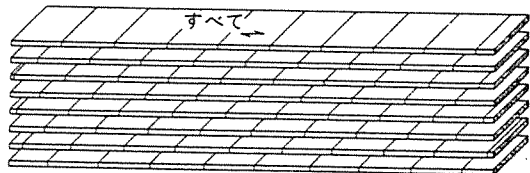
厚さ 2.5～18 mm  
幅 90～120 cm  
長さ 180～240 cm

② LVL (合板系機械施設により製造)



厚さ 12～45 mm  
幅 90～120 cm  
長さ 180～400 cm

③ LVL (専用機械施設により製造)



厚さ 3 cm 以上 (60 cm 程度も可能)  
幅 50～60 cm  
長さ 3.6 m 以上 (エンドレスの場合もある)

→ は単板の繊維方向を示す

図・1 LVL製品の模式図

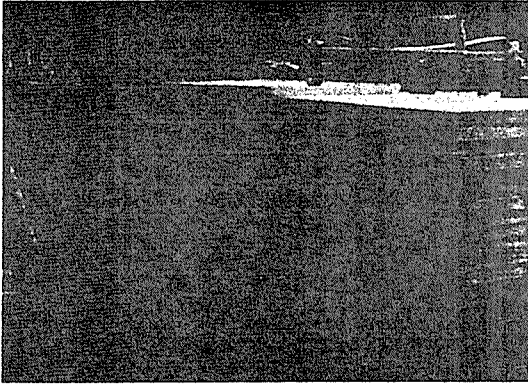


写真1 LVL連続成型プレス（アメリカ）

って製造可能である。すなわち、積層接着はホットプレスによるもので、したがって製品厚さは45 mm程度が限界であろう。製品イメージとしては厚板と考えてよく、家具用対象ならば長さは従来の合板と同様の1.8 m程度でよいが、建築用材対象ならば3.6~4.0 m程度が適寸であり、この場合既往の一般合板寸法の単板を用いるなら、単板繊維方向に複数枚を接続して用いる必要がある。図では接続面の仕上がり、製品の強度性能を考慮した場合を想定し、スカーフジョイントしている例を示した。わが国の現在のLVL製品のほとんどが、このタイプのものであると考えてよい。

③は、②に比べ、厚さの厚い、長さの長い、いわば「本格的」ともいえるLVLを示しており、製品イメージとしては、盤または角材（挽割ったもの）となる。このような形状寸法によって、はじめてLVL本来の特徴が発揮できるように思われる。製造上、②との主な相違は、単板の縦接合が絶対条件となること、ホットプレス成型が不可能なことなどであり、専用の機械設備と製造システムが必要である。先に述べたアメリカ等では、単板を余熱しておいてから接着剤を塗布し、冷圧の連続プレスで積層接着するユニークな方式も考案されているが、ほかに、高周波加熱接着、硬化時間の短い冷圧用接着剤の利用など多くの製造方法が考えられる。

このような製品は、LVL本来の特徴として下記のような諸点が挙げられ、構造用を含め用途開発の可能性も大きい。

- 従来の合板用原木に比べ小径材の利用が可能である（間伐材、未利用材の活用も考えられる）。
- 大断面、長大材が得られる（製材品では今後ますます得難くなる）。
- 乾燥材であり、狂いが少なく、寸法精度の高い工業製

林業技術 No. 516 1985. 3

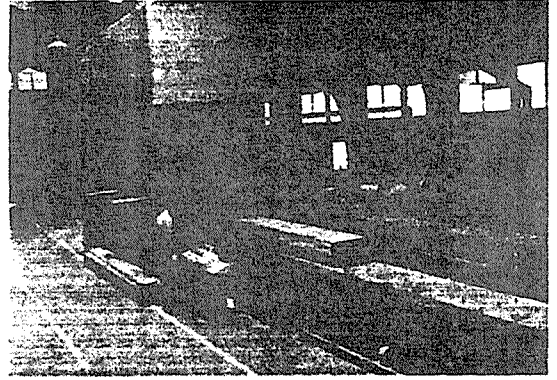


写真2 LVL高周波プレス（北海道立林産試験場）



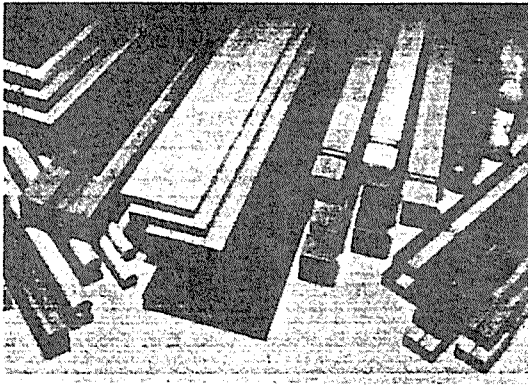
写真3 LVL製品（50cm×50cm×3.65m）の挽割り作業（北海道立林産試験場）

品としての供給が期待できる。

- 材質は製材品に比べ格段に均質であり、原料木材より強く均一な強度（欠点の分散効果）が得られる。
- 防腐、防虫、防火等の薬品処理が容易であり、有効である。
- 経済性に関し、低価格原木の利用が可能、かつ高歩止りである（欠点を除去せず分散利用）点が有利であるが、一方接着剤コストが上昇し不利な要因となる。筆者の検討結果では、製造システムの考案等により、製品 $m^3$ 当たり生産コストを、合板、集成材以下に押さえることは十分可能であるといえそうである。

## 2. LVLの製造方法

すでに述べたように、LVLの製造方法にはいろいろあるが、わが国の大宗を占める合板系機械施設による製造方法については、特に説明を要しないであろう。LVL専用の機械施設による製造方法については、アメリカ等はもちろん、わが国においてもいろいろ検討され、一部実用化段階にあるものもある。それらについては、木材工業関係の専門紙にも紹介されているので省略し、ここでは、写真で紹介するにとどめる。

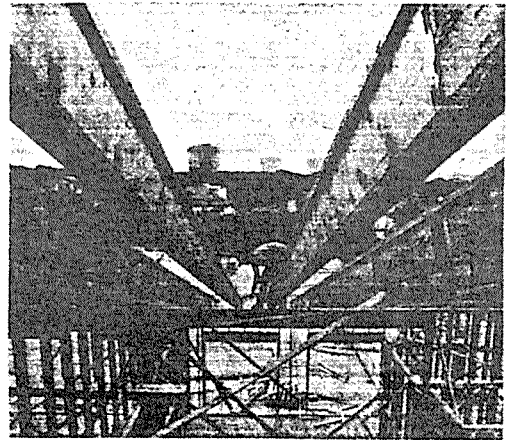


写真・4 LVLを化粧ばり造作材の中芯に用いた一連の製品

写真・1はアメリカで実際に稼働しているLVL工場の連続高温プレス、写真・2および写真・3は、北海道林産試験場のテストプラントの高周波プレスおよび製品(50 cm×50 cm×3.65 m)の挽割り状況を示す。

### 3. LVL生産と利用の現況

わが国におけるLVL製造の現況は、主たる製造工場14、このうちJAS認定工場5、年間生産量約50,000 m<sup>3</sup>と報告(財)日本合板検査会)され、また別の推定では65,000~80,000 m<sup>3</sup>ともいわれている。このうち、JASによる格付数量は約6,500 m<sup>3</sup>程度にすぎず、家具工場等の特別仕様により直接検査納入される例、製造工場自身が二次加工製品化する例などが多いためと考えられる。生産量を、原料別、供給形態別にみると、南方産樹種製品50,000~60,000 m<sup>3</sup>(自社消費10%前後)、針葉樹・国産広葉樹15,000~20,000 m<sup>3</sup>(自家消費60%前後)であろう。生産工場のほとんどが既存の合板工場で、原料も、機械設備もそのまま利用して生産を行っているが、2~3の工場は、LVL専用に設計した機械設備により、原料も輸入針葉樹材、国産針葉樹間伐材、国産広葉樹材など多少の変化がみられる。生産規模は、月間生産量500 m<sup>3</sup>以上は4、250~500 m<sup>3</sup>は5、250 m<sup>3</sup>以下は4、残りは需要に応じ僅少量の生産を行っている。用途別内訳は、家具用40,000~50,000 m<sup>3</sup>/年(フラッシュパネル芯材主体)、建築用20,000~30,000 m<sup>3</sup>/年(造作材用芯材主体)と推定される。芯材として用いる場合、加工製品の反り、狂い防止の意味から、LVL素材の幅を、加工製品の厚さに挽き割って、すなわちLVLの厚さを製品幅として用いる例が多い。したがって加工製品の幅が45 mmを越すような場合、現在の製品(図・1-②)のほとんどは素材そのものの厚み不足のため、素材段階で二次接着加工をしておく必要がある。その意味でも図・1-③



写真・5 LVLを用いたI型ビームによる建築施工例(アメリカ)

に示すような、本格的なLVLの出現が望まれる。なお上記現況の中で、針葉樹LVLについては、最近各地で試作検討が行われ、工場設立の計画段階のものもあるようであり、近い将来、かなりの増加が予想されるとともに、南方産樹種については、市況の低迷から当面大きな伸びはないように思われる。写真・4に、現在生産されている化粧ばり造作材の最終製品の例を示す。

アメリカ・カナダにおけるLVL製造の現況は、統計的な情報がなく詳細は不明であるが、わが国におけるような、合板機械施設による生産例はないようである。先に述べた1970年以降の研究開発の流れをくむものとして、アメリカにおいては大手木材企業を含む3社が工場生産を試みたが、うち1社のみが継続的に生産を行っている唯一の成功例とされている。先掲の写真・1の企業であるが、報道によれば、1978年時点で2工場4系列、年間47,000 m<sup>3</sup>を生産、さらに2系列のライン増設を行った模様である。製品寸法は、厚さ1<sup>1</sup>/<sub>8</sub>"を主体に<sup>3</sup>/<sub>4</sub>"~<sup>1</sup>/<sub>2</sub>"、幅24"、長さ80'としており、製品の多くは自社において、トラス複合梁等の部材に加工され、一部が足場板、建築用材等としてそのまま販売されているという。写真・5に、同社のLVL二次加工製品による建築例を示す。このように部材単体としての技術開発のみならず、建築トータルとしてのメリット追求と不離一体の開発がなされている点が、同社の成功の一因ともいえる。なお同社は、最近その製造プラントに関するノウハウの販売を目的とし、わが国に合弁会社を設立している。カナダにおいては、パイロットプラント稼働の報告が1973年に見られるが、その後の経過は明らかではない。製品寸法は<sup>1</sup>/<sub>2</sub>"×48"×40'とされ、これを挽き割っ





写真・6 LVLを構造材に用いた建築物試作例——構造部分を示す(北海道)

たものが、カナダ製材規格のグレードNo.1として使用が認められているという。

#### 4. LVLの用途開発——その将来性

先にも述べたが、わが国のLVLの需要は、現在の製品形態、製品市場にとどまる限り、大きな発展は望めないであろう。しかしながら、LVL本来の前記諸特性は、特に内外木材資源状況の変化期に当たり、また建築の検討・施工に高度の工業化・技術開発が求められている現在、時代の要求に正に良く適合するものといえよう。したがって、LVLの諸特性を考慮した技術開発が進められれば、今後大いに発展しうる材料と考えて差し支えないと思われる。

上記の点を念頭に置きつつ、今後利用開発の可能性があると考えられるものを挙げてみる。各項についてその可能性の程度により、可能性大(◎)、可能性はあるが技術的、経済的にやや検討必要(○)、可能性はあるが、性能的、技術的、経済的に十分検討必要(△)、のように分類してみた。また、LVLの用途開発を目的とした試作品の写真を関連項目に例示してみた。

##### (1) 建築部材

###### ①複合構造部材

ラチス梁、ボックスビーム、I型ビーム等の弦材(◎)アメリカにおける成功例にみられるように、有望な用途である(写真・5)。

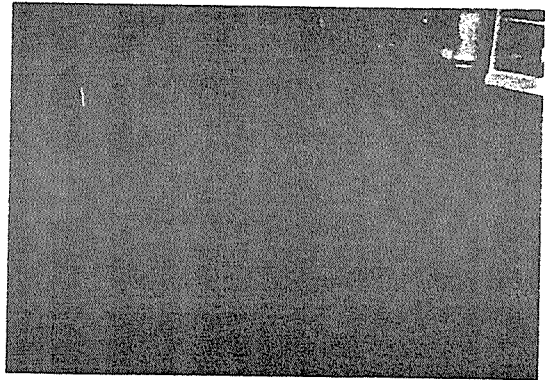
###### パネル用材材(○)

すでにわが国のプレハブメーカーで採用しているところもある。

###### ②製材代替品

土台(◎)、大引(○)、間柱、その他製材品(△)

これらを構造用材として用いるには、強度試験等による裏付けと、法的な対応が必要である(写真・6)。



写真・7 LVLを用いた机および椅子

##### ③造作用中芯材

柱、なげし、框、幅木、回縁、敷居、鴨居等(△)すでに利用されているが、今後、集成材と競合またはその位置を蚕食することが考えられる。ただし、それ以上の発展は疑問である(写真・4)。

##### (2) 家具・建具

脚物、箱物、ついたて等(○)

これによって未利用広葉樹が高級品化される可能性がある。接着層をデザインとして生かす方法もある(写真・7)。

##### 各種部材の中芯材(△)

すでに家具に利用されているが、大きな発展は望めないように思われる。

##### 窓枠材等開口部用材(○)

乾燥材であること、製品化後の狂いが少ないこと、供給寸法の自由度と精度等、LVLの特徴を最大に発揮しうる。

##### (3) 家庭用品、工芸品

食卓小物、飾物等(○)

##### (4) 工業材料

パレット(◎)、車両、コンテナ用厚板(◎)、サイロ、タンク等の壁板(◎)、足場板(○)、電柱腕木、枕木等(○)

LVLに限らず、新しい木質材料の開発は、材料・部材等を素材としてユーザーに提示するだけでは、厳しい市場に進出することは不可能である。材料のもつ特性をユーザーの求めるメリットに合致させるような利用開発の方向付けが必要である。適正な方向で利用開発が推進されれば、この魅力ある素材は、需要・供給の両者にとって重要な基礎資材の一つになることが期待できよう。

(おぐら たかみ・(財)日本住宅・木材技術センター)  
試験研究部長



# 15 カラマツ LVL の用途開発事例

高谷 典良\*

## はじめに

当場ではカラマツ中小径材の利用技術開発の一つとして、一連の LVL 製造ラインを導入し、カラマツ LVL の製造試験を進めてきた。この林産試型 LVL 製造システムについては、すでに本誌に詳しく紹介<sup>1),2)</sup>されているが、厚さ 4mm、幅 48cm、長さ 45cm の単板を縦接合（バットジョイント）し、これを積層接着することによって最大厚さ 50cm、幅 48cm、長さ 365cm の LVL を製造することができる。製造した LVL ブロックを接着層と直交に鋸断することによって幅 48cm、長さ 365cm の任意の厚さの、いわゆる人工桁の板がとれる。また、積層厚さも 4mm の倍数で任意の厚さの LVL が造れる。

カラマツ LVL の製造試験についてはほぼ終了し、現在は用途開発の段階であるが、これまでも製造試験と並行しながら進められてきた。ここでは、これまでカラマツ LVL が製品化され、実際に使用されているいくつかの事例を紹介する。

さて、カラマツ LVL のような新しい材料が市場に受け入れられるには何らかのメリットがなければならない。これまで使用された事例から考えると、カラマツ LVL では次のようなことがいえる。

- 1) 積層面（いわゆる人工桁だが、以後積層面という）の木理の化粧的な特徴を生かした使い方。
- 2) 長尺、広幅の大きな断面の材料が造れるという寸法のメリットによる使い方。

3) 他の材料より安価であるという価格面でのメリットによる使い方。

4) 強度的なバラツキが少ない。積層面材は狂いが少ないという材質的なメリットによる使い方。

このほかにもまだあるかもしれないが、これまで使用された事例から考えると以上の 4 点が主な使用理由である。

## 1. 家具用材

これまで家具に使用された事例は多いが、大半が積層面の化粧効果を生かした使い方である。中でもテーブル類が最も多く、写真 1 は旭川市内の喫茶店で使用しているテーブルである。この店の内装はカラマツ羽目

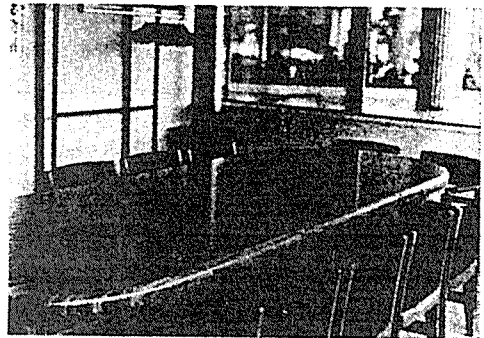


写真 2 美術館の会議用テーブル

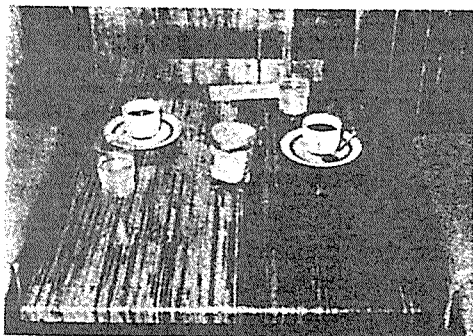


写真 1 喫茶店のテーブル

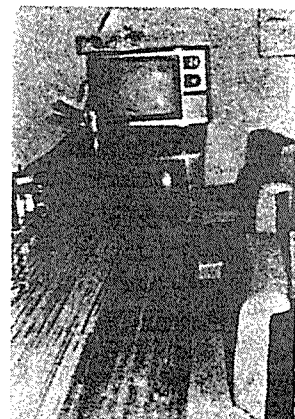


写真 3 喫茶店のカウンター

\* 北海道立林産試験場

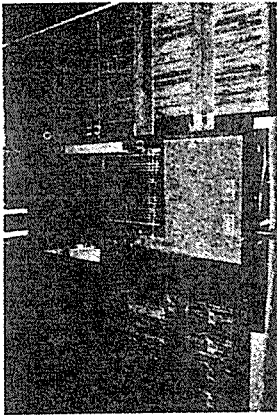


写真 4 キッチンユニットの扉板

板、衝立にはカラマツ丸太を使用しており、店内の雰囲気によくマッチしている。

写真 2 は旭川美術館で使用している 会議用テーブルである。厚さ 7 cm, 幅 120 cm, 長さ 360 cm の大きさで、扉板、脚も LVL を使用している。

写真 3 は写真 1 と同じ店内にあるカウンターである。厚さ 6 cm, 幅 60 cm, 長さ 450 cm で、写真 2 のテーブルと同様に、積層面の化粧的効果と大きな寸法の板がとれるというメリットを生かした、LVL の典型的な使い方である。

写真 4 はキッチンユニットの扉板に使用された事例である。これも化粧的な効果を生かした使い方が、狂いが少ないという効果も期待できる。

カラマツ LVL を家具用材として使用する場合、いつも指摘されるのが単板の縦接合部の隙間である。バットジョイントで縦接合を行う限りこの隙間を完全になくすることは難しく、今後は単板のスクーフジョイント、あるいは、フィンガージョイントも検討すべき課題であろう。しかし、実際に使用している人達に隙間について尋ねると、ほとんどの人はそれほどこの隙間を気にしていない。最も嫌う人は家具を造る立場の人である。これまでの家具のイメージからいえば当然のことで、テーブルの真中にいくつもの隙間があれば、とても家具として商品にならないというのが常識であった。隙間は LVL の特性であると割り切るか、あるいはこれをなくする手立てを考えるか、いずれにしろ LVL を家具用材として需用開発するための一つのポイントであろう。

もう一つの問題点は仕上げ面の粗さである。プレーナで上げると、単板の裏割れが毛羽立ちとなって表われ平滑な面が得られない。これはサンダーで上げることによってある程度は解決されるが、素材と比べると粗い仕上げ面となることは否めない。したがって、ウッドシ

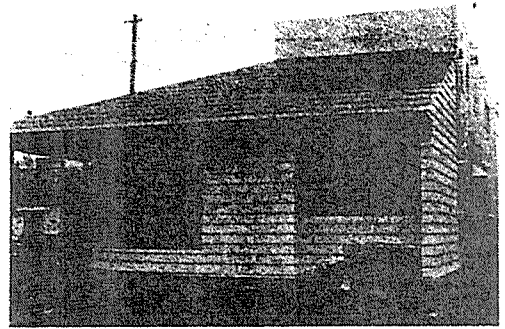


写真 5 住宅の窓枠、窓かまち

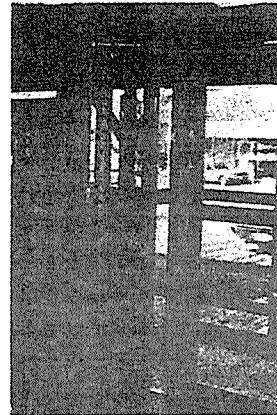


写真 6 観光案内所のドア枠、ドアかまち

ーラー、サンディングシーラー等の下地処理を十分に行う必要がある。

積層面の化粧的な面白さ、大きな寸法の材料がとれること、集成材に比べ価格が安いこと等のメリットから今後家具材としての需用は期待される。しかし、単に素材、あるいは集成材の代替材として使用されるのではなく、LVL の特性を把握したうえで使用されるよう十分な PR が必要であろう。

## 2. 窓、ドア用材

窓、ドアにカラマツ LVL が使用された事例も比較的多い。この場合は、自由な寸法の乾燥材が使用できるといのが使われる主な理由である。

写真 5 は札幌市郊外の住宅に使用された事例である。ガラスレンガ部分の湾曲した枠材と写真右側の窓枠と窓がまち材に LVL が使用されている。ガラスレンガの枠材は厚さ 5 cm, 幅 48 cm, 長さ 365 cm の LVL を削り出して幅 20 cm の湾曲材として使用している。広い幅の長い材料が造れる LVL のメリットを生かした使い方である。この住宅を設計した設計事務所の話では、LVL は自由な寸法の材料が造れるため、設計上で窓の大きさ

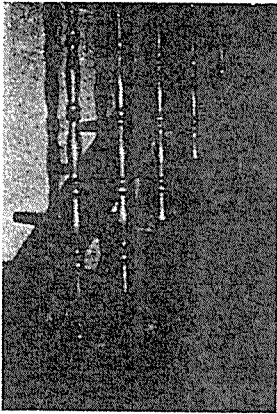


写真 7 住宅の階段側げた、踏み板



写真 8 住宅の階段踏み板

が制約されないから使用したとのことである。

写真 6 は北海道の弟子屈町川湯観光案内所に使用されたドア枠、ドアがまち材である。この建物の窓、ドアはすべてカラマツ LVL を使用している。しかし、ここの LVL はすべて WPC 化されている。WPC 化したのは、辺材部から製造した LVL は吸水による積層方向の膨張率が大きく、これの寸度安定化を計るためである。しかしながら、かなりのコスト高となるのは否めない。

以上の事例のほかにも窓、ドアに使用された事例は多く、カラマツ LVL の用途として期待されるものの一つだが、雨水に対する寸度安定化、裏割れに起因する表面の干割れ等が今後の課題であろう。

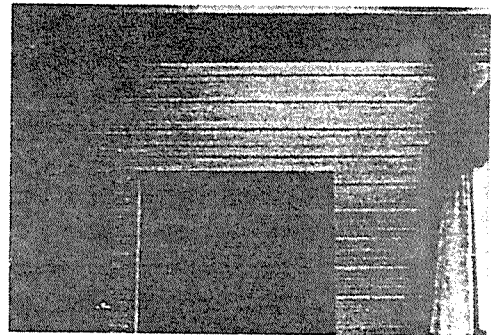


写真 9 住宅の内装材

### 3. 階段用材

カラマツ LVL が階段に使用されるのは、主に踏み板と側げたである。踏板の場合は、積層面の化性的な効果による使い方が多く、一方、側げたの場合は、長尺の材料が得られるという寸法のメリットが大きい。

写真 7 は踏板、側げたの両方に使用した事例である。札幌市内の住宅だが、この建物の施工業者の話では、側げたとして使用するには 365 cm では短く、少なくとも 400 cm は以要とのことである。

前述のカウンターも同様だが、寸法のメリットを生かす場合、最大長さが 365 cm では不十分であろう。

写真 8 は踏板に使用された事例だが、価格が安いから使用したという例である。施工業者の話では、ラワン の階段材は約 15 万円/m<sup>3</sup> だが LVL は約 10 万円/m<sup>3</sup> (価格は 57 年当時) なので安いとのことであった。この階段も積層面材を使用しているが、この上にカーペットを敷き詰めるので LVL はまったく見えなくなってしまう。LVL の欠点としては、釘打ちで割れやすいこと、手鉋の仕上げで刃が欠けること、毛羽立ちが生じ良

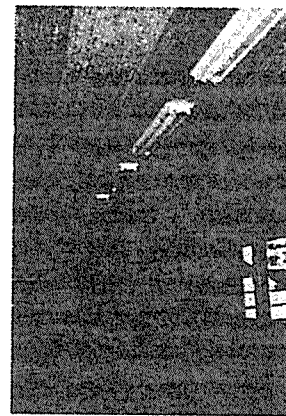


写真 10 ログハウスの天井

い仕上げ面が得られないことを指摘していた。

### 4. 内装、造作用材

写真 9 は住宅の内装に使用された事例である。全面に LVL を貼ると、積層面の木理がうるさすぎることもあり 22 cm 間隔に目地棒を配置している。

写真 10 は当場内にあるカラマツログハウスの天井で

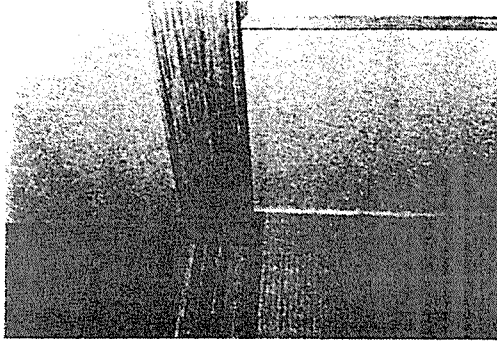


写真 11 住宅の柱, 敷居, 幅木

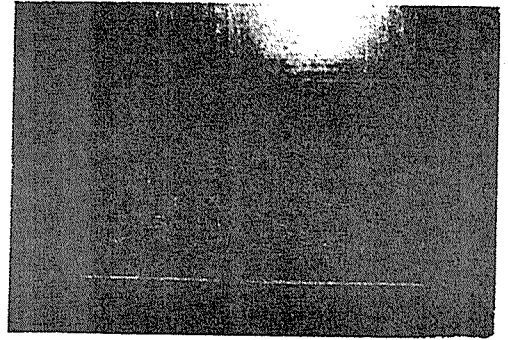


写真 13 住宅の木口面フローア

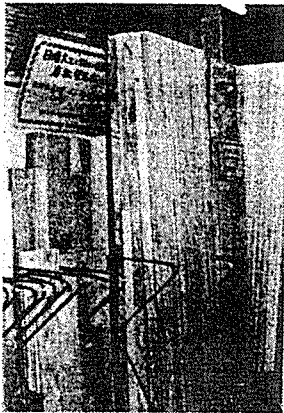


写真 12 DIY の店で売られている LVL

ある。白黒の写真ではわかりづらいが、辺材部と心材部の LVL で縞模様を形成している。

内装、天井ともいづれも積層面の化粧効果を生かした使い方だが、このような面材として使用する場合、厚いブロックから鋸挽きで薄い板をとるため歩減が大きくなるという問題もある。面材としての使用は、他に競合する安価な製品も多く、LVL のメリットをどのように生かして使うかが課題であろう。

写真 11 は住宅の柱、敷居、幅木に使用されている事例である。いずれも積層面を見せる使い方をしていすが、長尺の材料が必要な幅木、回り縁等は LVL に適した用途であろう。

### 5. 構造用材

構造用材は最も多量の需要が期待される用途である。長尺で断面が大きく、強度的なバラツキが少なく、しかも安価であるというメリットを生かすには最適な用途である。しかし、構造用 LVL の JAS が制定されていないこともあり、これまでは 1 例しか使用されていない。写真 6 の川湯観光案内所である。これについてはすで

に本誌にも紹介されている<sup>3)</sup>ので詳述は避けるが、柱、梁、棟木、方杖に使用されている。

### 6. その他

写真 12 は旭川市内の DIY の店で売っている LVL である。厚さ 2~3 cm、幅 20~40 cm で長さは 180 cm が一般的である。ラワン材と並べて置いてあるが、価格が同じであればほとんどの人は LVL を選ぶとのことである。積層面の木理の面白さからである。現在はラワン材より約 1 割高い価格で売っている。

写真 13 は LVL の木口面を使用した玄関のフローアである。厚さ 6 mm の 15 cm x 15 cm の板を台板合板に市松模様接着したものである。非常に面白い木理が得られる。積層面だけでなく、木口面の広い板がとれるというのも LVL の特徴である。

### おわりに

カラマツ LVL のこれまで使用された事例を写真を中心に紹介した。これらは林産試型 LVL であり製造方法、樹種等が異なれば新たな需用も開発されよう。ここでは言及しなかったが化粧用集成材の芯材としての用途も考えられる。すでに民間企業では一部使われている。当场でも当初は芯材としても考慮したが、現状では价格的に難しく、より付加価値の高い用途へと目を向けた用途開発を行ってきた。長尺、広幅の材料がとれた南洋材の減少、良質の国産材の減少、また、一方では造林間伐木の増大があることを考えれば、今後 LVL の製造が増加し、市場に受け入れられる余地は十分あるのではないだろうか。

### 文 献

- 1) 小倉高規：木材工業, 36, 589 (1981)
- 2) 小倉高規：木材工業, 37, 9 (1982)
- 3) 伊藤勝彦：木材工業, 39, 533 (1984)

(1985.1.5 受理)

# アメリカ合衆国における LVL の製造および これを利用した新しい木造建築 (1)

— トラスジョイスト社における LVL の製造と LVL の力学的性質 —

徳田 迪夫\*

## はじめに

筆者は昨年夏、LVL のトップメーカーである米国トラスジョイスト社 (TJ 社と呼ぶ) の LVL (商品名マイクロラム) と LVL フランジを用いた複合ばりの製造工場およびこれらを利用した建物の建設現場を見学する機会を得た。TJ 社の紹介と LVL の製造技術については、すでに本誌<sup>1)</sup>で S. A. Nelson 氏が述べているので、今回は筆者の印象および試験データを中心に報告することとする。また次回には、建築に用いる場合の設計方法の概略と、実際の利用例を述べてみたい。

すでに周知のように米国や北欧では、LVL は集成材と並んで Engineered Wood と呼ばれ、材料の強度設計が自由で、しかもバラツキの少ない材料として高い評価を受けており、主に中規模建築物や足場板としての利用が急速に進んでいる。特に米国ではウエファーボードや OSB (配向ボード) とともに成長産業の一つで、プラントの建設が各地で行われている。

## 1. マイクロラム LVL の生産方式

LVL の特徴として次の3つが最も重要であろう。

(1) 材料の歩留りが良く、低質材や小径木の利用が可能である。

(2) 連続プレスシステムを用いれば、集成材よりも長大材を容易に生産できる。

(3) 単板の品質、構成を変えることによって、意図した剛性、強度の材料が得られ、しかも強度のバラツキは製材品に比べると小さい。

(3) は LVL が集成材とともに Engineered Wood と呼ばれるゆえんであろう。(1)~(3) を達成するには、単板から製品に至るまでの品質管理を十分に行うとともに、ラインの自動化が不可欠である。TJ 社では、超音波による単板のグレーディングと LVL の連続プレ

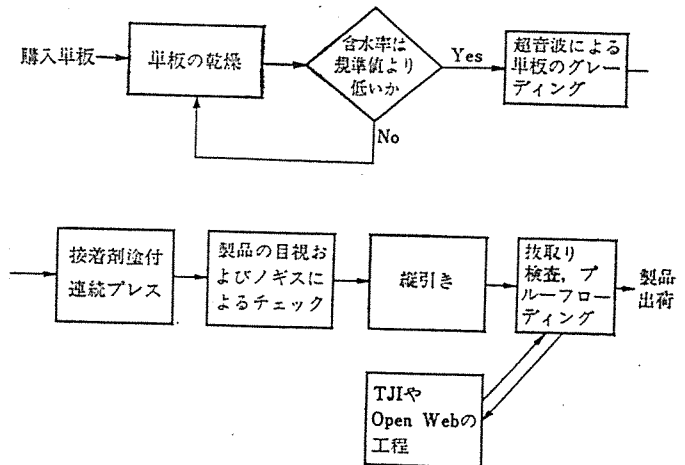
スシステムを採用して、合理的に LVL を生産している。

今回は、TJ 社の主力工場であるオレゴン州のユージーン工場とジャンクションシティ工場を見学し、さらにポートランドにあるオープンウェブの工場もあわせて見学した。

第1図に、マイクロラム LVL の製造工程の概略を示した。単板はすべて購入で、乾燥とグレーディングを慎重に行っていた。乾燥工程では、含水率を自動検知して、規準以上の場合は再乾燥を行う。グレーディングは、数多くの基礎データにのっとり、超音波の伝達速度によって3つに等級分けされる。

マイクロラム LVL には、そのヤング係数から 1.8 E, 2.0 E, 2.2 E, 2.4 E (たとえば、1.8 E は  $1.8 \times 10^6$  psi =  $1.26 \times 10^8$  kgf/cm<sup>2</sup> を目標に作られる) があり、それぞれ単板構成が異なる。単板厚さは 1/10" (2.5 mm) と 1/8" (3 mm) の2種類があり、接着剤はフェノール樹脂接着剤である。

プレスラインは 32 m もあり、あらかじめ組まれた単板構成プログラムどおり、単板がプレス内に吸い込まれていく。単板同士のジョイントはラップジョイント (長さ 1/2 インチ) である。熱板の間隔は常に一定に固定されていて、堆積された単板はキャタピラの動きにつれ



第1図 マイクロラム LVL の製造工程概略

\* 東京大学農学部

て、一定速度で流れていく。そのため、製品の厚さムラが少なく、またラップジョイントが可能となっている。熱板には電極が通っていて、製品に加わる温度を刻々変えられるシステムになっている。

プレスを出た LVL の流れは、目視による欠点のチェック、および厚み測定が行われ、所定の長さに切断される。さらにたてびきされて、一部は TJI やオープンウェブのフランジ用として利用され、一部はそのまき製品として出荷される。製品には保証荷重が加えられ、また抜き取り検査で、引張試験、曲げ試験、接着力試験等が毎日行われる。

LVL の存在価値は、先に述べた特徴のうち特に (3) を満たすことが重要と考えている。このためには、確かな品質の単板を使うこと、プレスを連続的に自動的に行うこと、それに製品のチェックを十分行うことが必要である。その意味で TJ 社の連続プレスシステムは、画期的と言えよう。目の当りにしたプレスの列は実に壮観であった。

わが国でも連続プレスシステムが開発されつつあるが、いくつか疑問点がある。一つは高周波加熱ではたして信頼性のある LVL が得られるかという点である。TJ 社では、かつて高周波加熱を試みたが、品質のムラが大きく、熱板を採用したという話を聞いた。実験室内ではうまくいっても、工場のラインに流したときどうであろう。もう一つは、単板の継ぎ手の問題である。パットジョイントは長期使用を考えると問題がある。最近ではスカーフジョイントを用いる動きがあり、好ましい傾向である。また、単板を半乾きで接着してしまおうという考えもあるが、内装用ならともかく、構造用としては容認できない。構造用 LVL は製材品より多少高価であっても、信頼性が高く、市場の値動きの少ない材料であるべきであり、そのためには粗悪品を市場に流してはならない。

## 2. TJI およびオープンウェブビームの生産

LVL はそれ自体、はり材として利用されるが、長大材がとれ、小断面でも欠点の集中の少ない材が得られるので、組立ばりのフランジ材として最適である。TJ 社では、ウェブに合板を用いた I ビーム (TJI) と、スチールパイプを用いたトラスばりの 2 つを生産している。

ユージーン工場には T ラインと呼ばれる TJI の製造ラインがある。たてびきされた LVL に溝加工が施され、レゾルシノール樹脂塗付後、ウェブ合板が自動的に圧入される。フランジの溝にはテーパがついていて、合板が強制的に圧入された際に、圧縮圧が加わるシステムになっている。最後に、ウェブに配線、配管用の円型の型がつけられる。この円型は、ハンマーでたたくと容易に

はずれて穴があく仕組になっている。

オープンウェブトラスはユージーン工場では作っておらず、ポートランドにある工場を訪問した。種類として、TJL、TJM、TJH の 3 種類がある。TJL は最も軽量で、2×4 断面のフランジを用い、スパンは最大 50 フィート、はりせいは 14"~40" である。TJM は、2×4 のフランジを上下それぞれ 2 本ずつ使ったもので、スパンは最大 70'、はりせいは 30"~42" である。TJH は最大級のビームで 2×6 のフランジ材を上下 2 本ずつ用い、スパンは最大 150'、はりせいは TJM よりさらに大きくとれる。ウェブ用のスチールパイプには、その肉厚で 5 種類あり、トラスに加わる軸力に応じて配置が決められている。パイプとフランジは鉄製のピンで止められる。

ポートランドの工場では、製材品をフィンガージョイントしたものもフランジとして用いていたが、LVL が主体であり、定期的に製品チェックに来る検査官も、フィンガージョイント部のチェックは綿密に行うが、LVL に対しては信頼を置いているとのことだった。なお、オープンウェブビームは注文生産で、さまざまなプロフィールのはりが生産されていた。

## 3. マイクロラム LVL の力学的性質

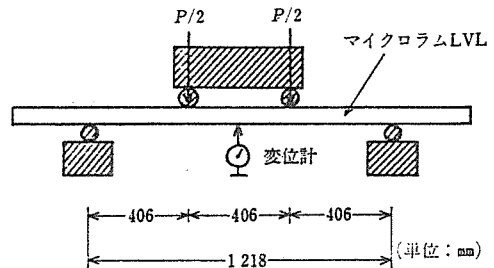
マイクロラム LVL の各種力学的性質の試験を東京大学と、一部、合衆国で行ったので、その概要を述べる。

### 3.1 実験材料および試験方法

ユージーン工場で製造されたマイクロラム LVL (16 プライ、38 mm 厚) を用い、次の 4 種類の実験を行った。

- ① 曲げ試験……小型曲げ試験、実大曲げ試験
  - ② 引張試験    ③ せん断試験    ④ 圧縮試験
- ここでは紙面の都合上、①と②について述べる。

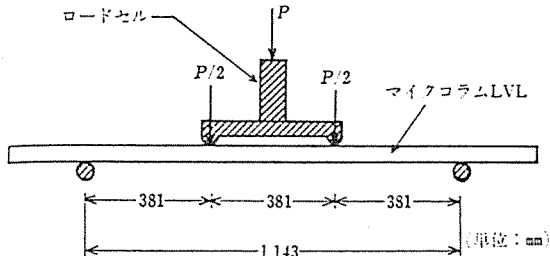
小型曲げ試験は、曲げヤング係数 (MOE) を求める試験体はスパン 1218 mm で (第 2 図)、曲げ破壊係数 (MOR) を求める試験はスパン 1143 mm (第 3 図) で行った。試験体の等級は 1.8 E, 2.0 E, 2.2 E, 2.4 E の 4 種類で、エッジワイズ曲げ (単板の積層方向と荷重方向



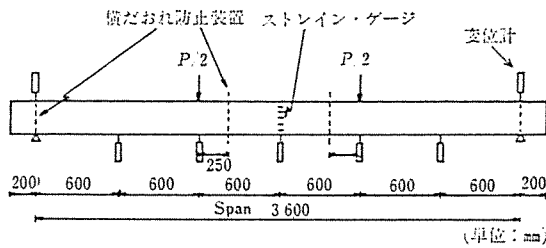
第 2 図 曲げヤング係数 (MOE) を求める試験

が平行)とフラットワイズ曲げ(垂直)の2種類を行った。加力は3等分点4点荷重で、各等級につき30体ずつ試験を行った。

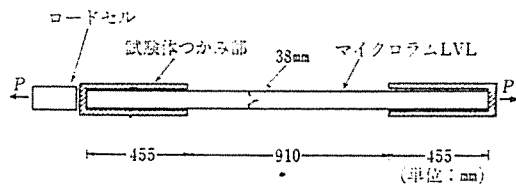
実大曲げ試験は、2.2Eのマイクロラムについて、ス



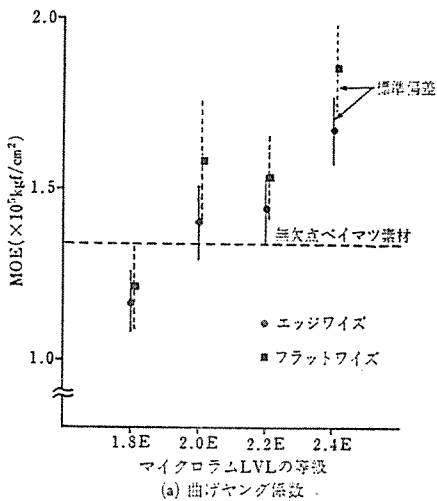
第3図 曲げ破壊係数 (MOR) を求める試験



第4図 マイクロラム LVL の実大曲げ試験



第5図 マイクロラム LVL の引張試験



(a) 曲げヤング係数

パン 3600 mm, 3等分点4点荷重, ニッジワイズの曲げ試験を行った。試験体の寸法は 38 mm (幅)×200 mm (はりせい)×4000 mm であった(第4図)。

引張試験は、試験体長さ 1820 mm, 断面 38 mm×44.5 mm または 38 mm×58 mm で、チャック間距離は 910 mm であった(第5図)。4つの等級について、それぞれ 30 体ずつ試験を行った。

### 3.2 試験結果

#### (1) 小型曲げ試験結果

MOE と MOR の平均値と変動係数((標準偏差/平均)×100%)を第1表にまとめて示した。第6図には MOE と MOR を等級別にプロットしてみた。破線は無欠点ベイマツの値で、2.0E 以上は素材の値を上回っている。MOR は 2.4E だけが素材より大きい。素材の値は無欠点小試片の値であって、実際に使用される材は節や目切れ等の欠点によって値が下がり、またバラツキも大きい(変動係数 30% 以上)ことを考慮しなければならない。

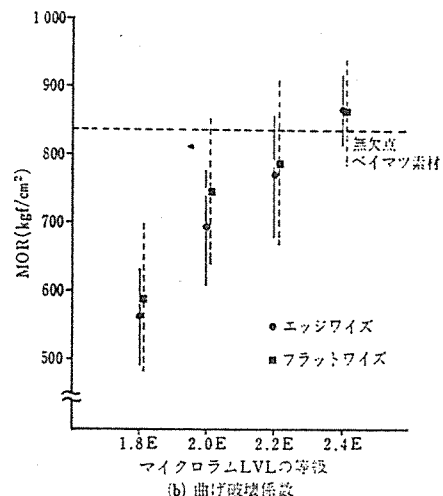
#### (2) 実大曲げ試験結果

第7図に荷重とスパン中央のたわみの関係を示した。接着製品に特有であるが、破壊近くまで、ほぼ直線に近い関係が見られる。せん断たわみを考慮した計算たわみと実験値はよく一致した。第2表に、実大ぶりの試験から得られた MOE と MOR の値を示す。先の小型曲げ試験結果同様、各等級で要求されている MOE の値を上回っていることがわかる。

#### (3) 引張試験結果

第3表に結果を示した。

以上、結果の概要を示したが、ここで許容応力度について少しふれてみる。



(b) 曲げ破壊係数

第6図 マイクロラム LVL の曲げヤング係数および曲げ破壊係数

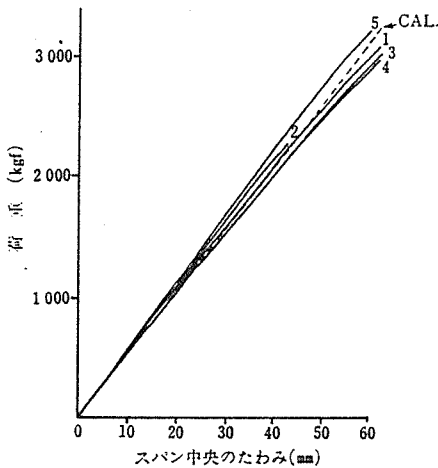
第1表 小型曲げ試験結果

(a) エッジワイズ						
等級	断面寸法* (mm)		MOE		MOR	
	b	h	平均	変動係数	平均	変動係数
			(kgf/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(%)
2.4E	38	44	1.67	6.2	866	6.3
2.2E	38	58	1.44	7.2	769	11.7
2.0E	38	58	1.40	8.2	694	11.6
1.8E	38	58	1.17	7.7	563	12.9

(b) フラットワイズ						
等級	断面寸法* (mm)		MOE		MOR	
	b	h	平均	変動係数	平均	変動係数
			(kgf/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(%)
2.4E	44	38	1.85	7.1	863	9.1
2.2E	58	38	1.53	8.2	789	15.7
2.0E	58	38	1.58	11.6	746	14.4
1.8E	58	38	1.21	10.2	590	18.6

\* b : はり幅, h : はりせい



第7図 マイクロラム LVL の実大曲げ試験における荷重・たわみ曲線

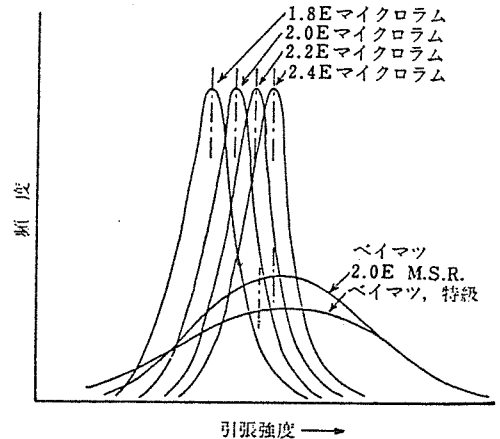
合衆国では製材品の許容応力度を無欠点小試片の結果と安全率の概念で定めてきた (ASTM D-245)。しかるに、この考えは、変動係数が 30% 以上の素材を対象としたもので、LVL や集成材にあてはまるものではない。本実験で行ったマイクロラム LVL は変動係数が 6~17% で、素材の値の高々半分である。第8図にはマイクロラム LVL の等級別引張強度分布を素材 (ベイマツ特級および 2.0E MSR) との比較で模式的に示した。素材は平均値こそマイクロラム LVL よりやや大きい、バラツキが大きく、下限 5% 値を比較した場合には、1.8E マイクロラム LVL と同等かそれ以下となる。すなわちマイクロラム LVL は剛性、強度のバラツキが小さく

第2表 マイクロラム LVL の実大曲げ試験結果

試験体番号	MOE ( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	1.765	735
2	1.831	779
3	1.667	735
4	1.602	725
5	1.831	770
平均	1.739	749
変動係数(%)	5.2	2.8

第3表 マイクロラム LVL の引張強度

等級	断面寸法 (mm)	試験 体数	比 重	引張強度	
				平均 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)
2.4E	38×44	50	0.587	520	11.8
2.2E	38×58	50	0.563	498	15.3
2.0E	38×58	50	0.561	443	14.1
1.8E	38×58	50	0.538	356	17.1



第8図 マイクロラム LVL とベイマツ素材の引張強度・頻度分布の比較

く鉄骨と木材素材との中間に位置する材料と言えよう。したがって、従来の許容応力度の考えを LVL に適用した場合、LVL の性能を過少評価することになってしまふ。TJ 社はリミット・ステート・デザインの考えを取り入れて、LVL のより正当な評価を行っている。最後に、工場および建設現場の見学を快く受け入れていただき、また各種の資料を提供していただいた TJ 社の本間昭, S. A. Nelson, J. Kaiserlik, D. Sharp, J. Fyie および大鹿振興 K. K. 荒木五郎の各氏に心より感謝いたします。

文 献

- 1) Nelson, S. A.: トラスジョイント社における LVL の製造および利用技術, 木材工業, Vol.39-7 (1983) (1985.6.15 受理)



# 1 ア アメリカ合衆国における LVL の製造および これを利用した新しい木造建築 (2)\* (完)

—許容応力度および建築への具体的な利用例—

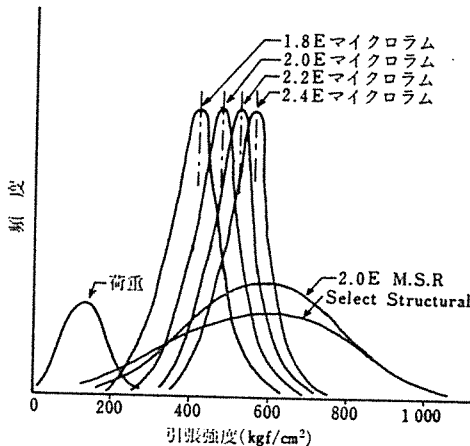
徳田 迪夫\*\*

## はじめに

今回は、まず LVL の許容応力度設定の際の資料の提供を行い、次に、昨年夏、2か月間にわたって見学した新しい形式の木造建築について、その概要を述べてみたい。なお、許容応力度については、前回の報告と多少重複するところがある。

### 1. LVL の許容応力度

従来、木材の許容応力度は無欠点小試片の試験結果を基にし、これに各種の低減係数をかけて定められてきた (ASTM D 245)。一方、鉄やコンクリートに適用されている信頼性理論による設計は、材料または構造物が破壊をする確率を規定し、これを満足するように設計しようとするものである。すなわち、荷重および抵抗値 (強度等) を確率量として扱い、その耐用年限中に構造物が破壊を生じない確率を用いて信頼性を定義するわけである。しかし、この方法は、確率論手法で扱えない不明量をどのように考慮するかが難しく、また、抵抗値のバラ



第1図 マイクロラムとダグラスファー製材の引張強度分布の比較

\* (1) は、木材工業、40-9 (1985) に掲載。

\*\* 東京大学農学部

ツキの確率分布、特にすそ野部分を知るのに数多くの実験を必要とする等の欠点を持っている。

トラスジョイント社 (TJ 社) は、強度のバラツキが小さく、製材と鉄骨の中間に位置する LVL の許容応力度を正当に評価するため、信頼性理論を用いて許容応力度を定めている。許容応力度  $F_a$  は、

$$F_a = C \bar{F} \phi$$

と表わせる。ここで  $C$  は荷重期間、環境条件等による

第1表 マイクロラムと Hem-Fir の曲げ強度の比較

	平均 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	下限5%の強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
			正規分布	対数正規分布	
マイクロラム*1	2.4E	866	6.3	775	781
	2.2E	769	11.7	621	637
	2.0E	694	11.6	560	572
	1.8E	563	12.9	443	464
Hem-fir*2	Na1, 2 by 8	358	44.4	97	153
	SS, 2 by 8	508	32.9	233	263
	Na1, 2 by 10	253	43.9	71	120
	1.5E-1650 f, 2 by 4	428	31.1	210	228
	Na1, 2 by 4	432	41.4	142	204

\*1 前報の実験値

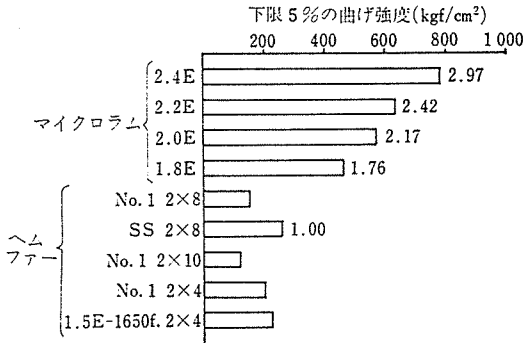
\*2 文献 1) より引用

第2表 マイクロラムと Hem-Fir の引張強度の比較

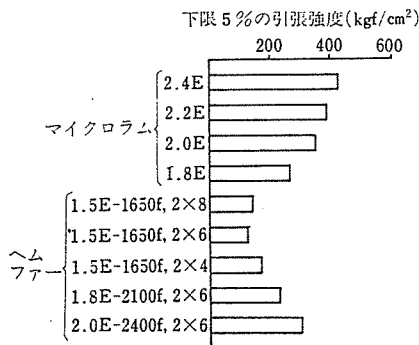
等級	平均 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	下限5%の強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
			正規分布	対数正規分布	
マイクロラム*1	2.4E	520	11.8	413	426
	2.2E	498	15.3	373	388
	2.0E	443	14.1	341	350
	1.8E	356	17.1	255	267
Hem-fir*2	1.5E-1650 f, 2 by 8	236	31.0	116	140
	1.5E-1650 f, 2 by 8	343	33.5	154	170
	1.5E-1650 f, 2 by 6	236	34.1	104	125
	1.8E-2100 f, 2 by 6	375	25.5	218	231
	2.0E-2400 f, 2 by 6	498	26.3	283	301

\*1 前報の実験値

\*2 文献 1) より引用



第2図 下限5%の曲げ強度の比較(対数正規分布)



第3図 下限5%の引張強度の比較(対数正規分布)

第3表 マイクロラム LVL の許容応力度  
(厚さ: 19mm~45mm 単位: kgf/cm²)

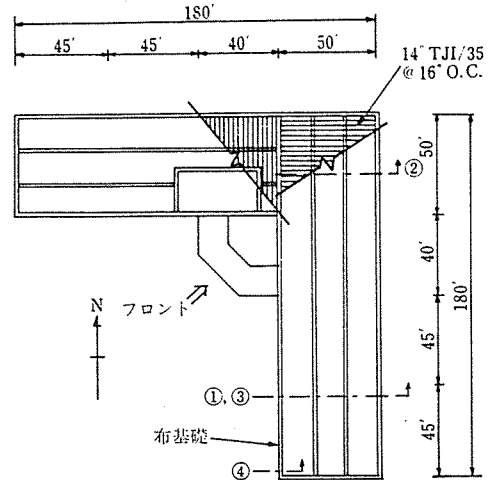
等級	曲げ $f_b$	引張 $f_t$	縦圧縮 $f_c$	横圧縮 $f_{c\perp}$ *		せん断 $f_v$ *		ヤング係数 MOE ( $\times 10^9$ )
				//	⊥	⊥	//	
2.2E	217	144	200	28	35	13	20	1.54
2.0E	196	130	189	28	35	13	20	1.40
1.8E	161	112	116	28	35	13	20	1.26

\* //: 接合層に平行 ⊥: 接合層に垂直

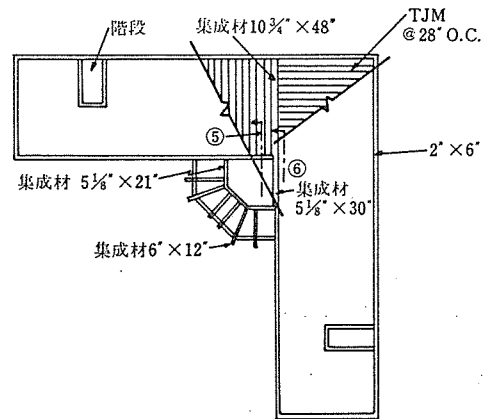
第4表 ダグラスファー, ティメンジョンランバーの許容応力度  
(WWPA, Western Lumber Grading Rules 81より 単位: kgf/cm²)

等級	曲げ $f_b$		引張 $f_t$	圧縮		せん断 $f_v$	ヤング係数 MOE ( $\times 10^9$ )
	Single	Repetitive		$f_{c\perp}$	$f_c$		
SS	147	168	84	27	112	7	1.26
No.1	123	144	74	27	105	7	1.26
No.2	102	116	60	27	70	7	1.19

各種低減係数の積で、 $\bar{F}$ は平均抵抗値である。 $\phi$ は安全係数 $\beta$ とバラツキ $v$ の関数である。 $\beta$ は所定の破壊の確率から計算で求め、 $v$ は実験値である。たとえば、破壊の確率を0.1%と考えたとき $v=15\%$ (マイクロラ



(a) 1階床伏図



(b) 2階床伏図

第4図

ムに相当)の場合

$$F_a \approx 0.53 C \bar{F}$$

となり、 $v=30\%$ (素材に相当)の場合は

$$F_a \approx 0.38 C \bar{F}$$

となる。すなわち、 $C$ を同じと考えた場合、たとえ平均強度が同じでも、前者の許容応力度は後者の40%増しになるわけである。

LVLや集成材は、品質管理がしっかりしている限り、信頼性の高い材料であるので、許容応力度設定の際にはこの点を十分に考慮する必要がある。

ここで、前報のマイクロラム LVL の試験データを基に、単純に下限5%の値を求め、素材との比較を行ってみる。一般に、強度データは正規分布よりもむしろ、対数正規分布あるいはワイブル分布がよくあてはまるといわれている。ここでは、マイクロラムとヘムファーおよ

びダグラスファーのディメンジョンランバーを取り上げ、その強度データが正規分布あるいは対数正規分布に従うと仮定して比較してみた（第1表、第2表、第1図、第2図、第3図）。なお、ヘムファーの値は文献1)、ダグラスファーの値はTJ社の資料を引用した。

第2図と第3図には、対数正規分布と仮定した場合の、下限5%の値を棒グラフに示した。まず第1表で曲げ強度を見ると、素材の変動係数はマイクロラムに比べると非常に大きいことがわかる。たとえば、1.8Eマイクロラムと、SS(特級)の2×8は、試験データの平均値はさほど変わらないが、マイクロラムの変動係数が素材の約2/5であるので、マイクロラムの下限5%の値は、素材に比べると1.76倍に達している。第2図を見ると、全体の傾向がよくわかる。図中の棒グラフの先端に示した数字は、SS、2×8を1としたときの値である。

次に、引張強度について、第2表、第1図、第3図でみると、MSR材でも、LVLに比べるとバラツキが大きいため、曲げと同様平均値の割には許容応力度は上がらない。

合衆国では新しい材料を製造、販売する場合、わが国の建築センターに相当するNational Research Board (NRB) という組織に製造および販売の許可申請を行う。現在LVLは個別認定であるが、近い将来合板のAPA (American Plywood Association) や、集成材のAITC (American Institute of Timber Construction) のような専門機関で製造基準や許容応力度の取り決めがなされると聞いた。

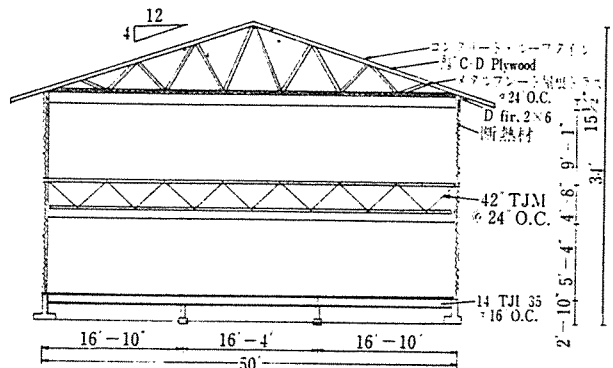
第3表に合衆国における厚さ $3/4" \sim 1\frac{3}{4}"$ のマイクロラムの各種許容応力度を、また参考として第4表にダグラスファーの値を示した。1.8Eマイクロラムの値が、ほぼSSに相当している。

## 2. マイクロラムをフランジに用いた組立ばりの使用例

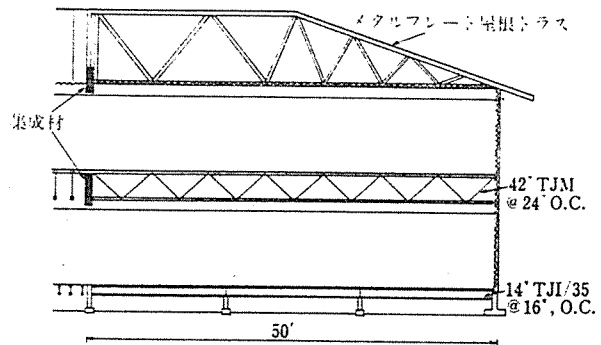
筆者が実際に見たTJIおよびTJMを床ばりに利用した、比較的大きな木造建築の概要を紹介してみたい。なお、スパン表や細かい使い方については、TJ社がマニュアルを発行している。建物は、オレゴン州に新築されていた2階建ての林野庁のオフィスで、L字型をしており、1辺の長さが55mある。建築面積は3070m<sup>2</sup>、高さ10.4mである。構造はツーバイフォー(ツーバイシックスといった方がよいかも知れない)で、水平力に対しては、



写真1 建物全景



第5図 断面①

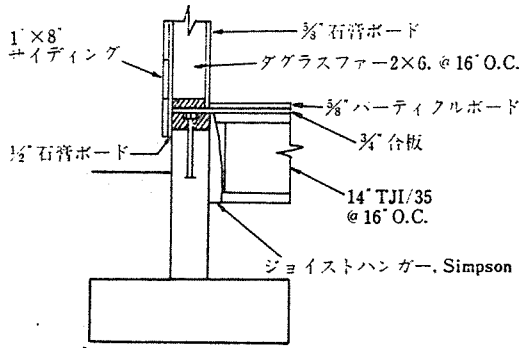


第6図 断面②

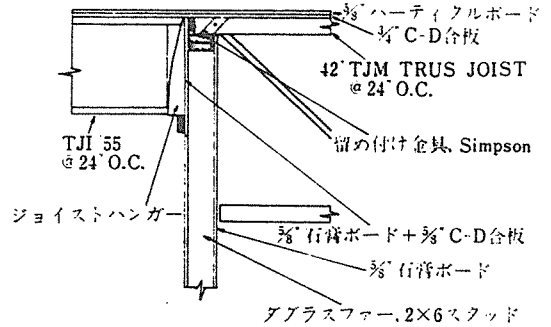
合板耐力壁およびダイヤフラムを用いている。写真1は、ほぼ完成した全景である。中央部分が表玄関である。

各種荷重は次のとおりである。

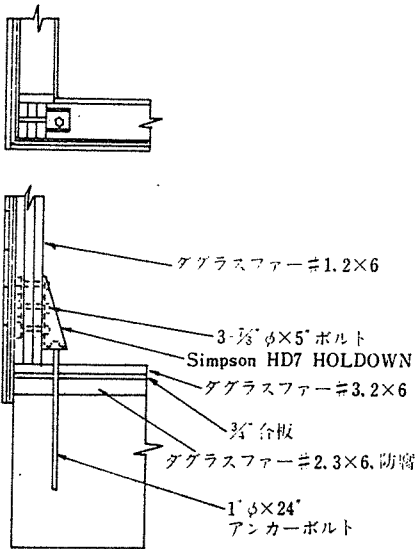
屋根積載荷重	122 kgf/m <sup>2</sup>
屋根固定荷重	73 kgf/m <sup>2</sup>
床積載荷重	240 kgf/m <sup>2</sup>
床固定荷重	73 kgf/m <sup>2</sup>
間仕切壁重量	98 kgf/m <sup>2</sup>
風圧力	78~88 kgf/m <sup>2</sup>
地震	ゾーン2



第7図 1階床はり土台との取り合い、断面③



第9図 2階床はり端部、断面⑤



第8図 たて枠のアンカー、断面④

たわみ制限は、屋根 1/240、床 1/360 である。

第4図は1階と2階の床伏図である。1階床にはTJI/35（はりせい 356 mm）が約 40 cm 間隔で配置されており、2階床には、TJM（はりせい 1067 mm、スパン 15.25 m）が主に使われている。第5図と第6図は、それぞれ第4図に示した断面①と②である。1階床には、1スパンの中で3本のTJIが使われている。

TJIと土台とのおさまりを第7図に示した。第8図はたて枠のアンカーの図である。TJMは、上弦材を金物で、頭つなぎまたは、集成材に留め付ける。下弦材はフリーである（第9図）。TJMはクレーンでつり上げ、一定間隔にセットしければよいので施工が容易である（写真2）。小屋根はメタルプレートトラスである。

第10図と写真3で見るように、L字型のコ-

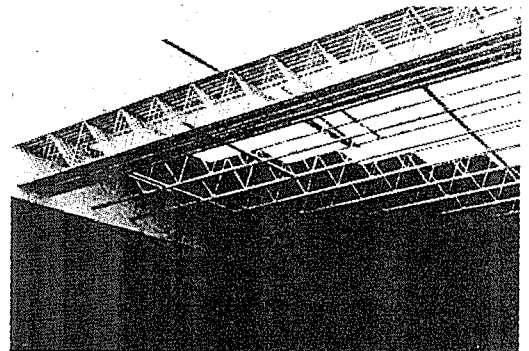
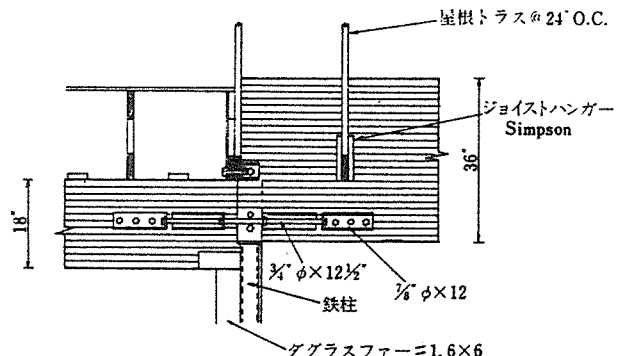


写真2 TJMの施工

一部分には大断面の集成材が使われている。集成材はスチールパイプで支えられ、水平方向はボルトで固定されている。

写真4は屋根に合板を釘打ちしているところである。外壁には石膏ボード、防水紙、素材のサイディングが順番に張られている。

以上、マイクロラムを利用した建物の概要を述べた。強度の信頼性が高い、狂いが少ない、施工が容易、構造の軽量化が計れる等の利点があるので、今後ますますこういった建物が増えていくものと考えられる。わが国で



第10図 大断面集成材の支持および接合方式、断面⑥



写真 3 2階床はり

TJMの下弦材部分につなぎ材が、また一定間隔を置いて石膏ボードのファイアーストップが見える。

も信頼性の高い材料を利用した規模の大きな木造建築の出現が望まれる。

最後に、林野庁舎の詳細な設計資料を提供していただいた Siuslaw Forest Service の Bob Erny 氏および Haward and Webster Inc. の Terry Howard 氏に謝

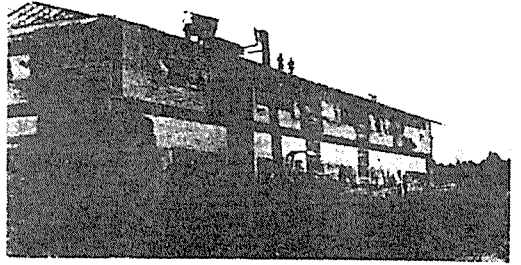


写真 4 屋根の施工

意を表します。

#### 文 献

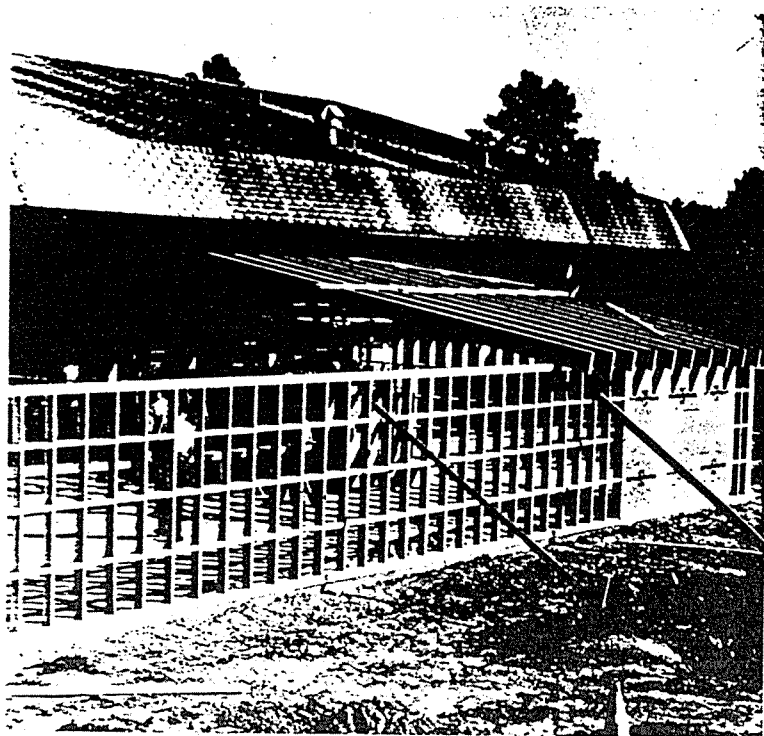
- 1) Hoyle, R. J.: Characterizing Lumber Properties for Truss Research, FPRS Proceeding P-79-28 (1979)  
(1985. 8. 9 受理)

18. Structural applications of MICRO-LAM lumber.

Nelson, S. A. : Civ. Eng. 42 [7] :57 (1972)

文献未着

By laminating 1/4-in. rotary-cut veneer into structural lumber, manufacturers can expand lumber output by at least 30% without increasing volume logged. The idea merits intensive study. Manufacturing plus raw material costs should total about \$142/Mbf; sales price for desirable widths and lengths of the strong laminated product should approach or exceed \$200/Mbf



Rafters 24 in. on centers, 3 in. thick, 12 in. deep and 32 ft. 10 in. in length were manufactured from 1/8-in. rotary-peeled Douglas-fir veneer. They were designed to take roof load of 39 lbs/ft<sup>2</sup> (live plus dead load) without exceeding 1.5 in. deflection over a 30-ft span.

I 9

## Laminated lumber may be more profitable than sawn lumber

By PETER KOCH

PINEVILLE, LA—Reconstituted wood, in one form or another, will increasingly enter the marketplace in competition with solid wood and plywood. One of the promising reconstituted products is structural lumber laminated from rotary-cut veneer. Although several laboratories have published enthusiastic descriptions of such a product only one company in the United States is manufacturing it. Since 1970, TrusJoist Corp., Boise, ID, has produced lumber laminated from 1/8 and 1/10-in. rotary-peeled Douglas fir veneer. The lumber is 1.5

*The author is Chief Wood Scientist, Southern Forest Experiment Station, Forest Service-USDA, Pineville, LA. This analysis was presented in Memphis, TN, at the October, 1975, annual meeting of the Mid-South Section, Forest Products Research Society.*

to 2.0 in. thick in widths to 24 in. and lengths to 80 ft. When loaded as a joist, its 12-in.-depth laminated material is rated by TrusJoist to have a modulus of elasticity of 2,200,000 psi and an allowable stress in bending of 2,800 psi.

Experimental data on southern pine also show that laminated lumber is surprisingly strong. When 17-ft southern pine stems were bucked into 8 1/2-ft paired logs and one of each pair was sawn and the other peeled and laminated into 2 x 4s, the laminated 2 x 4s proved stronger than the sawn ones and also stronger than the Southern Pine Inspection Bureau values for kiln-dry select structural southern pine (SPIB 1970). See Table I.

Only dense grades of southern pine

select structural and No 1 KD lumber (SPIB 1970) would have a modulus of elasticity (2,000,000 psi), slightly higher than that of the laminated log-run wood; allowable fiber stresses in bending for 2 x 4s of these grades (2,650 and 2,250 psi) would be slightly lower than that of the laminated wood.

### Reasons for consideration

In addition to its superior strength, lumber laminated from veneer can be manufactured in desired lengths, widths, and thicknesses from short logs (8 ft) of small diameter (8 to 14 in.). This potential for utilizing small logs seems particularly useful in the southern pine region, where log size is likely to diminish with passing years.

**TABLE I**  
Strength of laminated lumber

Commodity	Allowable fiber stress in bending	Modulus of elasticity (not corrected for shear)
Laminated 2x4 lumber (12% MC) made from 1/4-in, rotary-peeled, log-run veneer	2,660	1,910,000 (1,950,000 if corrected for shear)
Sawn log-run, kiln-dry 2x4 lumber from matched logs	1,270	1,750,000
SPIB grades of sawn 2x4 lumber		
Select structural KD	2,250	1,900,000
No. 1 KD	1,900	1,900,000
No. 2 KD	1,350	1,500,000

**TABLE II**  
Log diameter mix

Small-end diameter class	Percent of numbers of logs falling in class	Percent of volume in class (calculated as cylinders)
<b>Inches</b>	<b>Percent</b>	
5.0 - 6.9	72.1	36.2
7.0 - 8.9	13.8	20.2
9.0 - 10.9	7.2	16.0
11.0 - 12.9	3.8	12.0
13.0 - 14.9	2.5	10.9
15.0 and larger	.6	4.7
	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

**TABLE III**  
Material balances

Product yield from 1 ton (ovendry) of barky saw logs	Process	
	Band-saw conversion to lumber	Rotary peeling and laminating into lumber
	<b>Tons, ovendry basis</b>	
Dry, sized, double-end-trimmed lumber	0.35	0.53 (including 0.06 ton of studs from cores)
Pulp chips	.29	.29
Dry residue for particleboard	.15	.07
Sawdust	.11	.02
Bark	.10	.10
<b>Total</b>	<b>1.00</b>	<b>1.01</b> (including 0.01 ton of adhesive)

**TABLE IV**  
Comparison of manufacturing requirements

Requirements to manufacture 1 ton of lumber (ovendry basis) and its residual fuel	Dry, planed lumber produced by sawing	Sized lumber laminated from rotary-peeled veneer
Man-hours expanded	3.1	4.5
Horsepower hours of mechanical energy		
Gross	179	30
Net <sup>1</sup>	(203)	(133)
Pounds of steam for heating or drying		
Gross	3,989	5,904
Net <sup>1</sup>	(2,251)	3,249
Plant depreciation, dollars	\$3.91	\$11.53
Tons of barky logs needed	2.86	2.13 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Energy requirements after crediting recoverable energy from green bark and sawdust; values in parentheses are excess amounts over those needed for manufacture.

<sup>2</sup>These same 2.13 tons of barky logs will yield, in addition, 0.13 ton of planed, double-end-trimmed 2- by 4-inch studs from the veneer cores.

**NEXT PAGE** 

One method of predicting future log size is to analyze diameters of logs extractable from existing stands. T.R. Dell, biometrician for the Southern Forest Experiment Station, made such an analysis for Alabama's entire pine resource. His study indicates that if all pines 6 in. dbh and larger were cut in 6 to 16-ft lengths to a minimum small-end diameter inside bark of 5 in., log diameter mix would be as shown in Table II.

Although these data are for Alabama, the proportions would probably be similar throughout the South. The high proportion of log volumes in diameter classes of 10.9 in. and smaller (72.4%) signals a potential problem: 14-ft and longer 2 x 10s and 2 x 12s of solid southern pine may be in short supply during the late decades of the century. Admittedly,

the problem may not develop if future harvests can be controlled to yield substantially higher proportions of large logs; however, the very real possibility of such a large-log shortage gives impetus to studies of lumber laminated from veneer.

Moreover, the laminating process promises greater recovery of saleable product from each cu ft of log than is possible with sawing.

#### Material flow analysis

A ton (oven-dry basis) of barky logs can yield as much as 50% more lumber if rotary-peeled and laminated than if sawn. Material balances for the two processes are approximated in Table III.

Studies at western plywood mills show a smaller difference in yields from laminating and sawing. For example,

data from a 1971 study, when adjusted to count lumber yield from cores and to eliminate spur trim from veneer (spur trimming is not necessary on veneer for laminated lumber), show only 23 to 36% greater lumber yield with the laminating process than with sawing. In practice, the yield advantage from peeling southern pine would probably be intermediate; at least a 30% gain seems reasonable.

By the end of the century, log scanning equipment coupled with computerized log positioning and sawing equipment may boost sawmill yields of lumber to 0.40 to 0.45 ton. However, during the same time span, improved veneer-bolt centering and peeling techniques will probably increase veneer yields slightly and hence potential yields of lumber laminated from veneer. Thus,



**TABLE V**  
Requirements per 100 ft<sup>2</sup> floor

Requirements for joists only	Sawn joists	Laminated joists
Pounds of joists needed (ovendry weight)	278	224
Man-hours expended	1.4	1.2
Net energy, million BTU oil equivalent after deducting fuel value of bark and sawdust residues	.40	.65
Capital depreciation of plant and equipment	\$1.42	\$1.97
Pounds of logs needed (ovendry basis)	794	477 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>The cores additionally would yield 29 pounds of 2 by 4 studs.

**TABLE VI**  
Estimated cost to produce 3/8-in plywood

Component of cost	Dollars per M sq. ft
Resin (phenolic)	\$ 8 to \$10
Power and fuel	2 to 3
Labor	17 to 20
Supplies	3 to 4
General administrative (except depreciation)	3.50 to 5
Depreciation	6 to 7
Wood	30 to 37
<b>Total</b>	<b>\$69.50 to \$86.00</b>

veneer yields will continue to substantially exceed sawn lumber yields.

### Economics of manufacture

Because industry operating data are not available, a precise statement of manufacturing costs is impossible. However, estimates of economic viability of a plant manufacturing lumber laminated from southern pine veneer can be made by: (1) comparing lumber and plywood prices; (2) estimating requirements of man-hours, energy, and capital; and (3) equating costs specific to the plywood industry to those for manufacturing laminated lumber.

The points which follow assume manufacture of laminated lumber would not differ greatly in manpower, energy and capital costs from manufacture of conventional sheathing plywood. This assumption should be conservative because southern pine veneer for lumber would measure 3/4-in. thick whereas veneer for plywood averages about 1/8-in. In comparison with 1/8-in. veneer, use of 3/4-in. veneer increases lathe, dryer and layup productivity and decreases adhesive consumption. For example, a cu ft of 3/8-in. sheathing plywood requires about 0.74 lb of resin solids if mixed adhesive is spread at 90 lb/M sq ft of double glue line; a cu ft of 1.5-in.-thick lumber laminated from 3/4-in. rotary-cut veneer requires only about 0.56 lb of resin solids at the same glue spread.

### Lumber-plywood prices

As of October 1975, 1/2-in. sheathing plywood sold for \$126/M sq ft FOB the mill, since 1,000 sq ft of 1/2-in. plywood contains only 42 cu ft of wood and 1,000 bd ft of dimension lumber contains about 59 cu ft. laminated lumber would have to sell for at least \$177/Mbf (or 40% more than the price for 1,000 sq ft of 1/2-in. plywood) to

equal the price per cu ft of plywood (i.e., \$126/42 = \$177/59 = \$3.00/cu ft).

In fact, the market price per Mbf of favored sizes and grades of southern pine structural lumber is usually more than 40% higher than the price per M sq ft of plywood. Moreover, because of the extraordinary stiffness and strength of laminated lumber, it should command a premium over the same sizes of No. 2 KD lumber. For example, 2-by 12-in., 16-ft-long, No. 2 KD and better southern pine lumber was quoted at \$190 net FOB mill per Mbf in the October 17, 1975, issue of *RANDOM LENGTHS*. No. 1 KD in the same width and length should sell at a \$10 premium and select structural at a \$25 premium. A net sales price FOB mill of \$200/Mbf of 16-ft 2 x 12 lumber laminated from veneer would therefore appear likely; longer lengths, for example 24-ft, could be expected to sell at over \$260/Mbf. These prices amount to \$3.39 and \$4.41 per cu ft. Because of these high prices, a plant making laminated structural lumber would naturally concentrate sales efforts on wide, long products—probably 16 ft and longer—and on specialty products requiring high stiffness and strength such as truss chords.

Another approach is to compare requirements needed to manufacture a ton (oven-dry basis) of sawn lumber and of laminated lumber, as shown in Table IV.

Such a tabulation is not the entire story, however, because the greater stiffness and strength of laminated lumber permit its use in sizes smaller than those for sawn lumber. For example, in floor systems calling for joists on 16-in. centers covered with 5/8-in. plywood underlayment and carpet, lumber joists might have a net dimension of 1.5 by 9.25 in., whereas joists laminated from veneer might measure only 1.5 by 7.5

in. for the same spacing and span.

A comparison of requirements for the joists required per 100 sq ft of such floors (including logging, manufacture, and transport to house site) would be as shown in Table V.

Thus during logging, manufacture and transport, the joists laminated from veneer require less raw material and fewer man-hours than sawn joists but are more capital and energy intensive.

A less complex analysis can be achieved by equating manufacturing costs of laminated lumber with those of sheathing plywood. In October 1975, Peter Vajda, president of Columbia Engineering, Vancouver, B.C., estimated the cost of producing 3/8-in. plywood. See Table VI. Vajda's costs assume a \$15,000,000 investment in a plant capable of manufacturing 160 million sq ft (3/8-in. basis) of sheathing grade plywood annually.

By this computation, costs per 1,000 sq ft of 3/8-in. sheathing ranged from \$69.50 to \$86; Vajda believes that 25% of all sheathing plywood produced in 1975 was manufactured at a cost of \$75 (or less) per thousand sq ft (3/8-in. basis). This amount corresponds to \$2.40 per cu ft of sheathing plywood.

Assuming that it is technically possible to build a plant to make laminated lumber on the same scale and be operable at the same efficiency as the plywood plants described by Vajda, then the costs per thousand bd ft of lumber produced (i.e., for 59 cu ft) would be only \$142. Since the October 1975 sales price of 16-ft, 2 x 12, No. 2 KD and better, southern pine lumber was \$190/Mbf, there would appear to be ample profit in such an operation.

Long lengths of wide structural lumber laminated from 1/4-in. rotary-cut southern pine veneer should bring a better price per cu ft than plywood. ■

## Hot off the Press — a USFS Bridge

The Forest Service is building a unique all-wood bridge in Virginia. Lumber for the bridge will be manufactured by a new method devised at the Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.

The process, called Press-Lam, promises to increase yield of lumber from logs, improve the strength of some lumber products, and allow producers to make lumber larger than the logs used as a raw material.

The secret of this rapid, high-yield system is using a veneer lathe to cut the wood, a hot press to dry it, glue and another press to put it back together.

The Press-Lam bridge will be constructed on Virginia State Highway 610 in the George Washington National Forest about 25 miles north of Harrisonburg.

National Forest System engineers and the Virginia State Highway Department and Highway Research Council are cooperating with the Forest Products Laboratory in this project. The Research Council will monitor test equipment installed in the bridge to determine how well the bridge resists bending, moisture, and fungal attack; how well the gluelines stand up; and how well the deck, which provides the running surface for the vehicles, behaves.

The Press-Lam process turns out dried, smooth lumber in less than 1 hour. Conventional lumber production—sawing, kiln-drying, and planing—takes days.

The log is peeled on a lathe into sheets of veneer up to 1/2-inch thick. This is clipped into smaller sheets which fit into a hot press where heat and pressure combine to quickly dry the wood. The veneer, still hot, is coated with glue and the sheets are assembled one on top of the other until the desired thickness is reached.

Staggering the sheets, so each overlaps the joint between the two sheets beneath it, allows production of a wide panel of infinite length. This panel can then be trimmed into smaller timbers of any desired size.

Using the Press-Lam process, manufacturers can make timbers much larger than the original trees

which provided the wood. For instance, the 20-foot long, 20-inch deep bridge stringers for this project can be made from logs only 10 to 12 inches in diameter and 4 feet long.

Manufacturing larger timbers from the more abundant, smaller-size timber resource or from the plentiful low-quality hardwoods has significant economic advantages.

Another Press-Lam feature is the increase in usable material. Forest Products Laboratory economists estimate that the system will give 15 to 30 percent more lumber than sawing the same size logs.

Part of this advantage comes from using the lathe to cut the wood—there is no sawdust and the veneer surface is so smooth it does not have to be planed. Also, peeling around the log eliminates much of the waste produced when sawing rectangular lumber out of round logs.

Material produced by the Press-Lam method is of a higher quality than that sawed from the same quality logs. Knots, which cause lumber to lose strength, usually affect one small area of one layer

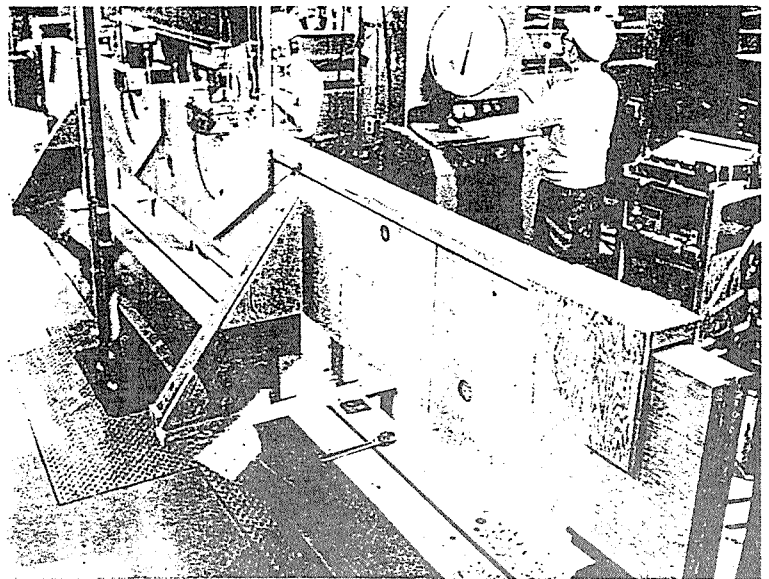
in the Press-Lam material. This causes their general effect to be dispersed over the entire piece instead of being concentrated in one location as it is in sawed lumber.

Forest Products Laboratory scientists expect this bridge to last much longer than timber bridges built in the 1930s, which are just now beginning to show some effects of age.

They hope this bridge project will demonstrate that Press-Lam lumber is very useful for heavy construction. Press-Lam railroad ties are being tested, and the scientists believe the system could be used to produce guardrails, scaffolding, telephone pole cross-arms, and the larger timbers used in housing.

Soaring demands and decreasing quantities of raw materials could mean higher prices and short supplies of construction goods in the future. Using more wood, a renewable resource with low energy costs for processing, could alleviate that situation.

For further information on this project and other potential uses of Press-Lam, write to the Forest Products Laboratory, Dept. PRESS-LAM, P.O. Box 5130, Madison, WI 53705.



ONE OF THE FIRST bridge stringers made at the Forest Products Laboratory being broken to determine its strength. These preliminary investigations show that the 5-inch-wide and 20-inch-deep stringers are capable of resisting higher loads than the same size of solid-sawed stringers. One reason for this good strength showing is that knots and other defects usually affect only one layer in the Press-Lam material and are backed by solid wood in the other layers. Therefore, their strength-reducing effects are not as great as those defects that go all the way through each piece of a solid-sawed timber.

## 21. University of Idaho stadium: a MICRO-LAM application.

By Sherman A. Nelson<sup>1</sup> (F. ASCE)

### 1. INTRODUCTION (本文省略)

The recently constructed 400 foot (122m) span trussed barrel arch stadium cover in Moscow, Idaho provides a year around indoor stadium and athletic facility for the University of Idaho (Figure 1 & 2). A design/bid contract for the structure specified by the architectural firm of Cline Smull Hamill of Boise and the engineering firm of CH<sub>2</sub>M/Hill, also of Boise, resulted in the adoption of a TRUS JOIST Corporation design concept utilizing its development of MICRO=LAM laminated veneer lumber as the primary structural element. TRUS JOIST Corporation engaged the consulting engineering firm of KKBNA in Denver, Colorado to prove the concept and accomplish the final design. The structure was named "Outstanding Structural Engineering Achievement of 1976" (2).<sup>2</sup> This paper presents the structure from the viewpoint of TRUS JOIST Corporation.

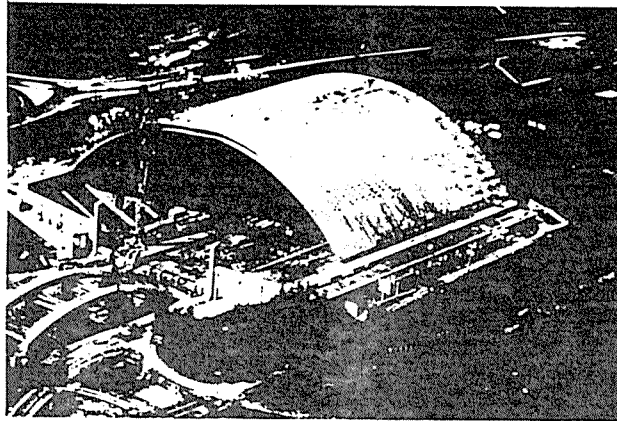
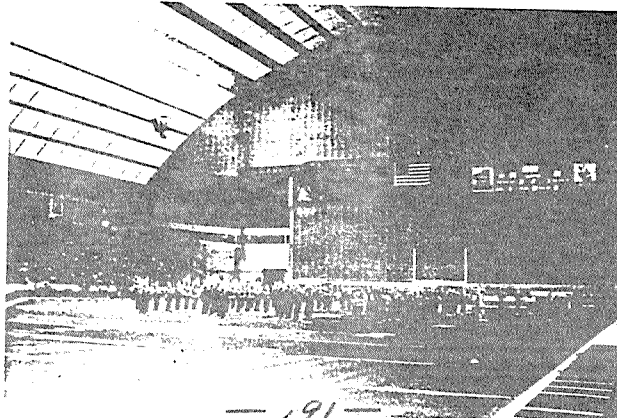


FIGURE 1.

FIGURE 2.



# DESIGN, PERFORMANCE, AND INSTALLATION OF A PRESS-LAM BASEMENT BEAM IN A FACTORY-BUILT HOUSE<sup>1</sup>

## Abstract

By

J. A. YOUNGQUIST,

D. S. GROMALA,

R. W. JOKERST,

R. C. MOODY,

and

J. L. TSCHERNITZ

*Forest Products Laboratory,<sup>2</sup> Forest Service  
U.S. Department of Agriculture*

Press-Lam and other parallel-laminated-veneer products exhibit distinct advantages when utilized in applications that require well-defined material properties.

A Press-Lam basement beam was designed and manufactured for a model prebuilt house. Design stresses were determined in conjunction with another Press-Lam study. The finished beam was installed by a regular construction crew using no special equipment or techniques.

Performance of this beam is expected to be comparable to other design alternatives, and to exceed design requirements for the life of the structure.

## Introduction

As supplies of large, high-quality sawtimber decline, additional raw material supplies must be sought for the manufacture of structural-size timbers for items such as basement beams. Small or low-grade logs can fill that demand if they can be processed into engineered wood products. Press-Lam, a process developed at the Forest Products Laboratory (FPL), offers that potential.

Press-Lam is a parallel-laminated-veneer product, made by peeling logs on a veneer lathe, drying the veneer in a heated press, applying an adhesive, layering and pressing again into a continuous sheet of laminated wood. Research at FPL has examined the effects of veneer peeling, press drying, and laminating on product performance (4)<sup>3</sup>. Other aspects of PLV research have been explored by the USDA Forest Service's Southern Forest Experiment Station and by the Canadian Forest Products Laboratories.

Because the physical dimensions of the continuous sheets are limited only by production equipment, sheets can be ripped and cross-cut to meet desired end-product requirements. Extensive test programs at FPL on experimentally produced parallel-laminated veneer have established that the mechanical properties of this product can be closely controlled. Markets for which PLV may be well suited include mobile home center beams and truss chords, components for manufactured housing, door rails and stiles, tension laminations for glulam beams, and roof decking support systems.

The beam project described in this report covers one of four chosen FPL demonstration uses of parallel-laminated veneer for structural and/or specialty products. Other reported demonstration uses include railroad ties (7), electrical distribution crossarms (8), and bridge timbers and decking (9).

To demonstrate the feasibility of incorporating Press-Lam into a house design, the FPL entered into a cooperative agreement with Wausau Homes, Incorporated, of Wausau, Wis., to supply a Press-Lam basement beam for installation and use in a prebuilt house.

<sup>1</sup>Research conducted in cooperation with Wausau Homes, Inc., Wausau, Wis.

<sup>2</sup>Maintained at Madison, Wis., in cooperation with the University of Wisconsin.

<sup>3</sup>Numbers in parentheses refer to literature cited at the end of this report.

## Preparation of Material for Beam

Peelable Coast Douglas-fir No. 2 sawlogs were shipped to the Forest Products Laboratory, cut to 52-inch bolt lengths, and rotary peeled on a 4-foot lathe to a thickness of 0.42 inch. This veneer was then clipped to 21-inch widths and press dried at 375° F at 50 psi to an average moisture content of 15 percent. Drying time was either 5.5 minutes or 11 minutes, depending upon whether sapwood or heartwood was being processed. Because the drying press was not in the same building as the laminating equipment used in producing this material, the dried veneer had to be reheated in a conventional veneer drier prior to glue application and lamination. The reheating process reduced the moisture content of the veneer to about 11 percent. This press-dried veneer was then assembled into a continuous sheet of 4-ply step-pressed dimension stock, using a phenol resorcinol adhesive. Veneer placement was staggered in each layer to allow for a 12-inch spacing between adjacent butt joints. The wood was at a minimum temperature of 200° F prior to adhesive application and was laminated using pressures of 150 psi for approximately 6 minutes. Dimension material, 1½ by 20 inches in cross-section was then cut to lengths of 21 feet. Both the length and width of these Press-Lam components were constrained by laboratory equipment limitations.

Dimension boards were abrasive planed and cold-laminated into structural-size timbers for use in concurrent studies aimed at determining the properties of large Press-Lam members

## Establishing Design Stresses

Eighteen beams were loaded to failure (9) in two-point edgewise bending in accordance with ASTM D 198 (1). Load and midspan deflection were monitored continuously to failure. Test beams, 4½ inches wide by 20 inches deep, were tested on spans ranging from 17.5 to 19 feet. The average modulus of rupture (MOR) was 5,450 psi, with a coefficient of variation of about 9 percent.

An additional 18 beams were similarly loaded to evaluate their moduli of elasticity

(MOE). The average MOE for the 36 beams was 1.7 million psi, with a coefficient of variation of less than 7 percent.

The allowable bending stress was derived by methods outlined in ASTM D 2915 (2). The near-minimum strength of the population (5th percentile) was divided by a factor of 2.1 to account for long-term loading and the possibility of accidental overloading of the member. The resultant allowable bending stress was 2,200 psi. This value was then multiplied by factors to account for duration of load (1.15) and size effects (1.06) to arrive at the final allowable stress of 2,680 psi. Deflection calculations were based on the average MOE (1.7 million psi), as specified in the National Design Specification (NDS) (3).

Because none of the test beams failed in shear, it is difficult to assess the allowable shear stress for these members. The average shear stress at failure was calculated to be 330 psi. If these beams had failed in shear, the design shear stress would be 130 psi. This value was chosen to represent a conservative estimate of allowable shear stress.

## Basement Beam Design

Because the Press-Lam basement beam was to be installed as a minor modification in a factory-designed house, its dimensions were necessarily made compatible with the existing design (fig. 1). The primary constraint from a design standpoint was that the beam depth could not exceed 12 inches. This restriction produced a beam that was less material-efficient than a deeper member.

### *Design Requirements*

The design loadings currently employed by the commercial designers involved in this project are:

Floor Load: 40 psf live; 8 psf dead

Roof Load: 30 psf live; 8 psf dead

Maximum allowable deflection is 1/240th of the span under full load and 1/360th of the span under live load only.

The standard basement beam for this model would be either four glue-nailed 2 by 8's over five intermediate supports (fig. 2a), or a steel beam, 8 inches deep, over three interme-

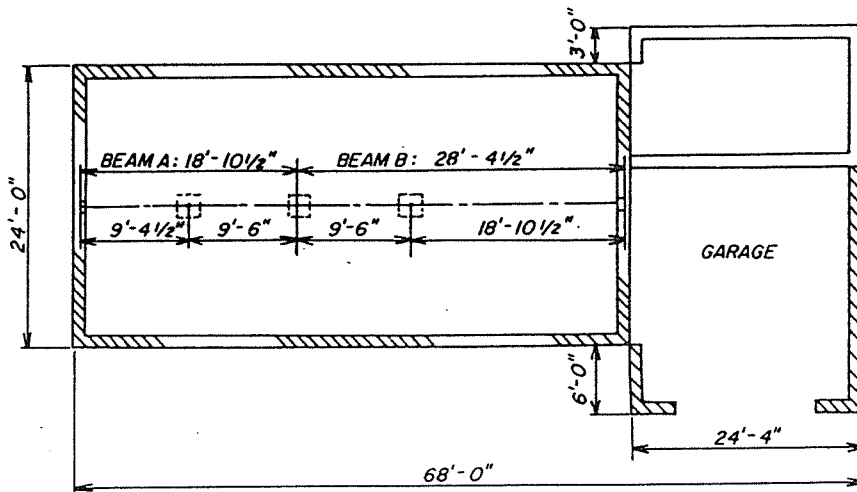


Figure 1.—Basement floor plan of test house.

M 146 565

diate supports (fig. 2b). The Press-Lam beam was intended to provide an alternative to the steel beam when three intermediate supports are specified (fig. 2c).

### Design Calculations

The final beam was designed to be 6 inches wide by 12 inches deep. Two sections were manufactured. Beam sections A and B (fig. 3) were field-spliced over a support with an array of nails. These nails provide little transfer of bending moment at small joint rotations. For this reason, the joint over the column at R3 (fig. 2) was considered to be nonrigid and was assumed to be a simple support for design purposes. However, a rigid structural joint was provided over the column adjacent to the longest span (R4, fig. 2) to minimize deflections on the long span. The final beam dimensions and lap-joint configuration are shown in figure 3.

An evaluation of the design strength and stiffness of the three beams shown in figure 2 is given in the appendix.

### Verification of Lap-Joint Design

As noted, beam section B (fig. 3) was designed to be structurally continuous over one

of the column supports, and assurance of the adequacy of the joint design was required. As outlined in the appendix, the joint was designed such that bending stresses in a ply, rather than the torsional shear stresses in the lap, would be critical.

A beam section 5½ inches wide by 10 inches deep by 9½ feet long with a lap joint at midspan was tested to examine its failure mode. It was loaded in center point bending on a 9-foot span. The specimen failed in a bending mode, similar to other Press-Lam members with butt joints. The MOR on the gross section was 3,150 psi, and the MOE was  $2.0 \times 10^5$  psi. Assuming that the outer four plies (the last leg of the lap joint) cannot transmit bending stresses, the MOR on the net section becomes 4,200 psi. This value is 23 percent less than the mean strength of 5,450 psi found for the beams without a lap joint.

Even with this reduction in strength the joint exhibited nearly twice the required design strength and failed in a bending mode. Based on these considerations, the structural lap joint was considered adequate.

The measured MOE in this test also served to verify the hypothesis that butt or lap joints did not reduce the gross section bending stiffness.

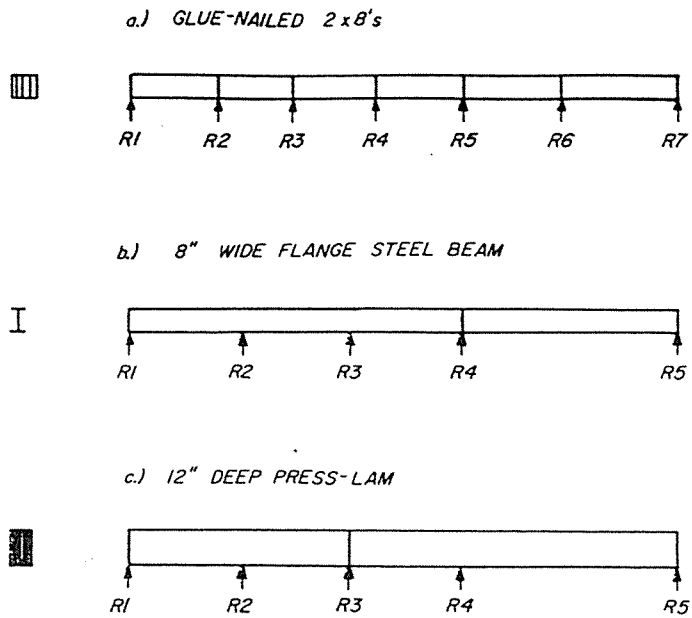
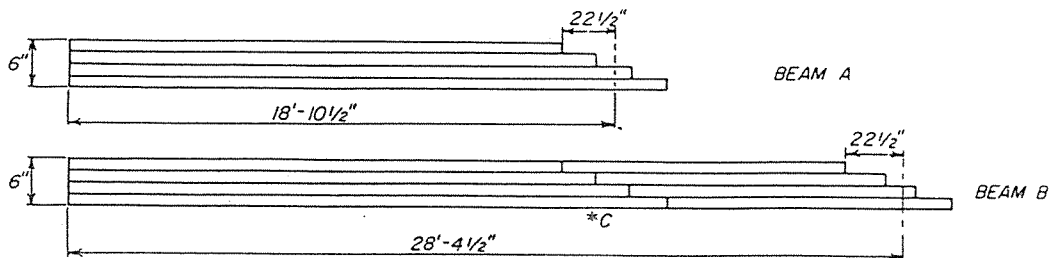


Figure 2.—Three typical basement beam designs.

M 146 566



\* INTERNAL SPLICE -- RIGID LAP JOINT AT POINT C.  
(SUPPORTED AT R4)

Figure 3.—Plan view of beam section dimensions and lap joint configuration.

M 146 564

## Installation of Basement Beam

The beam was delivered in January, 1977, to the Wausau Homes plant in Wausau, Wis., in two sections—section A measuring 18 feet, 10½ inches; section B measuring 28 feet, 4½ inches. Each had one staggered end (fig. 3) to allow for the field splice.

At the erection site near Wausau, the two sections of the beam were removed from the truck and placed at ground level on the edge of the foundation. The sections were connected with an array of nails. The top course of the foundation served as a leveling device to align the splice. When the two pieces were joined, the finished beam measured a nominal 6 inches wide by 12 inches deep by 47 feet, 6½ inches

long. A deflection line was installed on the beam at that time. The beam was then installed in precut pockets in the concrete block foundation (fig. 4). Steel shims were used to level the beam. Although the construction crew had had no prior experience with beams of this length, no erection problems were encountered.

As various housing components were assembled on the structure, beam deflection measurements were taken. With all of the exterior and interior walls in place, the floor panels secured, and the roof panels in place, no beam deflection was detectable. The owner's impressions of overall beam performance will be monitored periodically.

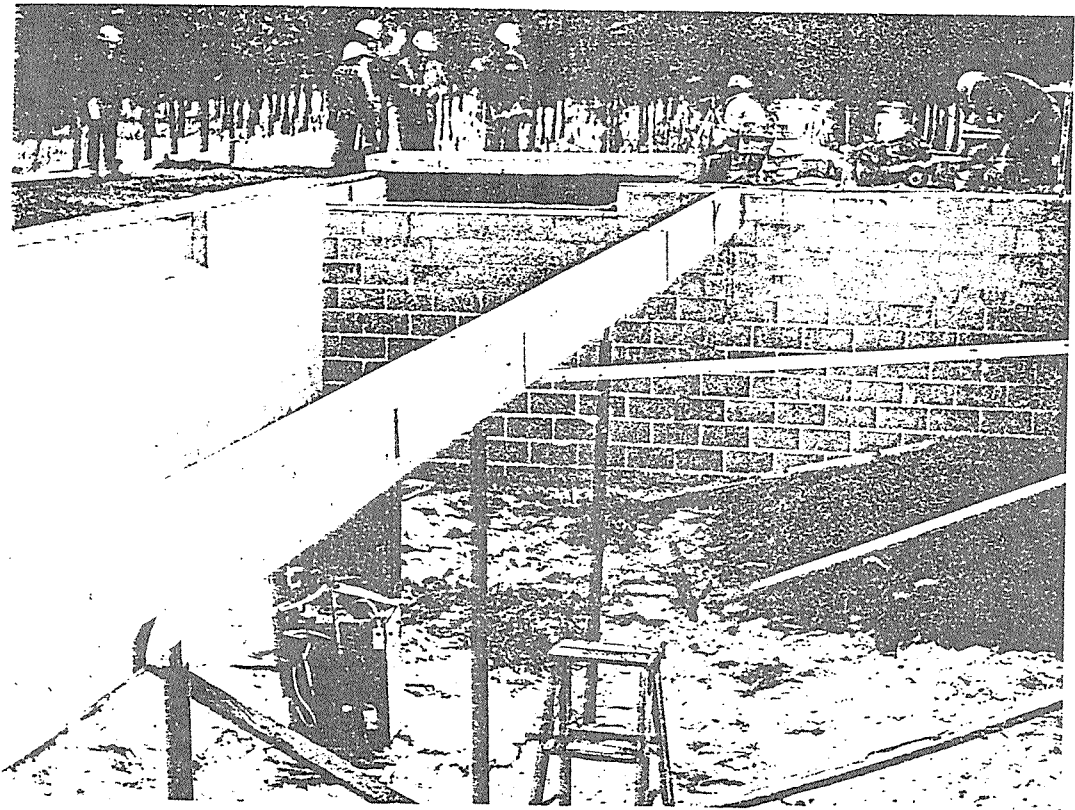


Figure 4.—Press-Lam beam installed in test house.

M 145 290-3A



## Summary

A main basement beam, manufactured of Press-Lam, was designed for a specific loading configuration and installed as the main supporting member for a factory-built house. The beam was installed by the regular construction crew using no special equipment or techniques. The structural continuity of the Press-Lam beam provides greater effective span stiffness, resulting in a larger column-free basement area than is possible using the standard glue-nailed beams. In designs where the additional beam depth can be tolerated, Press-Lam can be used as an alternative to a steel beam.

## Literature Cited

1. American Society for Testing and Materials.  
1967. Standard tests of timbers in structural sizes. ASTM Stand. Desig. D 198-67. ASTM, Philadelphia, Penn.
2. American Society for Testing and Materials.  
1974. Evaluating allowable properties for grades of structural lumber. ASTM Stand. Desig. D 2915-74. ASTM, Philadelphia, Penn.
3. National Forest Products Association.  
1977. National design specification for wood construction. NFPA, Washington, D.C.
4. Schaffer, E. L., R. W. Jokerst, R. C. Moody, C. C. Peters, J. L. Tschernitz, and J. J. Zahn.  
1977. Press-Lam: Progress in technical development of laminated veneer structural products. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 279. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
5. Schaffer, E. L., J. L. Tschernitz, C. C. Peters, R. C. Moody, R. W. Jokerst, and J. J. Zahn.  
1972. Feasibility of producing a high-yield laminated structural product: General summary. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 175. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
6. Seely, F. B., and J. O. Smith.  
1932. Advanced mechanics of materials. John Wiley and Sons, Inc., New York.
7. Tschernitz, J. L., E. L. Schaffer, R. C. Moody, R. W. Jokerst, D. S. Gromala, C. C. Peters, and W. T. Henry.  
1979. Hardwood Press-Lam crossties: Processing and performance. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 313. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
8. Youngquist, John, Frank Brey, Joseph Jung.  
1977. Structural feasibility of parallel-laminated veneer crossarms. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 303. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
9. Youngquist, J. A., D. S. Gromala, R. W. Jokerst, R. C. Moody, and J. L. Tschernitz.  
1978. The design, fabrication, testing, and installation of a Press-Lam bridge. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 332. For. Prod. Lab., Madison, Wis.

## Appendix

### Bending Stresses and Deflections

The design of this house was based on a 24-foot bay width (dimension perpendicular to the beam axis). Half of this width contributes load to the beam, while the rest is distributed between the foundation walls.

Thus, design loads convert to uniform distributed loads as follows:

- Floor: 40 psf x 12 ft = 480 lb/linear ft, live  
           8 psf x 12 ft = 96 lb/linear ft, dead  
 Roof: 30 psf x 12 ft = 360 lb/linear ft, live  
           8 psf x 12 ft = 96 lb/linear ft, dead

The 18-foot, 10½-inch span nearest the garage is subject to floor loads only, as a ridge beam across the living room carries the roof load above this span. All other spans are beneath a load-bearing partition and carry both floor and roof loads.

NDS permits a 15 percent increase in nominal design stresses when designing for snow loads. The snow load is 35 percent of the total load for this design, thus it is the critical design case.

Analyses were performed on the three beam configurations with the following assumptions:

- (a) Glue-nailed 2 by 8's:  
 Allowable bending stress = 1650 psi\*  
 Increase for snow duration = 1.15 x 1650 = 1900 psi  
 Modulus of elasticity (MOE) = 1.7 million psi  
 All spans simply supported.
- (b) 8-inch wide-flange steel beam:  
 Yield stress ( $f_y$ ) = 36,000 psi  
 Allowable bending stress = 0.6 x  $f_y$  = 21,600 psi  
 MOE = 29 million psi.

(c) 12-inch-deep Press-Lam beam:

- Allowable bending stress = 2330 psi  
 Increase for snow duration = 1.15 x 2330 = 2680 psi  
 MOE = 1.7 million psi.

Conventional engineering mechanics formulae were used to analyze the beams. Maximum bending stresses and deflections expressed as a fraction of the allowable are shown for the three design alternatives in figure A1. For each beam section, stresses and deflections shown are for the most critical loading combination.

### Design of Lap Joint

The lap joint was designed such that the theoretical strength of a single glue-line with an area of  $b$  (lap length) times  $h$  (beam depth) would transmit bending stresses equal to the moment capacity of a single leg of the joint (4 plies). These stresses are transmitted through torsional shear in the joint.

Both bending and torsional shear stresses are linear functions of the applied moment at the joint:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S}, \tau_{\max} = \frac{1}{\alpha} \frac{M}{6S} \quad (1A)$$

where

- $\sigma_{\max}$  = maximum bending stress (psi)  
 $M_{\max}$  = maximum bending moment (inch-pounds)  
 $S$  = section modulus =  $\frac{th^2}{6}$  (in.<sup>3</sup>)  
 $t$  = beam width (in.)  
 $h$  = beam depth (in.)  
 $b$  = lap length (in.)  
 $\tau_{\max}$  = maximum torsional shear stress (psi)  
 $\alpha$  = factor tabulated in mechanics text dependent upon joint geometry.

It was assumed that the ratio of bending strength to shear strength of this Press-Lam material is about 12 to 1, i.e.,

$$\sigma_{\max} = 12 \tau_{\max} \quad (2A)$$

\*No. 2 Douglas-fir, repetitive use.

Then, substituting values of  $\bar{\alpha}$  tabulated in mechanics of materials textbooks (e.g., 6), and iterating yields

$$b_{\min} = 15 \text{ in.} \quad (3A)$$

Assuming that one leg of the joint (4 plies) is ineffective in resisting bending stresses at the joint, the bending stress is

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S} \frac{21,660 \text{ lb-ft}}{108 \text{ in.}^3} = 2,400 \text{ psi} \quad (4A)$$

This stress is less than the allowable value previously derived, and the lap length of 15 inches is adequate.

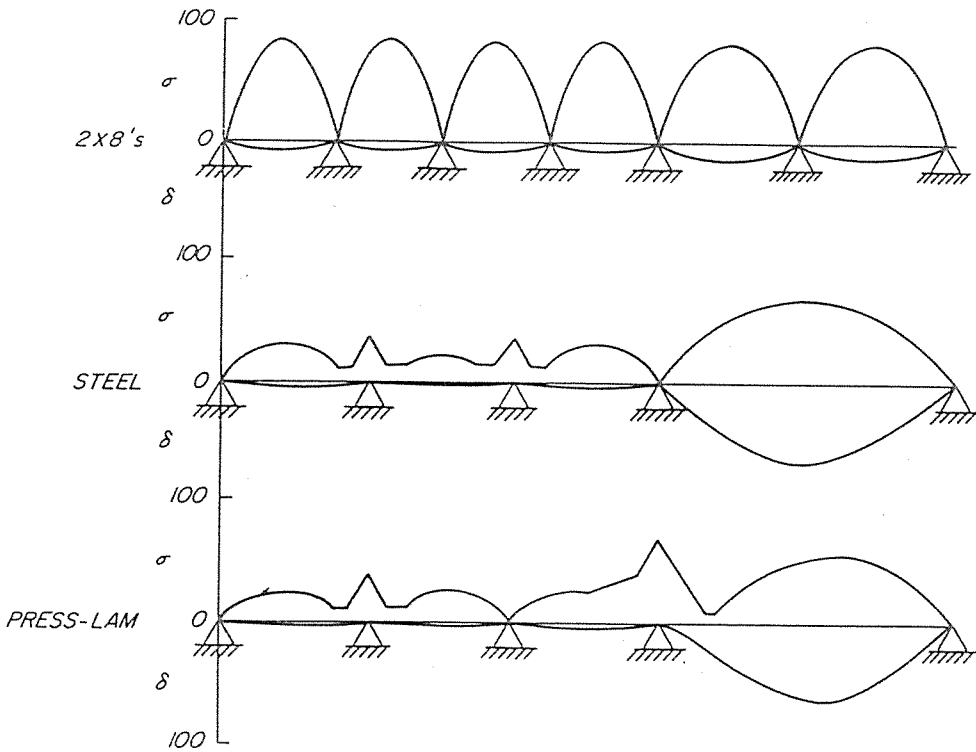


Figure A1.—Normalized stresses ( $\sigma$ ) and deflections ( $\delta$ ) for 3 beam configurations expressed as a percentage of the allowable.

M 146 567

# Design, Fabrication, Testing, and Installation of a Press-Lam Bridge

By  
J. A. YOUNGQUIST, Team Leader,  
D. S. GROMALA, Engineer,  
R. W. JOKERST, Technologist,  
R. C. MOODY, Engineer,  
and  
J. L. TSCHERNITZ, Engineer

## Abstract

Parallel laminated veneer (PLV) products are manufactured by adhesive bonding of rotary-peeled veneer. It has been estimated that a production line PLV process could convert green logs into a finished structural laminate in less than an hour.

Press-Lam, a PLV product under investigation at the U.S. Forest Products Laboratory, has exhibited decreases in variability of mechanical properties and increases in chemical preservative penetration and retention when compared to solid-sawn lumber.

A prototype highway bridge constructed entirely of Press-Lam has been erected by the Virginia Department of Highways and Transportation. This bridge was field tested to its AASHTO HS-20 design load. Preliminary allowable stresses were determined by data obtained from destructive laboratory tests on 18 full-scale stringers and 6 sections of decking made from Douglas-fir Press-Lam.

In the face of dwindling supplies of large structural timbers, PLV products are attractive alternatives for exposed structural applications.

## Table of Contents

	Page
Introduction .....	1
Materials .....	2
Raw Material Requirements.....	2
Raw Material Characterization.....	3
Veneer Cutting.....	3
Veneer Drying.....	3
Yield Calculations and Comparisons.....	4
Laminating.....	4
Assembly of 4-Ply Dimension Material .....	4
Quality Control and Related Tests on Dimension Material .....	5
Glueline Temperature.....	5
Adhesive Spread Rate.....	5
Shear Tests .....	5
Delamination Tests.....	5
Manufacture of Bridge Components.....	5
Bridge Stringers.....	5
Deck Panels.....	5
Guard Rails, Curbs, and Posts .....	6
Preservative Treatment of Components .....	6
Bridge Design and Component Testing.....	7
Preliminary Bridge Design .....	7
Bridge Component Test Program.....	8
Stringer Tests .....	8
Deck Tests.....	9
Other Tests.....	10
Final Bridge Design .....	11
Installation and Evaluation.....	11
Installation .....	11
In-Place Evaluation of Completed Structure .....	12
Long-Term Bridge Performance Evaluation .....	13
Summary .....	13
Project Description .....	13
Bridge .....	14
Bridge Test Program.....	14
Literature Cited .....	15

Table 4.—Bridge deck description and test results

Series	Deck construction	Type of test	Load block		Maximum load	Deflection under load <sup>3</sup>	Comments
			Size <sup>1</sup>	Position <sup>2</sup>			
			<u>In.</u>		<u>Lb</u>	<u>In.</u>	
1	Two panels at 7 ft long x 30 in. wide x 6¼ in. thick, tested on 6-ft span, deck laminations longitudinal	Stiffness	15 x 20	on	25,000	0.20	
			line load	=	40,000	.30	
			line load	=	40,000	.30	
		Strength	15 x 20	off	25,000	.30	
15 x 20	off		79,000	.80	Shear failure 6.6 x design load <sup>4</sup>		
2	Two panels at 8½ ft long x 8 ft wide x 3¼ in. thick, tested on 8-ft span, spiked transversely to 14-in.-deep stringers spaced 2 ft apart	Stiffness	10 x 20	on	50,000	.67	
				off	50,000	.62	
			10 x 10	on	40,000	.59	
				on	25,000	.50	
		Strength	12 x 12	on	58,000	.78	Failed at 4.2 x design load
				off	45,000	.58	Failed at 3.7 x design load
			10 x 10	off	47,000	.64	Failed at 4.0 x design load
				on	74,000	.83	Failed at 6.2 x design load
15 x 20	on	79,000	.68	Failed at 6.6 x design load			

<sup>1</sup>Small dimension in direction of traffic flow on bridge. Line load applied over a 1½-in.-wide block.

<sup>2</sup>Load block placed at midspan on the dowel joint (on), adjacent to the dowel joint (off), or parallel to the supports as a line load at midspan (=).

<sup>3</sup>For strength tests, last measured load prior to failure.

<sup>4</sup>Design wheel load = 12,000 lb.

Table 5.—Treating results on Press-Lam bridge components less than 8 feet long

Material	Dimensions	Creosote uptake	
		Average	Range
		<u>Pcf</u>	<u>Pcf</u>
Douglas-fir	1½ x 4½ x 96	12.7	9.9-16.0
	4½ x 20 x 25½	10.6	9.8-11.2
	4½ x 20 x 11¾	10.2	7.4-14.8
Red oak	4 x 8 x 8	10.8	10.1-10.8
	4 x 8 x 36	8.6	7.7- 9.8
	8 x 8 x 51¾	7.9	7.4- 8.4

<sup>1</sup>Test specimens used to evaluate effect of preservative treatment on bending strength properties.

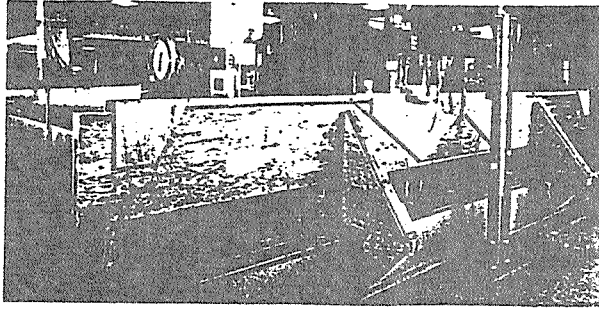


Figure 4.—Bending tests conducted on Press-Lam bridge stringers.

(M 144 02)

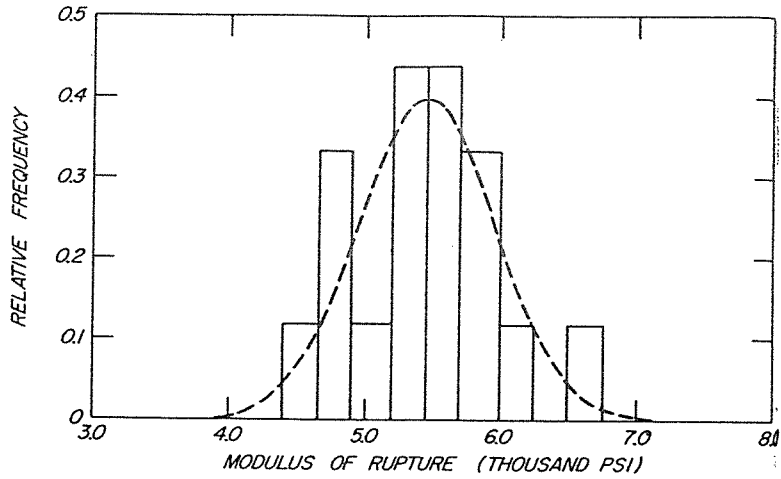


Figure 5.—Histogram of modulus of rupture data and assumed normal distribution for 18 bridge stringers.

(M 146 94)

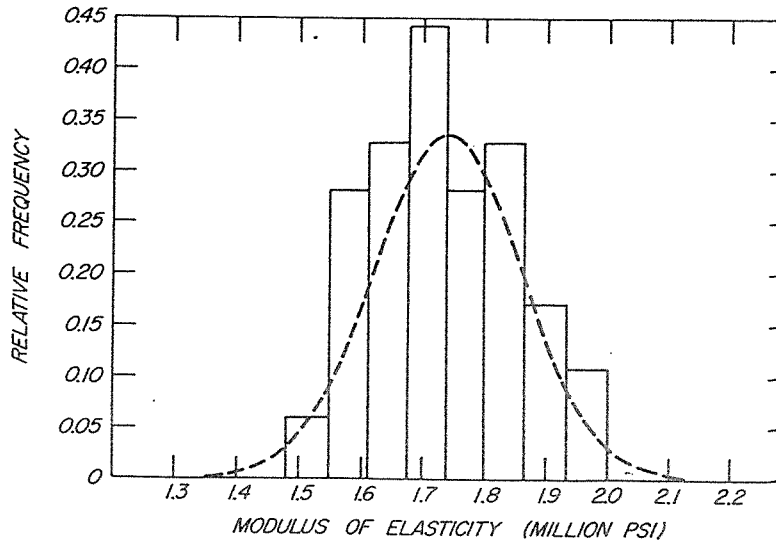


Figure 6.—Histogram of modulus of elasticity data and assumed normal distribution for 36 bridge stringers.

(M 146 941)

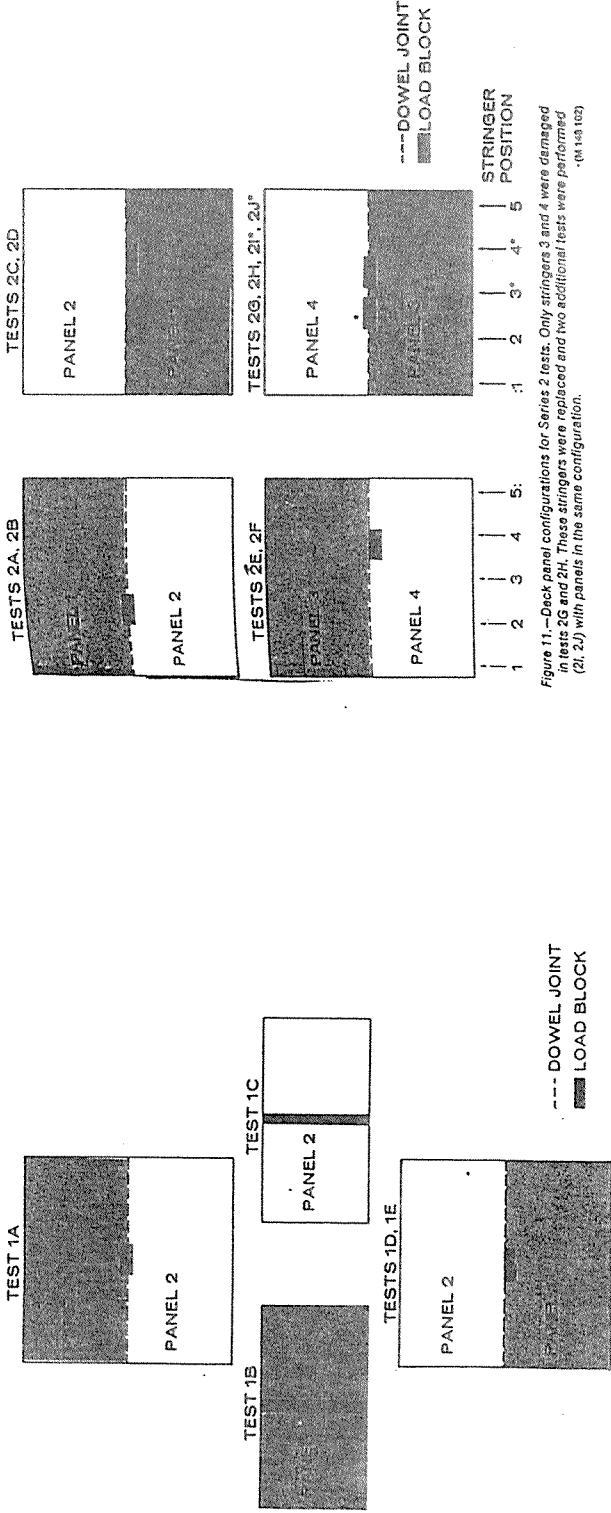


Figure 8.—Deck panel configurations for Series 1 tests.  
(M 144 101)

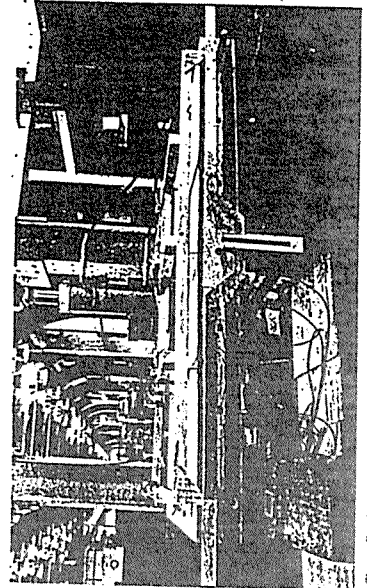


Figure 7.—Series 1 test setup for 6¼-inch-thick Press-Lam bridge deck on a 6-foot span.  
(M 144 105-5)

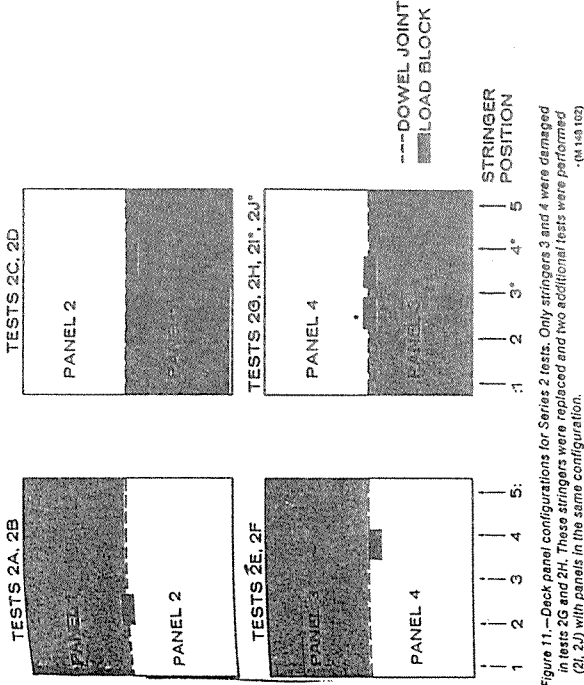


Figure 11.—Deck panel configurations for Series 2 tests. Only stringers 3 and 4 were damaged in tests 2G and 2H. These stringers were replaced and two additional tests were performed (2I, 2J) with panels in the same configuration.  
(M 144 102)

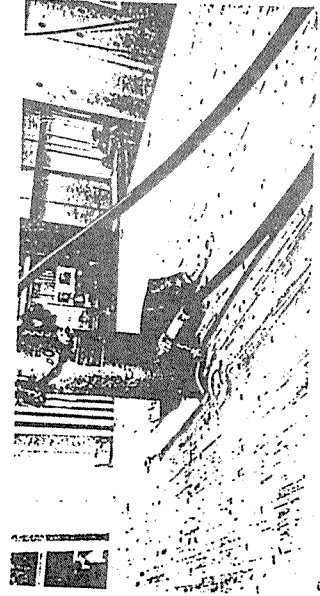


Figure 12.—Failure of Series 2 Press-Lam test deck in "punching" shear.  
(M 144 450-2A)

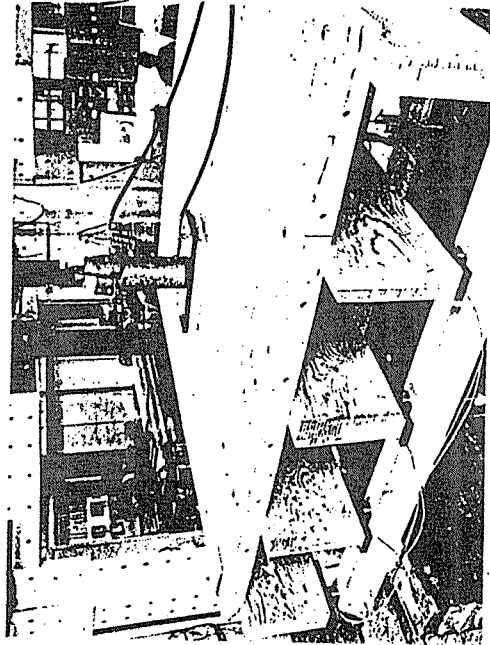


Figure 10.—Series 2 test setup for 3½-inch-thick Press-Lam bridge deck attached to stringers, feet apart on an 8-foot span. (M 144 450-2)

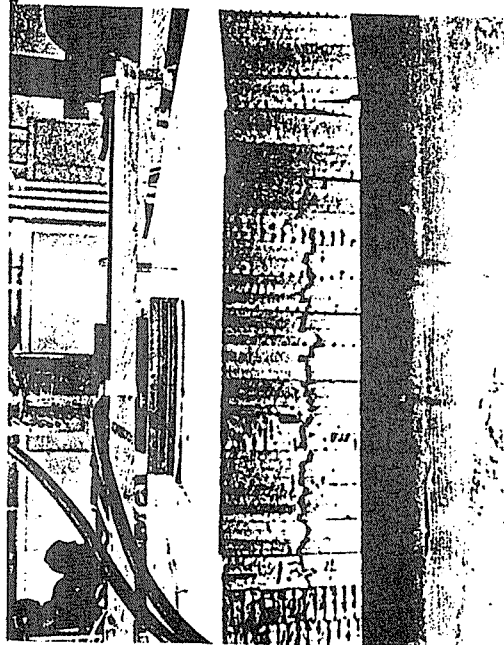


Figure 9.—Failure of Series 1 test deck in rolling shear (right), followed by horizontal shear (center). (M 144 109-11)

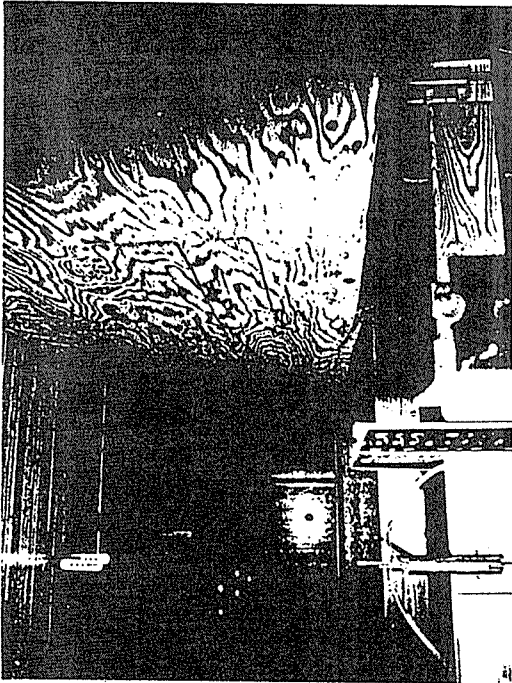


Figure 13.—Failure of Press-Lam stringer in bending in Series 2 test. (M 144 502-4)

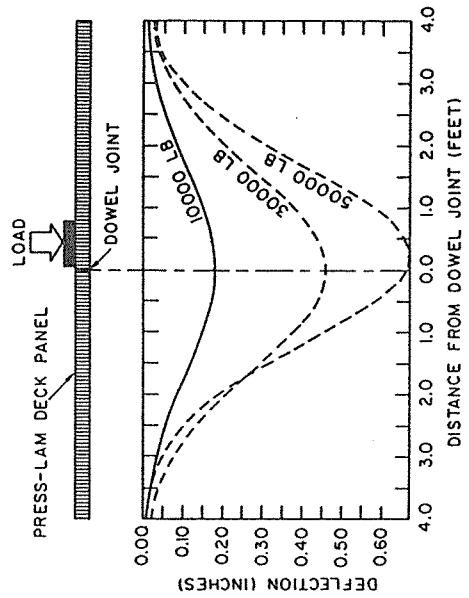


Figure 14.—Deflection profiles across dowel joint at three load levels. (M 146 615)



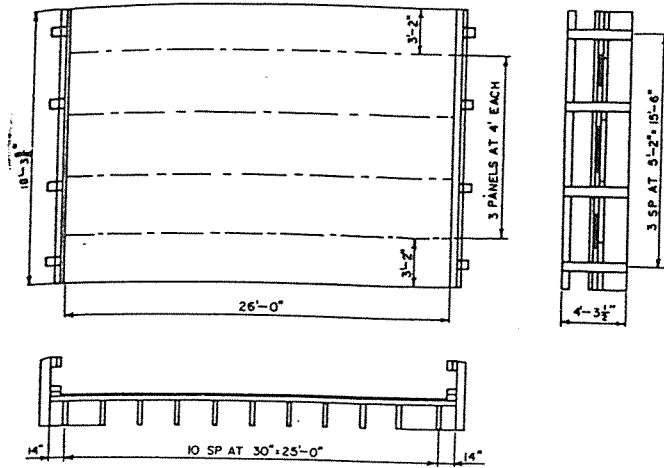


Figure 15.—Construction schematic of Press-Lam bridge over Stony Creek, Va. (M 145 646)

Table 6.—Labor and equipment required to install Press-Lam bridge (26)

Activity	Labor			Equipment	
	Hours	Number of workers	Worker hours	Type	Number of hours
Moving Press-Lam members and crane to bridge site	8	5	40	1 Bridge truck 1 Crane	8 8
Erecting Press-Lam stringers and deck panels <sup>1</sup>	16	6	96	1 Bridge truck 1 Crane 1 Pickup truck 1 Boom truck	16 16 16 16
Attaching Press-Lam rails and posts and general cleanup	8	5	40	1 Bridge truck 1 Crane	8 8
Totals	32		176		96

<sup>1</sup>Includes approximately 1 hour for removal of existing steel stringer-timber deck superstructure. The hardware had been removed from the existing superstructure while the substructure was being widened.

Table 7.—Bridge traffic loading data (26)

Date	Number of hours	Number of vehicles			Per hour
		>10,000 pounds	<10,000 pounds	Total	
4/18/77	4	0	14	14	3.5
5/03/77	3	2	15	17	5.7
5/04/77	7	3	18	21	3.0
6/01-02/77	24	—	—	121	5.0

## Summary

### Project Description

The concept of parallel laminating veneer into thick sheets of any width or length has been examined as an alternative to solid-sawn timber or glulam for structural-size members. The Press-Lam process, developed at the Forest Products Laboratory (FPL), uses a veneer lathe to cut the wood, a hot press to dry it, and glue and another press to reassemble the hot, dry veneer sheets into finished structural members. Press-Lam advantages include increased yields of lumber from logs, more uniform engineering properties of finished products, and improved penetration and retention of oil-based preservatives. A highway bridge, manufactured entirely from parallel laminated veneer, was constructed to inches long; the three interior panels are 4 feet wide and the two approach panels are 38 inches wide. The stringers and deck panels are made from Douglas-fir. The guardrails, posts, and curbs are made from red oak logs.

All bridge components are treated with creosote to an average retention of 9.8 pcf.

The bridge stringers were designed according to AASHTO specifications. The bridge deck design was based on previous research and component testing at FPL.

The bridge over Stony Creek, located on Virginia State Secondary Route 610, in the George Washington National Forest, 100 miles west of Washington, D.C., was installed without difficulty. Traffic was interrupted for a total of 7 hours.

A 1-inch-thick bituminous wearing surface was applied to the surface of the Press-Lam bridge approximately 6 months after the bridge was erected. This bituminous surface is permeable and therefore serves as a wearing surface but not as a moisture barrier.

### Bridge Test Program

At FPL, 18 stringers were tested and six deck configurations were tested to failure. The 18 stringers resisted loads from 2.3 to 3.1 times the value selected for design. The deck panels, tested with a simulated wheel loading, all resisted at least 3.7 times the HS-20 design load.

Approximately 2 weeks after construction, the bridge was load-tested with a truck having a tandem rear axle weight of 41,000 pounds. This truck produced stresses equivalent to the standard AASHTO HS-20 loading. Observed deflections under the proofload were within acceptable limits.

The Virginia Highway and Transportation Research Council will be overseeing a 5-year bridge performance evaluation program.

**APPENDIX B**  
**Methods Used to Derive Allowable Bending Stresses**  
**for Stringers**

The principles used to adjust lumber test data to allowable design properties are those presented in ASTM D 2915 (4). The lower fifth percentile of the distribution was estimated, and reduction factors were applied to account for load duration and protection against overload. A factor to account for preservative treatment was also applied.

As proofloading was to be used to assure the design levels, it was not believed necessary to calculate tolerance limits. Rather, a point estimate of the fifth percentile was made by standard statistical methods (20). The data were assumed to be normally distributed and the fifth percentile was calculated as "t" standard deviations below the mean. For 18 data points (17 degrees of freedom),  $t = 1.740$ . Using the mean of 5,455 psi, the standard deviation of 503 psi, and letting NM designate the near minimum of distribution,

$$NM = 5,455 - (1.74 \times 503)$$

$$= 4,580 \text{ psi}$$

The following factors then convert the near-minimum strength into the allowable stress:

$$\text{Load duration and accidental overload: } 0.475$$

$$\text{Preservative treatment factor} = 1/1.1$$

Thus, a design level of  $4,580 \times 0.475 \times 1/1.1 = 1,980$  or about 2,000 psi was determined.

**APPENDIX C**  
**Summary of Reliability-Based Calculations Regarding Proof**  
**Load Level and Stringer Selection Criteria**

**Proofloading of Bridge Stringers**

The 18 bridge stringers remaining after the test program outlined previously were proofloaded in bending to check for manufacturing defects and to assure structural integrity. Previous testing of large Press-Lam members made from low-grade logs indicated that an approximate design stress of 1,500 psi could be used (9).

Although strength variability is quite low for sound Press-Lam timbers, one specimen in this test program failed at a load 28 percent lower than the rest. This specimen was later shown to contain a defective glue-line. The proofload level was chosen to maximize the chance of identifying members with such defects while minimizing the chances of damaging beams that withstood the proofload.

**Literature**

A recent study at Washington State University (27) examined the effects of proofloading on end-jointed lumber. Results showed no significant reduction in strength of end-jointed Douglas-fir specimens that had been proofloaded in bending to 90 percent of their expected ultimate strength.

Kluser and Steinhilber (12) tested small, clear specimens of three species and found microscopic slip planes (which precede the onset of small compression failures) at 60 percent of ultimate strength, and visible failures at 80 percent of ultimate strength.

Based on these studies, it was assumed that the onset of compression failures (the cause of "damage" during proofloading) could occur at a range of bending stresses from as low as 60 percent of ultimate stress (small, clear specimens) to higher than 90 percent (end-jointed dimension lumber).

**Proofload Level**

For the purpose of this study, a proofload level of 3,800 psi or 70 percent of the average expected ultimate stress (63 percent of the estimated near-minimum ultimate stress) was selected as a level that would minimize the possibility of damage and maximize the likelihood of detecting defective material.

As only 12 of the 18 stringers were needed for the actual bridge and all successfully resisted the proofload, several criteria were used in an attempt to select the 12 strongest:

1. Impressions of performance under load (audible cracks, discontinuous load-deflection curve, etc.) were considered. Any evidence of abnormal behavior caused the specimen to be rejected.
2. The remaining stringers were used in order of decreasing modulus of elasticity. The good correlation between strength and stiffness in Press-Lam has been shown with smaller specimens. This phenomenon suggests that stiffness could be used as a criterion for selection.

**Damage Considerations**

Statistical methods were then used, based on a set of assumptions, to determine the probability that any of the 12 "acceptable" stringers were damaged during proofloading.

Several assumptions were made regarding the shape of the data distribution, the fraction of ultimate load that would induce damage, and the effectiveness of stringer selection criteria. In this analysis, the data were assumed to be normally distributed. Damage threshold levels examined were either 80 percent or 85 percent of the expected ultimate load. Two levels of selection effectiveness were assumed: First, perfect selection (theorizing that the six rejected stringers were the six weakest), and secondly, 50 percent effectiveness (assuming that only three of the six weakest were eliminated).

As shown in Table C-1, only the combination of the two conservative assumptions leaves more than a negligible probability of damage in the remaining stringers.

Subject to the conditions noted, the proofload procedure proved to be an effective tool for assuring the structural adequacy of this experimental material.

**Table C-1.—Probabilities that one or more of the 12 stringers used in the bridge were "damaged" by proofloading**

Effectiveness of selection procedure	Probability of "damage"	
	If $\sigma_D = .80\sigma_{ULT}$	If $\sigma_D = .85\sigma_{ULT}$
Pci		
50	0.20	0.008
100	.006	~0

$\sigma_D$  = stress level at which "damage" occurs.  
 $\sigma_{ULT}$  = ultimate stress level.



13 針葉樹造材木の単板積層加工利用技術の確立  
—農林水産技術会議特別研究成果 220, 1989—

目次 要約



# 目 次

研究の要約 .....	1
第1章 加工技術の開発とシステム化 .....	8
1. 単板用原木の形質区分 .....	8
(1) 形状・品質による単板適性の判定 .....	8
(2) ひき材適性との比較 .....	13
2. 単板の製造 .....	22
(1) ローター単板の切削技術 .....	22
(2) 単板の乾燥技術 .....	29
(3) 単板の調板技術 .....	41
3. 単板の積層接着 .....	48
(1) 面材料(合板)の製造技術 .....	48
(2) 軸材料(LVL)の製造技術 .....	55
4. 製造システムの検討 .....	65
第2章 加工製品の性能評価と向上 .....	78
1. 強度性能 .....	78
(1) 静的強度性能の評価 .....	78
(2) クリープ性能の評価 .....	83
(3) 衝撃・疲労特性の評価 .....	99
2. 寸法安定性・表面特性 .....	115
(1) 湿気・水分による寸法変化と狂いの評価 .....	115
(2) 表面特性(硬さ・摩耗) .....	129
3. 接着耐久性 .....	133
(1) 面材料の接着耐久性の評価 .....	133
(2) 軸材料の接着耐久性の評価 .....	134
4. 製品加工性 .....	137
(1) 切削加工性の検討 .....	137
(2) 釘着性能の評価 .....	140
5. 処理による性能向上 .....	152
(1) 防腐処理による耐久性向上 .....	152
(2) 樹脂処理による寸法安定性向上 .....	157
(3) 薬剤処理による難燃性向上 .....	163

# 研究の要約

## I 研究年次および予算区分

研究年次：昭和59年～61年度

予算区分：農林水産技術会議特別研究

## II 主任研究者

主査：土井 恭次

(昭和59年4月～昭和60年3月)

難波 宣士

(昭和60年4月～昭和61年12月)

山口 博昭

(昭和61年12月～昭和62年3月)

副主査：筒本 卓造

とりまとめ責任者：中野 達夫

## III 研究場所

林業試験場

## IV 研究目的

我が国の針葉樹材の利用は製材品に限られているが、国産針葉樹材の有効利用と多様化する製品需要に対応するためには、単板積層材(LVL)、合板などへの利用の拡大が望まれる。しかし、これらの面への針葉樹造林木の加工利用には、製造技術、経済性などの面で解決すべき問題が多い。

本研究は針葉樹造林木のLVL、合板への加工およびその利用をはかるため、製造方式を確立するとともに、加工製品の建築材料としての性能を明らかにし、ひいては針葉樹造林木の有効かつ広範な利用に資することを目的とする。

### 1. 加工技術の開発とシステム化

針葉樹造林木の単板積層加工に適する原木の形状および品質の選定、LVLおよび合板製造の主要な工程である単板切削、乾燥、調板、積層接着に対する加工技術の開発、改良ならびに効率的な製造システムの設計を通じて、現在製材利用に限定されている針葉樹造林木のLVLおよび合板への利用促進をはかる。

### 2. 加工製品の性能評価と向上

針葉樹LVLおよび合板の強度性能、寸法安定性、接着耐久性、製品加工性ならびに防腐処理、樹脂処理、難燃化処理による性能向上を系統的に評価して、構造用、造作用、産業用への利用に対する適性を明らかにすることにより、これらの利用促進に資する。

## V 研究方法

'84年度は茨城県水戸、大子、高萩の各地産スギ、'85年度は福島県岩瀬産アカマツ、'86年度は前年度までの補足として茨城県産材のより低質なスギおよびアカマツ、比較参考材としてヒノキをそれぞれ対象とし、単板積層材を製造し、製造のための各種技術および製造システムの検討を行った。またこのようにして製造された単板積層材の性能を調べるとともに、製品性能の向上について検討を加えた。

### 1. 加工技術の開発とシステム化

原木の形状・品質による単板適性を判定するため、上記樹種および産地材を対象に丸太の偏心、曲がり、比重、節などを調べ、これと単板品質との関係を求めた。また単板用原木とひき材との適性を比較するため、スギ原木について形質調査を行ったのち、最適な木取り方法で試験挽きを行い、計量歩止りと価値歩止りを求めた。

ロータリー単板の切削技術を検討するため、上記各樹種の供試木を生長量で区分し、切削条件をかえて切削し、単板品質を求めた。また単板の乾燥技術を検討するため、ネット式とロール式の2種のドライヤーを用い、乾燥条件をかえて乾燥し、乾燥時間と仕上り品質を調べた。また単板の調板技術を検討するため、スギについて単板の裏割れに接着剤を塗布したLVL、およびジョイントの種類をかえたLVLを製造し強度試験を行い、これらの処理による効果を調べた。

合板およびLVLの製造技術を検討するため、スギ、アカマツ、ヒノキの各単板から接着剤、塗布量、圧縮硬化方法などの接着条件をかえて合板およびLVLを製造し、接着層のせん断強さや剥離率を測定し、適正な製造条件を検討した。

LVLの製造システムを検討するため、本研究で



得られた成果および別に行った聞き込み調査から、材料指標、加工指標を整理し、これらを小、中、大の3規模の製造工場を想定してあてはめて製造コストを求め、適正な製造システムの設計を行った。

## 2. 加工製品の性能評価と向上

LVLの強度性能を検討するため、上記樹種の寸法形式208材の曲げ試験および206材の曲げクリープ試験を行った。また衝撃・疲労特性を評価するため、シャルピー衝撃試験および実大落下衝撃試験を行った。

LVLの寸法安定性を検討するため、4×4cm角の棒状試験体を用い、乾湿2条件の恒温恒湿室で平衡にし、含水率を変化させ、寸法の変化、狂いを測定した。またLVLの表面特性を検討するため、LVLの積層面と板目面についてJIS規格により摩耗試験および硬さ試験を行った。

LVLおよび合板の接着耐久性を検討するため、接着剤および接着条件をかえて製造したLVLおよび合板について煮沸繰り返し、温水浸せき・乾燥処理および屋外ばくろなどの接着層の劣化処理を行った後、接着層のはく離状態の観察および引張りせん

断試験を行った。

LVLのたてつき性能を検討するため、LVLをミニフィンガーでたてつきし、曲げ強度試験を行った。またLVLの表面仕上げ性を検討するため、LVLの表裏面についてサンダーによる研削仕上げ加工試験を行った。またLVLの釘着性能を検討するため、釘の引き抜き耐力試験、および釘接合部試験体を作成して1面せん断耐力試験およびクリープ試験を行った。

防腐処理によるLVLの耐朽性の向上をはかるため、接着剤に防腐剤を混入しLVLを製造し、腐朽試験を行い防腐効力を調べた。また樹脂処理による寸法安定性の向上を検討するため、LVLにポリウレタン樹脂塗装およびPEG処理を施した後、乾湿繰り返し処理を行い寸法変化を測定するとともに、これらの処理材を用いて実大窓枠を作成し、乾湿繰り返し処理を行い寸法変化および狂いを測定した。また薬剤処理による難燃性の向上を検討するため、LVLに5種類の薬剤を濃度をかえて減圧加圧注入し、JASによる難燃性およびガス有害性試験を行った。

研究計画表

研究課題	研究実施年度			担当場所(研究室)
	1984	1985	1986	
1. 加工技術の開発とシステム化				
(1) 単板用原木の形質区分				
ア. 形状・品質による単板適性の判定	○	○		木材部(材質研)
イ. ひき材適性ととの比較	○	○		木材部(製材研)
(2) 単板の製造				
ア. ローター単板の切削技術	○	○	○	木材部(機加研)
イ. 単板の乾燥技術	○	○	○	木材部(乾燥研)
ウ. 単板の調板技術	○	○	○	木材利用部(性能研)
(3) 単板の積層接着				
ア. 面材料(合板)の製造技術	○	○	○	木材利用部(接着研)
イ. 軸材料(LVL)の製造技術	○	○	○	木材部(集加研)
(4) 製造システムの検討				
ア. 材料指標の整備		○	○	木材部(材質研・製材研)
イ. 加工指標の整備		○	○	木材部(機加研・乾燥研)
ウ. 適正製造システムの設計		○	○	木材部(集加研)
				木材利用部(性能研)
2. 加工製品の性能評価と向上				

研 究 課 題	研究実施年度			担 当 場 所 ( 研 究 室 )
	1984	1985	1986	
(1) 強度性能				
ア. 静的強度性能の評価	○	○	○	木材利用部(材料研)
イ. クリープ性能の評価	○	○	○	木材利用部(材料研)
ウ. 衝撃・疲労特性の評価	○	○	○	木材部(集加研)
(2) 寸法安定性・表面特性				
ア. 湿気・水分による寸法変化と狂いの評価		○	○	木材部(物理研)
イ. 表面特性(硬さ・摩耗)		○	○	木材部(物理研)
(3) 接着耐久性				
ア. 面材料の接着耐久性の評価	○	○	○	木材利用部(接着研)
イ. 軸材料の接着耐久性の評価	○	○	○	木材利用部(接着研)
(4) 製品加工性				
ア. 切削加工性の検討		○	○	木材部(機加研)
イ. 釘着性能の評価		○	○	木材利用部(性能研)
(5) 処理による性能向上				
ア. 防腐処理による耐朽性向上		○	○	木材利用部(防腐研)
イ. 樹脂処理による寸法安定性向上		○	○	木材利用部(耐候研)
ウ. 薬剤処理による難燃性向上		○	○	木材利用部(難燃研)

## Ⅵ 研究結果

### 1. 加工技術の開発とシステム化

#### (1) 単板用原木の形質区分

スギについて、含水率、比重、節の数など単板品質に影響をおよぼすと考えられる指標を測定し、単板品質との関係を検討した。その結果、単板の品質は辺材部からの単板が心材部からの単板より一般に高品質であったが、辺材部において含水率が高いこと、節の数が少ないことが主要な原因とみられた。次に、福島県岩瀬産のアカマツについて丸太の品質を調査したが、節や曲がりにより品等が低下するものが多かった。このような品質のアカマツ丸太から切削された単板は、節や丸太内の材質差の影響が少なく、また、丸太の曲がりは1m程度に玉切りされるためさほど問題ではない。しかし偏心の大きい丸太は単板の品質を低下させることがわかった。

スギを対象にして丸太原木の品質により、製材にした場合と単板積層材にした場合との有利性を検討するため、上記茨城県産材のほか山形県産材も追加して製材品の品等別製材歩止りを調査したが、その結果、価値歩止りは水戸、大子、高萩、山形の順に低下することが明らかになり、スギ材を単板積層材

とする際の原木品質についての指針を得た。

#### (2) 単板の製造

今回使用したロータリーレースには中小径木を扱うために特にベンディング防止ロールとディスクロールを取り付けたが、その効果は大きくはく心径約6cmまでの切削が可能で、単板歩止りは70%をこえる高率を示した。スギの単板の品質は水戸産材に高品質のものが最も多く、大子産材、高萩産材の順に悪くなるが、この順位は原木丸太の品質の順位に等しかった。また前述のように心材の単板の品質は辺材のものよりやや不良および不良のものが多かった。単板厚さが2~5mmの範囲では単板品質はほとんどかわらず、刃口間隔、刃物角などの切削条件が単板品質に及ぼす影響は小さかった。また単板の切削長さが増大すればするほど単板品質は低下するが、その低下の割合は刃物の研磨方法をかえることにより小さくすることができた。次に、アカマツ材をロータリーレースにより切削し、製造した単板の品質について検討を加えた。刃物角を適正に選定することにより、節による刃物のかけを少なくすることができ、総合的にかなり良好な単板が得られた。アカマツ材は辺材が多く、そのためスギでみられたように

心材部で単板面が粗くなる傾向はみられなかった。単板歩止りはスギ、ヒノキで原木材積の約70%、アカマツで約65%であった。

スギ、アカマツ単板の乾燥について、適正乾燥条件は前半220℃以下、後半180℃以下と考えられる。ヒノキは含有成分による煙の発生が激しいため、作業性の面から全期間を通じて180℃以下にすることが望ましい。ドライヤーの熱源を蒸気とすれば標準的な乾燥温度は170～180℃で、この時のジェット送風ネット式ドライヤーによる乾燥時間は、スギ辺材5～7分、心材4～5分、アカマツ辺材5～6分、ヒノキ辺材5分、心材3分である。また、ロール式ドライヤーでは乾燥時間はこの約1.5倍、ウィケット式では約5～6倍である。なお、単板の乾燥をネット式やウィケット式ドライヤーによる場合、単板の狂いの発生が大きいので、ロール式あるいは熱板式による仕上げ乾燥が望ましいことがわかった。

単板の裏割れにPVA（ポリビニールアルコール）水溶液を浸透させたときの補強効果を調べた。単板を処理して積層したLVLの曲げ強さは縦方向では差がないが、横方向では補強効果が認められた。

### (3) 単板の積層接着

ユリア、メラミン・ユリア共縮合、フェノールの3種の接着剤を用い、2mm厚さのスギ単板から3プライ合板をそれぞれ作製し、合板の日本農林規格に準じて常態および劣化促進処理を施した後、引張せん断強さにより接着力を求めた。常態接着力試験においてはいずれの接着剤も良好な接着力を示し、劣化促進接着力試験ではフェノール樹脂接着剤による接着性能は良好であったが、他の2種の接着剤による接着強さは日本農林規格の基準値（7kg/cm<sup>2</sup>）を下回る試験片が多く出現した。したがって、これらメラミン系、ユリア系などアミノ系の接着剤はスギ材の接着剤として不適当と思われる。また、原木の産地による差や辺材、心材による差は認められなかった。次に、アカマツについて3接着剤の適合性を調べたところ、フェノールでは良好、ユリア、メラミン・ユリア共縮合ではやや不良であったが、このうちメラミン・ユリア共縮合樹脂の接着性能は単板表面をブラッシングしたりタンニン充填剤を添加することにより向上した。

スギの3mmおよび5mmの単板を、4種の接着剤で高周波式連続積層接着装置により接着してLVL

を作成し、接着条件について検討を加えた。45mm厚さのLVLの所要高周波印加時間（高周波出力4.5kW）は、フェノール樹脂接着剤を用いると12分ユリアでは10分、レゾルシノールでは8分、水性ビニールウレタンでは6分であり、接着剤により接着時間が異なり、また心材単板の場合、10～20%少ない印加時間で接着できた。また接着剤の塗布量は約30g/900cm<sup>2</sup>が適切であった。また製作したLVLの接着力を常態ならびに煮沸繰り返し処理後に水平せん断（曲げ）試験を行い求めたが、その結果、水戸、大子、高萩の順に、また小、中、大の径級の順にそれぞれ単板の品質が低下しており、同時に水平せん断強さもこの順に低下していた。次に、アカマツの厚さ3mmおよび5mmの単板をユリアおよびフェノール接着剤を用いて、ホットプレスによる熱圧方式と高周波加熱による連続積層接着方式によって接着、LVLを作製し、接着条件について検討を加えた。熱圧方式によるLVLの製造実験において、熱圧後の厚さ減りは3.3～8.7%、平均6.1%、幅25cm当たりの幅ぞりの矢高は0.04～1.28mm、平均0.48mmで、3mm単板の方が5mm単板よりかなり大きい、接着力は熱圧時間の増加にともなって大きくなり、心材の接着力の方が辺材より大きい等の結果が得られた。また高周波加熱方式による製造実験では送りを零にして高周波を印加した場合、開圧時にLVLがパンクする頻度が極めて高く、その頻度は含水率が高いほど、また接着層が多いほど高くなることがわかった。

### (4) 製造システムの検討

合板およびLVLメーカー6社、ユーザー9社などを対象にして原木、加工技術、製品ならびに需要開発について聞き取りおよび実地調査を行い、材料指標141、加工指標142を整備し、これに基づいて国産針葉樹造林木に適するLVL製造システムの検討を行った。LVLの製造システムは多種多様な形態があり得るが、一例としてスギ間伐材を対象としたLVL工場を設計したところ、製造コストを7万円/m<sup>3</sup>以下に抑えるためには500m<sup>3</sup>/月以上の生産規模が必要であることがわかった。

## 2. 加工製品の性能評価と向上

### (1) 強度性能

スギLVLの静的曲げ試験の結果を製材品と比較

すると、LVLの曲げ強さ、ヤング率はともに変動が小さく均一化されていること、曲げ強さは製材品が大きい、ヤング率は同等か、積層数が多いものほど大きくなることを示した。また、原木の品質が悪いものほどLVLの曲げ強さ、ヤング率も低下し、また心材単板から製造したLVLの曲げ強さ、ヤング率は辺材単板から製造したものより小さく、原木の品質がLVLの強度に影響を及ぼすことが明らかであった。アカマツLVLの曲げ強さ、ヤング率はスギLVLに比べそれぞれ20%、35%大きく、ヒノキLVLと同等であった。また、アカマツLVLの曲げ性能は単板品質が低下すると低下し、単板品質の影響が認められた。LVLの破壊はバットジョイント部で生じるが、バットジョイントを階段状に配置することにより、2層おきに同じ位置に入れたものより曲げ強さが10~20%増加することが明らかになった。またスギの実大曲げクリープ試験を行い、製材と同等の長期許容応力度を付加したLVLのクリープたわみは1.8~6.1mmの範囲を示した。LVLの実大衝撃試験において、吸収エネルギーはスギ、アカマツ、ヒノキのいずれの樹種でも荷重方向が単板積層方向と直交したいわゆる平使いが、平行荷重の縦使いより大きい傾向が認められた。疲労試験では含水率の影響が著しいこと、10万回繰り返し荷重が作用しても破断しなかった試験体の残存耐力はほとんど低下していなかったが、ヤング率は約15%低下していることなどがわかった。これらの結果から、LVLを産業用資材として使用しても不利はなく、素材よりも変動が少ないことからむしろ有利であると判断された。

## (2) 寸法安定性・表面特性

製造直後のスギLVLのそり、厚さむら、ねじれなどを測定したが、製品の通直性はほぼ良好であり、特にねじれたものは少なかった。しかしアカマツLVLではねじれの大きいものが認められた。吸湿、脱湿に伴うLVLの膨張、収縮は素材では接線：半径の割合が10：5程度であるが、LVLでは幅：厚さの割合が10：8程度となり、場合によっては厚さ方向が幅方向より大きくなることもあり、LVLの横断面の異方性は素材より小さくなった。また吸脱湿にともなうLVLのそり量は著しく小さかった。硬さについては、スギLVLは素材に比べ板目面で若干劣っていた。アカマツLVLの硬さはスギLVL

の1.5倍と評価された。またスギLVLの耐摩耗性は積層面が板目面よりまさっていた。アカマツLVLの耐摩耗性はスギより20~30%高かった。

## (3) 接着耐久性

スギLVL、合板の使用する接着剤ごとの耐久性はユリア樹脂接着剤が最も劣り、フェノール樹脂接着剤が最も優れていた。また接着層のはく離は単板の欠陥部から生じることが明らかであった。

スギ単板を3種類の接着剤により製作した合板を屋外暴露し、接着耐久性を調べたが、3カ月経過した時点ではいずれの試験体も接着層のはく離は認められなかった。

スギLVLを接着劣化促進処理し、接着層のはく離状態を観察したが、水性ビニールウレタンおよびレゾルシノール接着剤を使用したLVLははく離が少なく、ユリア樹脂でははく離が多く、接着剤による差異がみられた。また、ホットプレスによる加熱方式で製造されたスギLVLについて劣化促進処理を施し耐久性を調べたが、全体的に良好な性能を示した。ただ、加熱時間の影響があり、加熱時間が短いものほどはく離が生じやすい傾向が認められた。アカマツLVLの接着はく離試験では製造条件の満たされている試料では満足すべき結果が得られた。また合板の場合と同様単板の欠陥部から接着層がはく離した。

## (4) 製品加工性

LVL表面を研削および切削仕上げ加工する際の研削量は1.4mm程度で厚さ規制ができた。また、LVLをフィンガー加工した場合、曲げ強さによって求めたジョイント有効率(コントロール材との比)はスギで76~91%、アカマツで62~77%であった。

LVLに釘打ちする時、釘打ちにともなう材の割れは釘を打つ位置が材の端および縁から近いものほど発生しやすかった。また、釘の引き抜き抵抗はLVLの板目面で素材と同等かそれ以上であることが認められた。しかし木口面では低く、また積層面は割れやすく粘りに欠けた。

## (5) 処理による性能向上

LVLを作製するとき、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤に油性のアミン系の防腐薬剤を混入すると、防腐効果が認められた。スギ3mm、5mm単板、アカマツ5mm単板の場合、1kg/m<sup>3</sup>の薬剤量で効果があった。また、防腐薬剤のうちAAC系および

塩化亜鉛についてはスギ LVL では十分な効果は得られなかった。接着剤への防腐剤混入にともなう接着力への影響は乳剤ではほとんど問題がないが、水溶性薬剤では接着力が低下した。また、加圧処理によって防腐剤を LVL に浸透させる際の薬剤注入量について調査したところ、注入面が全面、積層面、木口面の場合、薬剤注入量は日本農林規格の基準値を大きく上まわっていたが、板目面では基準値に達せず、この面からの薬剤注入は不適當であった。

LVL の塗装について、代表的な木材用塗料 4 種を検討した結果、ポリウレタン樹脂塗料が最適であると判断できたので、これを用いたところ、その寸法安定性は塗布量 300g/m<sup>2</sup> 程度で良好であった。また、LVL に PEG を含浸させてその効果を検討した結果、PEG の含浸量が 20% 程度であれば良好な寸法安定性が得られたが、このためには刷毛塗りでは不十分で、注入処理を必要とした。なおこれらの結果は実大窓枠材の試験でも同様に認められた。

合板の難燃化処理については 5 種類の薬剤を加圧注入し加熱試験を行った結果、各薬剤とも濃度が高くなるにしたがい防火性能が増すことがわかったが、広葉樹合板に比べ防火性能は劣る傾向がみられた。

## VII 今後の問題点

単板切削におけるスギ心材の切削不良、アカマツ LVL の狂いなど新たに生じた問題点、および曲げクリープ、接着耐久性に関する屋外ばくろ試験など長期を要する試験項目については経常研究に移して継続する。

## VIII 研究発表

- 1) 海老原徹：針葉樹 LVL の強度性能—スギ LVL の実大曲げ、引張試験—、第 36 回日本木材学会大会要旨集、86 (1986)
- 2) 藤井 毅、林 知行、唐沢仁志：針葉樹材による LVL 製造(1)スギの接着条件、第 35 回日本木材学会大会要旨集、148 (1985)
- 3) 林 知行、藤井 毅：針葉樹 LVL の動的特性(1)—スギおよびベイツガ LVL の疲労特性—、第 35 回日本木材学会大会要旨集、98 (1985)
- 4) 林 知行：針葉樹 LVL の動的特性(2)—スギ LVL の疲労特性に及ぼす諸因子の影響—、第 36 回日本木材学会大会要旨集、87 (1986)

- 5) 林 知行：針葉樹 LVL の動的特性(3) — 衝撃曲げ性能—、第 37 回日本木材学会大会要旨集、99 (1987)
- 6) 久田卓興：木質建材入門「針葉樹単板乾燥」(1)~(4)、日刊木材新聞(1984)
- 7) 久田卓興：熱ロール・マイクロ波等各種加熱方式による単板の乾燥、日本木材加工技術協会第 2 回年次大会講演要旨、13 (1984)
- 8) 星 通：ミニフィンガジョイントによるスギ LVL のジョイント性能、第 36 回日本木材学会大会要旨集、54 (1986)
- 9) 木口 実、川村二郎、今村浩人：針葉樹 LVL の PEG、塗装による寸法安定化、第 37 回日本木材学会大会要旨集、398 (1987)
- 10) 木下敝幸、高野 勉：針葉樹単板切削について木工機械、No. 129、5-9 (1985)
- 11) 村田光司、西村勝美、藤原勝敏：スギ中丸太の製材歩止り、第 36 回日本木材学会大会要旨集、52 (1986)
- 12) 高野 勉、木下敝幸：針葉樹材のロータリー単板切削(1)スギ材の単板切削、第 35 回日本木材学会大会要旨集、145 (1985)

## IX 研究担当者

### 第 1 章 加工技術の開発とシステム化

太田貞明<sup>○</sup>、西村勝美<sup>○</sup>、村田光司、木下敝幸<sup>○</sup>、高野勉、久田卓興<sup>○</sup>、千葉保人、川元紀雄<sup>○</sup>、唐沢仁志<sup>○</sup>、大黒昭夫、井上明生、小野擴邦、藤井 毅<sup>○</sup>、林知行

### 第 2 章 加工製品の性能評価と向上

海老原徹<sup>○</sup>、中井 孝<sup>○</sup>、林 知行<sup>○</sup>、藤井 毅<sup>○</sup>、葉石猛夫、斎藤壽義<sup>○</sup>、末吉修三、唐沢仁志<sup>○</sup>、大黒昭夫、井上明生、小野擴邦、星 通<sup>○</sup>、金谷紀行<sup>○</sup>、松岡昭四郎<sup>○</sup>、井上 衛、今村浩人<sup>○</sup>、川村二郎、木口実、上杉三郎<sup>○</sup>、福井康夫<sup>○</sup> (°は執筆)

## X とりまとめ責任者のあとがき

戦後植栽された針葉樹造林木は徐々にではあるが着々と生長し、今後の供給可能量は大幅に増大するものと考えられている。わが国における針葉樹材の利用は従来製材品に限られてきたが、外材との競合の中でこれらの国産針葉樹材の需要拡大を図るためには単板積層材(LVL)、合板などでの利用の拡大

が望まれる。しかしこれらの製造法や製品の品質など不明な点が多い。そこでスギ，アカマツ，ヒノキを対象に単板積層材への加工法と製品性能について総合的に検討を加えた。その結果，所期の成果が得られ，このような針葉樹材の新しい用途について技

術的な指針がほぼ整った。今後針葉樹材がこれらの分野にどれだけ需要が進むかは，今後の木材を取り巻く諸般の状況によるが，本研究がそれを進展させる出発点となるものと期待できる。

（中野 達夫）