

平成2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

技術開発推進事業報告書

集成材構造

スギ集成材の手引

平成3年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

集成材構造委員会の委員構成（平成2年度）

	氏 名	所 属
委員長	有馬 孝禮	東京大学農学部林産学科助教授
委員	太田 正光	東京大学農学部林産学科助教授
〃	中村 昇	東京大学農学部林産学科
〃	稲山 正弘	東京大学工学部建築学科
〃	安村 基	建築研究所第三研究部耐風研究室主任研究員
〃	神谷 文夫	森林総合研究所木材利用部構造性能研究室長
〃	林 知行	森林総合研究所木材利用部集成加工研究室主任研究官
〃	川元 紀雄	森林総合研究所木材利用部接合研究室
〃	丸山 則義	鹿島建設（株）技術研究所主任研究員
〃	田代 貞	川島建設合資会社
〃	伊東 洋路	セブン研工業（株）課長
〃	飯村 豊	三井木材工業（株）
協力委員	春川 真一	林野庁林産課住宅木材技術専門官
事務局	倉田 久敬	(財)日本住宅・木材技術センター 試験研究部長
〃	鷺海 四郎	(財)日本住宅・木材技術センター 主任研究員

本報告書作成にあたっては、委員会の委員以外の方々にも執筆をお願いしましたが、ここにその方々の御芳名を記し、謝意を表します。

氏名	所属	執筆分担
小松幸平氏	森林総合研究所	第1章、第2章 原稿資料提供
鈴木滋彦氏	静岡大学農学部	2. 3
今村祐嗣氏	京都大学木材研究所	2. 8
熊谷俊一氏	あいば建築設計(株)	6. 1
斉藤 廣氏	斉藤木材工業(株)	6. 2、6. 6
鹿妻昭夫氏	栃木県集成材協業組合	6. 3
田中 茂氏	奈良県集成材工業協同組合	6. 8
宮田香澄氏	銘建工業(株)	6. 9
坂井茂美氏	徳島県林業総合技術センター	6. 10
沢本勝司氏	(株)住浜	6. 11

スギ集成材の手引書の目次

第 1 章	序	1
1.1	はじめ	1
1.2	スギの種類と分布	2
1.3	スギの資源状況	5
1.4	スギの木材としての特徴	6
第 2 章	スギ材の性能	9
2.1	スギ実大材の強度特性	9
2.2	スギクリアー材の強度性能	11
2.3	スギの未成熟材	16
2.4	スギに関する強度等級区分	20
2.5	M O E vs M O R におけるスギの特異性	23
2.6	収集データから試算されたスギの許容応力度	24
2.7	スギの地域特性	25
2.8	スギ材の耐腐朽性、耐蟻性	27
第 3 章	スギ集成材の製造	36
3.1	スギラミナの特性	36
3.2	スギラミナの基準	42
3.3	スギ材の乾燥	44
3.5	縦つぎラミナ	52
3.6	ラミナの組合せ	57
3.7	スギラミナの接着性能	59
3.8	スギラミナと他樹種、他材料を組合せた集成材の製造	61
3.9	スギ丸太からラミナ、集成材の製造	65
第 4 章	スギ集成材の強度	69
4.1	曲げ性能	69
4.2	せん断強度	72

4.3	メリコミ強度	78
4.4	割裂強度	83
4.5	クリープ性能	86
4.6	許容応力度とヤング係数	98
第5章 スギ集成材の接合強度		102
5.1	ボルト接合	102
5.2	ドリフトピン接合	109
5.3	ラグスクリュー接合	118
5.4	圧入式ジベル接合	124
5.5	コネクター接合	132
5.6	接着剤による接合部の補強	151
第6章 スギ集成材を用いた建築物と設計事例		157
6.1	秋田県の事例・・・ウッディホールこだま研修施設	157
6.2	新潟県の事例・・・八幡小学校体育館	163
6.3	栃木県の事例・・・楡木小学校屋内運動場	168
6.4	静岡県の事例・・・天竜市立林業体育館	175
6.5	愛知県の事例・・・プカット工場、野外ステージ 県民の森催事場、製材工場	183
6.6	京都府の事例・・・宮島小学校校舎	199
6.7	和歌山県の事例・・・龍神村林業者健康増進センター	205
6.8	奈良県の事例・・・室生村農林トレーニングセンター プール管理棟	212
6.9	岡山県の事例・・・農業構造改善センター	220
6.10	徳島県の事例・・・塚原高原総合案内施設	226
6.11	高知県の事例・・・嶺北林材協同組合製材工場	232
6.12	スギ集成材の加工、施工上の検討	239
6.13	建築物の保守管理と防腐処理・塗装	240

第1章 序

1. 1 はじめに

スギは、日本における代表的な造林木であり、その研究も古くより行われており、育成や材質に関する林業関係の報告はきわめて多岐にわたっている。わが国でスギが植林された理由には、気象、地形条件からくる成長の良さなどの供給する林業側と材質として素直で、それに適した明確な用途があるという利用する側の予測される受け皿があった。

そのため、その使い方や取り扱い方は一定のルールの中で、材質の良さを求め、製材木取り等も最大の価値を生むような工夫がなされてきた。特に在来構法を対象とした建築用材では、化粧等級と適切な木取りが木材の価値を定めていた。建築用材として、在来構法部材を対象としたときにスギは、化粧価値を増すための林木の生育とその材質がむしろ課題の中心で、新たな開発研究という色彩は少なかったし、強度等級区分とか、建築構造材料としての加工などの課題は成立し難かった。しかしながら、外国産とくに北米針葉樹の大量供給による量と質のまとも、価格競争などから建築資材として、また、合板に代表される木質材料あるいは無機質材料に製材板が取って替わられる場面がみられるようになった。スギの用途に関する試みが大きく捉えられるようになってきた。スギの需要拡大のための試みは間伐材からはじまり、中目材などに展開してきているが、現在スギ全般の問題として取り上げられねばならない状況にある。

スギ集成材構造については、農業用建築物、大規模建造物などは行政的な配慮をバックに技術的な蓄積が行われた。しかしながら、既存の木材工業がある一定以上の量産を前提とした原料木材の中の一つとしてスギをみたとき、あるいは一般の市場という面からみると心許ない状況にあると指摘されることも多い。設計、技術の改良、改善だけの問題ではなく、さらに集荷、流通、情報を含めた体系化あるいは新たな構築が要求されている。

したがって、スギという特殊な樹種を対象にするハードな実験研究と並んで、それを取り巻くソフトなコンセプトづくりが必要となってきたといえよう。すなわち、外国産材との競争、木造率の低下、在来構法の危機感が、伐期を迎える国産材の需要拡大、林業や地域の活性化への動きをあおり、更に地球環境での環境保護、保全における造林木の代表であるスギやカラマツ等の役割などに関する研究が今後必要になってくるであろう。それらを意識して、既存のデータをもとにスギによる集成材構造をマニュアル的に整理整備しておくことが、極めて重要と考えられる。後に述べるようにスギは加工の上からみると幾つかの課題を持っている。そして、技術的な解決や改良に向けて多くの努力がなされていること

は、本書をみていただければ十分ご理解いただけるであろうが、同時に必ずしもそこに問題があるわけではないという面も理解できるであろう。

この手引書は、スギ集成材およびスギに関する現時点での情報を若干の実験を踏まえながらまとめたもので、まだ不十分な点が多々あるが、今後の国産材需要のための1つのステップとして、この手引書を活用していただきたい。なお、最後に、本報告書を執筆された委員諸氏ならびに第6章にご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。

1・2 スギの種類と分布

スギの分布は、天然林を主体に見れば北は青森県から南は屋久島まで及んでいる²⁾。しかし、個々の分布が真に天然林であるか否かについては、それだけで1冊の学術書ができるほど議論百出のところであり、現在では、天然のものと人工的なものとの区別がかなり曖昧となっているようである²⁾。

日本のスギを語る場合、「何々スギ」というように、地域に根ざした特有の品種名を頭につけてスギの分布や、地域特性を論ずることが多い。育種学の定義によれば、スギには現在二通りの「品種」が認められている²⁾。

一つは、地域性品種と呼ばれ、「その地域の気候条件や土地条件による自然淘汰作用によって天然に成立したもので、(中略)、共通の遺伝的特性を有している....」と説明されている²⁾。地域性品種で呼ばれている。比較的有名なスギとしては、秋田スギ(秋田県)、熊スギ(長野県)、立山スギ(富山県)、吉野スギ(奈良、三重、和歌山県)、魚梁瀬(ヤナセ)スギ(高知県)、屋久スギ(鹿児島県)等がある。

もう一つは、栽培品種(人為品種)と呼ばれるもので、「人間の干渉、すなわち育成林業の結果として成立した品種で、(中略)、複数個体あるいは、単一個体から挿し木によって増殖した分生個体群....」と説明されている²⁾。栽培品種で最近よく名前のがるスギとしては、ボカスギ(富山県)、白スギ(俗に北山スギ:京都市)綾スギ(福岡県)、ヤブクグリ(大分県、熊本県)、オビアカ(俗に(勅)肥スギ:宮崎県)等がある。

地 域 性 品 種

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 1. アジガサワスギ(鱒ガ沢杉) | 13. ハンバラスギ(半原杉) |
| 2. オオシュクスギ(鶯宿杉) | 14. イトシロスギ(石徹白杉) |
| 3. アキタスギ(秋田杉) | 15. ムマイスギ(六厩杉) |
| 4. トウドウスギ(桃洞杉) | 16. アシュウスギ(芦生杉) |
| 5. チョウカイムラスギ(鳥海群杉) | 17. シソウスギ(宍粟杉) |
| 6. ヤマノウチスギ(山の内杉) | 18. オキノヤマスギ(沖の山杉) |
| 7. マキノサキスギ(牧の崎杉) | 19. エンドウスギ(遠藤杉) |
| 8. ホンナスギ(本名杉) | 20. ハチロウスギ(八郎杉) |
| 9. ムラスギ(群杉) | 21. ヨシノスギ(吉野杉) |
| 10. クマスギ(熊杉) | 22. ヤナセスギ(魚梁瀬杉) |
| 11. タテヤマスギ(立山杉) | 23. ヤクスギ(屋久杉) |
| 12. ハクサンスギ(白山杉) | |

栽培品種 (○印)

- | | |
|---------------------|---------------------|
| (1) サンプスギ (山武杉) | (16) イトシロスギ (石徹白杉) |
| (2) 福田孫多のクローン品種 | (17) ニュウカワスギ (丹生川杉) |
| (3) ムラスギ (群杉) | (18) タネスギ (田根杉) |
| (4) クマスギ (熊杉) | (19) シロスギ (白杉) |
| (5) ボカスギ | (20) シバハラ (芝原) |
| (6) リュウワスギ (了輪杉) | (21) トミススギ (富栖杉) |
| (7) ベッシュスギ (別所杉) | (22) オキノヤマスギ (沖の山杉) |
| (8) マスヤマスギ (増山杉) | (23) エンドウスギ (遠藤杉) |
| (9) カワイダニスギ (河合谷杉) | (24) タナミスギ (田浪杉) |
| (10) カネミダニスギ (金見谷杉) | (25) ハチロウスギ (八郎杉) |
| (11) タテイシスギ (立石杉) | (26) イチキスギ (市木杉) |
| (12) ミズミスギ (水海杉) | (27) オキスギ (隠岐杉) |
| (13) ヘコサンスギ (部子山杉) | (28) アヤスギ |
| (14) ハッタスギ (八田杉) | (29) ホンスギ |
| (15) イチナミスギ (市波杉) | (30) ヤブクグリ |
| | (31) メアサ |

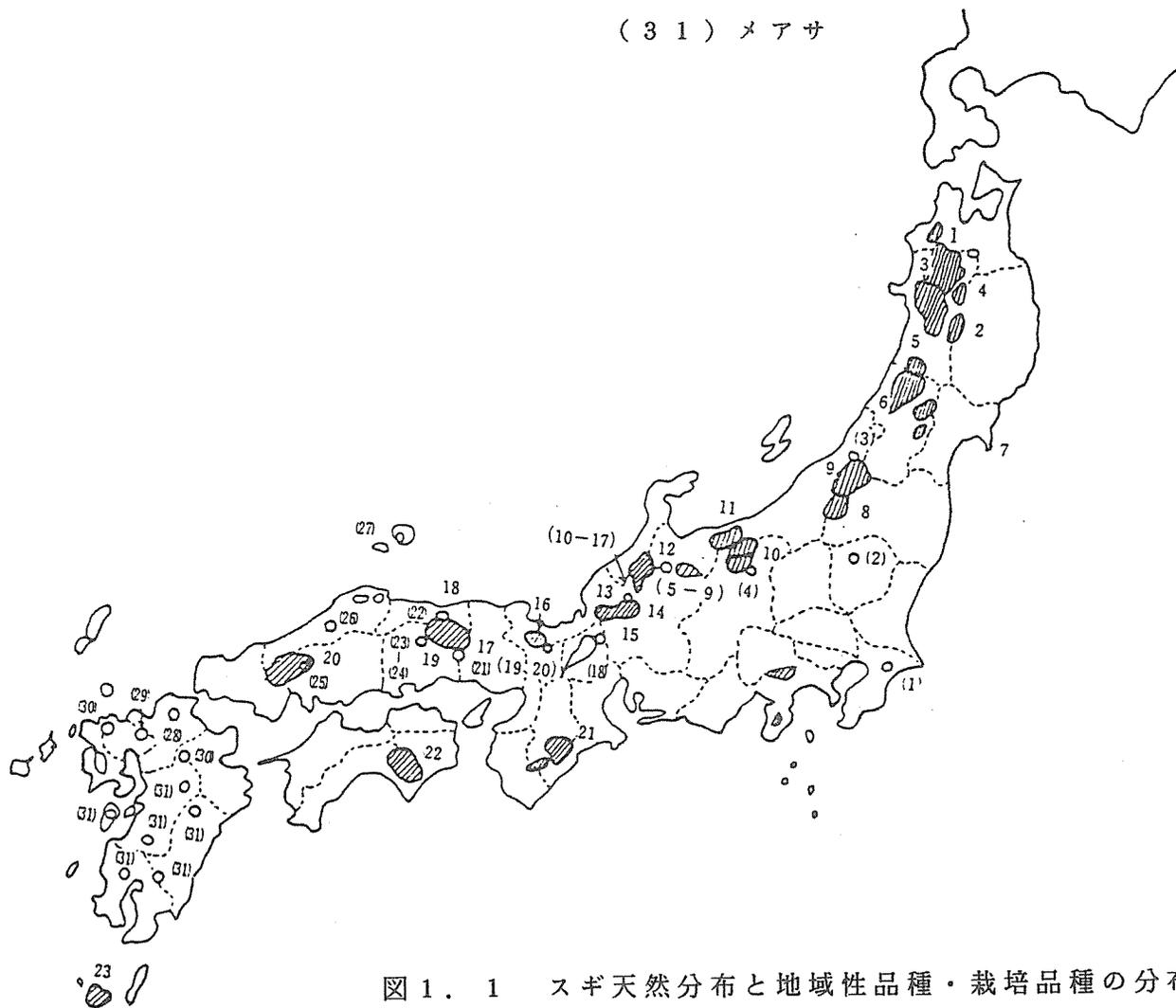


図1. 1 スギ天然分布と地域性品種・栽培品種の分布²⁾

1. 3 スギの資源状況

図1. 2²⁾は、日本のスギの天然分布と地域性品種・栽培品種の分布を示す。現在、スギの天然林自然保護の面から保存すべき貴重な存在であり³⁾、資源として期待できるのは人工植栽されたスギである。スギ人工林の蓄積は昭和61年度の時点で、約7億9千万m³で、そこから年間約780万m³程度（全蓄積量の約1%強）の素材が生産されている^{4)、5)、6)}。この数字は国産針葉樹生産量（約2000万m³）の40%を占め、樹種別素材生産量としてはトップである^{4)、6)}。

しかし、蓄積量の齢級別分布を見ると、表1. 3のように5～7齢級（25年生～35年生）の比較的若いスギが蓄積の中心を占めている。これらの若いスギから生産される丸太は直径30cm以下の中丸太が多く、用途、価格、品質等の面でベイツガを中心とした北米針葉樹材と競合することになる⁷⁾。このためスギ中丸太を生産主体としている林業地は、現在苦しい戦いを余儀なくされている⁷⁾。

表1. 3 スギ人工林の齢級別蓄積量（昭和61年現在）

(1986.3.31現在)

齢級	樹齡(年)	面積(百ha)	蓄積(千m ³)
1	～5	2,131	78
2	6～10	3,332	1,744
3	11～15	4,651	23,239
4	16～20	7,004	70,263
5	21～25	7,865	125,360
6	26～30	7,477	159,937
7	31～35	4,970	129,859
8	36～40	1,949	60,440
9	41～45	1,358	47,561
10	46～50	1,109	41,434
11	51～55	905	35,241
12	56～60	693	28,676
13	61～65	549	23,838
14	66～70	381	17,372
15	71～	716	33,788
計		45,091	798,830

林野庁監修「日本の森林資源」をもとに作表

1. 4 スギの木材としての特徴

スギの一般的な特徴として、樹幹が極めて通直、かつ完満（上下の太さの差が少ない）で、枝が自然に枯れ落ちる性質が強く枝下が長いため、木材として利用できる有効部分が大きく、極めて利用しやすい木材だと言われている^{2)・3)}。

スギは日本を代表する樹種であるため、スギの材質に関する研究は極めて数多い。既往の研究^{8)・14)}では、スギの年輪幅、晩材率、容積密度数、成熟材・未成熟材、樹冠材・枝下材、マイクロフィブリル傾角、仮道（導）管長等の材質特性の樹幹内分布、並びに、それらの地域、品種別の差異、特異性についての非常に詳細な調査結果が報告されている。スギの強度性能に関する報告も数多い。しかし、大部分は強度性能を数ある材質特性の1つとして調べたという立場に立っており、材質の樹幹内分布から実大材の強度を推定しようとした研究例は、全く皆無であると言えよう。

このような状況の中で、最近発表された中谷らの報告¹⁵⁾では、スギ（ボカスギ）の樹幹内ヤング係数の分布（1cm×1cm×16cmの無欠点小試験体の3点曲げ試験で得られた値）を基に、丸太のヤング係数の樹高方向の分布が計算されている。樹幹内のヤング係数の分布を図1. 4-1に、また樹幹内での曲げ強度の分布を図1. 4-2に示す。

図1. 4-1から、供試したスギの場合、樹高が高くなる程、少ない年数でヤング係数は一定の高い値（成熟材のヤング係数）に達する傾向が明白である。また、図1. 4-2から、無欠点部分の曲げ強さは樹高が高くなるにつれて、一定の高い値（恐らく成熟材の値）に近づく傾向を示している。

図1. 4-3は、図1. 4-1の年輪数とヤング係数の相関を基に、樹幹のヤング係数（丸太のヤング係数）を力学的な計算によって求めた結果である。図1. 4-3における、25年生の場合を見ると、丸太のヤング係数は、根元及び梢端部で低く、その中間で安定した値をとる傾向が示されている。

これらの結果は富山県のボカスギにおける限られたサンプルについての結果であるため、一般論を展開することは危険であるが、いわゆる1番玉と、末木から採れる心持ち材の強度性能は低く、2番玉、3番玉辺りから採れる製材は安定しているという製材に関する世間の風評を大体裏付ける結果が示されており、非常に興味深い。

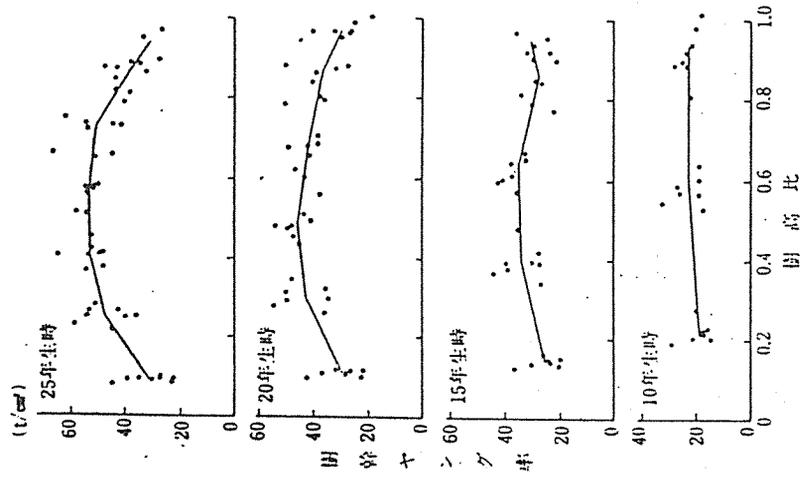


図 1. 4 - 3 ヤング係数 (丸太の E) の高さ方向分布⁵⁾

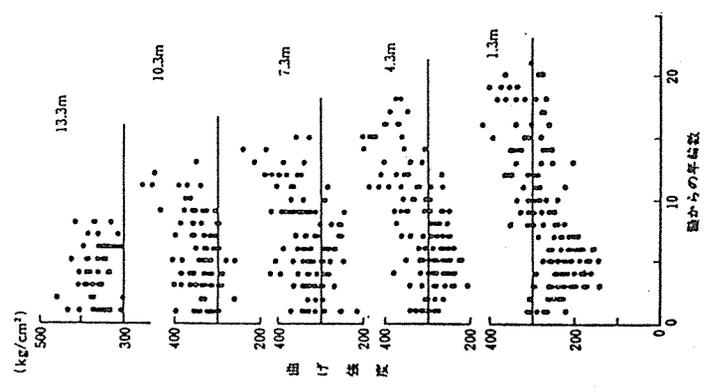


図 1. 4 - 2 曲げ強度の樹幹内分布⁵⁾

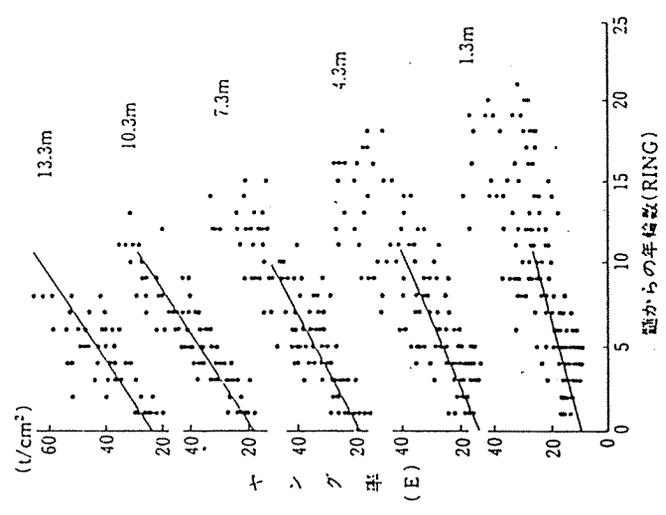


図 1. 4 - 1 樹幹内におけるヤング係数の分布⁵⁾

第1章文献

- 1) 満久崇麿：“木のはなし”、思文閣出版、1983.
- 2) 坂口勝美（監修）：“新版スギのすべて”、全国林業改良普及協会、1983.
- 3) 平井信二：“木の事典”、第一集、6、かなえ書房、1980.
- 4) 林野庁計画課・経営企画課：森林資源現況、昭和61年2月
- 5) 林野庁監修：木材需給と木材工業の現況、昭和62年版
- 6) 農林水産省統計情報部：昭和61年木材需給報告書、昭和62年12月
- 7) 西村勝美：私信
- 8) 平井信二：“林木の重量生長に関する研究(第3報) 茨城県大子産スギ”、東大演習林報告、39、219-234、1951.
- 9) 平井信二：“同上(第4報) 千葉県演習林産スギ”、東大演習林報告、45、203-220、1953.
- 10) 矢沢亀吉、深沢和三：“中部地方における人工植栽スギ材の生長状況と理学的性質との関係、(第3報) 容積密度数、生材比重及び絶乾比重について”、岐阜大学農学部研究報告、8、75-83、1957.
- 11) 加納 孟、枝松信之、蕪木自輔：“製材用原木としてのスギ造林木の品質(第1報) 釜淵産材の節”、林業試験場研究報告、第112号、49-114、1959.
- 12) 深沢和三：“スギ樹幹ないの材質変動に関する研究-産地を異にする林木樹幹の未成熟材などの区分とその材質特徴-”、岐阜大農研報、25、47-128、1967.
- 13) 渡辺治人、堤 紬一、小島敬吾：“未成熟材に関する研究(第1報) スギ樹幹についての実験”、木材学会誌、9(6)、225-230、1963.
- 14) 渡辺治人、堤 紬一、松本 偕、太田貞明：“未成熟材に関する研究(第2報) スギ樹幹内の比圧縮強度と比圧縮ヤグ率の分布”、木材学会誌、10(4)、125-130、1964.
- 15) 中谷 浩、嘉戸昭夫、長谷川益夫、相浦英春、飯島泰男：“林木の冠雪害に関する樹木力学的研究(第3報) 強度的性質の樹幹内分布”、富山県林業技術センター研究報告、第1号、25-33、1988.

第2章 スギ材の性能

2.1 スギ実大材の強度特性

日本木材学会の木材強度・木質構造研究会では、1987年度の研究会活動の一環として、全国の21研究機関で実験された実大木材の強度データを取りまとめ、「構造用木材－強度データの収集と分析」と題して資料集¹⁾を発行した。

その中で収録されたデータは主に曲げ試験のデータで、その数は在来木造用の柱材を中心として総数4548体に上り、その内、スギが2287体と約半数を占めた。これは、上述したように、現在日本の林業がスギを中心に動いていることを反映したものである。

資料集¹⁾のデータに関しては、①実験の目的が各研究機関で異なっている、②サンプリングの方法が一定でない、③試験体数がまちまちである、④樹種が偏っている、⑤試験方法が一様でない等の問題点が指摘されている。

しかし、少なくともスギに関しては、データ数、網羅されている地域数等からみて、現在の日本のスギの強度特性を論ずるのに、現状では他に類を見ない資料であろうと判断される。

表2.1は、スギに関する曲げ破壊係数MORと各種因子の統計量の資料¹⁾である。資料は梁せい(H)により整理されており、H1; $H \leq 85\text{mm}$ 、H2; $85\text{mm} < H \leq 135\text{mm}$ 、H3; $H > 135\text{mm}$ に区分している。

表 2. 1 スギ実大材の曲げ強度データのまとめ¹⁾

梁せいによる材種	H 1			H 2			H 3		
	n	Mean	CV	n	Mean	CV	n	Mean	CV
材幅 B(mm)	936	68.8	16.5	1163	102.7	8.3	188	118.5	3.9
梁せい H(mm)	936	66.2	16.4	1163	103.7	10.5	188	240.0	19.2
含水率 MC(%)	936	18.9	101.4	1163	21.3	12.2	188	30.7	65.8
比重 γ_{15}	827	0.410	9.8	1163	0.406	11.8	188	0.424	8.2
平均年輪幅 ARW(mm)	740	5.01	34.0	1090	4.96	34.6	188	3.43	27.9
繊維走行の傾斜 GRN(mm/m)	0			488	18.8	77.9	0		
最大節径比 K_{max} (%)	393	18.2	55.7	845	22.2	26.6	0		
最大集中節径比 C_{max} (%)	384	37.0	43.2	906	37.0	31.7	0		
曲げヤング係数 MOE(tonf/cm ²)	936	59.2	32.4	1163	70.3	31.4	188	82.5	21.9
曲げ比例限度応力 S_e (Kgf/cm ²)	676	247.5	31.8	974	240.6	26.9	188	275.6	23.7
曲げ破壊係数 MOR(Kgf/cm ²)	936	416.1	21.5	1163	409.6	21.4	188	380.9	19.0

n : データ数、 Mean : 平均値、 CV : 変動係数

2. 2 スギクリアー材の強度性能

2. 2. 1 生産と利用の狭間にて

通直で材積の大きなスギの育成を目的として、優れた遺伝特性を有する品種の選抜育種や施業方法が検討されてきた結果として、形状や形態に関する調査研究は多いが、材質評価まで含めた林業側からの資料は非常に乏しい。一方、林産学の分野でも、実験室に到着した材料を研究のスタートとする場合が多く、それ以前の品種、産地、施業などに関する資料は不明な場合が多い。

最近では、林学と林産学あるいは生産と利用の間の学術的な間隙をうめるため、品種ごとの木材の性質を把握して材質評価を行うことを目的とした研究例も増えつつある。今後は、利用を目的とした強度的な性質と育林に関する諸因子との関連を分析し、その結果が林業に反映されることが望まれる。品種間、個体間、個体内、施業等の因子を評価するためには、広範囲に亘る無欠点小試験体のデータと分析が必要である。スギ材の利用のための調査研究では、生産と利用の橋渡しが小試験体の資料に課せられた役割の一つとなろう。

2. 2. 2 品種等に関する研究事例

周知のごとく、スギは多数の品種(と呼ばれるもの)が存在し、品種間で強度のバラツキは大きく、その特徴も多様である。佐々木ら(1)は36品種、小野ら(54)は17品種の曲げを、森田(58)は9品種の圧縮試験を行い、品種による強度の違いを明らかにしているが、同一条件下で多品種を試験した例は多くない。小田ら(39)は12品種の圧縮試験結果と晩材率、晩材仮道管長、比重の関連を詳細に検討し、スギ材を合理的に利用するためには品種特性を考慮したグループ分けが必要であることを説いている。

強度は生育地域や施行方法等の影響も受ける。古賀ら(40)は植栽地域を異にする4品種の分析から、生育地間で密度や圧縮強さに違いが認められる品種と、差異が認められない品種が存在することを明らかにした。このことは、品種によって生育地の環境因子の影響

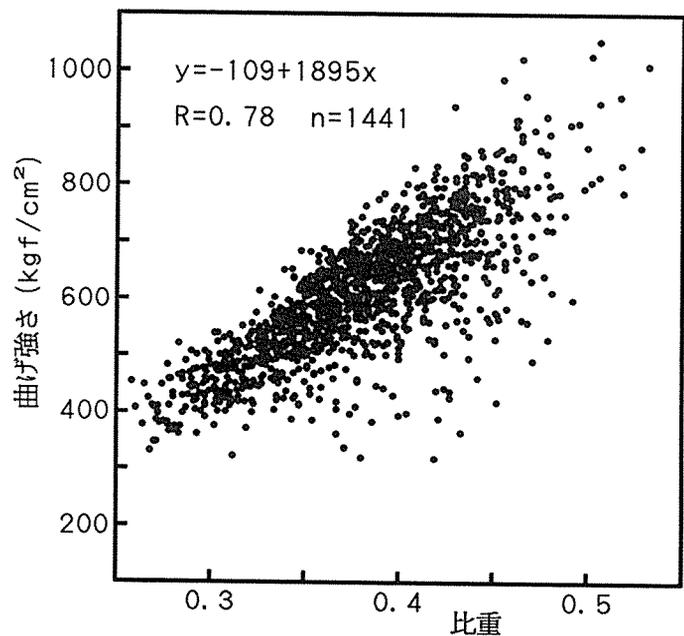


図1 静岡県産スギ精英樹小試験体の曲げ強さと比重の関係

を受けやすい品種と受けにくい品種が有ることを示唆するものであり、同時に、スギの強度を評価分類する作業の複雑さを示すものである。施業と強度との関連を取り扱った文献は極めて少ない(24, 29, 57)。この種の研究は、様々な要因の中から施業のみの効果を分別することが困難であり、結果を一般化するまでには至っていない。

スギの強度と各種因子について要約すると、品種と強度との個別資料はある、地域特性は分析できていない、施業との関連は資料が無い、となる。

2. 2. 3 材質評価の指標の検討

スギの材質は、遺伝的な特徴に加え環境の影響も受け、また環境の影響は品種により異なる可能性があるなど複雑である。スギ全体を評価するためになんらかの指標を選び出すことも必要となる。材質指標の候補としては、比重、晩材率、仮道管長、年輪幅、樹齢、マイクロフィブリル傾角などが挙げられる。

曲げ強さ(Fb)と比重(SG)の関係については、多品種の資料に基づく場合は相関が認められている。樹齢17年の静岡県産精英樹8種の曲げ試験結果を図1に示す。同一品種内で0.31~0.48と比較的広い比重範囲でも相関が認められない例(56)もあるが、多くの場合、同一品種あるいは同一個体内の場合でも、FbとSGとの間には相関が有ると判定されている。

曲げヤング係数(Eb, MOE)とSGについては、相関係数(R)が0.9以上の品種から、ほとんど無相関のものまで多様である。比重がEbの指標となり得るかどうか疑問が残る。Ebとマイクロフィブリル傾角との関連(35)、晩材仮道管長との関連(57)が検討されている。また、曲げ試験では、品種固有の特徴が荷重-たわみ曲線に表われ(1, 35)、これによりグループ分けができるとしている。

圧縮試験により品種その他の因子の影響を検討した例が多い。圧縮強さ(Fc)も品種によっては比重との相関の低いものもあるが(48)、一般には比較的高い相関関係が認められ、晩材率とも相関関係を有すると報告されている(38)。一方、圧縮ヤング係数(Ec)では、SGとの間の相関は低いとする報告が多いが、仮道管長、マイクロフィブリル傾角(36, 38)

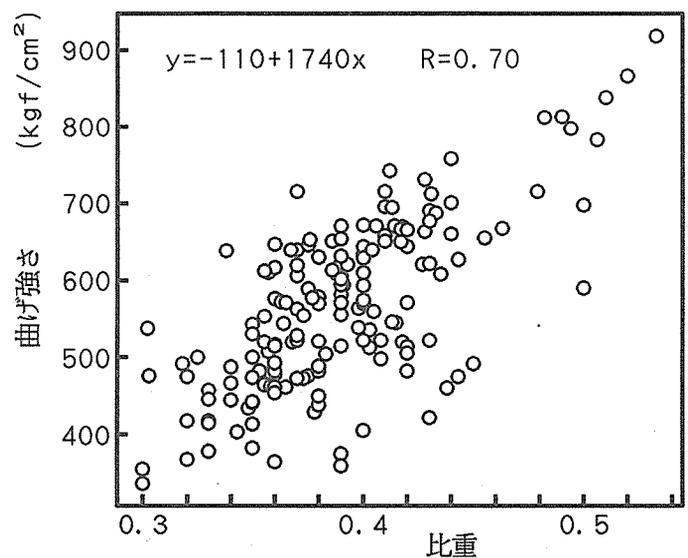


図2 スギ無欠点小試験体の曲げ強さと比重の関係

が寄与する。また比重と晩材仮道管長との間には負の相関(52)が認められている。この他、せん断強さ(Fs)と比重の間に相関が認められている(1,48など)。

2. 2. 4 無欠点小試験体による試験結果の集積結果

スギ無欠点小試験体を用いた強度に関するデータを、公表された論文、資料、報告書などから収集した。収録基準としては、JISに定められた寸法と同等またはそれ以下の寸法とした。含水率は概ね気乾状態のものとし、生材、高含水率材は除いた。「気乾の無欠点小試験体のデータの掲載されている資料」という基準のもとに収録した論文・報告は57編あり、約233のテストグループのデータが確認された(未確認の資料もあるものと思われる)。品種名が明示されていたものが177グループ約60品種あり、品種名不明のものが約56グループであった。各文献中、同一品種と思われる試験体群をテストグループと呼ぶこととする。この中には、同一個体から500以上の試験を行った例もあれば、数個のものもあり、供試丸太数、試験片数の不明なものもある。試験条件にも差異があるが、一つのグループとして処理している。

収集した資料の概要を表1に示すこれは、一つのテストグループの平均値を一つのデータとして纏めたものであり、nはその数を示している。したがってnは、重複を認めた品種の数に対応するものと考えてよいであろう。例えば、曲げ強さ(Fb)では、188グループの資料が得られ、グループの平均値が377kgf/cm²のものが最小で、また965を平均値とするグループが存在したことを示している。表中に、グループ間平均値と試験片数を考慮した重みつき平均

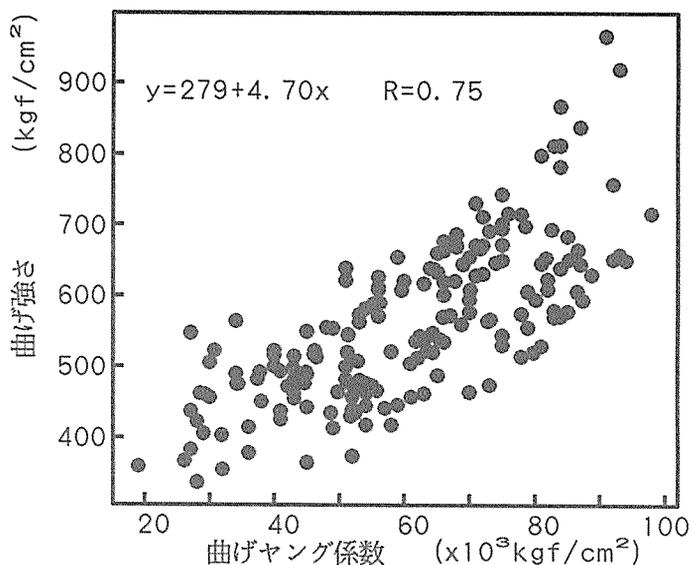


図3 スギ小試験体の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

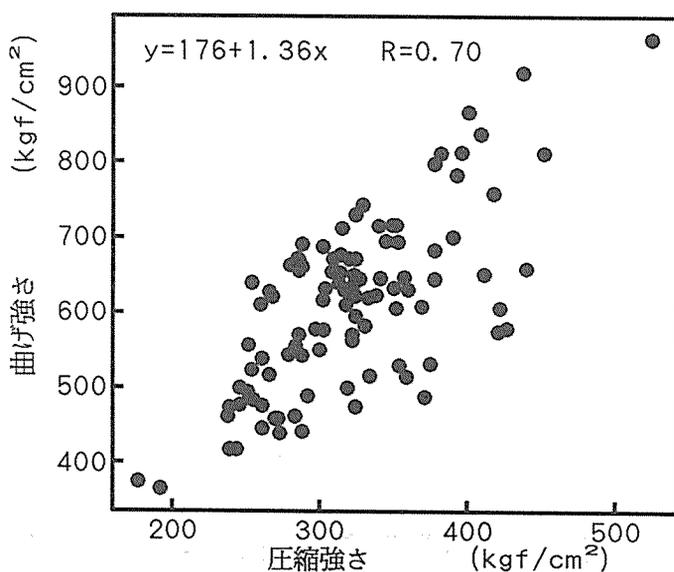


図4 スギ小試験体の圧縮強さと曲げ強さの関係

表1 公表された資料によるスギ無欠点小試験体の材質

	最小値	最大値	平均値	n	重み平均	N
曲げ強さ (Fb)*	337	965	565	188	579	6835
圧縮強さ (Fc)*	117	525	318	141	310	4438
せん断強さ (Fs)*	52	138	79	69	88	2631
曲げヤング係数 (Eb)**	19	98	61	189	67	6150
圧縮ヤング係数 (Ec)**	31	100	68	33	81	307
比重	0.290	0.533	0.386	209	*:kgf/cm ²	
平均年輪幅(mm)	0.40	7.60	3.73	105	**: $\times 10^3$ kgf/cm ²	
(晩材)仮道管長(mm)	1.40	3.55	2.37	48	n:テストグループ数	
晩材率(%)	6.9	29.3	15.8	38	N:推定試験片数	
樹齡(年)	10	570	35	201		
胸高直径(cm)	9	180	23	130		
樹高(m)	6	35	16	99		

値を示した。
試験片数が不明のものは5ヶとして推定試験片数Nを求めた。比重の全平均値は0.368となり従来からの代表値とはほぼ等

しくなっている。

既報の文献から得られた、比重-曲げ強さ、曲げヤング係数-曲げ強さ、圧縮強さ-曲げ強さの関係を図2~図4に示した。これらは、約60余の品種を含むテストグループの、各平均値を1点として表わしたものである。品種、地域特性を包含した、日本のスギ材の概略値およびその分布を知る上では有効であると考えられる。

次に、強度に対する材質指標として、比重、平均年輪幅、(晩材)仮道管長、晩材率をとりあげ、強度値との相関を求めた(表2)。比重との相関については、試験片個数を考慮した値も併せて記した。既往の研究で得られている結果をほぼ裏付ける値が得られた。Ebでは、同一個体、または同一品種内で試験した場合、比重と高い相関を示す例が見られるが、スギ全体を考えた場合には両者の相関は低いと考えるのが妥当であろう。また、圧縮ヤング係数(Ec)については、比重との相関は無いと結論することができる。その他、この表からは以下のことを読み取ることができる。比重との相関では、Fbの方がFcよりもやや高いと言えよう。年輪幅

表2 各種強度値と基本的材質指標との相関係数

	Fb	Fc	Fs	Eb	Ec
比重	169 0.70 *0.83	136 0.60 *0.74	69 0.78 *0.77	170 0.36 *0.36	32 -0.03 ---
平均年輪幅	79 -0.46	89 -0.53	8 -0.30	78 -0.54	21 -0.66
仮道管長	20 0.60	31 0.10	---	22 0.77	30 0.82
晩材率	15 0.32	34 0.58	---	17 0.38	28 -0.06

註：上段の数値は相関を求めたテストグループ数
*：試験片個数を考慮した場合の相関係数

はいずれの強度的性質に対しても負の相関が認められるが、強度の指標として用いることは困難であろう。仮道管長はヤング係数に影響を及ぼす因子であることがうかがえ、特に、Ecについては、高い相関が得られている。

2. 2. 5 引用文献

- 1) 佐々木 光、他：木材研究・資料、No.17,192-205(1983).
- 2) 則元 京、他：ibid, No.18, 93-102(1983).
- 3) 小黒正次：昭和60年度群馬工試年報、p153-(1985).
- 4) 石森英次、他：福井県総合グリーンセンター昭和53年度業務報告、p83-95(1978).
- 5) 錦織 勇、他：島根林技研報、38, 41-49(1987).
- 6) 錦織 勇、他：ibid, 36, 9-17(1985).
- 7) 東野 正、他：日林東北支誌、39, 308-309(1987).
- 8) 東野 正、他：ibid, 40, 285-286(1988).
- 9) 東野 正、他：岩手林試報告第20号(昭和63年9月)、23-31(1988).
- 10) 市原俊充、他：徳島県林業総合技術センター研究報告、19, 51-63(1981).
- 11) 山本雅彦：ibid, 20, 108-119(1982).
- 12) 山本雅彦：ibid, 21, 77-91(1983).
- 13) 吉村武志：ibid, 26, 11-30(1988).
- 14) 吉野安里、他：長野県林総研究報告第4号、36-48(1988).
- 14') 吉野安里：37回日林中支論1989, 159-162(1989).
- 15) 森田慎一、他：鹿児島林試業務報告第29号、29-31, (1980).
- 16) 江口 篤、他：奈良林試研報、14, 40-48(1984).
- 17) 江口 篤：奈良林試**、17-21(198*).
- 18) 江口 篤：奈良林試木材加工資料、15, 10-15(1986).
- 19) 見尾貞治、他：九大演報、55, 187-198(1985).
- 20) 中谷 浩、他：富林技研報、1, 25-33(1988).
- 21) 飯島泰男：木材と技術、65, 1-11(1986).
- 22) 武田和正、他：ibid, 46, 13-16(1981).
- 23) 天野良一、他：ibid, 54, 7-10(1983).
- 24) 石垣和夫：山形林試報告、12, 1-26(1981).
- 25) 石垣和夫、他：ibid, 14, 1-14(1985).
- 26) 野橋健三、他：静岡工試報告、25, 1-6(1981).
- 27) 遠矢良太郎：鹿児島木材工試昭和57年度業務報告、32-35(1982).
- 28) 遠矢良太郎、他：日林九州支研究論文集、32, 367-368(1979).
- 29) 遠矢良太郎：ibid, 33, 339-340(1980).
- 30) 遠矢良太郎、他：鹿児島工技センター昭和63年度研究成果発表予稿集、17-18(1989).
- 31) 遠矢良太郎：鹿児島木材工試昭和55年度業務報告書、31-39(1980).
- 32a) 中井 孝、他：林試報、319, 13-46(1982).
- 33) 渋谷昌資、他：愛媛大演報、25, 149-158(1987).
- 34) 渋谷昌資、他：ibid, 24, 61-70(1986).
- 35) 藤崎謙次郎：ibid, 23, 47-58(1985).
- 36) 藤崎謙次郎：ibid, 11, 11-19(1974).
- 37) 小田一幸、他：九大演報、60, 69-80(1989).
- 38) 小田一幸、他：ibid, 58, 109-122(1988).
- 39) 小田一幸、他：ibid, 62, 115-126(1990).
- 40) 古賀信也、他：ibid, 62, 101-113(1990).
- 41) 徳田迪夫、他：三重大農演林報、16, 84-94(1988).
- 42) 今村祐嗣、他：奈良林試研報、6, 73-79(1975).
- 43) 伊藤隆夫、他：木材研究、15, 45-60(1980).
- 44) 斉藤 勉、他：木材と技術、23, 7-10(1975).
- 45) 斉藤 勉：ibid, 21, 16-18(1975).
- 46) 斉藤 勉、他：ibid, 18, 5-9(1974).
- 47) 鷺岡 雅、他：ibid, 11, 13-15(1972).
- 48) 藤田晋輔：鹿大農演報、16, 1-11(1987).
- 49) 藤田晋輔：ibid, 16, 13-14(1988).
- 50) 丸山則義、他：静大農演林報、7, 39-44(1983).
- 51) 農林水産技術会議事務局研究成果111, 10-33(1978).
- 52) 堤 壽一、他：材料、38, 14-20(1989).
- 53) Anonymous「構造用製材の強度等級区分に関する研究」、196-218.
- 54) 小野和雄、他：大分県立日田林工高校林産工学科研究論文、1-10(1983).
- 55) 藤田晋輔、他：鹿大農演報、13, 123-133(1984).
- 56) 藤田晋輔、他：ibid, 12, 57-66(1984).
- 57) 藤原新二、他：高知大農演林報、14, 39-48(1987).
- 58) 森田慎一：鹿児島木材工試昭和56年度業務報告書、26-32(1981).
- 59) 鈴木滋彦、他：未発表

2.3 スギの未成熟材

2.3.1 未成熟材とは

樹木の一生は未成熟期、成熟期（青年期、熟年期）、過熟期に分けられる。未成熟期は比較的短い期間であり、スギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツ等の針葉樹では樹幹の中心部に近い10年輪から15年輪位の範囲に形成されている木材部で、樹幹のどこにでも形成されている。¹⁾ 植栽木では樹心から約10～15年、天然木では樹心から約20～30年の範囲が、いわゆる未成熟材の材部にあたり、樹齡的には必ずしも一致していないが、樹心からの距離では、いずれも5～7cm（平均6cm）であるとしている。²⁾

これらはいずれも仮道管や木繊維の長さなどの材質的な側面から捉えており、このような繊維長や密度、年輪幅と未成熟材との関係を論じたデータは多い。一方次項で取り上げるが、集成材のラミナとして用いる場合重要な強度やヤング率という側面からのアプローチは少なく、今後データの蓄積が望まれるところである。

2.3.2 ヤング率からみた未成熟材

図2.3-1¹⁾に見られるように、曲げ強さについては未成熟材と成熟材とは大きな違いはないようである。したがって、未成熟材という観点からスギを集成材のラミナとして用いる場合、最も問題となるのはヤング率であろう。図2.3-2¹⁾に地上高別に求めた静的な曲げヤング率を示したが、どこの高さにおいても成熟材に比べ、未成熟材では半分程度の値しかないことが分かる。

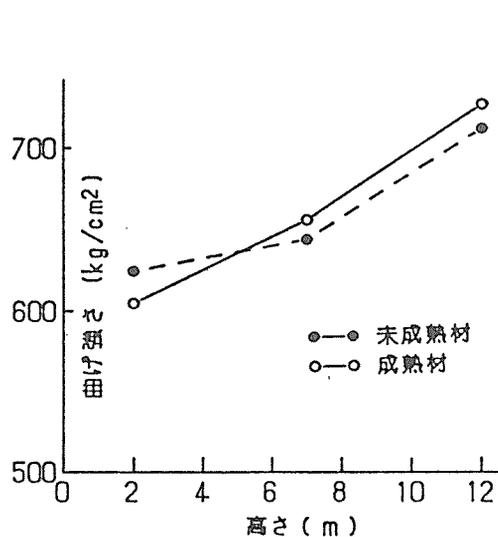


図 2.3-1 未成熟材と成熟材における曲げ強度

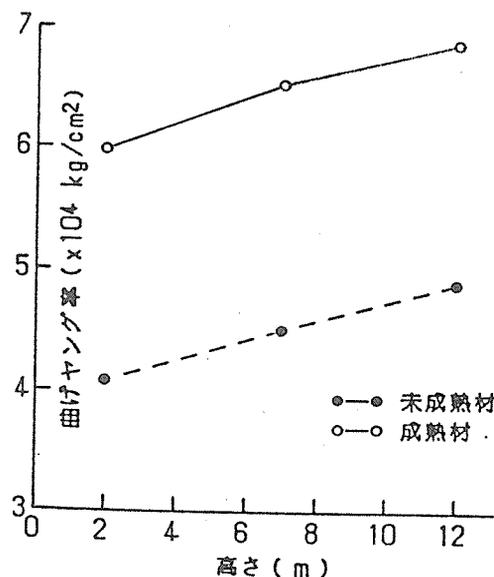
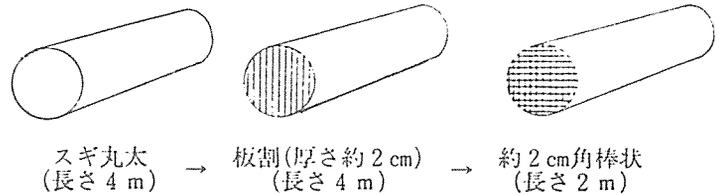


図 2.3-2 未成熟材と成熟材における曲げヤング率

これらの値は比較的長さの短い節等の欠点のあまりない試験体についてのデータである。

次に実際のラミナの長さに相当する、長さがほぼ4 mの丸太における内部のヤング率の変動について調べた。³⁾つまり右図に示すような手順にしたがい、材のヤング率を測定を行った。測定方法は材を打撃し発生する音の周波数を分析することにより固有振動数を求め、密度と固有振動数よりヤング率を算出する方法である。⁴⁾実際には長さ4 mの丸太をそのまま運搬したり、



実験のフロー

2 cm角に製材するのは大変なので長さ2 mに分割した後2 cmの角材に製材し、元口、末口側それぞれのヤング率を求め2つの値の平均を4 m材の値とした。図2.3-3に長さ4 mの丸太におけるヤング率の変動を示した。この図におけるヤング率の値は2 cm角の製材の値である。L-1~4は同一の地域、L-5、L-6はそれぞれL-1~4とは異なった地域における丸太である。随から離れるにしたがいヤング率が大きくなっており、さながら天然の集成材を連想させる。

これを横軸に随からの距離、縦軸にヤング率の値をとってグラフにしたものが、図2.3-4である。この図から以下のことが分かる。

- (1) 随からほぼ4~6 cmになるとヤング率の値がほぼ一定になること。
- (2) また随におけるヤング率の値が外周付近の値の1/2~1/3の値になっていること。

(1)のヤング率がほぼ一定になる、随からの距離4~6 cmという値は2.3.1で述べたことを裏づけるものである。

以上まとめると次のようになろう。つまり、スギ丸太より集成材用ラミナを製材する場合、随近辺の幅15 cm程度のラミナはヤング率の値がかなり低くなるので十分注意を要する。

引用文献

- 1) 日本木材学会研究分科会報告書：「スギ」分科会、平成3年2月
- 2) 深沢和三：「スギ樹幹内の材質変動に関する研究」、岐阜大学農学部研究報告、第25号、1967
- 3) 中村他：「スギ丸太のヤング係数の地域差と丸太内部の変動」、木材工業、VOL.46、NO.7
- 4) 静岡県集成材工業会：「昭和62年度国産針葉樹多目的利用促進事業報告書」、昭和63年3月

			1140	1041	1065	1053	936	842		
		1184	1004	988	979	961	970	975		
	1313	1077	921	936	963	1016	981	1218	1195	
1305	1222	1166	1003	684	742	934	1078	1089	1152	
1287	1219	963	865	665	565	955	1128	1055	942	
1219	1172	1203	1031	962	808	948	1084	1076	1204	
1169	1220	1162	1125	1092	1062	1047	1072	1049	1193	
1267	1122	1083	1202	1159	1118	1148	1099	1185	1184	
1188	1215	1210	1177	1136	1107	1076	1148	1151		
		1249	1233	1229	1221	1225	1219	1246		
			1206	1232	1217	1210				

L-1

末口径28.8cm

				737	788	829	791			
			762	892	837	954	954	907	840	
	808	829	856	885	936	999	1028	1033	897	
977	870	869	905	771	705	801	942	1060	987	
501	881	870	788	622	581	599	781	977	1036	
947	773	767	645	552	486	544	716	898	1010	
912	820	788	765	584	536	605	903	884	961	
	829	823	816	670	685	753	931	943	949	
	841	742	744	678	736	761	833	886		
		968	777	870	843	854	894	957		
			970	926	888	947				

L-4

末口径27.5cm

			809	862	724	766	749	712		
		899	820	931	853	772	770	639	773	
902	784	987	915	892	853	854	765	735		
890	873	850	824	870	914	863	811	842	838	772
913	1003	943	869	691	717	805	871	899	953	840
1025	891	937	844	507	433	740	873	939	939	846
1063	1087	991	908	662	702	816	902	849	861	904
1017	1026	979	837	888	905	914	1000	902	932	1018
1023	992	1008	982	953	934	1001	1053	954	1006	
961	986	995	1033	1049	795	885	1011	959	938	
	915	921	937	922	877	903	960	884		
		1010	934	977	972	984	1013			

L-2

末口径30.9cm

				757	878	861	880	871		
			805	946	1051	1059	1021	879	850	
911	1016	1120	977	983	992	1037	1139	1001	862	
1038	1160	1154	1053	906	853	857	1047	995	967	
1000	971	828	699	583	567	782	925	1090	872	
1097	963	759	500	401	363	654	881	1085	1025	
1011	1056	760	521	378	286	375	623	849	962	
1039	958	738	557	416	415	532	751	974	1014	
1086	968	789	583	504	519	640	736	903		
	1099	1046	819	695	680	740	757	1051	1076	

L-5

末口径27.9cm

				775	750	746				
			793	734	761	766	708	642		
		788	812	751	800	791	699	659	529	
744	766	764	790	780	821	713	579	506	469	
775	813	746	778	763	802	787	703	563	588	
727	787	757	728	575	646	756	746	558		
637	590	674	650	547	463	689	763	691	634	
750	763	770	703	589	598	679	662	513	523	
798	749	779	787	662	750	723	644	453	612	
767	794	770	707	787	715	790	590	673	688	
	853	863	855	750	718	703	727	643	541	
	781	857	827	765	770	681	629	554		
		749	779	805	764	639	434			

L-3

末口径30.6cm

				857	972	865				
			822	915	1015	1020	787	637		
1018	878	960	963	884	818	685				
841	869	807	678	643	769	818	677			
910	775	663	603	571	683	869	736			
1017	956	734	763	742	744	972	826			
1036	952	864	934	900	966	1027	892			
	1009	977	1049	1125	1027	977				
		1037	1043	985	1082					

L-6

末口径21.2cm

単位：10²kgf/cm²

□：随の位置

図 2.3-3 4 m スギ丸太におけるヤング率の内部変動

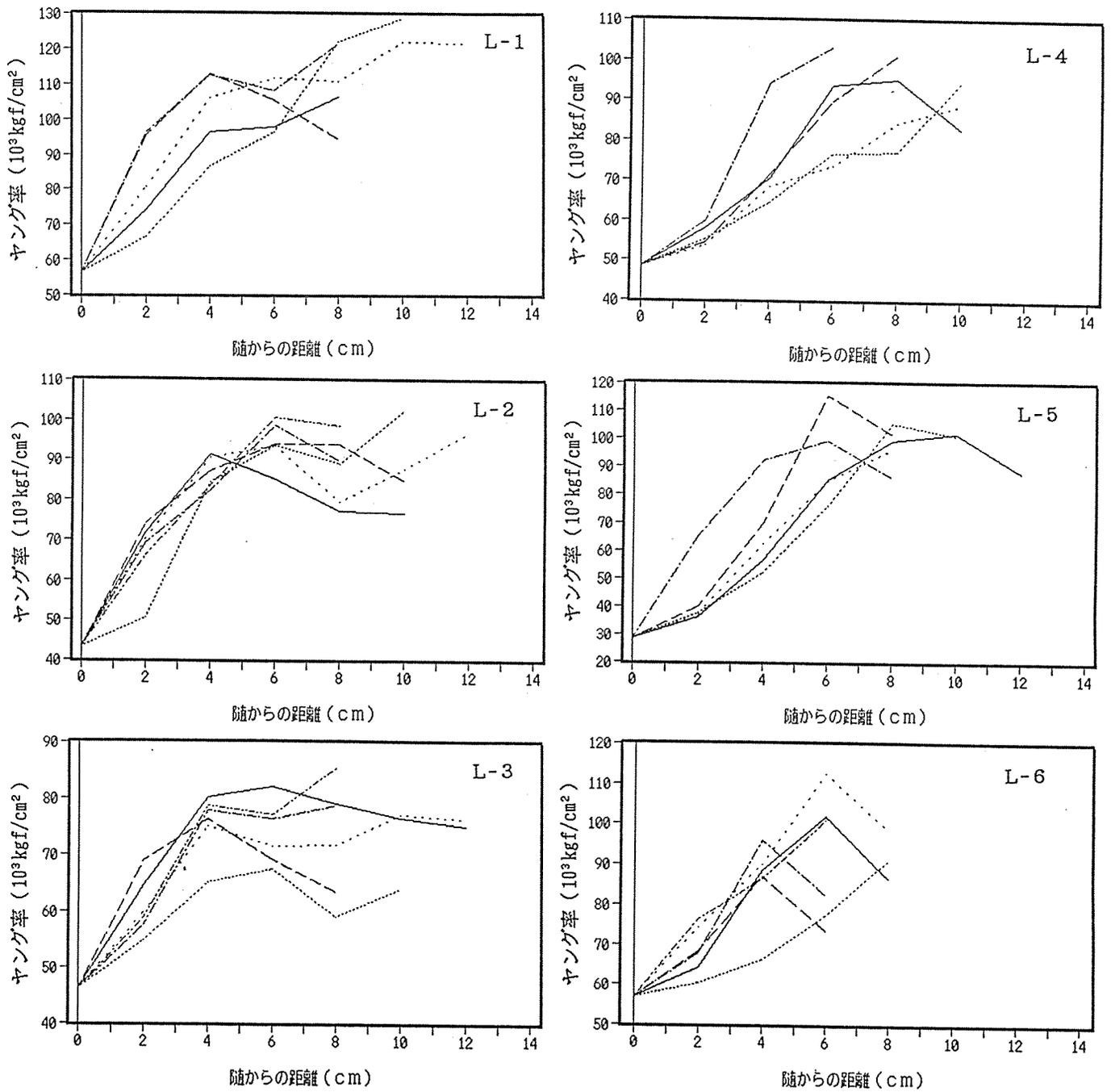


図 2.3-4 4 m スギ丸太における随からの距離とヤング率の関係

2. 4 スギに関する強度等級区分

飯島は資料集¹⁾の重回帰分析の結果、視覚的等級区分法の判定因子として、比重 (r_{15})、最大節径比 (K_{max})、集中節径比 (C_{max}) を、機械的等級区分法の説明変数としてヤング係数 (MOE) を考え、表 2. 4 のような等級区分の限界値を提案している。

表 2. 4 の提案値は次のように決定された。

樹種群 : 建築学会「木構造計算規準(案)」の樹種群に、今回収集された比重分布を考慮する
節 : 現行 J A S (製材の日本農林規格) の値
比重 : 収集データの平均値を特等、0.05引いた値を1等とする
MOE : 収集データを鑑みて20000Kgf/cm²刻みとする

図 2. 4 - (a) に表 2. 4 の視覚的区分因子に基づいて、コンピューターによって、3つの等級に区分されたスギの曲げ破壊係数 (MOR) のヒストグラム¹⁾を示す。ここで、一番上の pooled とは全てのデータを混みでまとめたもの、以下 V S が特級、V 1 が1等、V 2 が2等を意味する。

一方、図 2. 4 - (b) は、同じスギのデータを曲げヤング係数 (MOE) によって4つの等級に区分した場合の等級別 MOR ヒストグラムを示す。

視覚的区分因子で区分された場合 (図 2. 4 - a)、特等と1等の区別は辛うじて可能であるが、1等と2等の区別は殆どできないことが分かる。スギの場合、節が等級区分の区分因子として、余り有効ではないことが明かである。ここでは、データは示さないが、スギ以外の樹種 (カラマツ、ベイマツ、ヒノキ等) では、節に基づく強度等級区分はある程度有効であり、スギ、特に心持ちスギの場合、節の強度に及ぼす影響が例外的に少ないと言えよう。

一方、図 2. 4 - (b) においては、4つの等級における MOR の分布はかなり明確に区別されており、ヤング係数でスギを強度等級区分することがかなり有効な方法であることを示唆している。

表2. 4 収集データに基づいて強度等級区分を行う場合の区分因子並びに限界値の提案⁸⁾

視覚的等級区分

区分因子	比 重			最大節径比(%)			集中節径比(%)		
	特等	1等	2等	特等	1等	2等	特等	1等	2等
樹 Ⅰ	0.60	0.55	-						
種 Ⅱ	0.50	0.45	-	30	40	70	40	60	80
群 Ⅲ	0.40	0.35	-						

機械的等級区分

区分因子	ヤング係数 (MOE × kgf/cm ²)					
等 級	E150	E130	E110	E090	E070	E050
樹 Ⅰ						
種 Ⅱ	140	120	100	80	60	40
群 Ⅲ						

ただし、
 Ⅰ：ベイマツ、ソ連カラマツ
 Ⅱ：ヒノキ、カラマツ、ベイツガ、アカマツ
 Ⅲ：スギ、エゾマツ、トドマツ

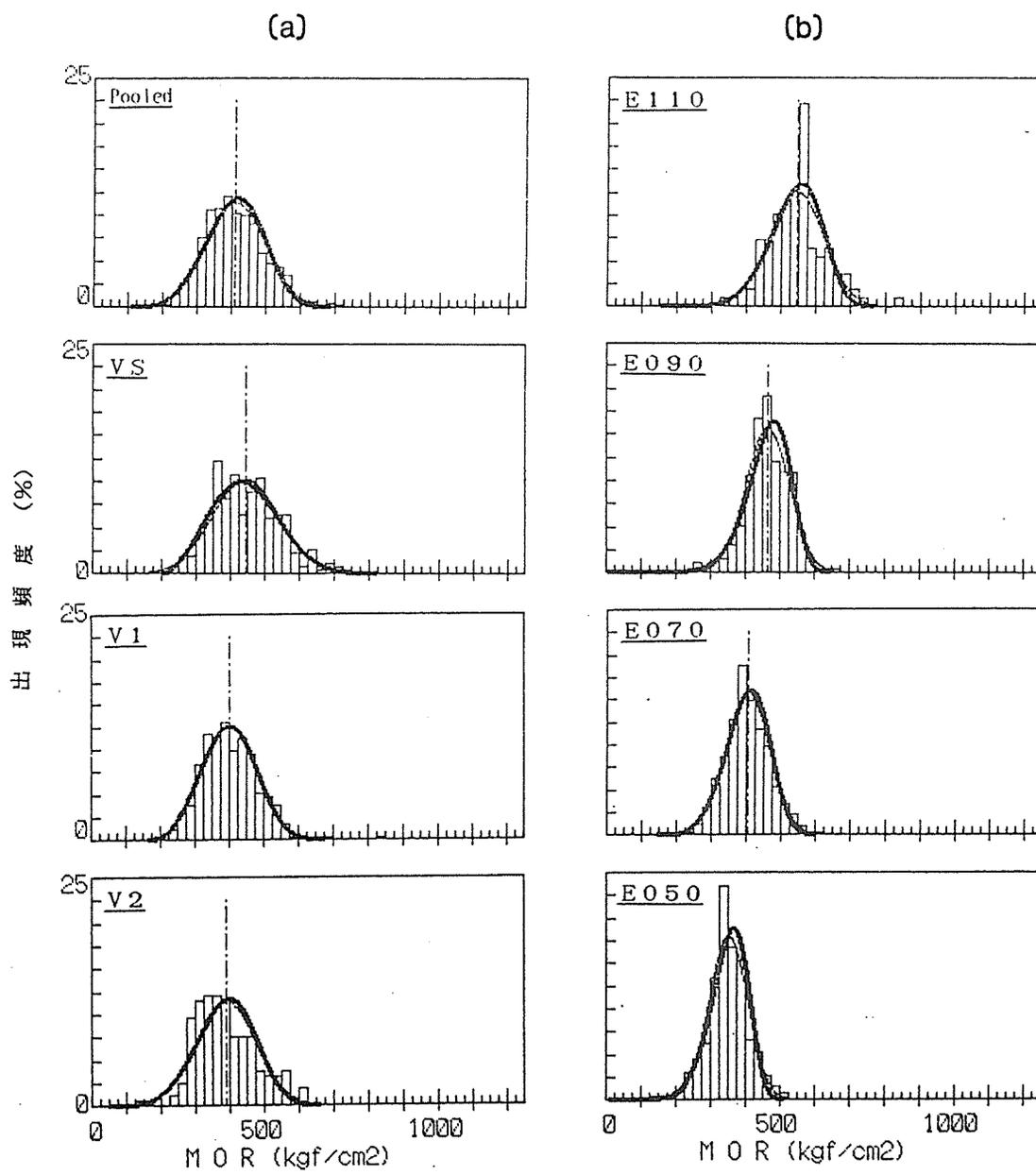


図 2. 4 - (a)、(b)スギの曲げ破壊係数 (MOR) に関する等級区分の結果¹⁾
 (a) : 視覚的等級区分 (b) : 機械的等級区分

2. 5 MOE vs MORにおけるスギの特異性

ヤング係数 (MOE) が木材の強度を推定するのに最も適した指標らしいということは、世界中で確認されていることであり、既存の資料集においてもその事実は確認されている。しかし、MOEとMORの相関関係については、樹種特性があるのかないのか、いまだにはっきりしない。

図2. 5²⁾は、今回の資料集¹⁾のデータも含めて、これまでに世界各国で発表された実大材のエッジワイズMORとフラットワイズMOEの相関関係を一括して図示したものである。限られた試料数ではあるが、どうも心持ちのスギだけは他の木材と異なる相関関係にあるように思える。この点については、佐々木ら¹⁾もスギ心持ち材のMORとMOEの関係の特異性を認めている。

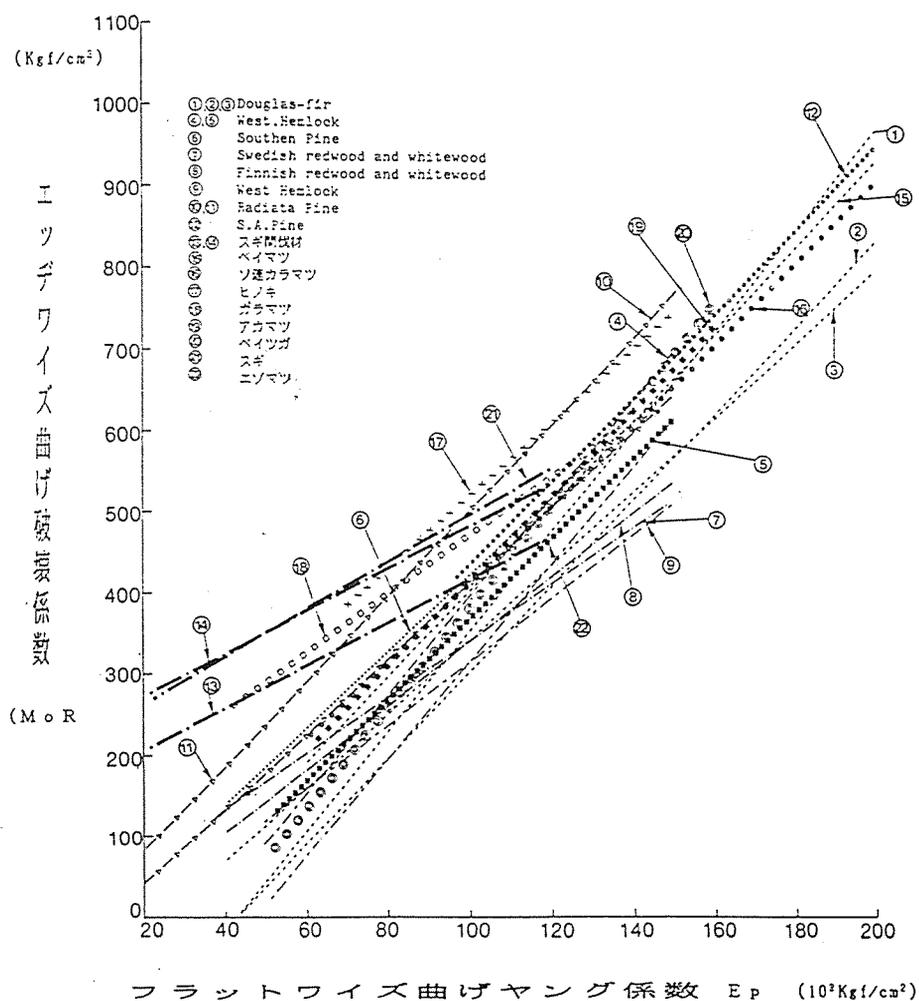


図2. 5 実大材のMOEとMORの関係²⁾

2. 6 収集データから試算されたスギの許容応力度

表 2. 6 に今回の収集データに基づいて試算されたスギの曲げ許容応力度、建築基準法施行令第 89 条に規定された許容応力度及び、日本建築学会編集の木構造計算基準（案）で規定された許容応力度を示す。

表 2. 6 は非常に興味深い結果を示している。すなわち、

- 1) 収集されたスギの曲げ強度データに基づいて試算された許容応力度の値はいずれも現行の施行令 89 条で規定されている許容応力度を上回っている。
- 2) 節、比重に基づいた視覚的等級区分によって等級付けされた場合、特級と 1 等、2 等との差は歴然としているが、1 等と 2 等の差はない。
- 3) ヤング係数に基づく強度等級区分法はスギの許容応力度向上に極めて有効に作用することを示している。例えば、 $MOE = 110000 \text{Kgf/cm}^2$ の等級では、施行令の 1.88 倍もの許容応力度が期待できる。また、最も低いクラスの $MOE = 50000 \text{Kgf/cm}^2$ の等級でも 1.13 倍の値が期待できる。

なお、建築基準法施行令第 89 条の文章には、「木材の繊維方向の許容応力度は、強度試験の結果に基づき定める場合のほか、次の表の数値によらなければならない。」と記されており、強度試験の結果を尊重する姿勢を示している。

表 2. 6 スギの曲げ許容応力度の試算値と基準（規準）等における許容応力度の比較
（いずれも長期の値）

	(A) 資料集 ¹⁾ のデータによる試算値				(B)				(C) 日本建築学会 ¹²⁾		
	視覚的等級区分				機械的等級区分				建築基準法	木構造計算規準（案）	
	特等	1等	2等	混み	E110	E090	E070	E050	施行令第 89 条	上級構造材	普通構造材
①	99	91	91	92	141	115	99	85	75	95	75
②	1.32	1.21	1.21	1.23	1.88	1.53	1.32	1.13	1.00	1.27	1.00

① 単位：(Kgf/cm²) ② (B) を 1 とした場合の比

2. 7 スギの地域特性

スギの強度性能には品種間に微妙な特徴があるようで、例えば、同じ場所で、ほぼ同じ条件で植栽された36品種のスギの曲げ強度実験を行った佐々木ら¹⁾は、荷重-たわみ曲線に品種間の特徴が存在する可能性を示唆している。

この品種間の基本的な特性の違いに加えて、気候風土、植栽条件、施業・育林方法等の影響が複雑に重なり合って、スギ特有の地域特性が形成されるものと想像される。

今回の資料集¹⁾のデータ解析においても、地域、産地によってスギ実大材の強度特性がかなり異なるということが明かとなった。その一例をH2の材種(大部分10.5cm正角材)について図2.7に示す。

スギのヤング係数(MOE)の分布は、図2.7の下の図で示す通り、A(MOE = 55tonf/cm²), B(MOE = 75tonf/cm²), C(MOE = 95tonf/cm²)の3つのグループに分かれる。

一方、曲げ破壊係数(MOR)の方は、図2.7の中央の図で示すように、ヤング係数の場合ほど違いは明確ではないが、おおよそ3つのグループに分かれる傾向が伺える。これは、MOEとMORの回帰直線における「傾き」がスギの場合やや小さいという関係(図2.5)からもうなずける。

図2.7の最上段に示す比重の場合が最も複雑で、MOE, MORのようなグループ化はやや困難である。

どの地方のスギがどのグループに属するかということはここでは問題にしない。しかし、地域ごとのデータの分布図を描いて、図2.7のようにMOE分布の山が明白に分かれるのはスギだけであり、ヤング係数が地域特性の強い日本のスギの客観的品質指標として使えそうな可能性が感じられる。

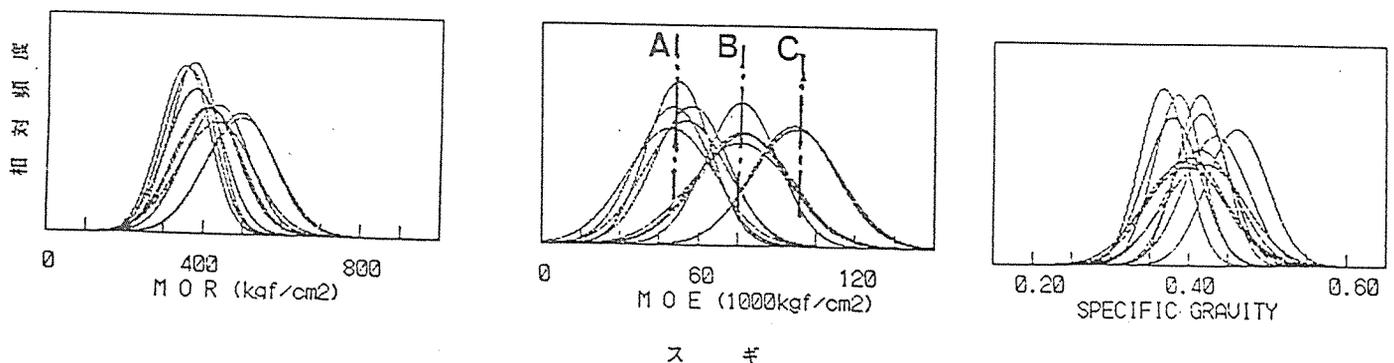


図2.7 スギの比重、MOR、MOEの地域特性¹⁾

文献 第2章の2. 1、2. 4、2. 5、2. 6、2. 7

1)木材強度・木質構造研究会：“構造用木材－強度データの収集と分析”、日本木材学会、1988.

2)小松幸平（分担執筆）：“木材等の強度等級区分法の開発”、建設省新木造総プロ昭和62年度報告書、1988.

3)G.B.Walford: "Current knowledge of the in-grade bending strength of New Zealand radiata pine", FRI Bulletin No.15, Forest Research Institute, NZ Forest Service,1982.

(なお、ASTM D2915-84では、式の代わりに表で*i* %値を与えている)

4)R.J.Hoyle : "Background to Machine Stress Grading", Forest Products Journal, Vol.18 ,No.3, 87-97, 1968.

5)W.T.Curry and J.R.Tory : "The Relation Between the Modulus of Rupture (Ultimate Bending Stress) and Modulus of Elasticity of Timber", CP30/76, Building Research Establishment, Princes Risborough Laboratory, 1976.

6)H.Bier and M.J.Collins: "Bending Properties of 100x50mm Structural Timber from A 28-Year-Old Stand of New Zealand Radiata Pine", Paper presented to meeting of IUFRO Group S5.02., Xalapa, Mexico, Dec. 1984.

7)G.B.Walford : "Comparison of the Tensile and Bending Strengths of 100x50mm Radiata Pine", FRI Bulletin No.21, Forest Research Institute , N.Z.Forest Service, May, 1982.

8)G.W.Vinopal : "Determination of the Combined Influence of Density and Knots on the Mechanical Properties of Full-Size Structural Timber", Paper presented at the meeting of Subject Group S5.02 of IUFRO Division 5 held in Oxford, England, April 1980.

9)中井 孝、田中俊成：“間伐材等小径木の強度性能－曲げ剛性と曲げ破壊係数”、木材工業、39(5)、29-35, 1984.

10)倉田久敬、山本 宏、長原芳男、高橋政治、川口信隆：“道産針葉樹による枠組壁工法構造用製材の品質と強度性能”、林産試験場研究報告、第67号、4-33、1978.

11)佐々木 光、角谷和夫、瀧野真二郎：“スギ36品種の力学的性質”、木材研究・資料、京都大学木材研究所、1983.

12)日本建築学会：“木構造計算規準（案）”、建築雑誌、102(1266)、1987.

2. 8 スギ材の耐朽・耐蟻性

2. 8. 1 耐朽性

一般的に木材は、条件にかなった水分と温度が与えられると、腐朽菌あるいは細菌類が木材の表面あるいは内部に繁殖し、汚染または劣化の原因となる。木材の腐朽劣化の過程においては、単一の菌が木材構成成分を分解するのではなく、多くの菌類がそれぞれ影響しあって進行するものと考えられる。

腐朽に対する木材の抵抗性、すなわち耐朽性は、それぞれの樹種の組織構造、比重などの物理的性質、あるいは化学的性質によって左右される。もちろん同一樹種であっても、材内の部位によって異なり、一般的に心材が辺材よりも耐朽性が高いことはいうまでもないが、心材内においても樹心付近と辺材に近い部位とでは相違する。また、品種や産地、あるいは保育方法によっても異なることが十分考えられる。

木材の耐朽・耐蟻性の評価する場合、野外に実際に試験材を設置し、劣化の進行状態を観察して耐用年数を決定する方法と、実験室内で特定の腐朽菌や昆虫を人為的に強制的に作用させ、劣化の程度によって抵抗性を評価する方法とがある¹⁾。前者は、劣化環境としては厳しい条件下にある土壤中に試験杭を埋め、定期的に取り出し、肉眼的に被害の状態を調査する方法が多くとられている。この場合は、腐朽とシロアリの両者が攻撃する場合が多い。

長期間にわたる野外試験の結果から推定した耐用年数としては、スギの辺材については4年²⁾、あるいは、地上部で3.5年、地際部で1.7年、地中部で3.2年という値⁴⁾が想定されている。また、心材については、地中部分で6年、地上部はそれより長い年数²⁾が、あるいは地上部の頂端で5.5年、地際部で3.9年、地中部で7.0年という数値⁴⁾が報告されている。データの出所による数値の相違は、試験地の劣化環境の違いや供試木の相違に基づくもので、耐用年数そのものの値は絶対的な意味をもつものではない(図2.8-1)。

これらの試験における耐用年数の算定基準は、劣化程度を健全から崩壊まで6段階に分類し、平均被害度が2.5に達した時点、すなわちその段階を実用的にみて使用に耐えない状態と判断して算出する方法である⁵⁾。杭の部位によって耐用年数が相違するのは、水分や空気の存在状態によって腐朽菌の作用が異なることや、地上部では乾湿繰り返しによって割れの発生が生じたりするためである。

長年にわたる野外試験、あるいは特定の菌による比較腐朽試験の結果が取りまとめられ、さらに経験的な知見を合わせられて、スギ材については辺材の耐朽性は小さいが、心材についてはカラマツやミズナラ、カプールなどとともに『中』あるいは『やや大』のグループに入れられている¹⁾。なおこの分類では、ヒ

バ、ヒノキ、クリ、レッドウッド、ベイスギなどは『大』のグループに、エゾマツ、アカマツ、ベイツガなどは『小』にランキングされているが、この場合の推定耐用年数はスギの6年に対し、ヒノキが7年、エゾマツが4年である。

土壌中では、細菌類の攻撃を受けたり、あるいは木材の含水率が高くなるため、環境適応性のある軟腐朽菌による劣化を生じることが多い。しかし、軟腐朽菌に関しては、針葉樹材が概して広葉樹材より抵抗性が高く、被害が発生する時期も遅れる傾向にある。また、スギ材を含め針葉樹材は、住宅構造部材に使用され劣化環境に置かれると、褐色腐朽菌に侵される頻度が高い。褐色腐朽菌はセルロースを選択的に分解し、リグニンをも同時に分解する白色腐朽菌に比べて、重量減少率が同じであればより大きな強度低下を引き起こす。

ところで、野外試験においては、同一試験体の劣化の進行を追跡することが多いため、強度的性質の経時的変化を並行して測定したものは少ない。これは試験体を順次破壊することに対応して、同一の性質をもった試料を数多く用意する必要があるためだが、圧縮強度の変化を追跡した結果は次のようになっている。すなわち、地中に埋めた辺材部の強度は段階的に減少し、3年後ではその減少率は60～70%に達するが、地上部分では2年後では10～20%、3年後では40～60%になったという。これは地上部の場合、ある時期までは腐朽の進行はきわめて緩やかであるが、一旦腐朽の条件が整うと急速に進行することを意味している。一方心材では、地上、地中とも強度低下は緩慢で、地上部の場合3年後でも10%以下の低下率であった。しかし、前出の耐用年数の時点に達すると、50%以上の強度低下を生じるという⁶⁾(図2.8-2)。

さて、心材が辺材より耐朽性が高いのは、いわゆる心材成分の細胞内蓄積によるとされるが、スギ心材色のもととなっているポリフェノール類やテルペン類が、細胞の内腔表面あるいは壁孔内に蓄積し、微生物による劣化作用から防御していると考えられている(図2.8-3)。したがって、心材分量が多いほど耐朽性は向上するはずで、老齢化したスギ材の心材はきわめて腐りにくいと報告されている^{7,8)}。しかし、大径木であっても樹心近くでは、経年変化や特異的に作用する菌によって立木でも腐朽が生じていることがある⁹⁾。

2. 8. 2 耐蟻性

スギの辺材はシロアリに対しては抵抗性はないが、心材はヒノキ、クリ、ケヤキなどともに『やや強い』というランクに分類されている¹⁰⁾。耐蟻性がベイツガやエゾマツなどより高いのは心材に含まれる抽出成分のためであるが、その量や分布は産地や材内部位によって変動することはいうまでもない。また、生息するシロアリ種によってもその加害習性は異なる。腐朽はシロアリによる加害を誘因したり促進するが、この傾向はヤマトシロアリで著しい。

心材に含まれる抽出成分が多いほど耐蟻性は向上し、老齢木ではイエシロアリによる強制食害試験でもほとんど加害されない。一般的には、長期間土に接する状態に置かれると、徐々に心材成分が木材中から溶脱され、シロアリの攻撃を受けやすくなる。しかし、腐朽現象以上にシロアリ被害はドラスチックに生じ、そのためシロアリ被害を腐朽に対する耐用年数を推定した以上に経時的に求めることは困難である。報告によると、イエシロアリとヤマトシロアリの両者が生息する鹿児島県内で、辺心材を含むスギ丸太の野外試験を行ったところ、設置後5～6年で蟻害で破損したという¹¹⁾。

2. 8. 3 スギ材への保存処理の効果

防腐や防蟻という保存処理の効果は、用いる薬剤の性能によって左右されることが多いが、処理法によっても相違し、塗布などの表面処理と加圧処理とでは、耐用年数に格段の違いがある。スギ辺材に処理したクレオソート油の例では、土に接する環境では塗布による耐用年数が11～12年であったのに対し、加圧注入材では20年経過してもまだ腐朽はわずかであった¹²⁾(図2.8-4)。

環境によっても木材に作用する微生物の種類と遷移のようすが異なるため、CCAなど銅化合物は土壌中では比較的効力が弱いという現象もみられる¹³⁾。建築材に用いる場合は褐色腐朽に対する対策がより重要であり、また、加圧注入といえども木材内部への十分な浸透は困難であるため、野外に使用される部材については、地上部といえども水の滞留や干割れを防ぐ方策を考える必要がある¹⁴⁾。

最近、樹種によっても保存剤の効果が異なることが指摘され、とくに固着型防腐剤の効力がかなり異なるといわれている。スギ材のCCAによる処理効果はベイツガやマツなどより高く、すなわち同一の性能を発現するのに要する薬剤量は少なくすむが、その理由として材中の抽出成分の影響が考えられている¹⁵⁾。

2. 8. 4 スギ集成材の防腐処理

スギ集成材の防腐処理とその性能を考えると、集成材に共通する問題点とスギを用いることに起因する特有の性質の両者を配慮する必要がある。ラミナの防腐処理が接着性能に及ぼす影響や、接着耐久性との関連性は主として前者に関係する問題である。一方、木材自身の耐朽性あるいはラミナや積層後の集成材への加圧注入に伴う浸透性などは樹種に特異的である。スギ材の耐朽・耐蟻性は上述したが、防腐処理に関しては浸透性や注入性などの処理性をも考慮しておく必要がある。ラミナに防腐剤を注入処理して積層した集成材であっても、注入性の悪い心材部分が腐朽する例も報告されている¹⁶⁾。

スギ材の浸透性は、辺材についてはきわめて良く、心材についてもアカマツ、

ベイツガなどとともに『やや良好』というグループに属している。集成後の加圧注入でも通常の条件下で、中央付近のラミナであっても辺材の全てと心材の一部に薬液が浸透している結果が報告されている¹⁷⁾。

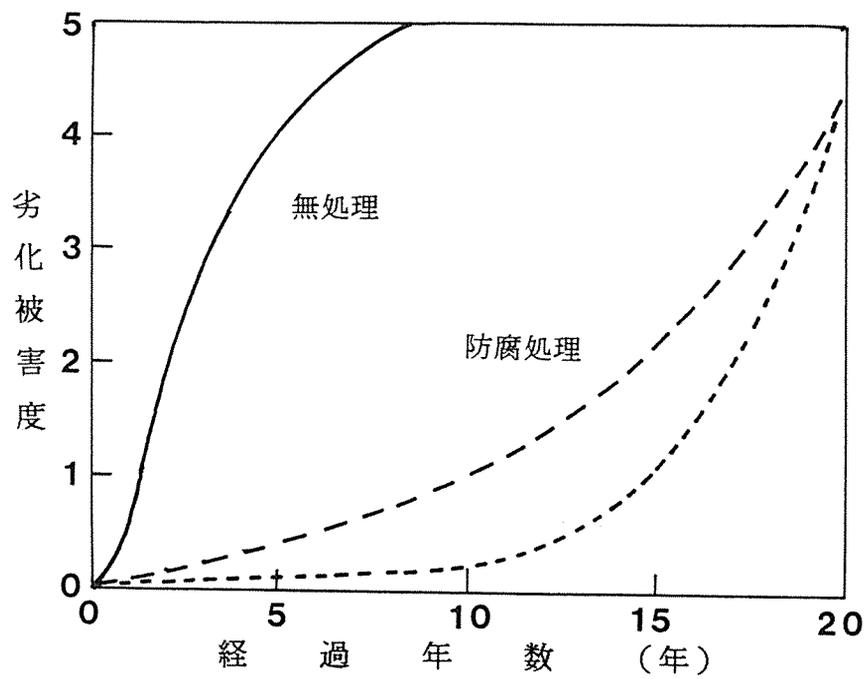


図2.8-4 接地部におけるスギ刃材の劣化経過(文献¹²⁾より作図)



図2.8-3 心材成分が密に蓄積したスギ仮道管

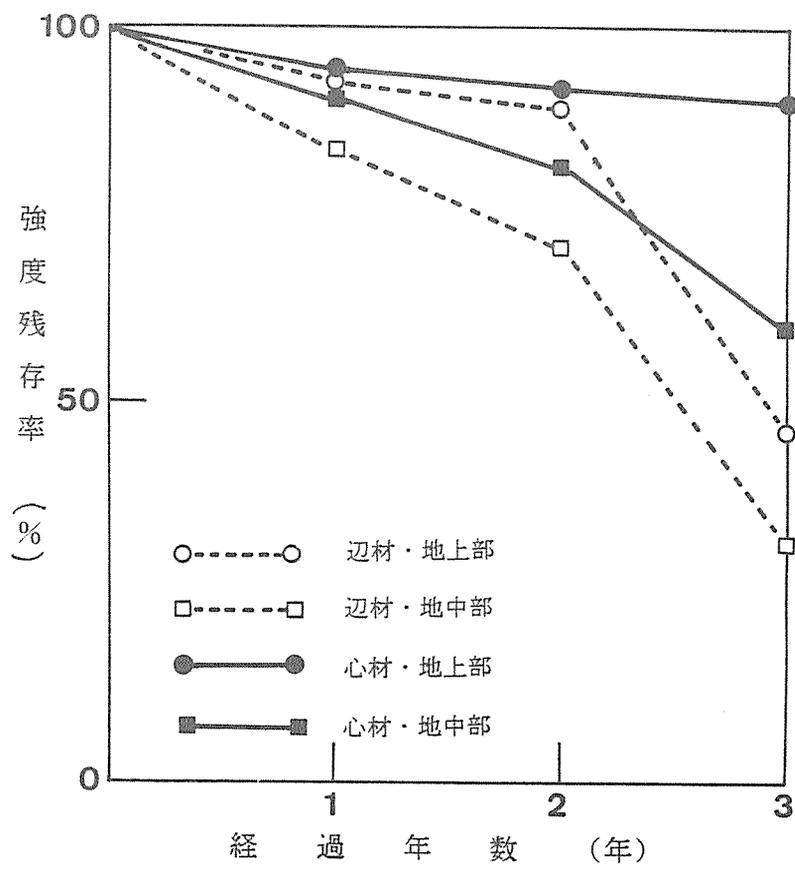


図2.8-2 スギ材の圧縮強度の変化(文献⁶⁾より改図)

文 献

- 1) 松岡昭四郎：木材工業、Vol. 29, 495-499(1974)
- 2) 松岡昭四郎ほか：林試研報、No. 232、109-135(1970)
- 3) 松岡昭四郎ほか：林試研報、No. 329, 73-106(1984)
- 4) 中村嘉明：木材保存、Vol. 17(印刷中)
- 5) 雨宮昭二：林試研報、No. 150, 143-156(1966)
- 6) 雨宮昭二：林試研報、No. 230、105-142(1970)
- 7) 中村嘉明、花尾英男：奈良林試研報、No. 6, 81-85(1975)
- 8) 今村祐嗣ほか：奈良林試研報、No. 6, 73-79(1975)
- 9) 善本知孝：木材保存、Vol. 15, 53-61(1989)
- 10) 日本木材保存協会編：木材保存学、文教出版(1982)
- 11) M. Takahashi et al. : The Int. Res. Group on Wood Preserv.,
Document No. 3633(1990)
- 12) 井上 衛ほか：林試研報、No. 347, 1-33(1987)
- 13) 松岡昭四郎：木材保存、Vol. 15, 102-104(1989)
- 14) 矢田茂樹：木材保存、Vol. 15, 150-156(1989)
- 15) K. Yamamoto, M. Inoue: IRGWP, Document No. 3601(1990)
- 16) J. Jermer: IRGWP, Document No. 3444(1987)
- 17) 中村嘉明：奈良林試研報、No. 8, 29-34(1979)

第3章 スギ集成材の製造

3. 1、スギラミナの特性

集成材はラミナが積層接着された製品である。したがって、集成材の特性はラミナの特性とその配置によって決定される。製造面から見れば、ラミナの品質とその配置をコントロールすることが、集成材の品質管理上最も重要なポイントとなる。

ラミナは製材品の一種ではあるが、その強度特性は一般的な製材品とは少し異なる。まず、その形態は厚さに対して幅の大きな板状であり、使われる方向はフラットワイズが一般的である。また大きな節や目切れなどの欠点は除去され、健全部同士がフィンガージョイントやスカーフジョイントによって縦つぎされている。さらに材がすべて乾燥されていることも、一般の製材品とは大きく異なる点である。

このような特徴をもつラミナの強度特性については、過去に色々と研究・調査が行なわれてきた。スギについては比較的多くのデータが得られているが、地域や品種による特性のバラツキが大きいいため、統一的なデータとして提示することはなかなか困難である。

ラミナの最も基本的な強度特性である曲げヤング係数と曲げ強度の関係を産地ごとに示したものが図3.1-1~3.1-7である。これらのデータは森林総合研究所集成加工研究室のデータベース¹⁾から取り出したものであり、いずれも厚さ20mm、幅120mm程度のラミナについての試験結果である。ただし、産地とはいっても、このデータがその県のスギラミナの特性を代表しているわけではない。また、ここでのラミナはなるべく広い範囲の曲げヤング係数をもったサンプルから選び出されているので、曲げヤング係数と曲げ強度、それぞれの標準偏差は実際よりも多少大きなものになっていると思われる。

これらのデータを見てみると、いずれも産地によって平均値などは異なるものの、ほぼ同一の回帰直線上にまとめられることがわかる。そこでこれらのデータをすべてまとめ、一本の回帰直線として表わしたものが図3.1-8である。参考として他樹種（アカマツ、エゾマツ、トドマツ、ベイツガ、ベイマツ、ソ連カラマツ、ラジアタパインなど）のデータを統合したものを図3.1-9に示す。両図を比較すると明らかなように、スギラミナの強度特性で他の樹種と最も傾向が異なるのは、この回帰直線の傾きが小さいことである。また、Y軸の切片もプラスである。この傾向は2.5項で示された製材品の場合と全く同じである。

なぜ、スギがこのような特異な傾向を示すのか、今もって定説はないが、実用的にみた場合、ヤング係数が低くても曲げ強度は比較的高いことには注目す

べきであろう。

曲げヤング係数と曲げ強度の関係の他に、スギラミナの強度特性で他の樹種と異なることとして、集中節径比と曲げ強度低減率の関係が特異的であることがあげられる。図3.1-10にこの関係を示す。この図²⁾はラミナの各15cm区間に存在する節径の合計のラミナ幅に対する比率(集中節径比)と無節部分の曲げ強度に対する有節部分の曲げ強度の比率(曲げ強度比)との関係を示したものである。アカマツのように大きな節が出る場合には低減率が大きい、スギでは小さな節がたくさん出ることが多いので、集中節径比が大きくても比較的強度は高くなり、低減率が低くなる。

スギラミナの引張強度については、3.3項に示される縦つぎラミナを除いてほとんどデータが得られていない。図3.1-11に示すのは栃木県産スギラミナ¹⁾の引張強度と曲げヤング係数の関係である。節がなくかつヤング係数が高いものでは非常に高い強度が得られることもあるが、平均値では曲げ強度の60%程度である。曲げ強度に比べれば曲げヤング係数と引張強度の相関は低い。図3.1-12は同じく引張強度と集中節径比の関係である。比較的高い相関が得られている。

文献(3.1)

- 1) 森林総合研究所集成加工研究室: 集成材ラミナのデータベース、未発表
- 2) 日本建築学会: 木構造計算基準・同解説、丸善、p.92 (1988)

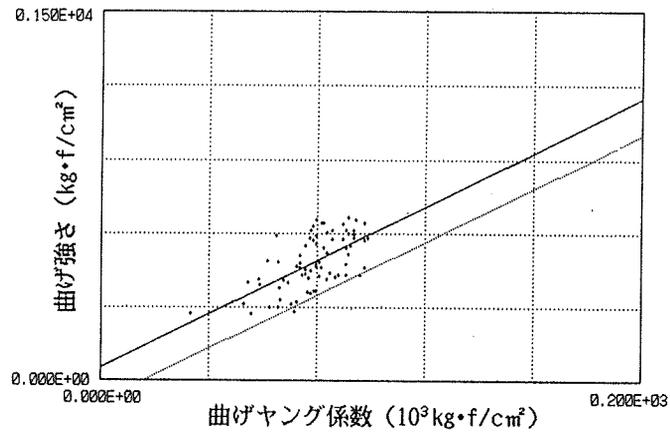


図 3. 1 - 1 スギラミナの曲げ強度特性 (岐阜県産)

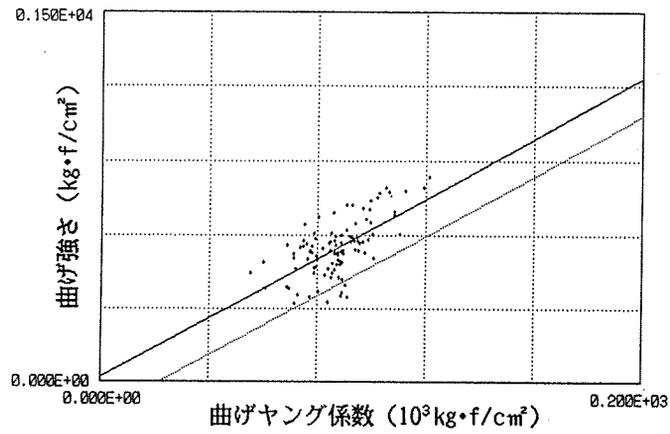


図 3. 1 - 2 スギラミナの曲げ強度特性 (栃木県産)

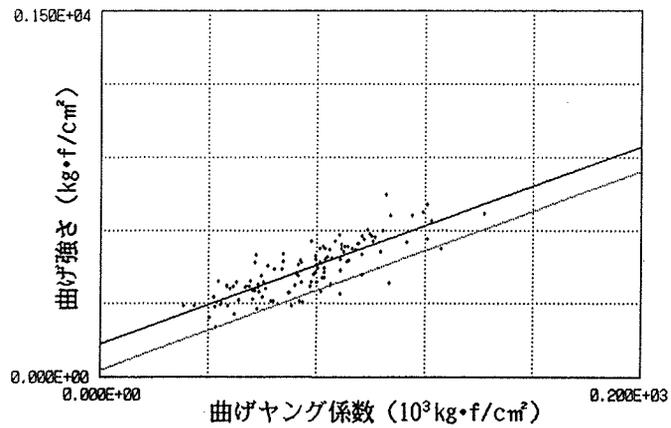


図 3. 1 - 3 スギラミナの曲げ強度特性 (茨城県産)

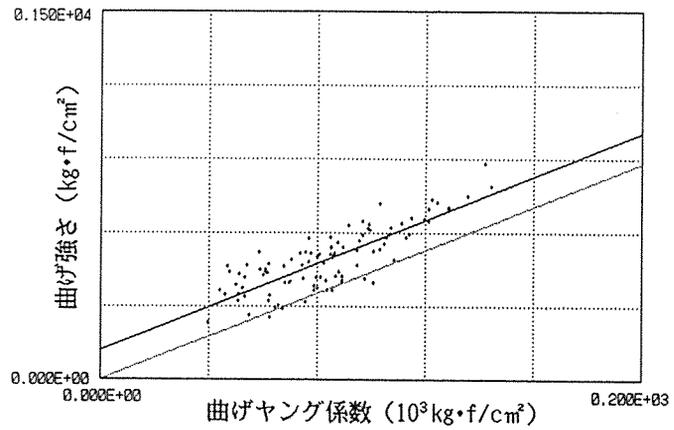


図 3. 1 - 4 スギラミナの曲げ強度特性 (三重県産)

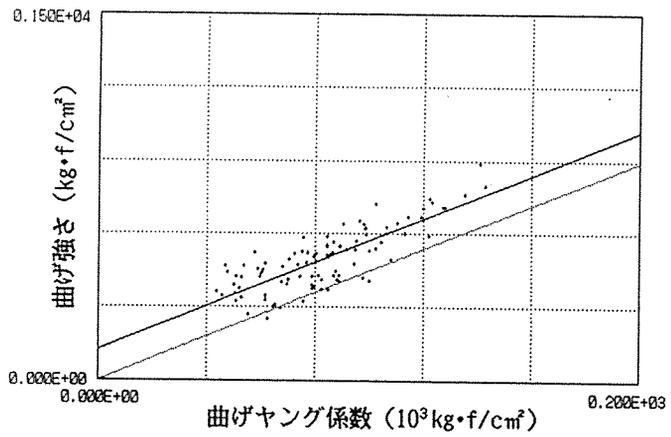


図 3. 1 - 5 スギラミナの曲げ強度特性 (福井県産)

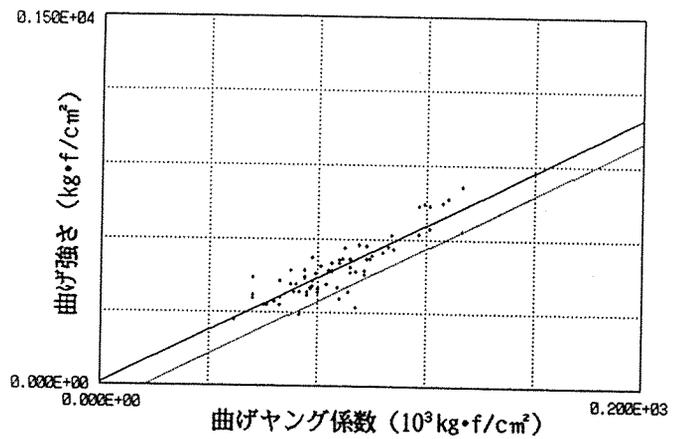


図 3. 1 - 6 スギラミナの曲げ強度特性 (奈良県産)

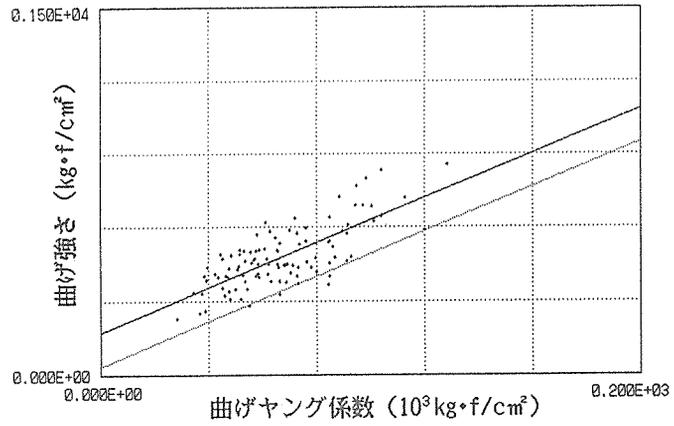


図 3. 1 - 7 スギラミナの曲げ強度特性 (熊本県産)

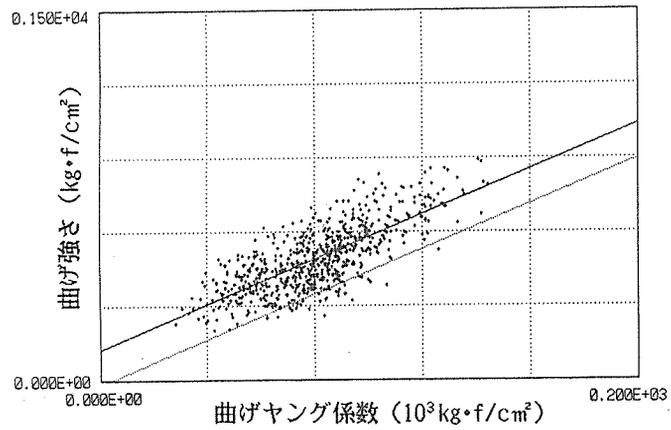


図 3. 1 - 8 スギラミナの曲げ強度特性 (日本全国)

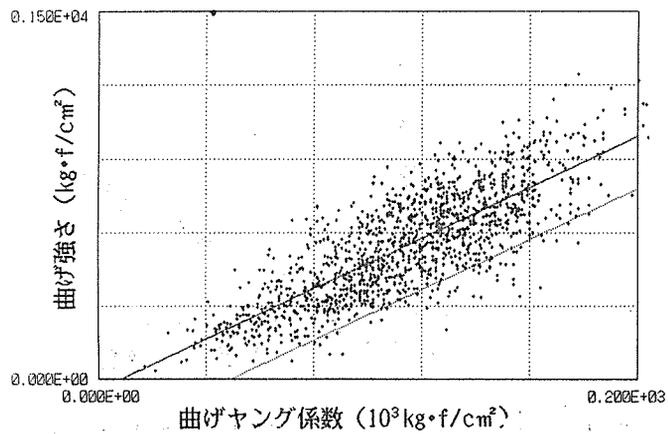


図 3. 1 - 9 ラミナの曲げ強度特性 (他樹種)

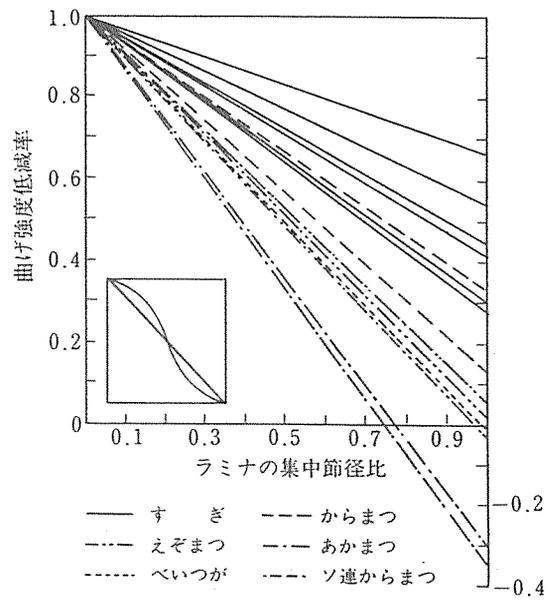


図 3. 1 - 1 0 集中節径比と曲げ強度低減率の関係²⁾

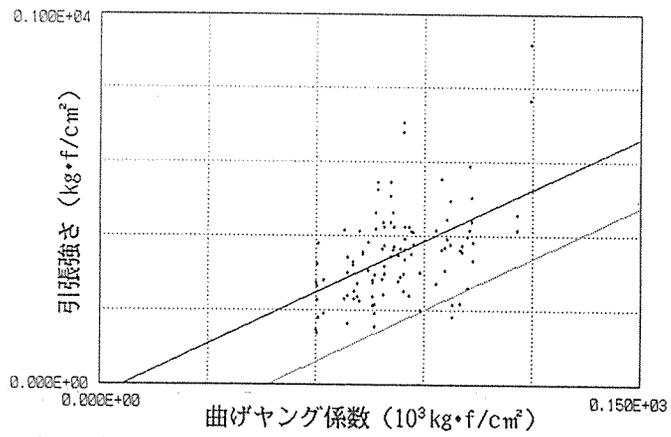


図 3. 1 - 1 1 スギラミナの引張強度特性
(曲げヤング係数と引張強度の関係)

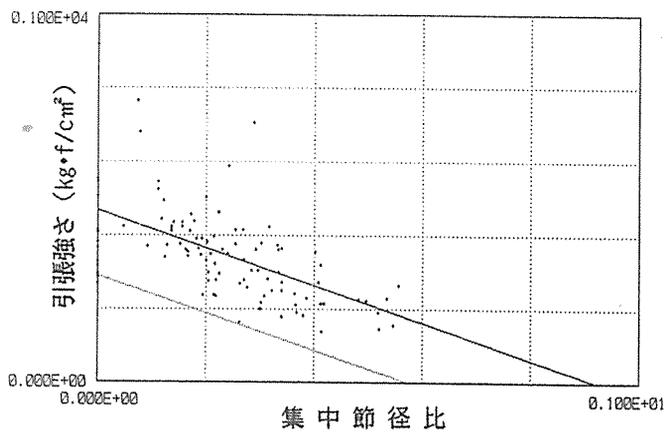


図 3. 1 - 1 2 スギラミナの引張強度特性
(集中節径比と引張強度の関係)

3. 2、スギラミナの基準

集成材はラミナを積層接着した製品であるが、ただ単に適当な寸法のラミナを接着すれば集成材になるわけではない。未乾燥のラミナや大きな欠点を含むラミナを積層しても、工業製品であるところの集成材の要求性能を満足しないのは当然である。ラミナの段階で基準を設け、基準に適合したラミナのみを用いなければ、生産された集成材の品質は保証されないといえよう。

そこで「集成材の日本農林規格（JAS）」¹⁾および「構造用大断面集成材の日本農林規格」²⁾では、スギのみならず集成材用ラミナについての基準を細かく定めている。当然のことながら、製品の種類によって要求される基準は異なるが、構造用に限ってスギラミナに関係した部分を抜粋すると、表3.2-1のようになる。

文献（3. 2）

- 1) 日本農林規格：集成材の日本農林規格、合板検査会、（1986）
- 2) 日本農林規格：構造用大断面集成材の日本農林規格、合板検査会、（1987）

表3.2-1 スギラミナの基準^{1),2)}

①、樹種群 針葉樹 B-2 (針葉樹では最も下位)

②、等級

	(1等)	2等	3等	4等
集中節径比	(1/8)以下	1/4以下	1/3以下	1/2以下
繊維傾斜角	(1/16)以下	1/14以下	1/12以下	1/8以下

③、ラミナの適合基準

曲げヤング係数 (10^3Kgf/cm^2)			曲げ強さ (Kgf/cm^2)		
1等	2等	3等	1等	2等	3等
95	85	75	460	390	320

()内の規定は大断面についてのみ

3. 3 スギ材の乾燥

3. 3. 1 はじめに

わが国では、現在、木材乾燥の社会的ニーズがかなり大きな比重を占めつつある。しかし、木材乾燥は、木材の性能を上昇させる一方で、木材の選択（性能区分化）、コストの上昇を伴うものであり、損傷が少なく、短時間で、安く乾燥すること、すなわち常に経済効果も考慮する必要があるだろう。ここでは、追田¹⁾及び小林²⁾の報告を引用しながらスギ材の乾燥について考える。

3. 3. 2 追田のスギ柱材の乾燥実験¹⁾

(1) はじめ

追田¹⁾が行ったスギ柱の乾燥実験結果を引用しながら、スギ柱材の温水利用の加熱減圧乾燥法と熱気加熱乾燥法による乾燥途上のスギ材内部の水分分布、背割の効果、赤心材と黒心材の乾燥特性等を検討した。

(2) 実験方法

1) 供試材料

スギ丸太は、宮崎県北郷町より伐出した末口径15~18cm、長さ2mの中目材14本で、これらを背割付12cm角(A)、背割無し12cm角(B)に区分した。背割の加工は丸鋸により幅3mm、深さ6mmとした。その時の、スギ材の全乾比重は、0.33~0.37であった。

また、乾燥所要時間を検討するための試験体は、上記の14体より心材が淡い材(赤心材)及び心材が薄黒い材(黒心材)をA、B各1本ずつ計4本を抽出した。2m材は、1.2mと0.75mに切断し、加熱減圧乾燥には1.2m、熱気加熱乾燥には0.75mをそれぞれ用いた。両木口面は、ウレタン系シール剤を1回塗布し、木口をシールした。

2) 乾燥条件

加熱減圧乾燥は、加熱温度条件45℃一定、減圧度35~40mmHg、加熱時間120分、減圧時間120分とし、加熱工程における乾球温度と湿球温度の差は、3~5℃とした。

3) 乾燥操作と測定方法

乾燥操作は、減圧乾燥、熱気加熱乾燥ともに昼夜連続運転とした。減圧乾燥途上の水分分布の測定は、予め決めていた供試材を減圧工程が終了した時点で

随時取り出して、長さ方向に33cmの間隔で長さ5cmの小試片を切り取った。それらの小試片は、背割材の場合には碁盤目状に30等分割、背割無しは25等分割求めた。乾燥途上の含水率測定は、毎朝の減圧工程が終了した時点で実施した。また、熱気加熱乾燥では原則として、午前9時に1回測定した。

(3) 実験結果と考察

1) 減圧乾燥経過

減圧乾燥過程を図3.3-1に示す。実験から明らかになったことを以下に示す。

①13日後(312hr)の平均含水率の減少傾向は、赤心材A：初期含水率126%→20%、赤心材B：93%→23%となったのに対して、黒心材A：140%→52%、黒心材B：172%→70%であり、黒心材の内部は、生材に近い状況である。

②初期含水率が100%を越える材の乾燥の進行状況を、含水率70%までについて平均乾燥速度で示すと赤心材A：12.4%/1日、黒心材A：7.8%/1日となり、赤心材の方が乾燥速度がかなり早いことがわかる。また、乾燥の程度を20%までにすると黒心材は赤心材の2倍以上の乾燥所要日数を必要とする。

2) 減圧乾燥過程における水分分布

長さ(1.2m)方向中央部の断面の水分分布を図3.3-2、図3.3-3に示す。図3.3-2は、4日後(96時間)の赤心材A、Bの断面の水分分布であり、図3.3-3は、乾燥終了時の赤心材、黒心材の水分分布状況を示す。

①赤心材でも4日間の乾燥では、中心部は全く生状態で、周辺部でも20%以上の含水状況である。

②黒心材は、13日後でも中心部の含水率は、全く生の状況であり、人工乾燥が容易でないが、背割材は背割の入っている部分では、かなり水分減少が認められ、背割効果が確認できる。背割は赤心材でも同様な傾向を示す。

長さ方向の水分分布を図3.3-4、図3.3-5に示す。図3.3-4は、背割材、図3.3-5は、背割無しである。

①図3.3-4では元口側がわずかに高いが、心材率も元口側が高く、含水率は心材率の割合に影響されると考えられる。図3.3-5では元口と末口の心材率が殆ど同じであるため水分傾斜はあまりみられない。

②材中心部の水分傾斜は、乾燥初期には図3.3-4、図3.3-5ともかなり大きいですが、乾燥するに従い、その差は小さくなり通気性の悪い材ではない。

3) 熱気加熱乾燥経過

初期含水率は93~161%とかなり開きがあるが、それらを乾球温度条件45~65℃で乾燥した。その時のスギ材の含水率の乾燥過程を図3.3-6、乾燥終了時の木材内部の水分分布を図3.3-7に示す。

- ① スギ柱材の熱気加熱乾燥では、赤心材は32日間の乾燥で背割材（A）では初期含水率120%→10%、背割無し（B）94%→13%であるのに対し、黒心材では38日間の乾燥で背割材（B）108%→9%、背割無し（B）161%→16%であった。
- ② 図3.3-7によれば、背割のある材（A）は中心部でも10%を示すのに対し、背割無し（B）は、特に黒心材で高い含水率を示した。すなわち背割効果はかなりあると考えられる。
- ③ 含水率が80%→20%にしたときの平均乾燥速度をみると赤心背割材が2.7%/1日、他は2.2～2.3%/1日であり、平均乾燥速度では黒心、赤心の差異は余り認められない。

4) 高周波式水分計による測定結果

減圧乾燥時に、全乾法と併せて高周波式水分計による測定を行った結果が表3.3-1である。含水率は位置A～Eの断面の水分を表し、A～Eは図3.3-4に示す。

- ① 高周波式水分計による含水率は、全乾法で求めた表層部最小値と近似している。
- ② 高周波式水分計で乾燥状態を把握する場合、材の中心部の含水率を20%台にするには、表層部では10%以下まで乾燥する必要がある。

以上が追田の報告であるが、スギの乾燥には①時間がかかなり必要である。②赤心材と黒心材では、乾燥状況にかかなり差異があり、減圧乾燥法では乾燥速度も黒心材は赤心材の2倍程度必要である。③背割は、柱材の乾燥にはかなり効果が認められる。などが明らかになった。

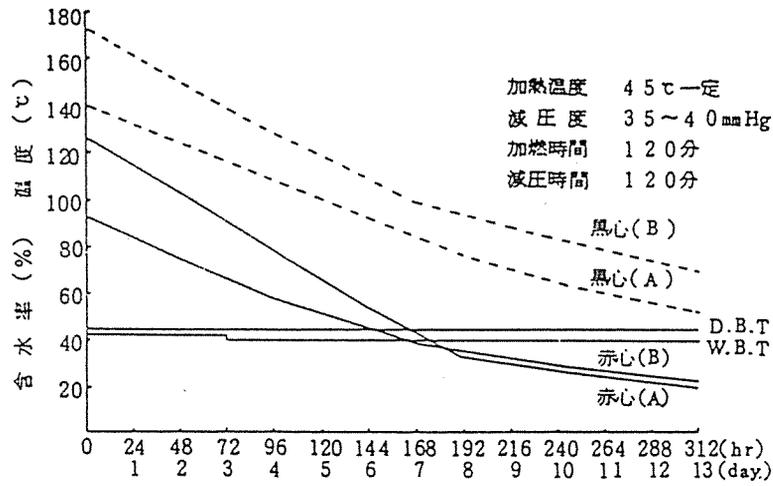


図1 スギの減圧乾燥経過

図 3.3-1 スギの減圧乾燥過程

19	29	42	28	44	22
24	74	128	117	160	53
26	80	76	123	165	51
25	54	157	95	137	36
22	27	34	29	29	20

平均 7.7%
赤心 (A)

35	36	34	49	
29	66	73	68	43
65	180	127	63	32
24	155	159	67	41
20	28	43	34	53

平均 6.3%
赤心 (B)

13	14	14	15	16	14
12	15	16	14	16	15
14	20	40	46	30	14
14	22	44	43	26	15
13	15	16	16	15	14

平均 2.0%
赤心 (A)

14	15	16	16	15
15	22	33	30	18
14	23	75	46	19
15	22	31	29	17
14	16	17	16	15

平均 2.3%
赤心 (B)

図 3.3-2 減圧乾燥 4 日経過時の水分分布

14	16	16	17	17	14
18	49	49	63	36	17
32	16	78	73	69	18
27	93	134	165	119	20
15	38	91	68	32	16

平均 5.2%
黒心 (A)

15	19	20	18	16
20	86	156	96	21
26	163	172	212	32
23	151	228	135	25
16	21	31	23	16

平均 7.0%
黒心 (B)

図 3.3-3 減圧乾燥終了時 (13日) の水分分布

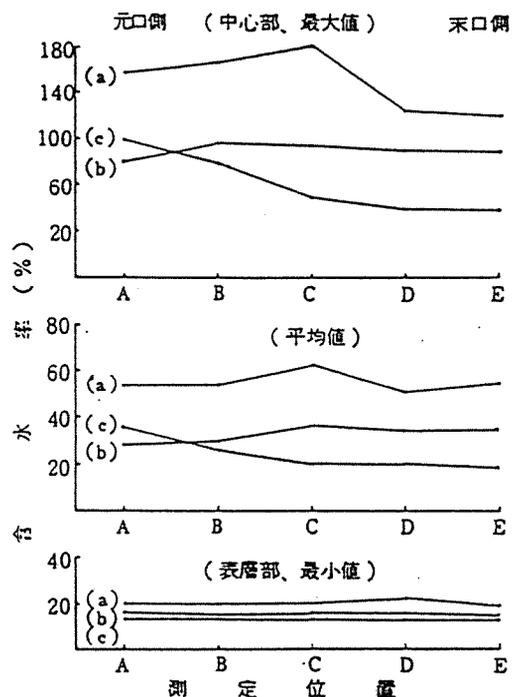
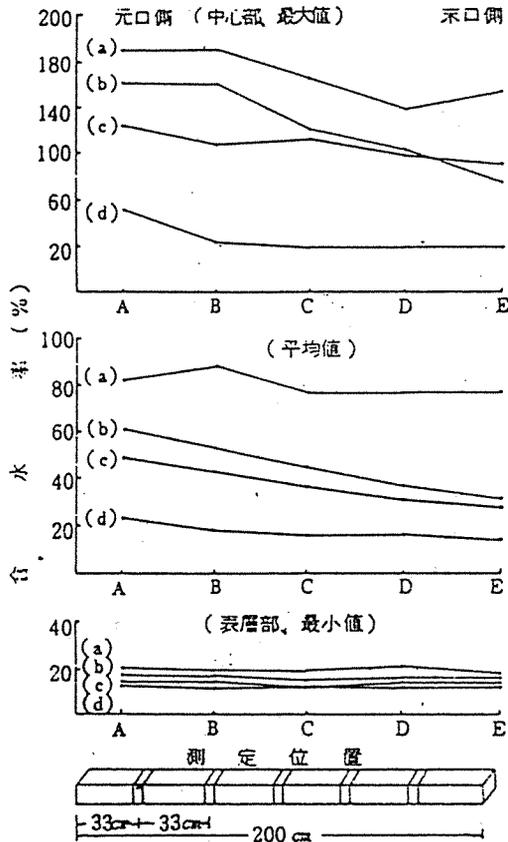


図 3.3-4 減圧乾燥過程の長さ方向の水分分布 (背割材)

図 3.3-5 減圧乾燥過程の長さ方向の水分分布 (背割無し)

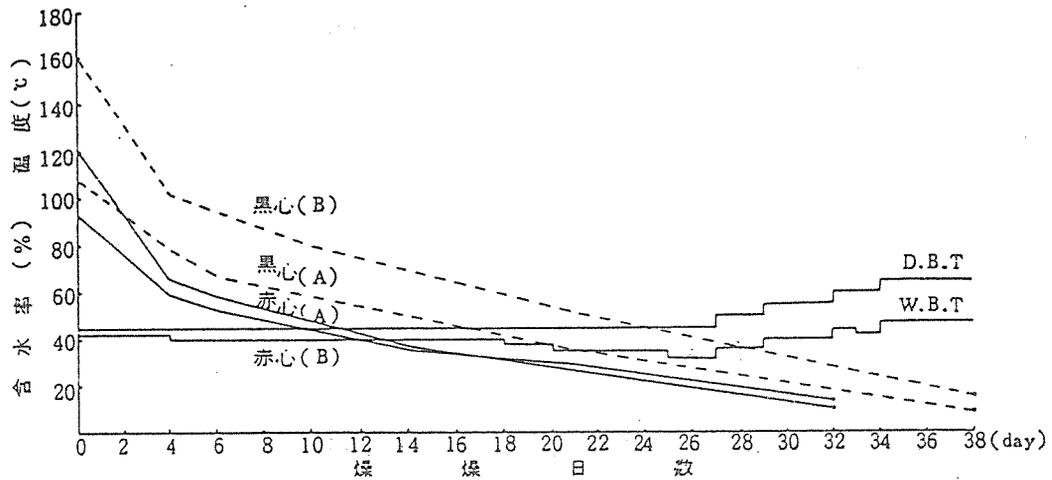


図 3.3-6 スギの熱気加熱乾燥過程

8	9	8	8	8	8	8	10	11	10	8
10	12	11	10	9	8	10	15	17	15	10
10	15	14	12	11	9	9	16	23	19	11
10	14	15	14	11	9	11	17	21	18	11
8	10	10	10	9	8	9	11	12	11	9
平均 10%						平均 13%				
赤心 (A)						赤心 (B)				

7	7	7	7	7	7	8	11	11	9	8
7	9	8	8	10	8	12	22	22	15	9
8	11	10	10	12	8	14	31	47	22	10
8	11	12	12	11	8	11	22	27	19	12
8	9	9	9	8	7	9	12	13	11	9
平均 9%						平均 16%				
黒心 (A)						黒心 (B)				

図 3.3-7 熱気加熱乾燥終了時 (13日) の水分分布

表 3.3-1 全乾法と高周波式水分計の含水率測定結果の比較

方法		測定時期	96時間後					乾燥終了後				
			位置	A	B	C	D	E	A	B	C	D
全乾法	中心部最大値 (%)		160	161	119	107	78	53	25	21	20	20
	平均値 (%)		61	53	45	37	32	23	18	16	16	15
	表層部最小値 (%)		17	16	16	16	16	13	13	12	13	12
水分測定器 (%)			20以上	20以上	17	15	16	19	11	8	8	8

※ 水分測定器 高周波式、全乾比重=0.35に設定

3. 3. 3 小林の報告²⁾

1) はじめに

小林は、木材学会「スギ」分科会の報告²⁾で、黒心材と赤心材の乾燥性の明確な差は実験的に得られておらず、むしろ抽出物や組織構造的な原因、木取りあるいは生材含水率等が乾燥性に大きい影響を与えていると報告しており、以下奈良県林試で行った実験結果を中心にその報告の概要を示す。

2) スギの生材含水率と乾燥特性

吉野地方では、一般に10.5cm、12.0cmの正角材は、末口径14~16cmの小丸太からの採材と同20~25cmの中目丸太からの採材がある。採材された正角材は、図3.3-8に示すような3つの水分分布形態に区分できる。すなわち、c：心材部、辺材部の含水率が高くほぼ等しく、断面の表面近くに含水率の低い移行材を持つものでこれらは小丸太より採材されている。a：中心部と表層部との間に水分傾斜がなく含水率が高いもので、これは心材だけで木取られている。b：aよりも表層部の含水率が低く、表層に移行材部分が木取られている材であり、a、bは中目丸太より採材している。

図3.3-9は、スギ12cm角材の除湿乾燥経過の1例を示す。赤心材と黒心材の乾燥過程には殆ど差異がみられず、辺材の多い材に比べ、乾燥が遅いことが認められる。このことから、スギ材の乾燥の難易や速度は、心材の色よりも木取りや辺心材の割合等が影響していると思われる。

3) 吉野の樽丸林業

吉野林業は、樽丸林業に由来しており、表にわずかに辺材を含んだスギ心材板目板を樽材として利用している。この理由はスギ材には移行材から心材の外側に不透水層があり、この層が酒の漏れを防ぐことを経験的に知られていたからである。乾燥するときに、この層が水分移動の障害となり水分の内部残留を引き起こす。これを実験的に確認したのが図3.3-10である。A：中目材から取った正角材、B：大径材の樹心近くから取った正角材（大部分は心材）でそれぞれの水分分布を示す。Bでは内部含水率の低下が速く、水分傾斜が小さい。それに対して、Aでは移行材から心材外側にあたるところに大きな水分傾斜があり、この部分が不透水層にあたると思われる。この部分を改良すれば、水分移動がスムーズになり乾燥性が良くなると推察できる。

4) 水中貯木による乾燥性の改善

長期間の水中貯木は、乾燥を促進する効果があることは良く知られているが、これを不透水層の改善に利用した。図3.3-11は、丸太から製材したばかりの無処理材に木口から染料を浸透させると移行材から心材外側にかけて浸透性が悪い部分があるのに対して、3年間水中貯木処理したものは、平均的な浸透性を示しており、浸透性が改善されている。また、水中処理した丸太の組織を電子顕微鏡で観察すると細胞の中には細菌が多数観察され、しかも細胞相互の水分通路に細菌がアタックして開口し、水分通導をよくしている様子がみられた。この効果は1カ月間の処理材にもみられ、半径方向の水分移動を改善するので長尺材にも適応できる。ただし、処理期間が長すぎるため実用的でないため他の方法との併用を検討している。

小林の報告では、吉野スギでは移行材から心材外側に不透水層が存在し、これらを改良することがスギ材乾燥を改善することにつながり、必ずしも黒心、赤心といった心材の色で乾燥の善し悪しが決まるのではなく、丸太径と木取りに影響されるところが大きい。また、不透水層を改善する方法として、水中貯木処理を提案している。

文献

- 1) 追田忠芳：木材の乾燥講習会テキスト（宮崎県）P12～18、「スギ・ヒノキ柱材の乾燥」、1987・3
- 2) 小林好紀：日本木材学会「スギ」分科会P43,44、「4.3スギ心材の乾燥特性とその改善の試み」、1991・2

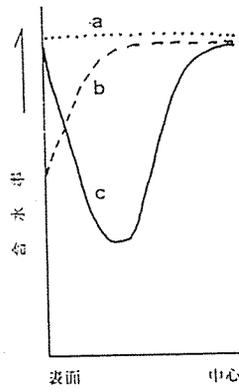


図 3.3-8 正角材の水分分布の形態

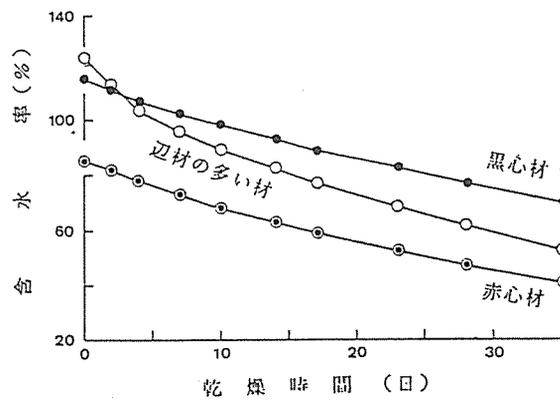


図 3.3-9 スギ12cm角材の除湿乾燥過程の1例

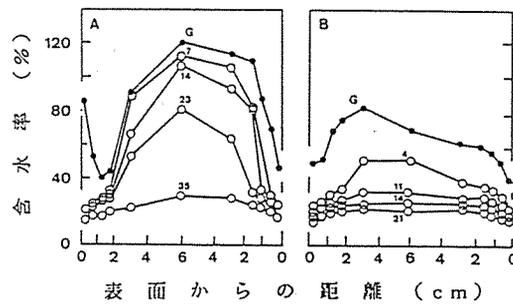


図 3.3-10 12cm角材の水分分布、A；中目材、B；大径材

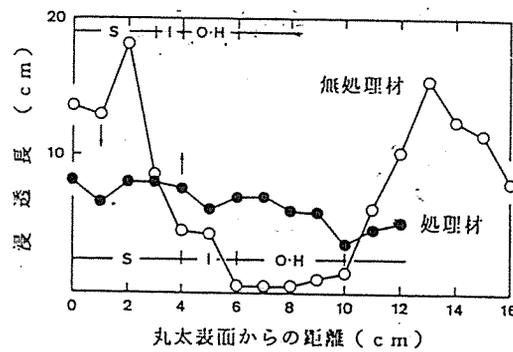


図 3.3-11 半径方向部位の染料浸透性

S：辺材、I：移行材、O-H：心材外側

3.5 縦つぎラミナ

集成材の設計に必要な縦つぎラミナのヤング係数や引張強度等の材質は、当然のことながら縦つぎされる木材の材質によって決ってくる。また集成材の場合、特に最外層に位置するラミナの材質が重要であり、縦つぎラミナの材質を把握しておくことは重要である。したがってここでは、まず一般の工場で製造されたスギ縦つぎラミナの材質を述べ、次に縦つぎ材の強度の考え方を述べることにする。

3.5.1 スギ縦つぎラミナの材質

ここで引用したデータは、(財)日本住宅・木材技術センターで行われた「木造化推進標準設計施工マニュアル作成事業」の中の「木造化技術開発」^{1)・3)}、「たてつぎ木材の利用開発」²⁾に掲載してあるものである。表3.5-1に縦つぎラミナの寸法とフィンガーの形状を、表3.5-2に曲げヤング係数(MOE)、曲げ強度(MOR)、引張強度(TS)の値を示した。ここでMOE、MORの値は静的曲げ破壊試験より求めたものである。静的曲げ破壊試験は3等分点4点荷重方式で、縦つぎ部がモーメント一定区間にくるようにした。引張試験はスパン内に縦つぎ部を1つ含むようにした。また表の値は、いずれも縦つぎ部で破壊した試験体のみのものである。これより以下のことが分かる。

(1) 曲げヤング係数の値は試験体により異なっている。しかもフィンガーの形状やタイプによるものではない。したがって縦つぎ材のヤング係数は、縦つぎされる木材のヤング係数によって決っているのであり、縦つぎ部の材質によって左右されているのではない。つまり試験体により木材自体のヤング係数が異なっているのである。

(2) 建築基準法施行令第89条における木材の許容応力度の値から、引張におけるスギの材料強度は135(kgf/cm²)、曲げの場合225(kgf/cm²)となる。表3.5-2における値と比較するとMORについては、分布のバラツキを考慮すれば試験体G、H、Jにおいては数パーセントの試験体が材料強度を下回ることになる。一方引張強度については、試験体Fでは約4割が、C、Eでは約5%の試験体が材料強度を下回っていることになる。また、引張強度のバラツキはMORのそれよりも大きいことがわかる。

(3) 概してヤング係数の大きな試験体は、MOR、TSとも大きな値を示していることが分かる。

(4) 以上をまとめると次のようになるであろう。つまり縦つぎ部の材質は、縦つぎされる木材の材質によって決ってくることを表しているのであり、縦つぎされる木材をヤング係数等により等級区分することにより、強度の高い縦つぎラミナを製造することが可能であることを示唆するものである。したがって

まず縦つぎされるラミナの材質特性を把握しておくことが重要である。このことについては次項で考察することにする。

表 3.5-1 縦つぎラミナの寸法とフィンガーの形状

試験体	寸法 (cm)		フィンガーの形状 (mm)				接着剤
	厚さ	幅	タイプ	長さ	ピッチ	先端厚さ	
A	2.4	15	水平	16	5.0	1.0	レゾルシノール
B	2.6	15	垂直	19	6.8	0.8	〃
C	2.6	15	垂直	19	6.8	0.8	水性ビニルウレタン
D	2.0	10	垂直	10	4.5	0.8	レゾルシノール
E	2.0	11	垂直	19	6.2	0.8	〃
F	1.6	15.5	-	-	-	-	-
G	3.9	9.5	水平	16	5.0	0.9	-
H	3.9	9.5	垂直	20	5.0	0.8	-
I	3.9	19.4	水平	16	5.0	0.9	-
J	3.9	19.4	垂直	20	5.0	0.8	-

(註) タイプ:

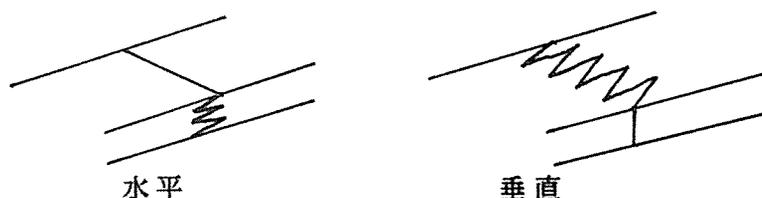


表 3.5-2 縦つぎラミナの強度性状

試験体	MOE (10^3 kgf/cm^2)		MOR (kgf/cm^2)		引張強さ (kgf/cm^2)	
	平均	COV (%)	平均	COV (%)	平均	COV (%)
A	92.0	13.7	503	8.9	300	17.0
B	81.5*	16.6*	399*	16.1*	272	21.3
C					240	28.1
D	96.6	17.7	493	14.4	308	23.4
E	105.0	14.0	504	17.4	307	33.7
F	-	-	-	-	144	26
G	71.6	12.2	320	18.6	-	-
H	64.4	17.2	295	17.5	-	-
I	70.0	14.1	314	11.4	-	-
J	72.8	16.9	283	10.9	-	-

(註) * : B、Cをまとめた値

COV: 変動係数 (バラツキの程度を表す値)

3. 5. 2 縦つぎ材の強度の考え方

縦つぎ材の強度は、構成要素である木材および縦つぎ部の強度により決定される。つまり木材そのものの強度分布 $f_w(x)$ と縦継ぎ部の強度分布 $f_j(x)$ が存在し、縦つぎ部を n 箇所とした場合 $f_w(x)$ に属する $(n+1)$ 個のデータ W_1, W_2, \dots, W_{n+1} と、 $f_j(x)$ に属する n 個のデータ J_1, J_2, \dots, J_n のうち最小の値が縦継ぎ材の強度分布 $f_l(x)$ と考えられる。

$$f_l(x) = \min(W_1, W_2, \dots, W_{n+1}, J_1, J_2, \dots, J_n) \quad - \text{①}$$

いま縦つぎ材が定められた基準で製造されるとすれば、 $f_j(x)$ は材によって決まりほぼ一定の分布となると考えられる。この時、欠点の少ない材を使用すれば $f_w(x)$ が $f_j(x)$ よりも大きな値をとる分布となるから、 $f_l(x)$ は $f_w(x)$ にはあまり影響されなくなり、 $f_j(x)$ の 最小値分布 となる。しかも $f_j(x)$ より低い値を取る分布になる。(図 3.5-1 参照) その傾向は ① 式より縦つぎの数が増すほど顕著になる。また $f_l(x)$ は、 $f_w(x)$ が $f_j(x)$ よりも小さくならない限り傾向は変わらないであろう。一方欠点の多い材を使用し $f_w(x)$ が $f_j(x)$ よりも小さくなってくると、今度は木材の材質に影響され縦つぎ部の強度には無関係となる。この場合には欠点は取り除いて縦つぎを増やすべきである。

従って、まず $f_w(x)$ と $f_j(x)$ がどのような位置関係にあるかを把握しておくことが非常に重要である。以下に例を示す。

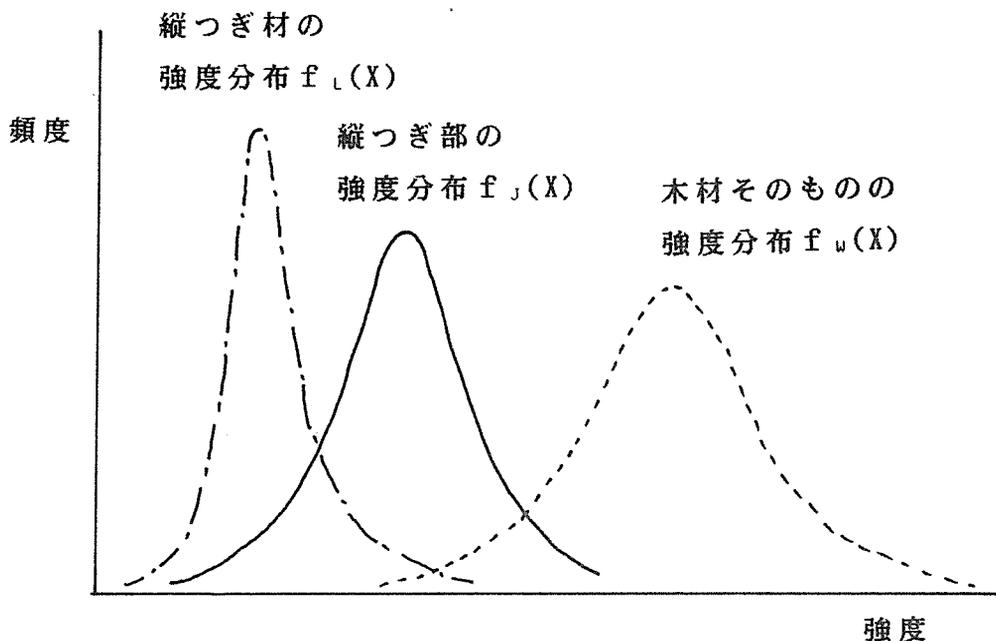


図 3.5-1 $f_w(x)$ 、 $f_j(x)$ の位置関係とそれによる $f_l(x)$ の分布

ほぼ無欠点とみなせる S-P-F (スプルース・パイン・ファー) については、引張試験の結果木部で破壊したのが全体の 8% と少なかったため、縦つぎを含む部分・木部のみの 2 種類について曲げ試験を行いそれぞれのヤング係数および

曲げ強度を求めた。この時縦つぎを含む部分では全て縦つぎ部で破壊した。一方かなり節の多いスギについては引張試験を行い引張強度を求めた。表3.5-3にそれぞれの結果を示した。またスギの目視による等級区分は、等級2、3、4、格外がそれぞれ14%、38%、44%、4%であった。S-P-Fについては詳しく測定したわけではないが、全て1等以上であると思われる。

表3.5-3 S-P-F、スギの試験結果

	S-P-F (曲げ強度)			スギ (引張強度)		
	個数	平均 (kg/cm ²)	変動係数 (%)	個数	平均 (kg/cm ²)	変動係数 (%)
木部	167	656	13.2	46	259	27.7
縦つぎ部	147	427	11.2	38	327	22.8

	S-P-F (曲げヤング係数)			スギ (曲げヤング係数)		
	個数	平均 (10 ³ kg/cm ²)	変動係数 (%)	個数	平均	変動係数 (%)
木部のみ	188	96	14.7	345	102	20.3
縦つぎを含む	147	104	11.9	453	98	16.1

この表より、無欠点に近いS-P-Fでは縦つぎ部の強度が木部のそれよりかなり小さいこと、反対に節の多いスギではS-P-Fほどではないが縦つぎ部の方が大きくなっていることが分かる。また変動係数の値がいずれも縦つぎ部の方がわずかではあるが小さくなっていることは、定められた製造基準に従えばある程度の強度をもった縦つぎ部が製造できるということを示唆するものである。

この時 $f_w(x)$ 、 $f_j(x)$ は統計的な検定によりその分布が正規分布に当てはめられることがわかっているため、モンテカルロ法によるシミュレーションを行い縦つぎ部・木部の強度を発生させ①式から最小値をもとめ、縦つぎ材の強度分布 $f_L(x)$ を求めた。シミュレーションは縦つぎの数が1個、2個、3個存在する場合についてサンプル数1,000発生させた。結果を表3.5-4に示す。

これより縦つぎ材の強度は、構成要素である木部と縦つぎ部の強度のうち小さい方の影響を受けそれ以上に小さくなること、縦つぎの数が増えるにつれて小さくなること、強度のバラツキ(変動係数)についても同様の傾向にあることが分かる。また縦つぎ部の破壊する確率をみると $f_w(x)$ 、 $f_j(x)$ の位置関係に大きく関わってくることで、つまり両者が離れていると強度の小さな要素の破壊する確率が高くなり、ある程度近づいてくると偏らなくなることが分かる。

(図3.5-2参照)このことは前述の試みを裏付けるものである。

表 3.5-4 シミュレーションによる縦つぎ材の強度

	縦継ぎ の数	平均 (kg/cm ²)	変動係数 (%)	縦継ぎ部が破壊 する確率(%)
S-P-F (曲げ強度)	1	423	10.8	99.2
	2	402	11.4	99.1
	3	395	11.4	99.7
スキ (引張強度)	1	219	23.0	13.4
	2	201	23.1	15.2
	3	188	22.5	16.6

一方、ヤング係数については表 3.5-3 からわかるように、定められた製造基準に従って製造された縦つぎ材は縦つぎ部の影響は受けないものと考えられる。

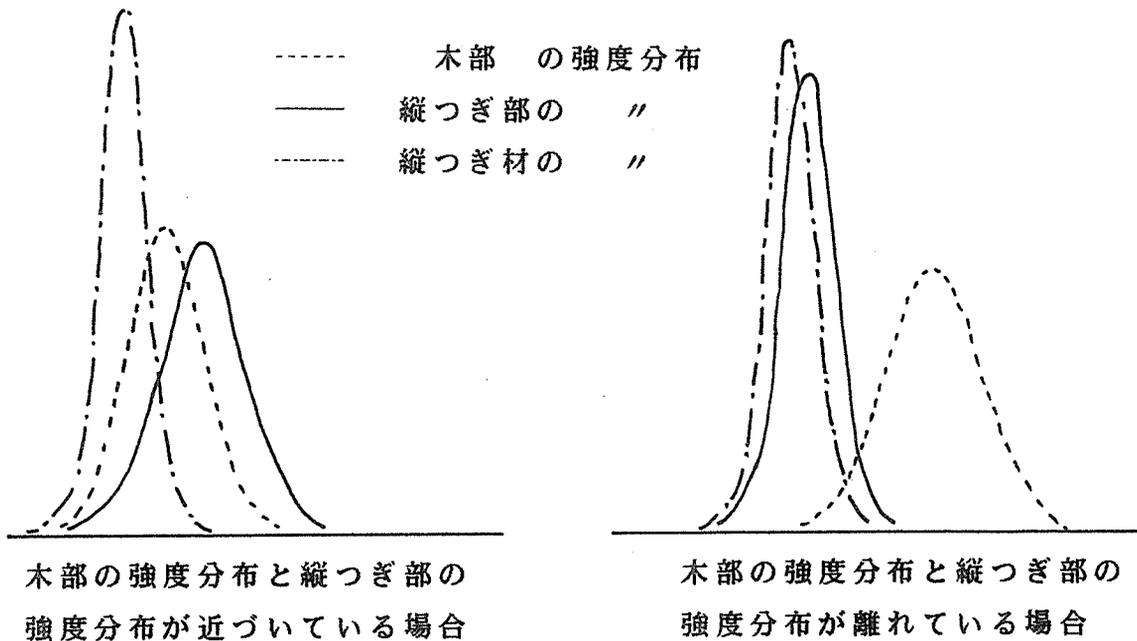


図 3.5-2 $f_w(x)$ 、 $f_j(x)$ の位置関係による $f_L(x)$ の分布

3.5.3 引用文献

- 1) 木造化推進標準設計施工マニュアル作成事業報告書(3)「木造化技術開発」: 昭和62年3月、(財)日本住宅・木材技術センター
- 2) 木造化推進標準設計施工マニュアル作成事業報告書(1-3)「たてつぎ木材の利用開発」: 昭和63年3月、(財)日本住宅・木材技術センター
- 3) 木造化推進標準設計施工マニュアル作成事業報告書(1)「木造化技術開発」: 平成元年3月、(財)日本住宅・木材技術センター

3. 6、ラミナの組合せ

一般に集成材の製造においては、低品質のラミナは断面の内層に、高品質のラミナは外層に配置される。集成材の梁が曲げを受けるとき、外層側により大きな曲げ応力が発生するので、この様な配置にする事は力学的に合理的である。また、高品質なラミナほど節の出現が低いので、見栄えが良くなるという利点もある。

ラミナを適切に配置するか、しないかで集成材の性能は大きく左右される。特に曲げヤング係数（M O E）においてはそれが顕著である。図3.6-1 は平均値85 ($\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$)、変動係数25%のラミナを水平に積層した集成材のM O Eの下限5%値を、モンテカルロシミュレーションを用いて計算したもの¹⁾である。●印はラミナを3等級に区分して積層したもの、■印はラミナを2等級に区分して積層したもの、▲印は全く区分せずに積層したものである。等級区分して積層することによって下限5%が上昇する、すなわち製品のバラツキが小さくなることがこの図からよくわかる。

日本木材加工技術協会の「構造用大断面集成材の製造基準」²⁾では、ラミナの等級構成を表3.6-1のように規定している。

スギの場合、原木の産地や品種によっては適合基準に達しないようなラミナしか得られない場合や、得られてもあまり経済的でないような場合になることがあるので、製造にあたっては購入すべきラミナあるいは原木の選定に留意すべきである。

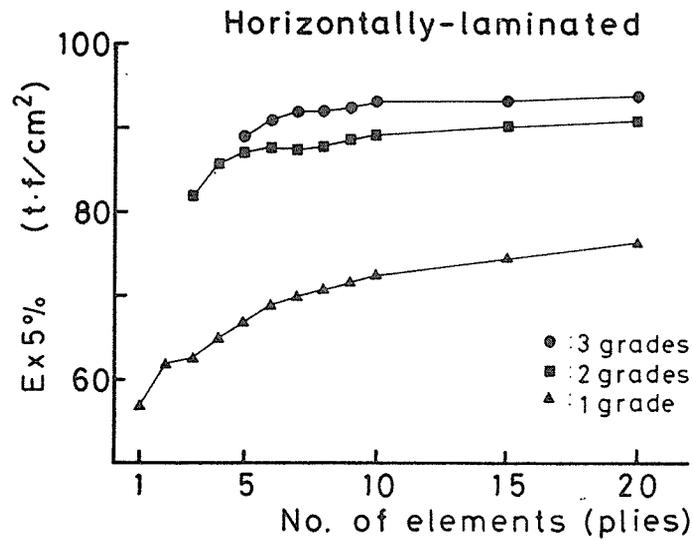


図3. 6-1 等級区分が集成材のMOEの下限5%値に及ぼす影響¹⁾
 (●: 3等級区分、■: 2等級区分、▲: 等級区分なし)

表3.6-1 構造用大断面集成材のラミナの等級構成²⁾

ラミナの構成	特級	1級	2級
外層	1等	2等以上	3等以上
中間層	3等以上	3等以上	4等以上
内層	4等以上	4等以上	4等以上
中間層	3等以上	3等以上	4等以上
外層	1等	2等以上	3等以上

注: 外層とは、両最外層から内側へせいの1/8を越える部分までをいい
 内層とは両外層からせいの1/4以上離れた内側の部分をいう。また
 中間層とは、外層と内層に挟まれた部分をいう。

文献 (3. 6)

1) 林知行: 木材学会誌、35(11)、p.1048-1057 (1989)。

2) 日本木材加工技術協会: 構造用大断面集成材の製造基準、p.5 (1987)

3. 7、 スギラミナの接着性能

木材を接着の容易さで区分するなら、スギは接着しやすい樹種に分類されるであろう。スギの材質は軽軟であり、一般的な木材用接着剤を用いる限り、「接着」すること自体は容易である。しかしながら、接着の容易さは、接着系全体の性能が高いことを意味しない。

スギは水分変化に伴う狂いや内部応力の発生が比較的少なく、接着層に与えるダメージが小さいといった長所もあるが、一般に強度特性が他の針葉樹より劣るので、接着系の強度性能も他樹種より低いと考えておくのが安全である。

スギ集成材を製造する場合、接着における一般的な注意点、例えば含水率、圧縮時間、圧力などに留意すれば、とりたてて問題となるようなことはない。

集成材用の接着剤として、構造用ではレゾルシノール樹脂接着剤、造作用ではユリア樹脂接着剤、酢酸ビニール樹脂接着剤、水性高分子イソシアネート樹脂接着剤などが用いられるが、スギが低比重であることや一部の樹種に見られるような接着阻害成分などを含まないことから、いずれの接着剤であっても良好な接着状態が得られる。構造用の煮沸試験におけるはく離なども他の樹種に比べると少ない傾向を示す。

J A Sにおけるスギ集成材（B-2類）の接着せん断強さ（ブロックせん断）および木部破断率の適合規準¹⁾はそれぞれ $55\text{kgf}/\text{cm}^2$ および60%であるが、極端に低比重（0.3以下）のラミナでなければ、この基準をクリアするのは容易である。

集成材のラミナは視覚あるいは曲げヤング係数（M O E）によって等級区分された後、要求された断面構成に基づいて積層される。等級区分のための因子とラミナの曲げ強度（M O R）との間には比較的高い相関関係が存在するが、接着強度（ブロックせん断強度）とこれらの因子の間には相関関係はない。

表3.7-1は、M O Eで等級区分されたスギラミナの接着強度を等級別に調べたものである。この表から、等級と接着強度との間に相関関係はないことがわかる。この結果と同様に視覚で等級区分されたスギラミナにおいても等級と接着強度との間には相関関係がないことが明らかにされている²⁾。

表3.7-1 等級区分されたスギラミナを接着した時の
ブロックせん断強度

等級	M O E の 範 囲 ($\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$)	平均値 (kgf/cm^2)	標準偏差 (kgf/cm^2)	変動係数 (%)
1	$\text{MOE} \geq 95$	88.41	15.80	17.88
2	$85 \leq \text{MOE} < 95$	89.94	15.86	17.64
3	$75 \leq \text{MOE} < 85$	91.01	12.84	14.11
4	$65 \leq \text{MOE} < 75$	91.34	12.10	13.23

試験片数：100～150

文献（3. 7）

- 1) 日本農林規格：“集成材の日本農林規格”、日本合板検査会、(1987)
- 2) 中西祺周、和田 博：奈良林試研報、No.6、p.51-62、(1975)

3. 8 スギラミナと他樹種、他材料を組み合わせた集成材の製造

前項に示したように、スギラミナは最も強度性能の低い針葉樹 B-2 類に区分されており、他の樹種群の樹種に比べ強度利用面で不利な立場にある。しかしながら、ヤング係数や曲げ強度の低さについては、集成材の断面を大きくすることによって強度特性の不利な点のある程度までカバーすることができる。例えば、梁せいを大きく取れば、曲げ剛性を向上し得る。今、ヤング係数が $80 (x10^3 \text{kgf/cm}^2)$ のスギラミナを用いて、ヤング係数が $120 (x10^3 \text{kgf/cm}^2)$ のベイマツラミナを用いた集成材と同じだけの曲げ剛性を持つ集成材を製造するためには、単純に計算して 15% 程度大きな梁せいにすればよい。もちろん、使用する材料の体積が増加するので、コスト面における経済性低下の問題は存在する。

一方、断面の増加だけでは解決できない問題もある。めりこみに対する抵抗力（部分圧縮特性）などは集成材の表面付近の強度特性が問題であり、梁せいや断面量の増加では解決できない。梁受け金物のようなものを使用することを考える場合、部分圧縮特性の低い材では木材との接触部分の大きなもの、すなわち、より大きな接合金物を使用して特性の低さを補償せざるを得ない。

上にあげたスギ集成材の 2 つの問題点、すなわち低いヤング係数と低いめりこみ抵抗力を解決するための方法として、最外層ラミナに強度特性の高い樹種のラミナや強度のバラツキの少ない LVL を用いることが考えられる。最外層にヤング係数の高いラミナがあれば、内層にスギラミナが使用されていても集成材全体としてのヤング係数は高くなるし、めり込みに対する抵抗力も大幅に改善されることが予想される。また、大断面集成材であれば引張側最外層に LVL を使用することによる曲げ強度の向上も期待できる。

図 3.8-1 は外層にヒノキ、内層にスギを用いた 8 プライの複合集成材の実験結果¹⁾である。スギラミナのみを用いた場合よりも MOE、MOR とともに向上が見られる。

図 3.8-2 は外層にベイマツ LVL、内層にスギを用いた 5 プライの複合集成材の実験例²⁾である。MOR は向上しないが、MOE は大幅に向上している。ただし、複合集成材ではせん断変形が大きくなるので、MOE の値は計算式で求められる値よりは低い傾向にある。なお、スギラミナの等級区分の制限値は 1 等: $MOE > 95$ 、2 等: $85 < MOE \leq 95$ 、3 等: $75 < MOE \leq 85$ 、4 等: $65 < MOE \leq 75$ ($x10^3 \text{kgf/cm}^2$) である。また LS は複合集成材、SS はスギ集成材の意味である。LS のあとに続く数字はスギラミナの等級を表わしている。SS の場合、最初の数字は外層の等級を、2 番目の数字は内層の等級を表している。例えば

1 2 の場合外層の 2 枚のラミナは 1 級、内層の 3 層のラミナは 2 級である。

表 3.8-1 は部分圧縮試験を行なって、複合集成材のめり込みに対する抵抗力をスギのそれと比較した²⁾ものである。ただし、試験体の断面は高さ 10cm、幅 4.5cm、長さ 50cm、加圧面は 4.5X6.0 cm である。外層に L V L やカラマツを用いると、5mm 変形時の荷重及び比例限荷重が 5 0 % 近く向上することがわかる。

図 3.8-3 は 5 プライのスギ複合集成材およびスギ集成材の引張試験結果²⁾を示したものである。スギラミナの等級区分の制限値やは記号の意味は図 3.8-2 の場合と全く同一である。

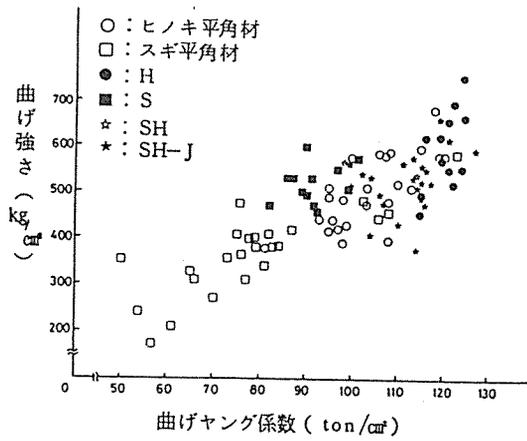


図 3. 8 - 1 ヒノキとスギの複合集成材の強度試験結果¹⁾

H : ヒノキのみ S : スギのみ

SH : スギ+ヒノキ

SH-J : スギ+ヒノキ (ジョイント有)

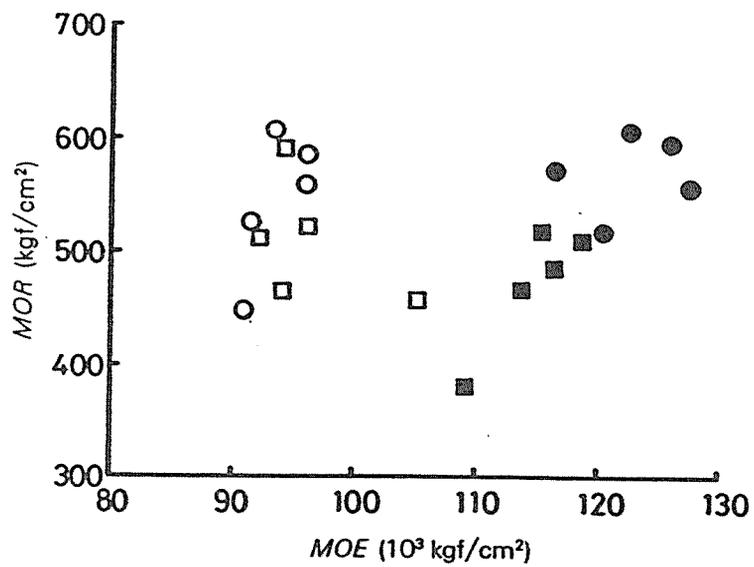


図 3. 8 - 2 LVLとスギの複合集成材の曲げ試験結果²⁾

● : LS2 ■ : LS4 ○ : SS12 □ : SS13

表 3. 8 - 1 複合集成材のめり込み性能²⁾

(kgf)

樹 種	5 mm変形時の荷重	比例限荷重
スギ+スギ	1643 (12.2%)	826 (16.4%)
L V L +スギ	2360 (10.8%)	1278 (13.5%)
カラマツ+スギ	2324 (13.5%)	1321 (19.2%)

() 内は変動係数

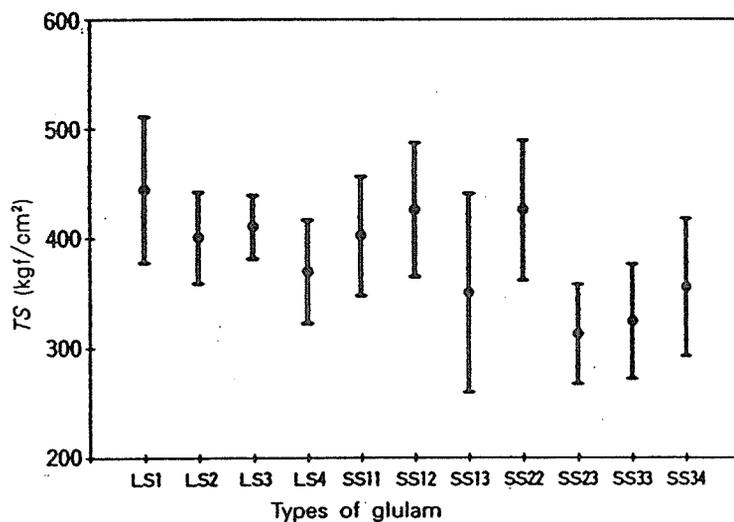


図 3. 8 - 3 L V L とスギの複合集成材の引張試験結果²⁾

文献 (3. 8)

1) 江口 篤: スギとヒノキを混用した集成材の強度性能、奈良県林試研報、17、(1987)

2) 林 知行、宮武 敦: スギ複合集成材の強度特性 (第 1 報) 曲げ、引張および部分圧縮強度、木材学会誌、37(3)、(1991)

3.9 スギ丸太からラミナ、集成材の製造

3.9.1 丸太等級区分の背景

スギ材は比較的中径木が多く、また、国産造林木の蓄積量の過半を占めていることから構造用集成材への利用が考えられているが、現実には特定の用途以外は、スギ集成材の需要は少ない。その最大の原因は、集成材用挽板の入手が以外と困難であり、価格面で競争力が弱いことである。

近年、輸入が増加してきている米国の比較的廉価な集成材の製造環境と、わが国の集成材製造、特にスギ集成材の製造環境と比較すると以下の点が異なり、価格差を作り出しているものと考えられる。

- 1) 集成材挽板の寸法は、一般構造材であるディメンション・ランバーと同じ体系にある。
- 2) 機械的等級区分（MSR）あるいは視覚的等級区分が確立しており、要求に応じた性能の挽板が入手し易い。
- 3) エネルギーコストが低い。
- 4) スケール・メリットを求めるために必要な生産設備、原料の供給体制が整っている。

スギ集成材の製造を考えたとき、最も大きな問題は、わが国における集成材製造で使用される挽板の厚さが20～25mmのものが多く、流通製材寸法と異にしていることである。一般流通の製材寸法と異なることは、他用途からあるいは他用途への材質に応じた流用が困難であることを意味する。したがって、集成材用に一度製材された挽板は、これを全て利用することが歩留まりの向上の為に必要となる。しかしながら、個々の丸太で強度性能は大きく異なり、製材される挽板が全て集成材に使用できるわけではない。集成材に使用できる挽板の視覚的及び機械的性能はJAS（構造用集成材、大断面構造用集成材の日本農林規格）で規定されているが、製材工程での機械的等級区分の導入は、わが国ではまだ一般化されておらず、要求される性能の挽板の入手には、特定の製材業者を育成するか集成材メーカー自身が行わなければならない。これらの状況を考えたとき、品質の保証と価格競争力を持つわが国独自の製造体系を作る必要があるだろう。

3.9.1 打撃音法による丸太の等級区分

丸太の利用効率を高める為には、製材された挽板がJASに規定される性能を満足し、全て利用される必要がある。このためには、丸太を集成材挽板に製材する前

に、予め得られる挽板の性能を予測する技術とそのシステムの確立が必要である。丸太の機械的等級区分としては、打撃音法が現在最も簡便なものである事が研究により確かめられている。打撃音法は材の一端をハンマーで打撃し、そのとき発生する音の周波数を測定することにより材の平均的ヤング係数を推定するものである。ヤング係数を推定するに必要な情報は、材の長さ、容積重、周波数で、次式から求められる。

$$E_t = 4 L^2 f^2 \rho / g \quad (3-9-1)$$

ここで、
 E_t : 打撃法によるヤング係数 (kgf/cm²)
 L : 材長 (cm)
 f : 打撃音周波数 (1/sec)
 ρ : 容積重 (kg/cm³)
 g : 重力加速度 (980cm/sec)

打撃音周波数は、ハンマーで軽く打撃して得られた音を収録するマイクロフォンと周波数分析機が必要であるが、方法としては簡便なものである。問題となるのは容積重の測定、すなわち、丸太容積と重量の測定である。丸太が比較的通直であれば末口と元口の平均および材長から容積を求め、根張りがある場合は丸太の中央径から容積を求めればよい。断面が変形した丸太や枝の多い丸太など、径の測定が困難さを伴うものからは品質が劣る挽板しか得られないので使用を避けるべきである。末口径や材長は丸太取引の上で必要な情報であるので直接計測しなくとも比較的入手しやすいが、重量を測る経験がこれまでなかったので、計測法に付いては検討が必要である。原木市場で集成材原木に仕分けることを考えれば、樅積み作業や仕分け作業の省力化を目的として各地の市場で使用されるようになってきた丸太径計測装置（末口径や材長を光学的に自動計測する装置）の一部として組み込み、同時に打撃音の計測を行い、ヤング係数を測定するのが最良の方法と考えられる。

丸太樹幹内のヤング係数の分布は一様でなく、樹心部で低く、樹皮側に向かい高くなる傾向から、挽板のヤング係数は木取りにより特定の分布を示す。図 3-9-1 に示すような木取り（厚さ 2 cm、幅 12 cm）を丸太 20 本について行った場合の丸太に対する挽板のヤング係数の分布を図 3-9-2 に示す。これによれば、丸太のヤング係数を上回るものは、得られる挽板の 38% と予測される。JAS では最も性能の高い外層ラミナは材積の 25% が必要である。このことを考慮すると製造しようとする集成材の外層ラミナのヤング係数と同等以上の値を示す丸太、特級の集成材の製造を例に取れば、外層ラミナに要求される曲げヤング係数は $95 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$

であるから、 $95 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 以上の丸太を使用すれば性能の確保と歩留まり向上ができるものと思われる。

打撃音法によるヤング係数は動的ヤング係数に分類され、重錘载荷による静的曲げヤング係数より8%ほど高めに評価される。したがって、図 3-9-2 の値を J A S に記載のヤング係数の値としてそのまま読むことは誤解を招くが、乾燥による挽板のヤング係数の増加が同程度の値を示すことから生材挽板の打撃音法によるヤング係数を乾燥材静的曲げヤング係数と読んでも支障はない。

3.9.3 挽板の等級区分

製材された挽板のヤング係数による等級区分にも打撃音法は有効な方法である。丸太の場合に比べ、挽板では製材の加工精度が高ければ寸法測定を省略することが可能で、重量測定と周波数測定で求めることができる。重錘载荷法による曲げヤング測定より極めて簡便である。小規模なものでは打撃音法によるヤング測定装置は完成した装置もある。機械的等級区分された挽板に視覚的等級区分を行うと集成材の信頼性を高めるために極めて有効である。

打撃音法により区分された丸太の樹皮側から得られる挽板は、想定したヤング係数のものが得られる。丸太を機械的等級区分しない場合、挽板のヤング係数が低い値から広範囲に得られたのに対して等級区分の効果が顕著である。図 3-9-3 は、ヤング係数が $75 \sim 85 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ の丸太7本から、図 3-9-1 に示す木取り法で、樹皮側から各2枚毎計8枚得た挽板のヤング係数の分布を示したものである。この枚数は得られた挽板の34%に相当し、図 3-9-2 の分布と等しいものである。打撃音法により等級区分された丸太の樹皮側から得られる挽板は、外層用ラミナとして使用できる公算が強く、この挽板を主に視覚的等級区分して使用方法もあるであろう。

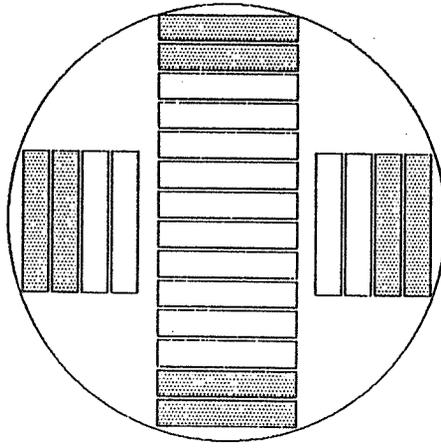


図 3-9-1 挽板の木取り

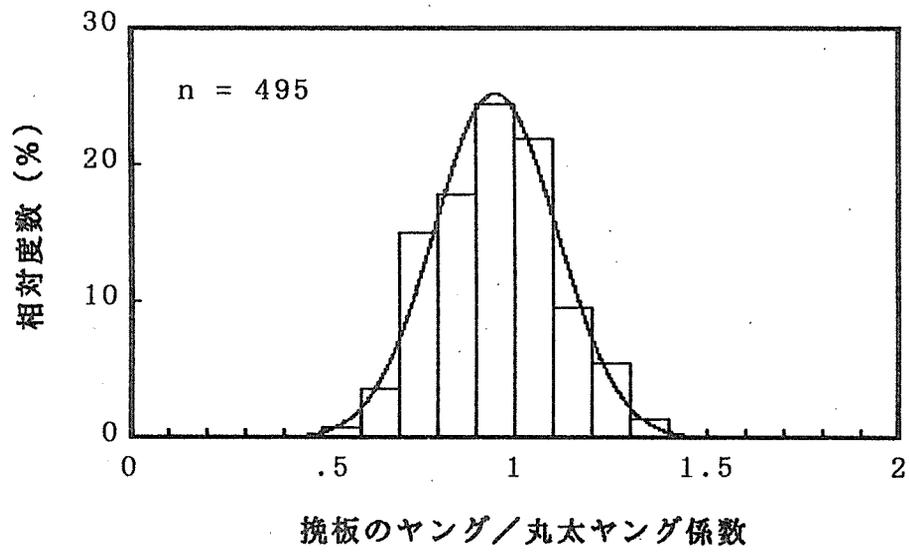


図 3-9-2 丸太ヤング係数に対する挽板ヤング係数の分布

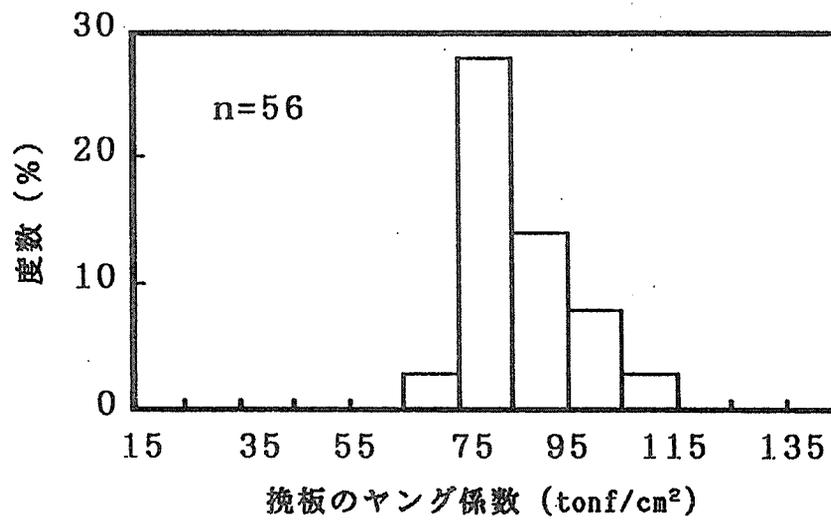


図 3-9-3 丸太樹皮側から得た挽板のヤング係数の分布
(丸太ヤング係数 75 ~ 85 tonf/cm²)

第4章 スギ集成材の強度

4. 1、 曲げ性能

集成材の強度性能は構成ラミナの等級とその組合せによって決定される。したがって、曲げに対する強度性能は集成材の等級によって異なる。

図4.1-1 は木構造計算基準¹⁾に引用されている構造用スギ集成材の曲げ試験結果である。試験に用いられたスギ集成材はラミナ厚さ20-25mm、積層数 5-10層、幅100-200mmである。図中の白抜きは集中節径比によって、黒塗り記号は曲げヤング係数によって等級区分されたラミナを用いて製造されたもので、3～10体の試験体の平均値である。2桁の数字は集成材の等級区分を表わしており、図中の階段状の実線は、曲げヤング係数の場合には木構造計算基準のヤング係数を示し、曲げ強度の場合には長期許容応力の3倍に相当する。また、点線は長期許容応力の4倍に相当する。なお、階段の上段が特級、中段が1級、下段が2級に対応している。

この図から、集成材の曲げ強度はラミナの等級構成によって明らかに異なることがわかる。当然のことであるが、高い等級のラミナを用いたものほど、曲げ強度は高い。

図4.1-1 は断面の小さい構造用集成材のデータであるが、スギ大断面構造用集成材についての試験結果もいくつか見られる。奈良県で行なわれた試験の結果²⁾を図4.1-2 に、静岡県での結果³⁾を図4.1-3 に示す。

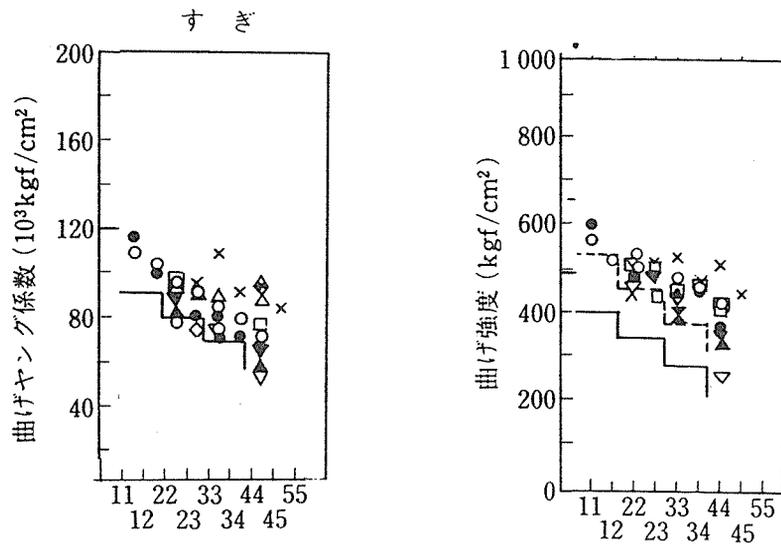


図 4. 1 - 1 構造用スギ集成材の曲げ試験結果¹⁾

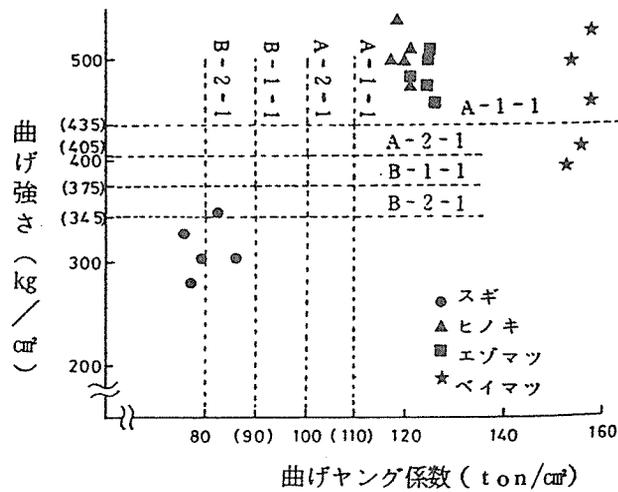


図 4. 1 - 2 構造用大断面スギ集成材の曲げ試験結果 (奈良林試)²⁾

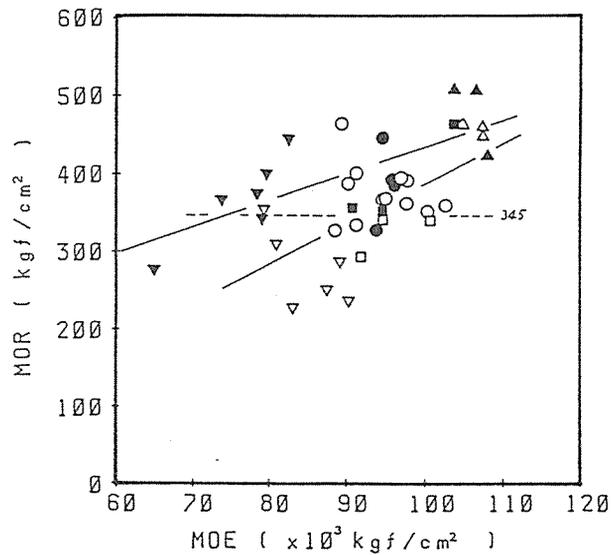


図4. 1 - 3 構造用大断面スギ集成材の曲げ試験結果 (静岡県)³⁾
 ▲▲: A社 □■: B社 ▼▼: C社
 ○●: 静岡県産
 白抜き: 引張側外層ラミナのフィンガージョイントが純曲げ区間にあるもの

文献 (4. 1)

- 1) 日本建築学会: 木構造計算基準・同解説、丸善、p.92 (1988)
- 2) 江口 篤、他2名: フィンガージョイントの接合効率と構造用大断面集成材の強度性能、奈良県林試研報、18、(1988)
- 3) 静岡県集成材工業会: 静岡県産スギを用いた構造用大断面集成材の製造とその強度性能、昭和61年度国産針葉樹多目的利用促進事業報告書、(1986)

4. 2 せん断強度

木材のせん断強度は曲げ、圧縮、引っ張りなどの強度に比較して非常に低い。したがって、ボルト接合など接合部を始めとして、断面の大きい集成材構造では、せん断強度が構造物の終局強度を制限するケースが多いので、設計に当っては十分注意を払う必要がある。

4. 2. 1 素材のせん断強度

木材のせん断強度には、繊維に平行方向にせん断力が作用する縦せん断強度と、繊維に直角方向に作用する横せん断強度があるが、通常問題になるのは縦せん断強度である。スギは繊維走行が素直で、通直であるため、せん断強度はそれほど大きくはない。JIS 椅子型試験体による無欠点小型試験片のせん断強度は平均値で60kgf/cm²であるとも^[1]、79kgf/cm²である^[2]とも言われている。針葉樹材のなかでは中～低程度のせん断強度を持つ。建築基準法の樹種群による強度分類では一番低いIV群に分類されている。

図4. 2-1は無欠点小型試験片をもちいてJIS 椅子型試験(断面3×3cm)によって求めた、36品種のスギ間伐材のせん断強度の試験結果である^[3]。比重とせん断強度とは比較的よい相関性をもっている。また、参考のために、これらのせん断強度を曲げ強度とともに比較したものを表4. 2-1に示す^[3]。

4. 2. 2 集成材のせん断強度

スギ集成材のせん断強度は、接着強度の測定を目的にしたものを除くと報告例はあまり多くない。構造材としてのスギ集成材のせん断強度は今回の委員会で新たに測定された^[4]。

用いた試験体形状は、せん断断面8×8cmの変形椅子型である。ベイマツ集成材のせん断強度と対比して、表4. 2-2に結果を示す。表中 Type A は接着層がせん断破壊面と一致するもの、Type B は接着面がせん断破壊面と平行であるが一致しないもの、Type C は接着面とせん断断面が直交しているものの結果である。また、図4. 2-2にせん断強度の頻度分布を示した。Type A でベイマツの値がスギに勝っているが、総合してみると建築基準法の樹種群による強度分類でI群に分類されるベイマツと比較べて、スギのせん断強度はそれほど劣るものではないといえる。

図4. 2-3にはスギのせん断強度と木破率の関係を示した。木破率とせん断強度の間には特別な相関は見られず、スギは集成材としてその性能を十分に発揮しているといえる。

表4. 2-1 JIS 曲げおよびせん断試験結果^[3]
 (試験数4の平均値、含水率は平均15.5%)

品 種	比 重	曲げ破壊 係数(kg/cm ²)	曲げヤング 係数(10 ³ kg/cm ²)	曲げ破壊* エネルギー(kg·cm)	せん断強度 (kg/cm ²)
アオ	0.403	513	62.0	1.94	69.8
アカ	0.383	505	60.9	1.98	59.0
アヤ	0.450	493	37.7	3.54	74.3
アラ	0.360	478	51.3	2.07	64.5
ウラ	0.378	430	51.7	1.69	60.5
エダ	0.403	536	61.7	2.16	66.0
オオ	0.405	560	68.8	2.46	60.3
オド	0.408	523	63.5	1.90	70.8
オビ	0.418	521	51.2	3.25	67.0
カラ	0.357	508	52.8	2.31	57.8
ガリ	0.375	589	55.3	2.12	58.0
キウ	0.500	698	78.6	3.34	80.3
キジ	0.375	477	54.2	1.86	68.8
クモ	0.400	523	46.2	2.14	65.8
クロ	0.348	435	48.6	2.06	65.3
ゴガ	0.348	435	52.5	1.74	53.0
サン	0.427	621	67.8	2.68	75.0
シヤ	0.500	590	56.2	3.52	85.8
タノ	0.415	545	51.3	2.46	73.5
チズ	0.463	667	71.7	2.99	73.5
チリ	0.398	564	72.8	1.88	63.3
トサア	0.358	481	53.0	2.20	64.0
トサグ	0.353	483	51.0	2.25	59.8
トミ1	0.438	461	29.3	3.00	79.8
トミ2	0.443	476	34.2	3.03	75.0
ヒダ	0.355	465	49.7	2.19	56.3
ヒノ	0.373	474	52.7	1.84	68.3
ボカ	0.343	404	31.8	2.45	52.0
ミゾ	0.358	463	54.2	1.28	58.5
ヤイ	0.400	570	65.9	2.05	60.3
ヤク	0.340	467	55.8	1.71	56.3
ヤナ	0.360	483	43.5	2.16	61.3
ヤブ	0.420	483	37.4	3.02	74.0
ヤマ	0.318	493	44.8	1.58	59.3
ヨシダ	0.408	498	42.9	3.39	65.0
ヨシノ	0.413	547	64.3	1.99	67.5
平均値	0.394	512	53.5	2.34	65.8
標準偏差	0.0431	63.9	11.6	0.594	8.02
変動係数(%)	10.9	12.5	21.7	25.4	12.2

* 2×2×28(スパン)cmの試験片に中央集中荷重を与えた場合の最大荷重に達するまでに消費するエネルギー

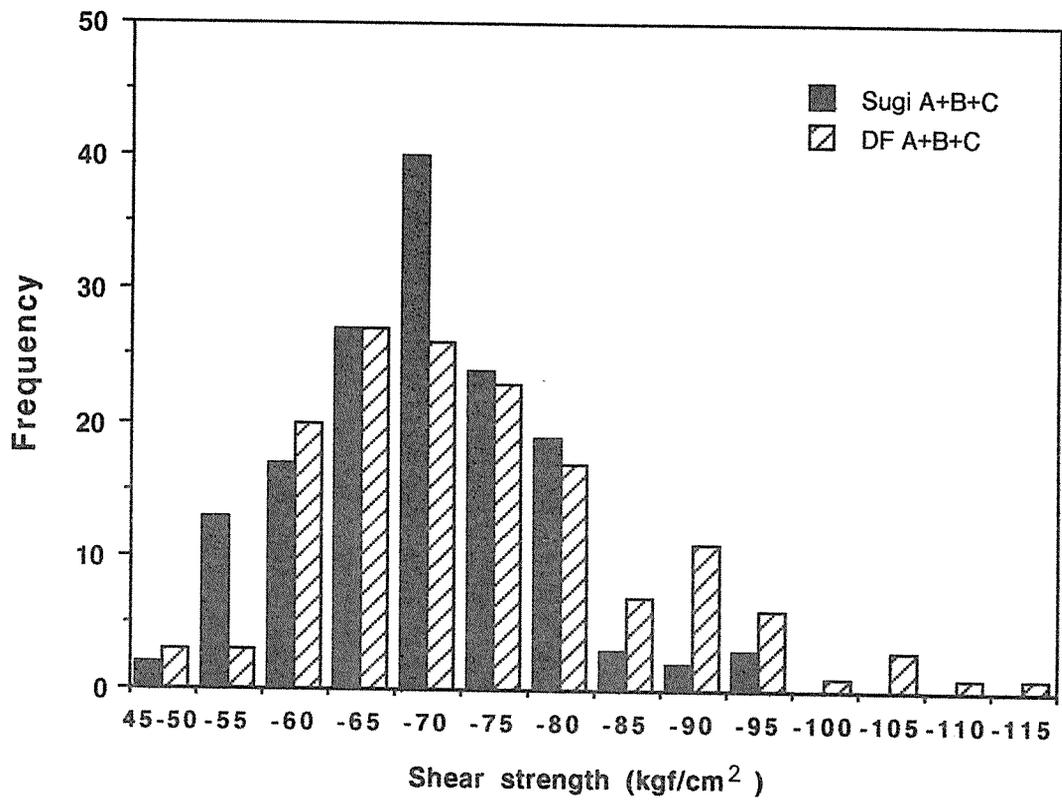


図 4. 2-2 集成材のせん断強度の頻度分布^[4]
スギ集成材とベイマツ集成材の比較

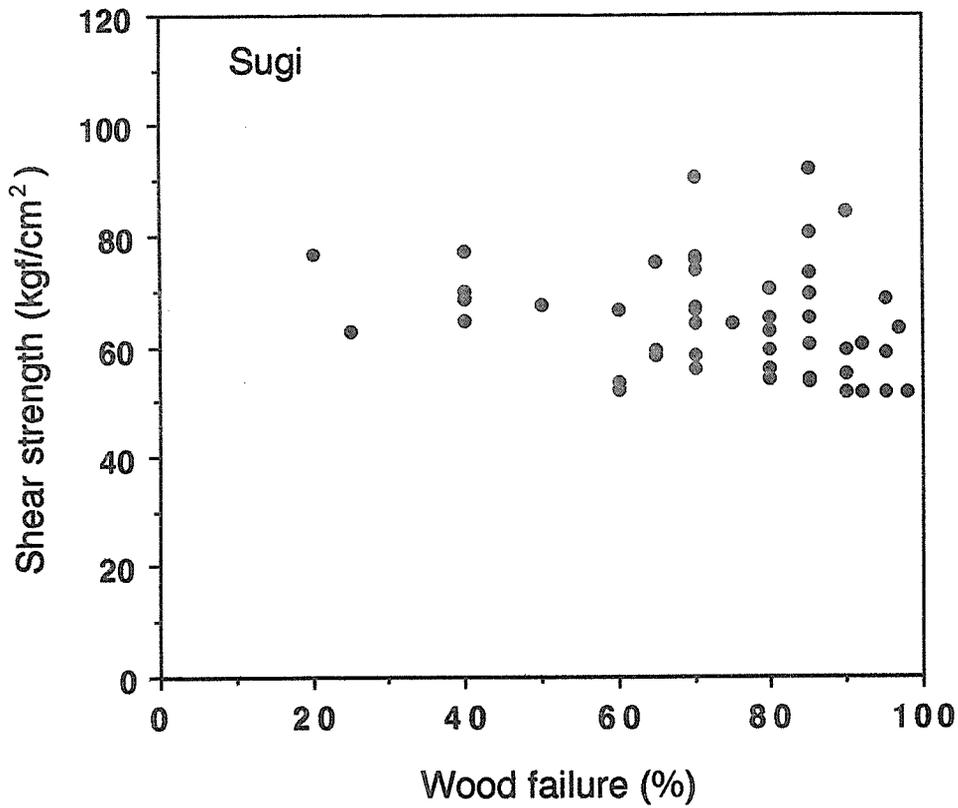


図4. 2-3 スギ集成材の木破率とせん断強度の関係^[4]

4. 2 引用文献

- [1] 林業試験場（監修）：木材工業ハンドブック、丸善（1982）
- [2] 有馬孝礼（代表）：「スギ」分科会、日本木材学会研究分科会報告書、（1991.4）
- [3] 佐々木光・角谷和男・瀧野真二郎：スギ36品種の力学的性質、木材研究・資料、No.17,192-205(1983)
- [4] 平成2年度集成材構造委員会実験結果報告書、日本住宅・木材技術センター(1991.3)

4. 3 むりこみ強度

4.3.1 概説

一般にむりこみ強度は、圧縮部分の大きさと、縁端距離、材厚などのプロポーションによって、全面横圧縮強度に対する倍率が増加する。従って、むりこみ強度、ヤング係数の基準となるのは、常に全面横圧縮の値である。また、むりこみ圧縮実験を行うと、そのP- δ グラフは、弾性域と塑性域がはっきりしたバイリニア型となる。そこで、ひずみ ϵ と表面応力 σ の関係になおして、弾性限界応力 σ_y 、弾性ひずみ剛性(ヤング係数)E1、塑性ひずみ剛性E2の、3つの指標を用いて、むりこみ性状を記述することができる。今回、320体のスギ集成材のむりこみ試験を行い、むりこみ性状に関する豊富なデータが得られた。試験結果の詳細については4.3.2で述べるとして、今回のスギ集成材の全面横圧縮強度の概略について触れておくことにする。

- ・全面横圧縮の弾性限界応力 $\sigma_{y_{all}}$ の平均値 : $\sigma_{y_{all}} = 25.38 \text{ kg/cm}^2$
- ・全面横圧縮の弾性ひずみ剛性(ヤング係数)E1 $_{all}$ の平均値 : $E1_{all} = 1321 \text{ kg/cm}^2$
- ・全面横圧縮の塑性ひずみ剛性E2 $_{all}$ の平均値 : $E2_{all} = 40.08 \text{ kg/cm}^2$

上記のE1 $_{all}$ の値がかなり小さいが、今回の試験体全てについて、東大農学部の太田研究室の協力を得て、超音波測定によって繊維と直交方向のヤング係数を求めたところ、平均値は3266kg/cm²となった(表4.3.1参照)。この差は、横圧縮試験の際には、圧縮表面のつぶれが大きいために全体としてヤング係数が小さくなることに起因するのではないかと推測される。黒田、金谷両氏によるスギのむりこみ試験においても、全面圧縮のヤング係数は約1600kg/cm²とかなり低めの結果が報告されている。

さて、基準となる全面横圧縮の値に対し、縁端距離や材厚などをパラメータとして、むりこみヤング係数E1、むりこみ塑性ひずみ剛性E2、むりこみ弾性限界応力 σ_y を算出する式として、以下のものを提案しておく。これらは、むりこみ変形時の材の内部応力の広がりを仮定して導いたもので、今回の実験結果とうまく一致するように定数項を定めたものである。

① むりこみヤング係数 E1

$$E1 = C_x \cdot C_y \cdot E1_{all}$$

$$C_x = 1 + \{ \Phi(2X_1/Z_0) + \Phi(2X_2/Z_0) - 1 \} / (0.8X_p/Z_0)$$

$$C_y = 1 + \{ \Phi(10Y_1/Z_0) + \Phi(10Y_2/Z_0) - 1 \} / (4Y_p/Z_0)$$

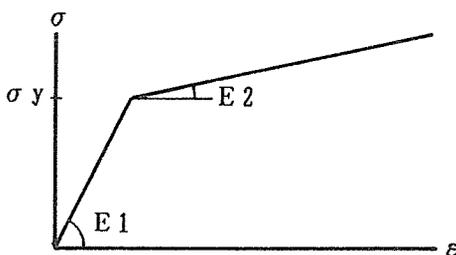
- | |
|---|
| C_x : 長さ方向(繊維方向)の応力の広がりの度合いを示す係数
C_y : 幅方向の応力の広がりの度合いを示す係数
$E1_{all}$: 全面横圧縮のヤング係数
$X_1, X_2, X_p, Y_1, Y_2, Y_p, Z_0$: 図4.3.1参照
$\Phi(X)$: 標準正規確率表によって与えられる関数 |
|---|

② むりこみ塑性ひずみ剛性 E2

$$E2 = 0.13 (E1 - E1_{all})$$

③ むりこみ弾性限界応力 σ_y

$$\sigma_y = \frac{1}{250} \left[\frac{x_p}{z_0} E1 + \left(\frac{x_p}{z_0} - 1 \right) E1_{all} + \sqrt{\left\{ \frac{x_p}{z_0} E1 + \left(\frac{x_p}{z_0} - 1 \right) E1_{all} \right\}^2 + 15625 E1} \right]$$



むりこみ弾性限界応力 σ_y について、表4.3.1の試験結果から明かなことは、縁端距離が同じ条件下では σ_y は材厚の影響があまりみられないこと、全面圧縮の σ_y は材厚の増加にともない小さくなること等であり、特に後者については、一様な応力分布仮定では説明できない現象である。MADSENらの理論式ではこれをトレースできないため、端面効果を考慮して、今回の実験結果にうまくあうように導いたのが上記③式である。

4.3.2 スギ集成材のめりこみ試験

スギ集成材のめりこみ試験を、図4.3.1に示す方法で行い、材厚と縁端距離がめりこみ強度、剛性に与える影響を調べた。図に示すように、試験体の種類は、材厚 z_0 4種×縁端距離の組 (x_1, x_2, y_1, y_2) 16種=64種類とし、1種類につき5体ずつ試験を行った。同種の研究には、黒田紀雄、金谷紀行両氏による「スギ材の部分横圧縮強度」があり、図4.3.2および図4.3.3はそれらより引用した、みかけのヤング係数に対する材長および材厚の影響を図示したものである。これらの報告を参考にしながら、今回の試験結果をまとめてみた。

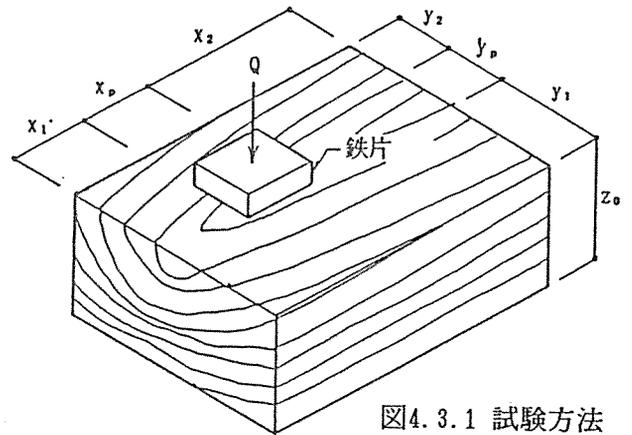


図4.3.1 試験方法

(1) めりこみの一般的性質

図4.3.4は、64種類中の18種類のP- δ グラフである。これより一般的にめりこみ変形は、弾性域と塑性域がはっきりとしたバイリニア型の変形曲線を描くといえる。そこで図4.3.5のように、ひずみ ϵ (変形量/材厚) と表面応力 σ (荷重/圧縮面積) のバイリニアモデルを用いて、弾性限界応力 σ_y 、弾性ひずみ剛性 E_1 (みかけのヤング係数)、塑性ひずみ剛性 E_2 の、3つの基本変量に試験結果をまとめたのが表4.3.1である。さらに、それら3つの基本変量に対する、材厚 z_0 、端距離 x_1 、縁距離 y_1 の影響を図示したのが、図4.3.6~図4.3.14である。

試験体の記号と種類

例: "A3e-01"

材厚	縁端距離の組
1=20mm	(x_1, x_2, y_1, y_2)
2=40mm	a=(0, 300, 0, 0)
3=80mm	b=(20, 280, 0, 0)
4=160mm	c=(50, 250, 0, 0)
	d=(150, 150, 0, 0)
圧縮面	e=(0, 300, 50, 50)
(x_p, y_p)	f=(20, 280, 50, 50)
A=(50, 50)	g=(50, 250, 50, 50)
	h=(150, 150, 50, 50)
	i=(0, 0, 0, 100)
	j=(0, 0, 10, 90)
	k=(0, 0, 25, 75)
	l=(0, 0, 50, 50)
	m=(150, 150, 0, 100)
	n=(150, 150, 10, 90)
	o=(150, 150, 25, 75)
	p=(0, 0, 0, 0)

まず、図4.3.6より、弾性限界応力 σ_y に材厚 z_0 の与える影響はあまりみられない。これに対し、図4.3.7および図4.3.8より、縁端距離が圧縮面の両側に長くあるほど、弾性限界応力 σ_y は高くなる傾向がみられ、最大で全面圧縮の2.4倍程度の結果が得られた。これらより弾性限界応力 σ_y は、材の表面付近での降伏現象によるもので、圧縮面周辺の余長部分で負担する表面応力の割合が、圧縮面直下で負担する表面応力の割合に対して大きくなるほど、 σ_y は大きくなるといえる。

次に、図4.3.9より、弾性ひずみ剛性 (ヤング係数) E_1 は、縁端距離が一定 ($\neq 0$) の条件下においては、材厚 z_0 に比例 (1乗以下) して大きくなる。今回の実験では、最大で全面圧縮の8倍程度となった。なお、全面圧縮の場合には、 E_1 、 E_2 ともに、材厚の大小に無関係にはほぼ一定値をとる (図4.3.12の下図参照)。また、図4.3.10および図4.3.11より、材厚が一定の条件下においては、端距離、縁距離が大きいほど E_1 は大きくなり、その傾向は材厚が厚いほど顕著となる。これらと同様の結果が黒田、金谷両氏による研究で報告されており、図4.3.2は図4.3.10に、図4.3.3は図4.3.9に相当し、同じような傾向を見ることが出来る。こうしたことから、めりこみ変形での材の内部応力の広がりを考えることによって、材厚および縁端距離がヤング係数 E_1 を増大させている現象を説明することができる。

最後に、図4.3.12より、塑性ひずみ剛性 E_2 は、 E_1 と同様、縁端距離が一定の条件下で、材厚 z_0 に比例して大きくなる。また、全面圧縮の塑性ひずみ剛性は、ほぼ0であるという結果が得られた。図4.3.13および図4.3.14より、 E_1 ほど顕著ではないが、端距離、縁距離が大きいほど E_2 は大きくなる傾向が認められる。このように、 E_2 は E_1 と正の相関がみられ、相関係数は0.88ときわめて高い。これより、 E_2 を E_1 の1次回帰式で表すことができ、全面圧縮のヤング係数を $E_{1.11}$ とすると、 $E_2 = 0.13 (E_1 - E_{1.11})$ となる。

(2) スギのめりこみ強度

全面圧縮の弾性限界応力 $\sigma_{y.11}$ は、材厚4種を含めた平均値で、 $\sigma_{y.11} = 25.38 \text{ kg/cm}^2$ となった。

全面圧縮の弾性ひずみ剛性 (ヤング係数) $E_{1.11}$ は、材厚4種の平均で、 $E_{1.11} = 1321 \text{ kg/cm}^2$ となった。

全面圧縮の塑性ひずみ剛性 $E_{2.11}$ は、材厚4種の平均で、 $E_{2.11} = 40.08 \text{ kg/cm}^2$ となった。

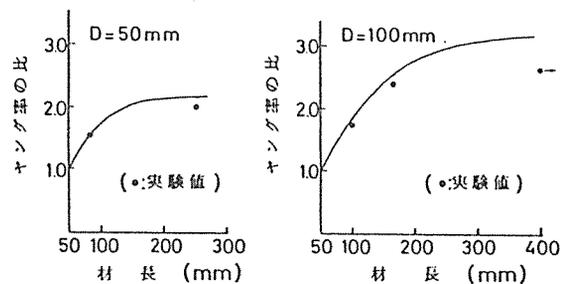


図4.3.2* 解析結果
左: 材せい50mm 右: 材せい100mm

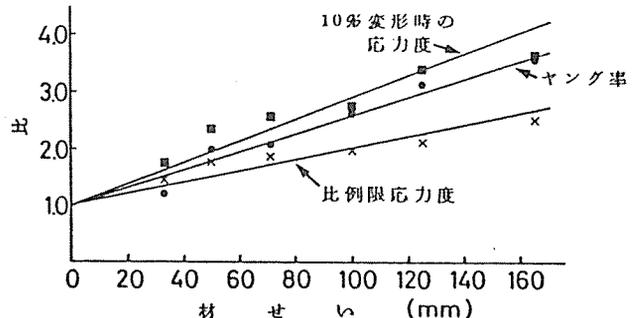


図4.3.3* 材せいによる応力度、ヤング率の (部分横圧縮/全面横圧縮) の比の変化

*黒田紀雄、金谷紀行「木材の部分横圧縮強度」昭和60,61年 日本建築学会大会学術講演梗概集

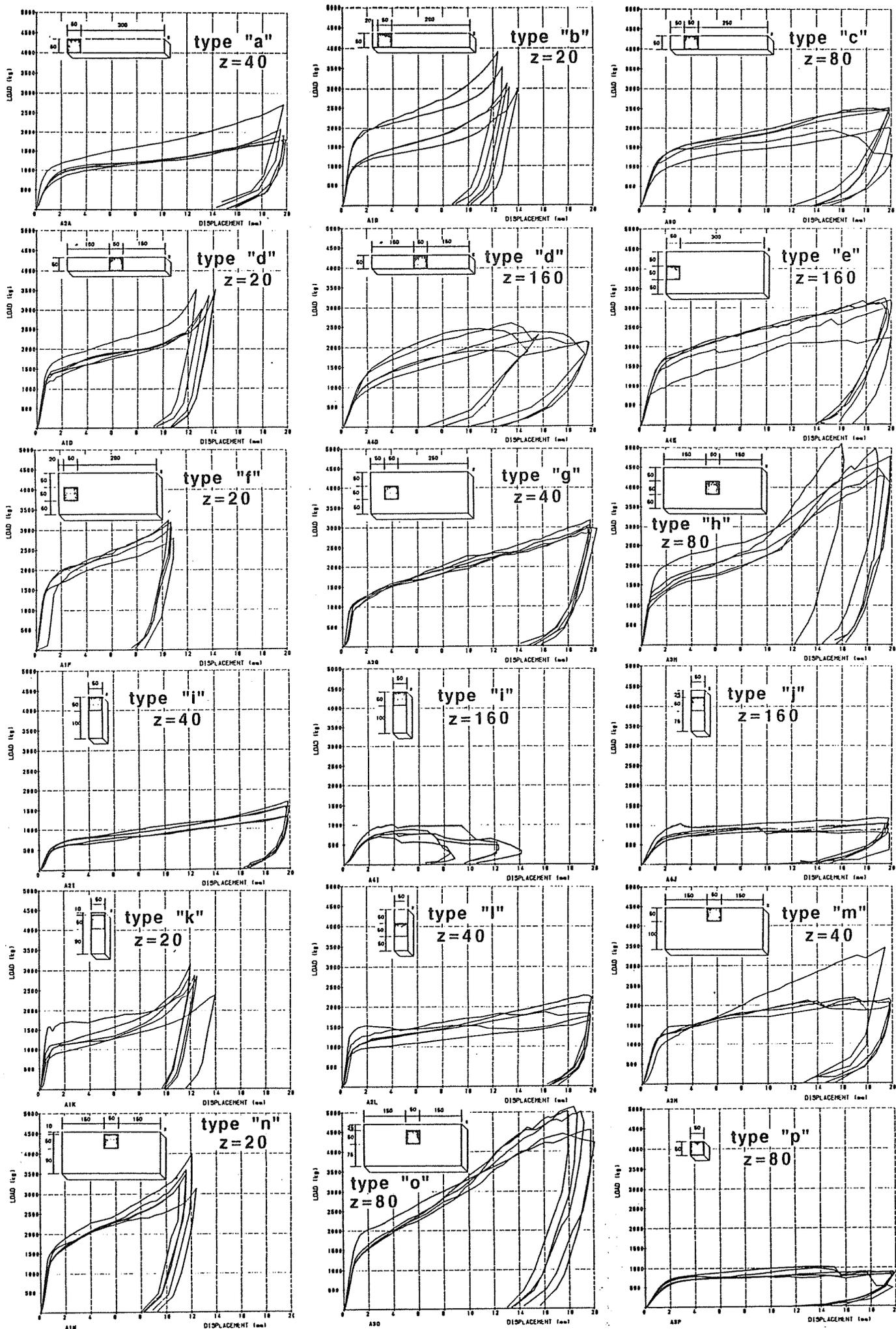


図4.3.4 スギ集成材めりこみ試験のP- δ グラフ 80

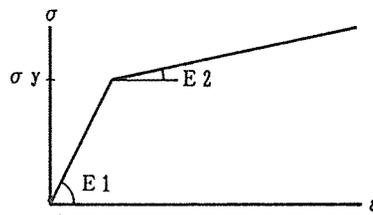


表4.3.1 試験結果 — 5体の平均値

図4.3.5 表面応力σとひずみεのバイリニアモデル

番号	初期剛性 (t/cm)	弾性限界 (kg)	塑性剛性 (t/cm)	弾性限界 変位 (mm)	σ_y (kg/cm ²)	ϵ_y	$E1 = \sigma / \epsilon$ (kg/cm ²)	$E2 = \sigma / \epsilon$ (kg/cm ²)	超音波測定 による E
A1a	21.37	1034.18	0.96	0.5003	41.37	0.0250	1709.95	76.64	3051
A1b	20.99	1029.69	1.14	0.4912	41.19	0.0246	1678.88	91.36	3238
A1c	23.73	1185.50	1.15	0.5109	47.42	0.0255	1898.01	92.32	3421
A1d	23.44	1130.88	0.99	0.5032	45.24	0.0252	1875.33	79.04	4241
A1e	19.60	1223.09	1.15	0.6784	48.92	0.0339	1568.16	92.00	4705
A1f	24.65	1392.66	1.64	0.5665	55.71	0.0283	1972.28	131.52	4167
A1g	24.52	1493.35	1.31	0.6111	59.73	0.0306	1961.24	104.96	3354
A1h	22.56	1119.39	1.40	0.4964	44.78	0.0248	1804.45	112.32	2754
A1i	13.72	889.15	0.64	0.6681	35.57	0.0334	1097.48	51.36	3307
A1j	18.91	956.46	0.79	0.5259	38.26	0.0263	1512.51	63.04	3903
A1k	21.51	1000.08	0.76	0.4755	40.00	0.0238	1720.62	60.80	3678
A1l	23.55	1042.77	0.82	0.4381	41.71	0.0219	1884.12	65.76	3946
A1m	21.71	1299.95	0.85	0.6098	52.00	0.0305	1736.86	68.16	5614
A1n	20.55	1276.42	1.47	0.6251	51.06	0.0313	1644.21	117.76	4087
A1o	21.07	1242.83	1.71	0.5899	49.71	0.0295	1685.76	136.64	3317
A1p	15.63	908.77	0.72	0.6198	36.35	0.0310	1250.13	57.92	
A2a	9.52	608.73	0.57	0.7326	24.35	0.0183	1522.68	91.84	3089
A2b	13.89	892.26	0.99	0.6991	35.69	0.0175	2222.85	158.40	3836
A2c	13.33	1135.14	1.02	0.8415	45.41	0.0210	2132.55	162.88	2922
A2d	12.97	923.72	0.99	0.7051	36.95	0.0176	2075.55	158.08	3674
A2e	18.84	1163.36	1.12	0.6649	46.53	0.0166	3013.76	178.88	3675
A2f	20.23	1318.50	1.39	0.6549	52.74	0.0164	3237.56	222.72	3473
A2g	20.20	963.35	1.06	0.4886	38.53	0.0122	3231.23	169.60	3653
A2h	22.99	1238.82	1.59	0.5399	49.55	0.0135	3678.62	254.08	2888
A2i	6.42	609.82	0.36	0.9669	24.39	0.0242	1026.83	57.28	2339
A2j	10.68	686.64	0.54	0.6963	27.47	0.0174	1709.17	85.76	2771
A2k	15.15	810.17	0.49	0.5603	32.41	0.0140	2423.55	77.76	3667
A2l	20.05	977.59	0.44	0.4964	39.10	0.0124	3207.37	70.72	2727
A2m	9.25	1034.08	0.85	1.2465	41.36	0.0312	1480.46	136.00	2497
A2n	12.60	1067.78	1.05	0.8487	42.71	0.0212	2016.61	168.00	1665
A2o	17.79	1037.29	1.20	0.5923	41.49	0.0148	2845.97	192.00	2164
A2p	7.41	645.02	0.39	0.9006	25.80	0.0225	1185.64	62.08	
A3a	8.21	858.89	0.62	1.1512	34.36	0.0144	2625.78	199.04	3951
A3b	12.02	1055.50	0.70	0.9117	42.22	0.0114	3845.80	223.36	3622
A3c	9.17	1173.99	0.66	1.2919	46.96	0.0161	2934.79	211.84	2977
A3d	9.92	1104.31	0.88	1.1146	44.17	0.0139	3173.76	282.88	3703
A3e	14.80	1199.26	0.99	0.8216	47.97	0.0103	4734.72	318.08	2787
A3f	15.86	1363.69	1.22	0.8632	54.55	0.0108	5073.61	391.04	2867
A3g	16.55	1252.69	1.55	0.7555	50.11	0.0094	5295.58	496.64	3015
A3h	19.14	1251.53	1.18	0.6566	50.06	0.0082	6124.61	378.24	2757
A3i	6.89	831.63	-0.04	1.2195	33.27	0.0152	2205.19	-13.44	3657
A3j	7.19	779.13	0.30	1.1086	31.17	0.0139	2300.55	97.28	3354
A3k	10.63	851.17	0.43	0.8154	34.05	0.0102	3402.27	138.24	3341
A3l	11.67	1074.78	0.50	0.9895	42.99	0.0124	3733.79	161.28	2985
A3m	11.76	1046.77	1.45	0.8881	41.87	0.0111	3762.67	463.36	3127
A3n	14.48	1282.80	1.25	0.8953	51.31	0.0112	4634.27	401.28	2495
A3o	15.89	1390.23	1.90	0.8785	55.61	0.0110	5083.82	606.72	3176
A3p	4.16	562.80	0.19	1.3849	22.51	0.0173	1332.59	59.52	4013
A4a	3.95	610.88	0.60	1.5794	24.44	0.0099	2530.76	382.72	2491
A4b	5.44	712.94	0.47	1.3245	28.52	0.0083	3483.52	303.36	3347
A4c	9.70	933.31	1.13	1.0642	37.33	0.0067	6208.98	725.76	3739
A4d	8.02	1118.04	1.19	1.4039	44.72	0.0088	5131.28	761.60	2470
A4e	10.96	1395.71	1.02	1.2674	55.83	0.0079	7014.99	650.24	3558
A4f	14.41	1337.71	1.55	0.9326	53.51	0.0058	9219.81	992.00	3289
A4g	15.56	1408.20	1.65	0.9131	56.33	0.0057	9960.77	1058.56	3177
A4h	16.53	1249.32	2.51	0.7534	49.97	0.0047	10580.92	1605.12	2635
A4i	3.69	693.71	0.00	1.8744	27.75	0.0117	2362.68	2.56	2519
A4j	4.98	589.93	0.33	1.1964	23.60	0.0075	3184.44	211.20	2312
A4k	6.01	893.89	0.37	1.5110	35.76	0.0094	3846.28	234.24	3142
A4l	8.89	1073.09	0.50	1.2092	42.92	0.0076	5692.09	320.00	2598
A4m	10.64	1027.54	1.45	0.9482	41.10	0.0059	6812.21	929.28	2861
A4n	13.67	1533.58	1.98	1.1288	61.34	0.0071	8745.90	1267.20	3192
A4o	13.44	1068.59	1.28	0.8127	42.74	0.0051	8603.96	821.76	3358
A4p	2.37	421.60	-0.03	1.7944	16.86	0.0112	1516.78	-19.20	4151

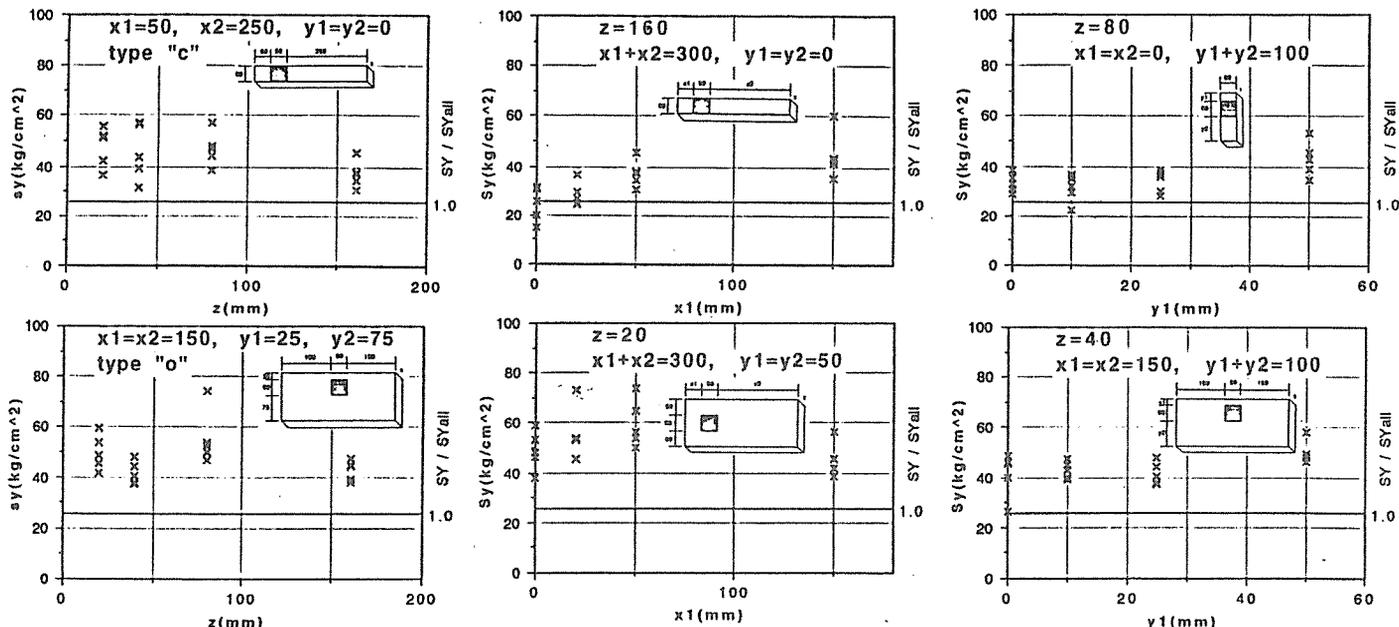


図4.3.6 材厚 z と弾性限界応力 σ_y 図4.3.7 端距離 x_1 と弾性限界応力 σ_y 図4.3.8 縁距離 y_1 と弾性限界応力 σ_y

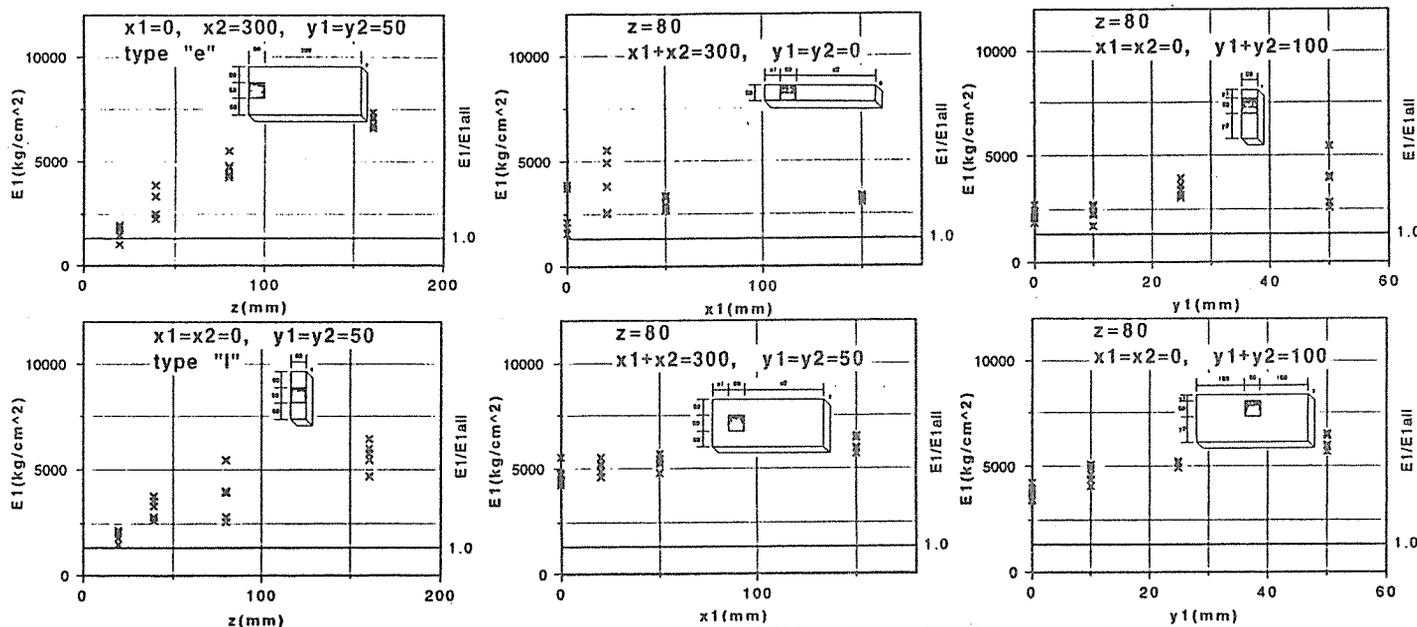


図4.3.9 材厚 z と弾性ひずみ剛性 E_1 図4.3.10 端距離 x_1 と弾性ひずみ剛性 図4.3.11 縁距離 y_1 と弾性ひずみ剛性

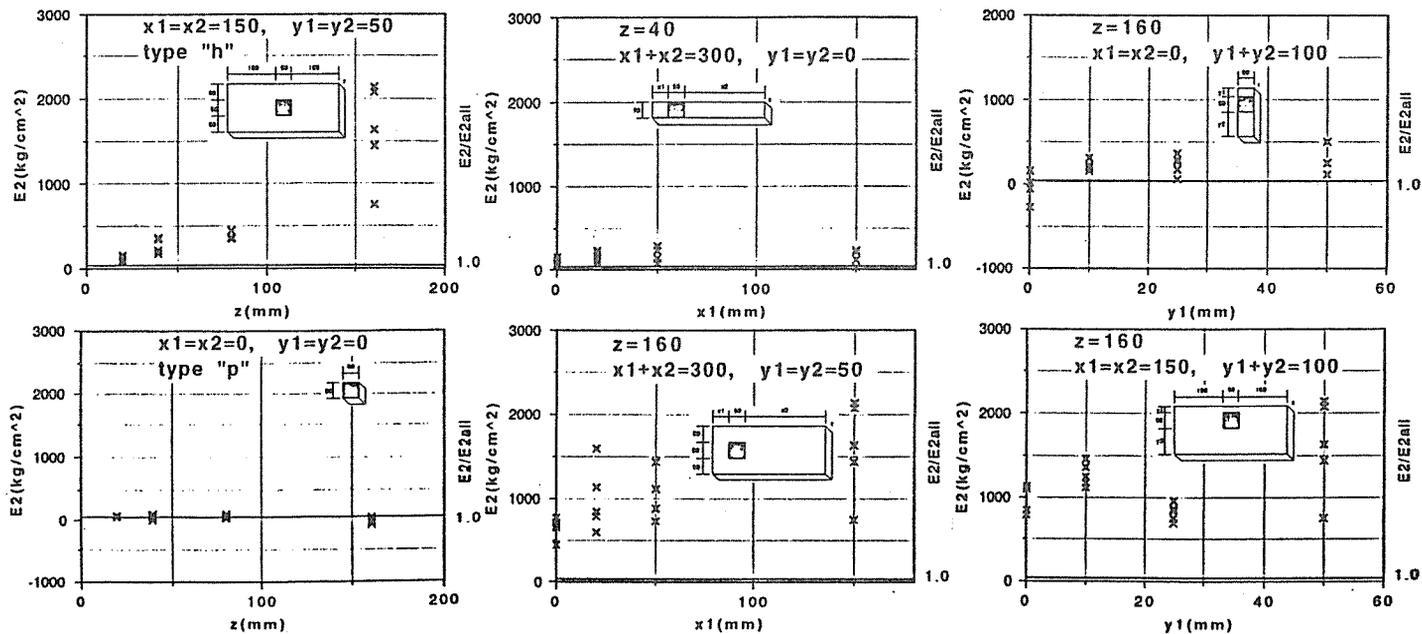


図4.3.12 材厚 z と塑性ひずみ剛性 E_2 図4.3.13 端距離 x_1 と塑性ひずみ剛性 図4.3.14 縁距離 y_1 と塑性ひずみ剛性

4. 4 割裂強度

集成材では割裂もしくは横引っ張りの力によって、接合部などで破壊が発生する場合がある。これは木材の横引っ張り強度が曲げ、圧縮、縦引っ張りなどの強度に較べて非常に低いため、設計にあたり注意する必要がある。

4. 4. 1 素材の割裂強度

スギと言う名称は「まっすぐ」という言葉から出ていると言われているくらいで、スギの繊維走行は素直で、通直である。したがって割裂性は大きい。歴史的には、スギが極めて割れやすい木材であったために、鋸の未発達な時代においても人力によって容易に縦割りすることができ、古代から近代に至るまで、我が国の技術、文化を支えるうえで役に立ってきたと見做されている^[1]。したがって一般的にスギは繊維に直角に作用する引っ張り力には弱い材であるといえる。

小径木で、小節を多く含む場合は裂けの進行を妨げる場合もある。割裂にたいする抵抗力の面からは適度な節の存在は好ましい。

4. 4. 2 割裂強度と横引っ張り強度

割裂強度はJISでその測定方法が規定されているが、得られた値は特殊な次元をもっていて、樹種間の比較には役立っても、その値を用いて強度設計をするのには向いていない。割裂強度と横引っ張り強度との間には比例関係があることが知られているので、スギ素材（比重0.33）の引っ張り強さを見てみると、繊維方向 560kgf/cm^2 、半径方向 70kgf/cm^2 、接線方向 20kgf/cm^2 となっている^[2]。素材では放射組織の配向の関係で接線方向の引っ張り強度よりも半径方向の引っ張り強度の方が強い。

4. 4. 3 集成材の横引っ張り強度

集成材の横引っ張り強度は、接着層の破壊靱性値を求めたものを除くと、あまり報告は多くない。したがって今回の委員会で新たに測定された^[3]。

用いた試験体形状は、双割裂型と評される、ASTM横引っ張り試験体で、規格よりも若干大きめの、断面寸法 $3.5\times 7\text{cm}$ のものである。試験体の中央に接着面がくるもの (Type A) とこないもの (Type B) とを試験した。結果を表4.4-1に示す。また、図4.4-1に横引っ張り強さの頻度分布をスギとベイマツで比較して示した。総合してみると、スギ集成材の横引っ張り強度はベイマツ集成材に較べて10%ほど劣るといえる。

表 4. 4 - 1 集成材の横引っ張り強度
 (変形ASTM型、断面3.5x7cm)
 単位kgf/cm²

	Type A	Type B
スギ	13.52 (5.40)	17.70 (5.38)
ベイマツ	17.58 (6.73)	18.15 (4.68)

注：Type A,Bは中心層に接着層が位置する(Type A)か否か(Type B)の違いによる。

() 内は標準偏差

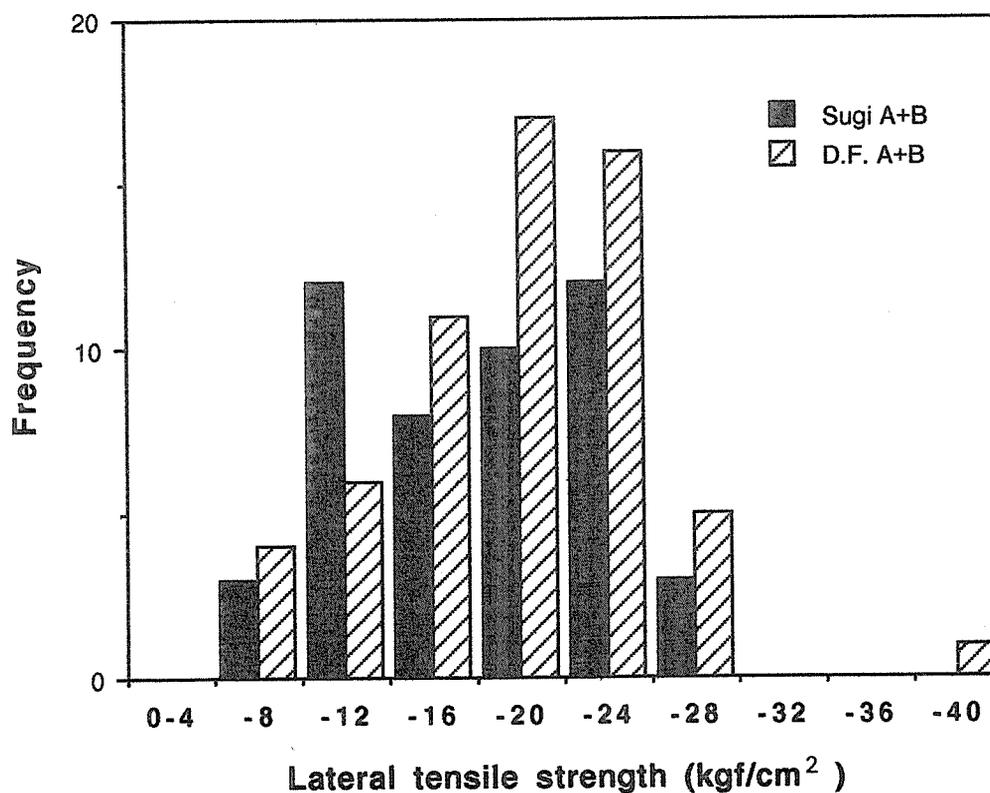


図 4. 4 - 1 集成材の横引っ張り強度の頻度分布^[4]
 スギ集成材とベイマツ集成材の比較

4. 4 引用文献

- [1] 坂口勝美（監修）「新版スギのすべて」、全国林業改良普及協会、1983
- [2] 林業試験場（監修）：木材工業ハンドブック、丸善（1982）
- [3] 平成2年度集成材構造委員会実験結果報告書、日本住宅・木材技術センター(1991.3)

4. 5 荷重継続時間とクリープ

(1) クリープ破壊と荷重継続時間長期応力に対する許容応力度

構造材に要求される構造性能は使用期間内に予想される外力に耐えることである。その外力は地震や台風の比較的短時間に作用する場合と積載や固定荷重のように長時間にわたって作用する場合がある。

木材に一定の荷重を継続载荷しておくこと図 ^(4.5-1) のように時間の経過とともに変形が進行するいわゆるクリープ現象を示す。この場合、与えた荷重が大きいと破壊（クリープ破壊）を生じるまでの時間（荷重継続時間）が短くなる傾向にある。これは一般に荷重継続時間（Duration of load）と強さの比（Stress Level 応力比）の関係と呼ばれており、無欠点標準試験体では図 ^(4.5-2) のようになっている。アメリカをはじめとする諸外国の木材の許容応力度の荷重継続時間による調整係数の基本となっている。

この荷重継続時間に関する実験は要する時間、場所、その他の計測上の困難な条件があるためさほど多くなく、各樹種の実大材に限らず、集成材でもこの無欠点標準試験体の結果を参考にして運用してきた。したがってスギの集成材もその例外ではないので、既存のデータや最近のこの方面の研究をもとに考え方を整理しておきたい。

応力比と荷重継続時間との関係は一般に次式で与えられている。

$$S L = A + B \cdot \text{Log } T \quad \dots \quad (1)$$

しかしながら、この荷重継続時間曲線が無欠点標準試験体で得られたものであったため、Madsenらによって実大材で試験された。その結果欠点の少ない等級の上位のものは同様の傾向が認められるが、下位の欠点の多いものは荷重継続時間の影響が認められなかった。その後、FPLとWestern Laboratory of Forintek Canada Corp.の共同で実大材による大規模な試験が実施された。Ramp load と呼ばれる一定荷重速度で負荷して破壊させる方法と一定の荷重を負荷して破壊させる方法（一定荷重を段階的に増して行く場合もある）がとられている。これら一連の実大材の結果も応力比と荷重継続時間との関係は（1）式で与えられている。

Gerhards の実験はDouglas-firの2 x 4材の曲げによる試験で、荷重継続時間の影響をselect, NO.2, NO.3 の各等級によって検討した。とくに縦軸の応力比は次のような方法が採用されている。多くの試験体数からなる静的な強度試験を行い、その強度分布をもとにクリープ破壊した順位に対応した推定強度を求め、負荷した荷重の推定強度に対する比率を応力比としている。そのまとめとして実大材はWoodの曲線と異なり、また下位の等級が同じ荷重継続時間で応力比が低下する傾向にあることを示しているが、その差異は統計的には有意でないとしている。

Soltis らは曲げ、引張、圧縮について Gerhards の実験と同じくDouglas-firの2 x 4材NO.2 で、荷重継続時間の影響を検討し、（1）式のように表したときのA、Bの値をWood やGerhards の実験結果を比較している。実大材の引張、圧縮はWoodの無欠点標準試験体の曲げの結果に近い値となっているが、曲げではGerhards、Soltis らの実験はWoodのそれより低くなっている。

以上みてきたように木材のクリープ破壊時間とその応力度の関係は荷重継続期間（すなわちDURATION OF LOAD）として工学的な扱いがなされてきた。この基本となるクリープ破壊試験の負荷する荷重の設定には通常応力比が用いられているが、その分母となる基準応

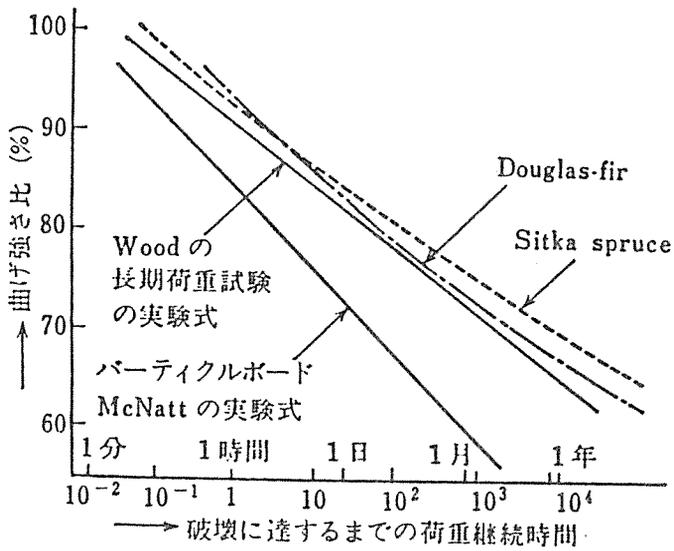


図 4.5-2 曲げ強度比 (荷重比) と破壊に達するまでの荷重継続時間

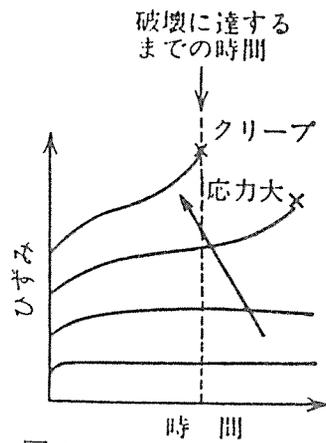


図 4.5-1 クリープ現象

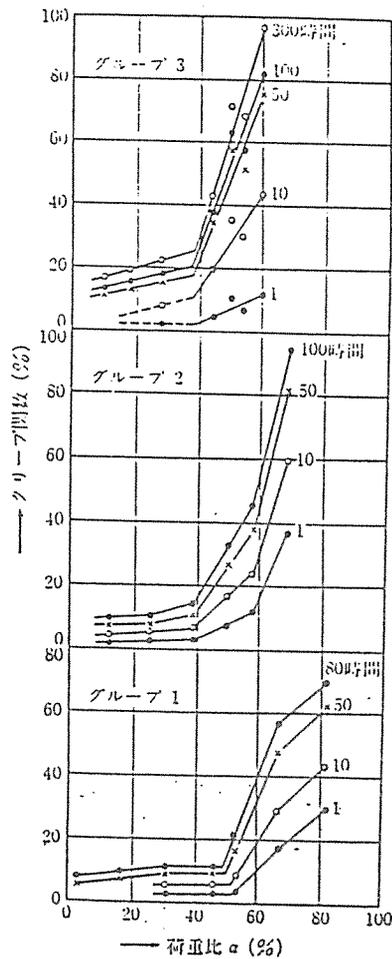


図 4.5-3 クリープ関数と荷重比の関係の実例 (杉山英男、1957)

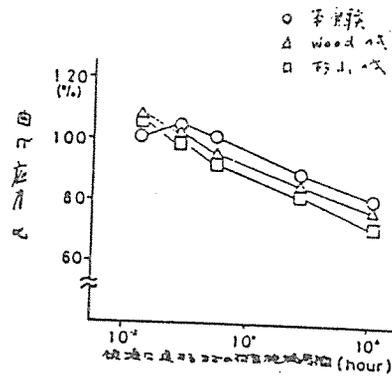


図 4.5-4 破壊に達するまでの荷重継続時間と曲げ応力比の比較

力（通常は静的強さ）を設定するための何らかの推定がなされている。その推定が必要であるのはクリープに使用する試験体そのものから基準となる静的強さを未然に求めることができないためである。従来のクリープ試験には節などのない標準試験体が用いられていたためマッチングや材質を揃えるなどの方法で対応する静的強さや平均値がとられてきた。しかしながら実大材にこれらを適用するには問題があり、実大材個々の評価がなんらかの方法でなされることが要求され、最近では先に述べたGerhards、Soltisらの実験のように強度分布から順位を対応させる方法がとられるようになってきた。

荷重継続時間の評価はクリープ破壊する可能性とその静的な試験による強度よりどの程度低下した値で破壊するののかという安全性の問題である。そのクリープ破壊が時間に依存しているためにどの程度の使用期間を想定するのか当然問題になる。しかしながら、使用期間の設定は一般に不明確であり、実験からみられるようにクリープ破壊にいたる時間の寄与が対数的でもあるので目安としての限度を設定することも考えられる。

材料学的にみたときクリープ破壊についてはクリープ限度という一つの目安をおくこともある。すなわち、変形が停止し、破壊に至らない限度といわれるものである。それに対して杉山はクリープ関数（クリープ変形の初期弾性変形の比率）と荷重比の関係を提案し、傾きの異なる2つの折れ線の交点に相当する荷重比40～50%をクリープ限度としている。^(4.5-3)他の木質材料でもほぼ30～40～50%である。

また、機械的等級区分で用いられる強さとヤング係数の関係をもとにして個々の破壊強度を推定して応力比を定めることもある。有馬はクリープ破壊と応力比の関係をヤング係数を軸にして以下のように求めている。すなわち破壊した時間を瞬間、10分、1時間、1日、10日以内に区分し、各試験体が破壊した応力 $\sigma(t_i)$ と試験前に測定したヤング率 E との回帰曲線の傾きを求める。各破壊時間の傾きの静的試験のヤング率と曲げ強さの傾きに対する比率が応力比に相当する。

$$a(t_i) / a(0) = (\sigma(t_i) / E) / (\sigma(0) / E) \\ = \sigma(t_i) / \sigma(0) \quad \dots \text{応力比}$$

以上の結果をグラフに示すと ^(4.5-4)図4.5-4のようになり、節を含むスギ材のクリープ破壊も既存の結果と同傾向をえている。図中で比較したプロットはWoodおよび杉山の式である。

(2) 長期応力に対する許容応力度

構造材に要求される構造性能は使用期間内に予想される外力に耐えることである。そのうち積載、固定荷重のように長時間にわたって作用する場合と積雪や仮設のようにある期間作用する場合がある。木材は前述したように継続荷重しておくとも時間の経過とともに変形が進行し、与えた荷重が大きいと破壊（クリープ破壊）を生じるまでの時間が短くなる傾向にある。この荷重継続時間（Duration of load）と応力比の関係はアメリカをはじめとする諸外国および日本の木材の許容応力度の荷重継続時間による調整係数の基本となっており、荷重継続時間と許容応力度の比率を北米と日本でそれぞれ表 ^(4.5-1, 4.5-2) のように与えている。

北米では荷重継続時間の曲線に沿ってきめが細かい扱いになっている。日本の建築基準法では短期、長期の二本立てで比率は2：1となっている。日本建築学会の木構造計算規程・同解説では仮設的建築物の長期許容応力度に対して仮設期間に応じて調整がきめ細かくなっている。

日本の建築基準法では材料強度と短期許容応力度、長期許容応力度の比率は3 : 2 : 1である。材料強度が破壊荷重に相当するとみると、クリープ限度が破壊荷重の1 / 3相当すると想定していることになる。

すでに述べてきたようにこの荷重継続時間曲線が無欠点標準試験体で得られたものであったため、実大材試験による検証が精力的になされている。今後、成果をもとに調整係数の変更は考えられる。一方、実際の実験で破損がみられるのは与えた荷重が比例限度やクリープ限度よりもかなり大きい領域であり、通常の許容応力度の範囲での設計に対してそのような荷重継続による調整係数が論理的な意味をもつのか疑問視する面もあり、単に使用期間の違いによる不確実要素に対する安全係数的なものともみる向きもある。

表 4.5-1 荷重継続時間の影響

(a) 北アメリカにおける許容応力度の荷重継続時間に対応する調整係数

荷 重 継 続 時 間	係 数
衝 撃	2.00
風または地震	1.33
7 日	1.25
2 カ月 (雪)	1.15
normal (10年)	1.00
永 久	0.90

(b) 日本における許容応力度の比率

荷 重 継 続 時 間	許容応力度の比率	備 考
短 期	2.0	
仮 設 1週間以内	1.30	日本建築学会 木構造設計規準・同解説
1週間~1カ月	1.25	
1カ月~3カ月	1.20	
長 期	1.0	

表 4.5-2 Proposed load duration design factors for lumber in bending

Constant load time	Wood's power curve design factors	Proposed design factors		
		Select Structural	No. 2	No. 3
1 day	1.33	1.69	1.78	2.01
1 week	1.24	1.52	1.60	1.77
2 months	1.15	1.34	1.39	1.50
10 years	1.00	1.00	1.00	1.00
50 years	0.95	0.87	0.85	0.80

Gerhards—EFFECT OF GRADE ON LOAD DURATION

- 1) L.W.Wood, Relation of strength of wood to duration of load, Report R-1916, USDA Forest Serv. FPL, 1951
- 2) B.Madsen, Duration of load tests for dry lumber bending, FPJ, 23, p21-23, 1973
- 3) C.C.Gerhards, Effect of duration and loading of strength of wood and wood-based materials, USDA Forest Serv. Res Pap. FPL283., 1977
- 4) C.C.Gerhards and C.L.LINK, Effect of loading rate on bending strength of Douglas-fir 2x4' s, FPJ, 36 (2) , p63-66, 1986
- 5) C.C.Gerhards, Effect of grade on load duration of Douglas-fir Lumber in bending, Wood and Fiber Science, 20 (1) p146-161, 1988
- 6) Karacabeyli, E., Duration of load research for lumber in North America, Proceedings, ITEC, Seattle, 1988
- 7) L.A.Soltis, W.Nelson and J.L.Hillis, Effect of loading mode on duration-of-load factors, Proceedings, PTEC, Auckland, 1989
- 8) 杉山英男, 建築構造学大系 2 2 木構造, 彰国社, 1971.
- 9) 有馬孝礼、丸山則義, 木材および木質材料のクリープ変形と破壊, 日本建築学会関東支部研究報告集, p325~328, 1986

(3) クリープ変形

(i) 荷重一定下での変形

木材および木質材料のクリープ変形に関しては瞬間変形に対する全変形の比率すなわち相対クリープで評価すると理解しやすい。しかし荷重が変動する場合や外周条件とくに湿度の変動があると定常とは異なった評価方法が必要である。

木材および木質材料のクリープ曲線（瞬間変形を除いた変形）を両対数で表示し、応力比との関係を模式的に表せば図 ^(4.5-5) のようになる。N₁は初期状態の一次クリープで、N₂は実用上の評価でもっとも用いられる二次クリープ、それ以降は破壊に至る三次クリープである。N₂は一般のクリープ評価に用いられるが、応力に依存せずほぼ一定値をとり、節などの存在もN₂には影響しない。このN₂は材料特有の値を有する傾向があり、木材は木質材料に比べるとやや小さい。この領域は次式で表すことが多い。

$$\delta(t) = \delta_0 + A t$$

$$\delta(t) / \delta_0 = 1 + (A / \delta_0) t$$

ここに $\delta(t)$: 全撓み、 δ_0 : 瞬間撓み、 t : 時間、 A 、 N_2 : 定数、

$\delta(t) / \delta_0$: 相対クリープ

Aと δ_0 は比例関係があり、 δ_0 はヤング率の逆数に比例するので、あらかじめA、N₂の定数を求めて置けば、これらはヤング率をもとにした評価が可能である。

この負荷した荷重との比例関係がAや δ_0 に認められる領域内が先に述べたクリープ関数の交点以下の応力比にほぼ対応している。したがってこの交点がほぼクリープ限度として評価してもよい。木材や木質材料についてA/ δ_0 やN₂がすでに求められているが、個々の値はかなり変動があるので、可能なかぎりコントロール材として試験を行った方がよい。これら定数の組み合わせで算出した初期変形に対する時間経過後の比率は図 ^(4.5-6) のとおりである。一般に気乾状態の木材はA/ $\delta_0 = 0.2$ 、N₂ = 0.2程度を想定しておけばよい。スギの集成材も同程度と考えてよいと推定される。表 ^(4.5-3) に素材の例を、表 ^(4.5-4) にスギ間伐材をフランジ材にした複合梁の例を示す。

(ii) 湿度変動下でのクリープ変形と mechano-sorptive 変形

生材のように含水率の高い状態からクリープでは乾燥過程で大きな変形が生じる。図 ^(4.5-7) にスギの重ね梁の含水率の異なる状態でのクリープ変形を示している。乾燥過程での大きな変形は木材の特異な挙動として mechano-sorptive 変形と呼ばれ、通常のクリープと区分して考慮したほうがよい。この間で生じるクリープ曲線からきわめて長期の変形を推定すると過大になりがちである。したがって乾燥が安定した段階での曲線から推定することが現実的である。その例を表 ^(4.5-4) に示す。

木材、木質材料は湿度の影響を極めて大きく受ける。木材の一般的な傾向として湿度が下降するとき撓みが増加し、上昇時に回復する傾向があるが、木取りやラミナ配列などで異なることもある。集成材のように一度平衡状態まで乾燥した材であるならば長期間の評価としては(1)の式が通常の湿度変動下でも凹凸をならせば適用可能である。短期間の湿度変動による凹凸が大きく不安を生じることがあるがクリープ限度内であるならば破壊につながることはまずない。木質材料は湿度変動に対し、とくに吸湿で大きく変動する傾向がある。

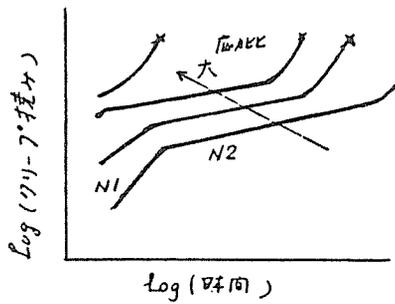


図 4.5-5 クリ-7° 曲線 模式

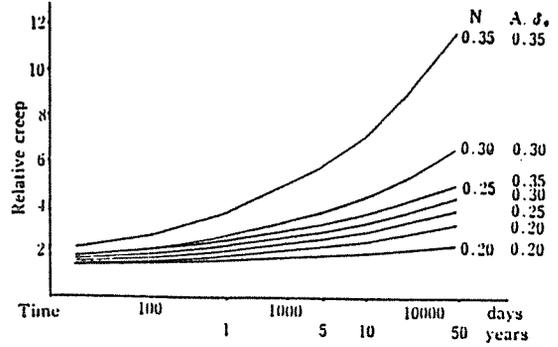


図 4.5-6 Estimated relative creep at a constant loading

表 4.5-3 Creep constants and estimated relative creep of clear wood
($\delta_{10}/\delta_0 = 1 + A/\delta_0 \cdot t^N$)

Wood (Clear)	A/δ_0	N	δ_{10}/δ_0	δ_{100}/δ_0	Reference	
Sugi	0.2	0.15~0.19	0.23~0.26	2.3	2.9~3.0	Sugiyama ¹⁾
	Stress level 0.4	0.18~0.19	0.30	3.2	4.5~4.6	
	0.5	0.26	0.30	4.1	6.0	
Hinoki	~0.4	0.11~0.15	0.13~0.17	1.4~1.5	1.5~1.6	Hou (not published)
	0.5	0.15	0.23	2.0	2.5	
	0.6	0.23	0.25	2.8	1.7	
Katsura	~0.4	0.06~0.1	0.21~0.25	1.3~1.8	1.5~2.1	Hirai (not published)
	0.5	0.15	0.25	2.2	2.8	
	0.6	0.30	0.24	3.1	4.0	
	0.8	0.57	0.31	8.2	12.4	
Makanba	~0.4	0.02~0.24	0.25~0.26	1.4~2.9	1.2~3.3	Hirai (not published)
	0.5	0.65	0.23	5.3	7.5	
Shioji	~0.4	0.15~0.19	0.27~0.29	2.4~3.0	3.2~4.1	
	0.5	0.45	0.27	5.1	7.3	
	0.6	0.47	0.28	5.7	8.5	

Note :

- Sugi : Cryptomeria sp.
- Hinoki : Chamaecyparis sp.
- Katsura : Cereidiplyllum sp.
- Makanba : Betula sp.
- Shioji : Fraxinus sp.

表 4.5-4 Creep constant N, A/δ_0 , δ_0 and estimated relative creep of wood composite beam²⁾

Test specimen	Total load (kgf)	N	A/δ_0	δ_0 mm	δ_{10}/δ_0	δ_{100}/δ_0
Box beam 2.5AB	390	0.31	0.094	1.71	2.20	2.97
	390	0.41	0.043	2.31	2.18	3.40
	820	0.25	0.112	4.04	1.86	2.28
7 × 7 beam 2 AB	582	0.27	0.17	4.47	2.56	3.40
	390	0.26	0.20	3.01	2.69	3.56
	390	0.22	0.23	3.73	2.40	29.9

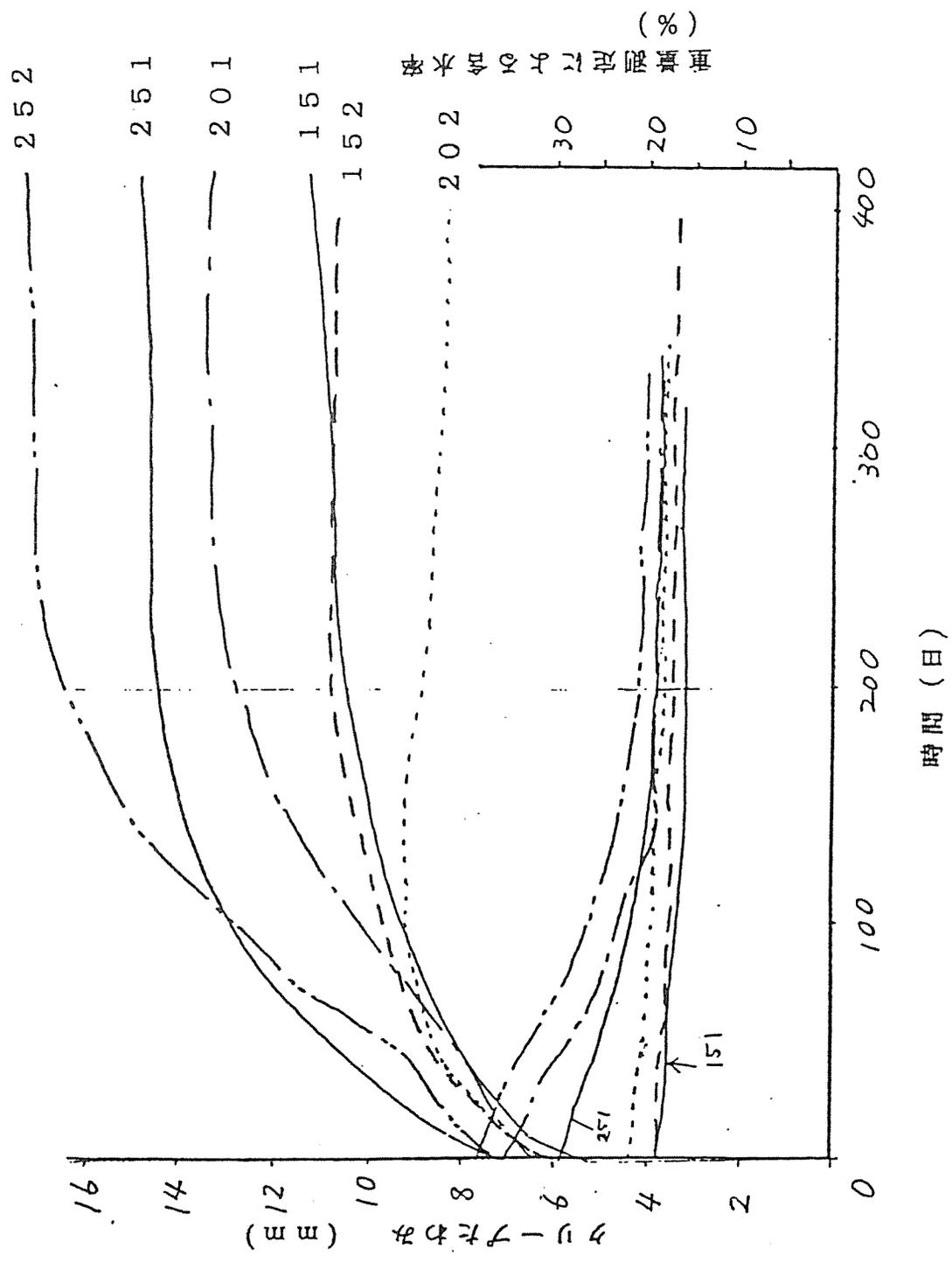


図4.5-7 スギ重ね梁の時間とクリープたわみおよび含水率 (重量測定法)
 (註) 試験体記号
 初めの2桁 --- 試験体選別時の推定平均含水率
 3桁目 --- 試験N°.

表4.5-4(1) スギ接着重ね梁における10年後の推定クリープたわみと
クリープ関数

供試体No.	初期含水率 (%)	A	N	δ_0 (mm)	$\delta_{10年}$ (mm)	$\delta_{10年}/\delta_0$
151	18.4	0.0908	0.4790	5.10	26.26	5.15
152	19.0	0.1103	0.4347	6.00	21.48	3.58
201	34.8	0.0531	0.5431	5.97	31.65	5.30
202	22.0	0.6240	0.1996	5.42	11.47	2.12
251	29.2	0.0336	0.6456	7.06	59.27	8.40
252	38.6	0.0342	0.6447	6.80	59.34	8.73

$$\delta_{10年} = \delta_0 + A \times 87600^N$$

表4.5-4(2) スギ接着重ね梁における10年後の推定クリープたわみと
クリープ関数

(載荷後3000時間以降のクリープたわみを基準とした推定)

供試体No.	初期含水率 (%)	A	N	δ_0 (mm)	$\delta_{3000時間}$ (mm)	$\delta_{10年}$ (mm)	$\delta_{10年}/\delta_0$
151	18.4	0.7369	0.2320	5.10	4.60	15.43	3.03
152	19.0	0.8320	0.1981	6.00	3.21	13.93	2.32
201	34.8	0.5560	0.2904	5.97	5.23	21.12	3.54
251	29.2	1.9570	0.1538	7.06	6.43	18.33	2.60
252	38.6	0.8460	0.2813	6.80	7.53	27.58	4.06

$$\delta_{10年} = \delta_{3000時間} + A \cdot (87600 - 3000)^N$$

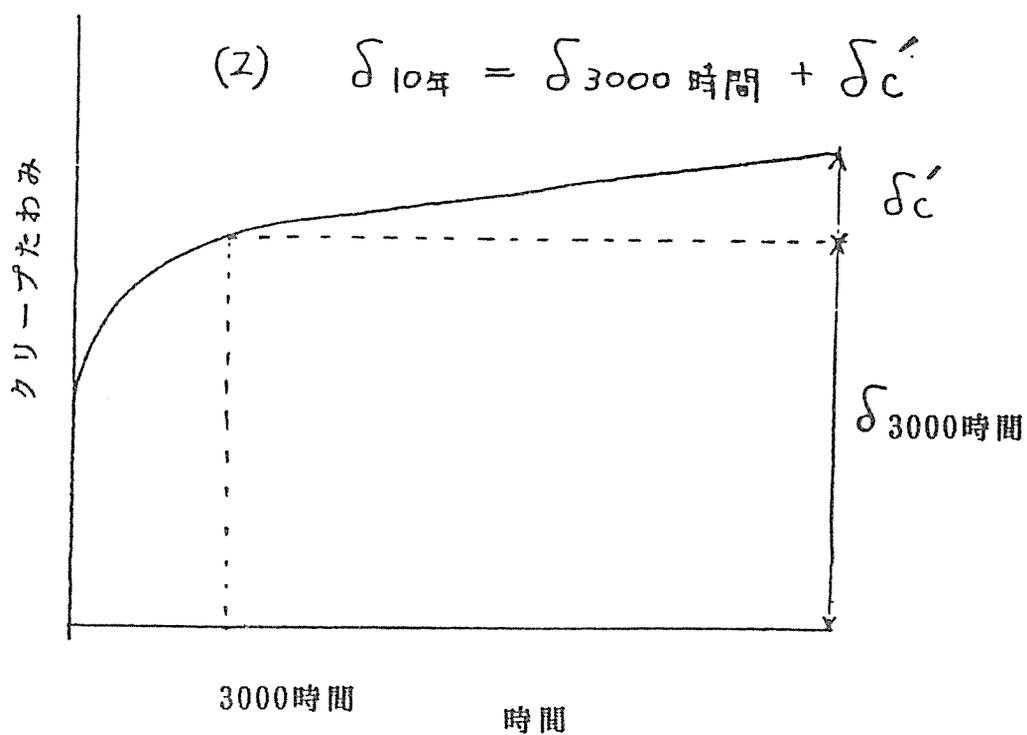
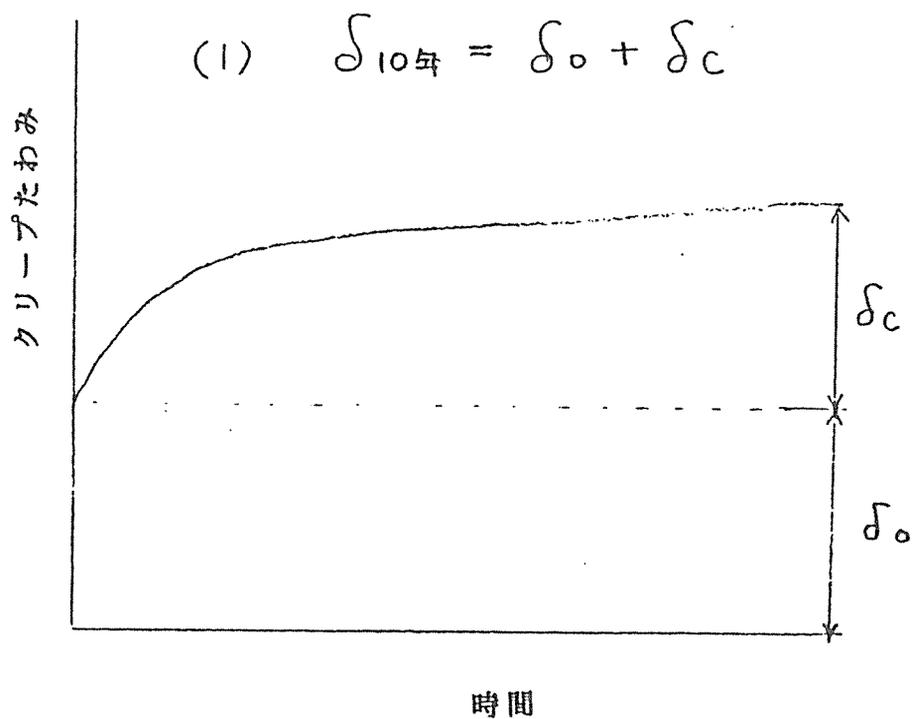
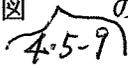


図4.5-8 2種類のクリープたわみ推定法

(i i i) 荷重の変動下での評価

自重などの固定荷重や家具など積載荷重は一定の荷重が作用し続けるので、前述の一般のクリープ曲線で推定した比率を用いて、支障のないように断面計算やむくりを配慮する。しかしながら積雪のようにある時期にのみ作用する比較的大きな荷重を継続した荷重として扱おうと著しく大きな変位を予測することになる。すなわち、木材のクリープは荷重の除去によって変位が回復するので積雪の荷重とその継続時間を適切な評価をしないと著しく過大な設計になることになる。木材のクリープ回復については広い荷重範囲で次式の重ね合わせの原理が適用できる。図  のような荷重条件で次式のようなになる。

$$\delta(t) = \delta(P_0, t) + \sum \delta(P_1 - P_0, (t - t_{2i-1})) - \sum \delta(P_1 - P_0, (t - t_{2i}))$$

表4.5.9に重ね合わせの原理を適用して想定するクリープ曲線をもとに計算した例を示す。関連した数値としてモデル的に各積雪の年間の継続時間、および固定荷重に対する積雪荷重の比率を想定している。表中の数値は積雪の荷重が作用したときのある時間経過後の変形（全変形）の積雪の荷重が負荷された直後の変形（瞬間変形）に対する比率（相対クリープ）を示している。常時積雪の荷重が作用したときのある時間経過後の変形（全変形）の積雪の荷重が負荷された直後の変形（瞬間変形）に対する比率（相対クリープ）も示してあるが、各積雪の年間の継続時間、および固定荷重に対する積雪荷重の比率の想定によってかなり差が生じることが認められよう。

- 1) 有馬、丸山：木材および木質材料のクリープ変形と破壊—ストレスグレーディングを基礎にした評価—、日本建築学会関東支部研究報告集（1986）
- 2) 有馬、佐藤、益田：木質材料および部材の長期耐力評価に関する研究、建築研究報告 NO.95（1981）
- 3) 同上：木質部材の長期クリープ変形と荷重作用条件、日本建築学会大会学術講演梗概集（1981）
- 4) 有馬、他：荷重変動下での木材、木質材料、複合部材のクリープとその応用、静大農研報・NO.36、43～50、（1986）

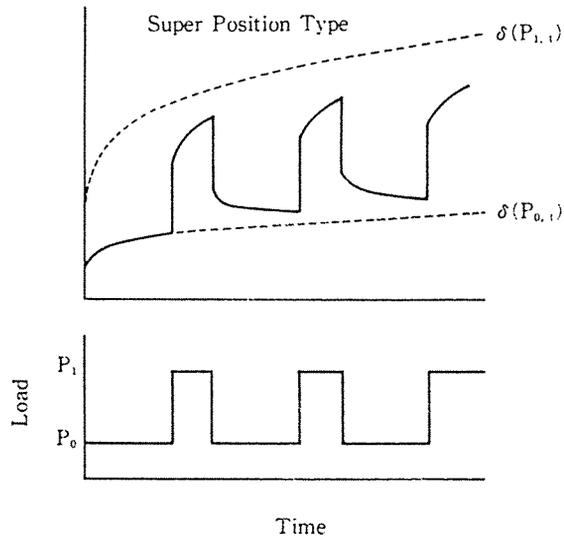


图 4. 5-9 Deformation model under cyclic loading

表 4. 5-5 Comparison of Relative Creep

Years	Duration Time per Year (days)																																						
	10			30			60			10			30			60																							
	$1 + 0.15t^{0.15}$			$1 + 0.2t^{0.2}$			$1 + 0.25t^{0.25}$			$1 + 0.3t^{0.3}$																													
S.P.T. $P_1/P_0 = 2$	10	1.36	1.39	1.41	1.68	1.73	1.78	2.20	2.30	2.40	3.08	3.25	3.43	10	1.39	1.42	1.44	1.76	1.81	1.87	2.39	2.50	2.61	3.50	3.70	3.90	10	1.43	1.46	1.49	1.88	1.94	2.00	2.70	2.82	2.96	4.20	4.43	4.70
	20	1.28	1.31	1.35	1.47	1.55	1.62	1.77	1.92	2.07	2.23	2.50	2.78	20	1.29	1.33	1.37	1.50	1.59	1.67	1.85	2.02	2.19	2.41	2.72	3.05	20	1.31	1.35	1.39	1.56	1.66	1.76	1.98	2.18	2.39	2.71	3.08	3.70
	50	1.25	1.29	1.33	1.40	1.49	1.57	1.62	1.79	1.96	1.94	2.25	2.56	50	1.25	1.30	1.34	1.42	1.52	1.61	1.66	1.86	2.05	2.04	2.39	2.76	50	1.26	1.31	1.36	1.45	1.56	1.67	1.74	1.96	2.20	2.21	2.63	3.11
A.D.T. $P_1/P_0 = 2$	10	1.40	1.43	1.45	1.76	1.83	1.87	2.36	2.49	2.59	3.35	3.58	3.78	10	1.45	1.48	1.50	1.88	1.85	2.00	2.62	2.77	2.89	3.56	4.18	4.42	10	1.51	1.55	1.57	2.06	2.14	2.21	3.04	3.23	3.38	4.81	5.19	5.50
	20	1.34	1.39	1.42	1.61	1.71	1.78	2.02	2.22	2.38	2.66	3.03	3.34	20	1.38	1.43	1.46	1.70	1.81	1.90	2.21	2.45	2.64	3.04	3.50	3.88	20	1.44	1.49	1.53	1.84	1.98	2.08	2.53	2.82	3.06	3.69	4.29	4.79
	50	1.32	1.37	1.40	1.55	1.67	1.75	1.91	2.13	2.31	2.43	2.85	3.19	50	1.36	1.41	1.45	1.64	1.76	1.86	2.08	2.34	2.55	2.76	3.27	3.70	50	1.41	1.47	1.51	1.77	1.92	2.03	2.35	2.63	2.96	3.31	3.99	4.55
M.D.T.	10	1.30	1.35	1.39	1.50	1.63	1.72	1.79	2.04	2.24	2.19	2.66	3.04	10	1.33	1.39	1.43	1.58	1.72	1.83	1.94	2.24	2.47	2.47	3.04	3.52	10	1.38	1.45	1.50	1.69	1.86	1.99	2.18	2.56	2.85	2.94	3.69	4.31
	20		1.51		2.03			2.94			4.51			20		1.57		2.18			3.31			5.33			20		1.65		2.42			3.91			6.70		
	50													50													50												

S.P.T.: Super Position Type A.D.T.: Additional Duration Type M.D.T.: Maximum Duration Type

4. 6、許容応力度とヤング係数

木構造計算基準¹⁾では、スギ集成材の許容応力度とヤング係数は表4.6-1～3のように定められている。

ラミナの組合せの項(3.6)で述べたように、一般に集成材では低品質のラミナが断面の内層に、高品質のラミナが外層に配置される。これは、曲げを受ける場合についての考慮であるが、圧縮材あるいは引張材として用いる場合は、同じ等級で構成されるほうが都合がよい¹⁾とされている。

このように同等級ラミナで構成された集成材の場合には、繊維方向の許容応力度やヤング係数の増加が認められる。

上の2表と同じく木構造計算基準に示された同等級ラミナで構成された構造用集成材の許容応力度と繊維方向のヤング係数を表4.6-4～5に示す。

表4.6-1 繊維方向の許容応力度¹⁾

(単位:kgf/cm²)

等級	長期許容応力度						短期許容 応力度 s f
	圧縮 L f c	引張 L f t	曲げ * L f b x-x	曲げ ** L f b y-y	せん断 * L f s x-x	せん断 ** L f s y-y	
特級	90	85	135	110	9.0	8.0	長期許容 応力度の 2倍
1級	80	75	115	95	9.0	8.0	
2級	70	65	95	85	9.0	8.0	

* : 荷重方向またはたわみ方向と積層面が直交する場合

** : 荷重方向またはたわみ方向と積層面が平行な場合

表4.6-2 繊維に直角の方向の許容応力度¹⁾

(単位:kgf/cm²)

長期許容応力度			短期許容 応力 度
許容めり込み応力度		許容圧縮 応力 度	
(イ) 材中間におけ るめり込み	(ロ) 材端における めり込み	(ハ) 全 面 圧 縮	
20	16	7.5	長期許容 応力 度の2倍

表4.6-3 繊維方向のヤング係数¹⁾
(単位:10³kgf/cm²)

等級	E _{//x-x}	E _{//y-y}
特級	90	80
1級	80	75
2級	70	70

//y-y: 荷重方向またはたわみ方向と積層面とが平行な
曲げおよび引張・圧縮の場合

表4.6-4 同等級ラミナで構成された構造用集成材の許容応力度¹⁾
(単位:kgf/cm²)

等級	長期許容応力度						短期許容 応力度 s f
	圧縮 L f c	引張 L f t	曲げ * L f b _{x-x}	曲げ ** L f b _{y-y}	せん断 * L f s _{x-x}	せん断 ** L f s _{y-y}	
特級	115	110	140	140	9.0	8.0	長期許容 応力度の 2倍
1級	95	90	120	120	9.0	8.0	
2級	80	75	100	100	9.0	8.0	

* : 荷重方向またはたわみ方向と積層面が直交する場合

** : 荷重方向またはたわみ方向と積層面が平行な場合

表 4.6-5 同等級ラミナで構成された
 構造用集成材の繊維方向のヤング係数¹⁾
 (単位: 10^3 kgf/cm^2)

等級	$E_{//x-x}$	$E_{//y-y}$
特級	100	100
1級	90	90
2級	80	80

$//y-y$: 荷重方向またはたわみ方向と積層面とが平行な
 曲げおよび引張・圧縮の場合

文献 (4. 6)

1) 日本建築学会: 木構造計算基準・同解説、丸善、p.86-99 (1988)

第5章 スギ集成材の接合強度

5. 1 ボルト接合

スギ集成材を建築物に用いる場合、釘とらんで接合具としてよく用いられるのがボルトである。このボルト接合には、ボルトが引張力を受ける引張ボルトと、せん断力を受けるせん断ボルトの2種類があるが、ここでは最も広く用いられているせん断ボルト接合について解説する。なお、このせん断ボルト接合には、木材を側材とするものや鋼板を側材とするものなどいくつかの接合形式がある。ここでは、木構造計算規準¹⁾および大断面木造建築物設計施工マニュアル²⁾に示されたボルト接合の許容耐力について述べるとともに、スギ集成材、スギ素材を用いた鋼板挿入式、鋼板添板式ボルト接合の実験結果もあわせて紹介する。

5. 1. 1 ボルト接合のせん断許容耐力

ボルト接合には図1に示す各種接合形式があり、その短期許容せん断耐力は木構造計算規準では以下のように定められている。

$$P_s = 2 \cdot f_c \cdot d \cdot \ell \dots\dots (1)$$

ここに

- P_s : ボルト接合部の短期許容耐力 (kgf)
- f_c : 主材の長期許容圧縮応力度 (kgf/cm²)
- f'_c : 側材の長期許容圧縮応力度 (kgf/cm²)
- ℓ : 主材厚 (cm)、 ℓ' : 側材厚 (cm)
- d : ボルト径 (cm)
- c : 接合形式と降伏形状により定まる係数

また長期許容せん断耐力は短期の 1/2 となっ

ている。スギ材では f_c の値として繊維平行方向加力の場合 60kgf/cm²、繊維直交方向加力の場合 20kgf/cm² を用いることになる。係数 C の値については木構造計算規準¹⁾を参照されたい。

一方、大断面木造建築物設計施工マニュアルでは、ボルト接合の短期許容せん断耐力は、

$$P_s = C_0 \cdot d^2 \dots\dots (2)$$

ここに

- d : ボルト径 (cm)
- C_0 : 接合形式、材厚、ボルト径、樹種等により定まる係数 (表1)

として定められており、表現は違うが、(1)、(2)式で得られる許容耐力は、同じ値である。(注:ドリフトピンおよびラグスクリューについては、計算規準と大断面マニュアルでは異なった許容耐力を与える。)

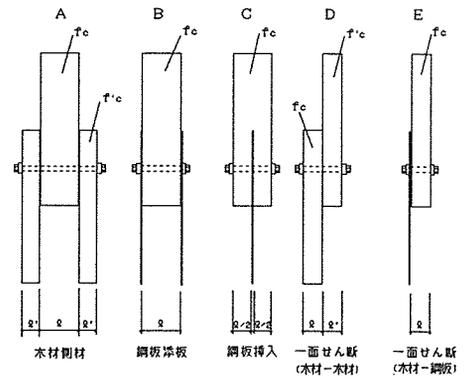


図5. 1-1. せん断を受けるボルト接合の形式

木構造計算規準では、Cはボルトの降伏点や主材の圧縮強度を用いて計算する必要があるのに対し、設計施工マニュアルでは、C₀の値は直接数値として表に掲示されているため、許容耐力の計算が容易である。この許容耐力は、LARSEN³⁾らが提唱した木材中の鋼棒の降伏荷重推定式を基礎にして誘導されており、その詳細は「5. 2 ドリフトピン接合」の中でふれる。

表5.1-1 せん断ボルト接合におけるC₀の値²⁾ (スギ材 単位: kgf/cm²)

接合形式	加力方向	主材厚 (ℓ) / ボルト径 (d)									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	繊維平行	120	180	220	250						
	繊維直交	40	60	80	100	120	140	160	180		
B	繊維平行	120	180	240	300	360					
	繊維直交	40	60	80	100	120	140	160	180	200	210
C	繊維平行	120	180	240	260	260	270	290	300	320	340
	繊維直交	40	60	80	100	120	140	150	150	150	150
D	繊維平行	50	80	100	120	130					
	繊維直交	30	50	60	70	70	80	80	90		
E	繊維平行	120	130	140	160	180					
	繊維直交	40	60	70	80	80	80	90	100		

5. 1. 2 鋼板添板式ボルト接合の強度性能

(1) 試験方法および結果

坂田ら⁴⁾は、204サイズ(38mm×89mm)のスギ素材を用い、図2に示す鋼板添板ボルト接合のせん断耐力試験を行った。主材厚(ボルト長さ)を38mm一定とし、ボルト直径を8mm、12mm、16mm、端距離を50mm、75mm、100mm、150mmとした場合の繊維平行方向加力時の荷重-相対変位曲線を図3、4、5に示した。また、表2には端距離を最も大きくとった場合の最大荷重と木構造計算規準に示す短期許容せん断耐力を示した。

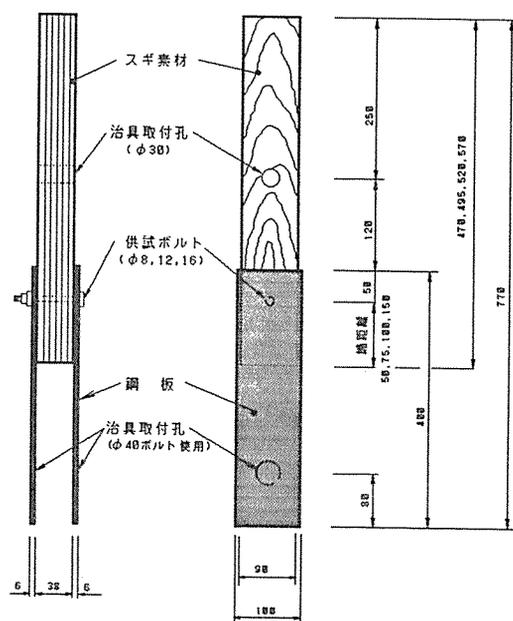


図5.1-2 鋼板添板ボルト接合試験体の形状

図 5. 1 - 3.
鋼板添板ボルト接合の
荷重 - 相対変位曲線
(スギ素材、主材厚
38mm、ボルト径 8mm)

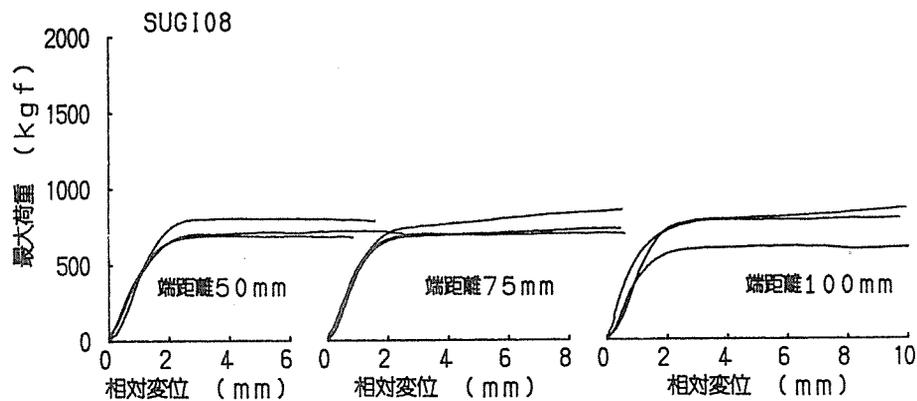


図 5. 1 - 4.
鋼板添板ボルト接合の
荷重 - 相対変位曲線
(スギ素材、主材厚
38mm、ボルト径 12mm)

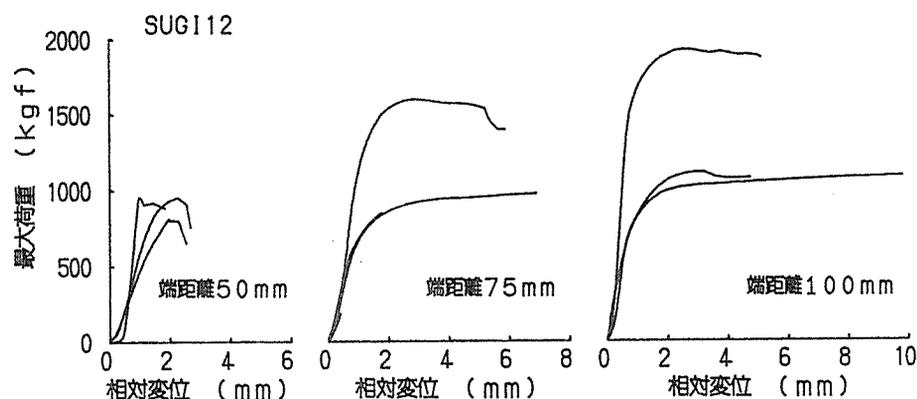
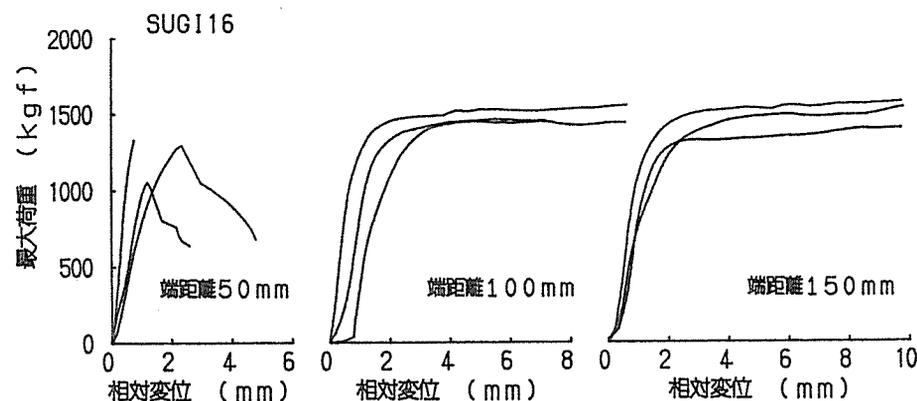


図 5. 1 - 5.
鋼板添板ボルト接合の
荷重 - 相対変位曲線
(スギ素材、主材厚
38mm、ボルト径 16mm)



(2) 端距離と最大荷重

木構造計算規準では、
端距離はボルト直径の 7
倍以上とるように定めら
れている。今回の実験で
は、直径 12mm、16mm で端
距離 50mm の場合を除け
ば、いずれも降伏点をす
ぎた後は荷重が増大しな

いものの、破壊に至るまでの変形量は概して大きく、端距離を十分にとって
いれば、スギ材を用いた場合、かなりねばりのある接合部が期待できる。な

表 5. 1 - 2 鋼板添板ボルト接合の最大荷重と
短期許容せん断耐力 (スギ材、主材厚 38mm)

ボルト直径	8mm	12mm	16mm
短期許容せん断耐力 (kgf)	365	547	730
最大荷重*	873	1383	1653
最大/許容	2.39	2.53	2.26

*最大荷重は端距離最大の場合の 3 体の平均

お、今回の実験では、主材厚（ l ）とボルト直径（ d ）の比 l/d がいずれも 5 以下であり、ボルト自身の変形は全くみられず、ボルトがスギ材にめり込むことにより降伏点が決まった。なお実験で得られた最大荷重は、表 2 に示すように平均値で短期許容せん断耐力の 2 倍以上の値を示した。

(3) ボルトのスギ材へのめり込み強度

木構造計算規準の許容耐力誘導の基礎になっている LARSEN の計算式を用いてボルト接合の降伏荷重を計算する場合には、接合具の曲げ降伏モーメントと、ボルトなどの接合具（断面円形）の木材に対するめり込み強度値が計算に必要となる。

木構造計算規準では、この接合具曲げ降伏モーメント値として $2400 \cdot \frac{d^3}{6}$ (kgf·cm) を用いており、一方めり込み強度としては、繊維平行方向加力の場合は木材の長期許容縦圧縮強度の 3 倍（スギ材では 180 kgf/cm^2 ）を用いている。今回の試験ではボルトの変形が全くみられなかったことから、表 2 の最大荷重をボルトの見付面積（ボルト直径×主材厚）で除した値は、接合具のスギ材中へのめり込み強度に相当し、これは 8mm のボルトで 287 kgf/cm^2 、12mm で 303 kgf/cm^2 、16mm で 272 kgf/cm^2 になった。スギ材でおおむねこの値を使えば、5. 2 項でふれる LARSEN の降伏荷重計算式を用いることにより、さまざまな直径、長さ、接合形式のボルト、ドリフトピン、ラグスクリューなどのダボ式接合について、降伏荷重の推定が可能となる。

5. 1. 3 鋼板挿入式ボルト接合の強度性能

(1) 試験方法および結果

金谷⁵⁾らは、図 6 に示すように材幅 100mm のスギ集成材の中央にスリットをあけて厚さ 9mm の鋼板を挿入し（主材厚 9mm）、直径 12mm および 16mm のボルトを通して集成材の両側面に 50mm 角（ボルト径 16mm の時）および 40mm 角（ボルト径 12mm の時）の座金を併用した鋼板挿入式ボルト接合の繊維平行方向加力のせん断耐力試験を行った。また、ボルトとの比較のために同一形状の試験体を用い、座金、ナット等を用いないドリフトピン（鋼棒打ち込み）接合についても試験を行った。この試験について、端距離を 150mm とした場合の荷重－相対曲線を図

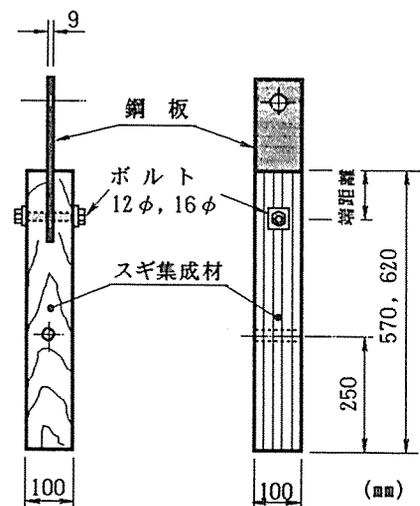


図 5. 1-6. 鋼板挿入式ボルト接合試験体

7 および図 8 に示した。また、端距離を 50mm、75mm、100mm、150mm としたときのボルトおよびドリフトピンの最大荷重を表 3 に示した。

(2) 降伏荷重

表 5.1-3 鋼板挿入式ボルトおよびドリフトピン
接合の端距離と最大荷重

(スギ集成材、主材幅 100mm、各 3 体の平均値)

接 合 具	直 径 (mm)	最大荷重(kgf)			
		端 距 離 (mm)			
		50	75	100	150
ボルト	16	3391	4087	4648	5972
ドリフトピン	16	2835	3614	3833	3888
ボルト	12	2690	3274	4368	5329
ドリフトピン	12	2437	2616	2673	2800

図 7 および図 8 に点線で示す降伏荷重計算値は、

5.2 項で詳述する鋼板挿入式接合の降伏荷重の計算式を用い、接合具の木材中へのめり込み強度を 288kgf/cm² (直径 16mm の場合)、272kgf/cm² (直径 12mm の場合)、接合具の曲げ降伏モー

メントは 3200kgf·cm (直径 16 mm の場合)、1670kgf·cm (直径 12mm の場合) を用いて計算したものである。(これらの値はいずれも実測値)

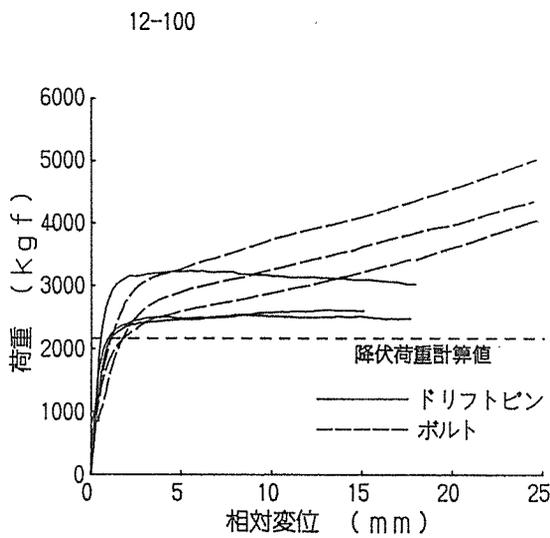


図 5.1-7. 鋼板挿入式ボルト、ドリフトピン接合の荷重-相対変位曲線

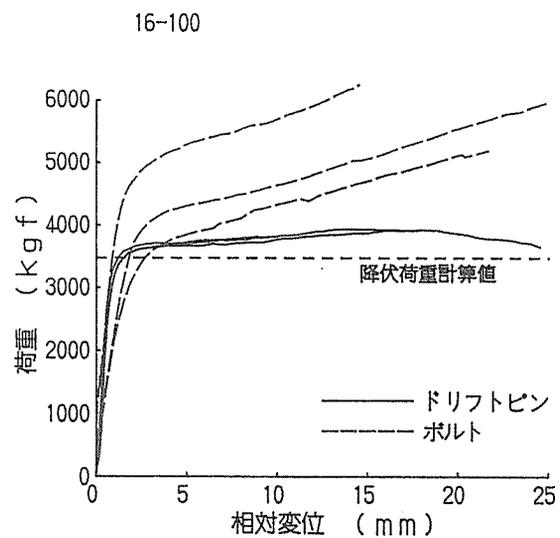


図 5.1-8. 鋼板挿入式ボルト、ドリフトピン接合の荷重-相対変位曲線

(スギ集成材 接合具径 12mm、材幅 100mm) (スギ集成材 接合具径 16mm、材幅 100mm)

降伏荷重は、ドリフトピンよりボルトの方が若干高いものの、その計算値は実験結果と比較的よく一致しており、LARSENらが提唱するこの計算式は降伏荷重の推定方法として優れたものである。なお、この実験において降伏点

は、12mm および 16mm のボルト、ドリフトピンともに挿入鋼板部で接合具が曲げ降伏することにより決まった。

一方、降伏点をすぎた後の荷重-相対変位曲線はボルトとドリフトピンで大きく異なった。ドリフトピン接合では、降伏点をすぎた後はピン自身が曲げ変形し、木材からドリフトピンが引き抜かれつつ変位が増大していったために最大荷重がほとんど増大しなかったのに対し、ボルト接合では座金がボルトの変形と木材からの引き抜けに抵抗し、降伏点をすぎた後も変位の増大に伴って荷重がどんどん増大していった。このためボルトの最大荷重は、直径 16mm の場合にはドリフトピンの 1.54 倍、直径 12mm の場合にはドリフトピンの 1.90 倍に達した。

ただ、このように降伏点をすぎた後も荷重が増大していくのは、ボルトの直径 (d) に対してボルトの長さ (ℓ) が十分に長い場合 (ℓ / d が 6 以上、実際には 8 以上が望ましい) に限られる。前節の鋼板添板ボルト接合の場合には、ℓ / d が 5 以下であったためにボルトは変形せず、ボルトがスギ材にめり込んでいくだけであったため、ボルト接合とはいえ降伏点をすぎた後の荷重の増大はみられなかった。

(3) 端距離と最大荷重

表 3 の結果を見ると、端距離の増大に伴って最大荷重も増大しており、その傾向は特にボルトで顕著である。木構造計算規準では、端距離は接合具径の 7 倍以上とるように定めているが、ドリフトピンについては降伏点をすぎた後は最大荷重がほとんど増大しないため、端距離が接合具径の 7 倍あればおおむね必要な耐力が確保できる。一方、ボルトの場合は、降伏点をすぎた後も変位の増大に伴って最大荷重が増大していくため、端距離を規準値の 7 倍よりも大きくとれば、さらに高い耐力が期待できる。これは、直径 12mm のボルトで端距離が 100mm (直径の 8.3 倍) から 150mm

(直径の 12.5 倍) になると最大荷重が 1000kgf も増えたことから明かであろう。

(4) 最大荷重と短期許容せん断耐力

せん断耐力

図 9 には、試験を行った直径 12mm および 16mm のボルトおよびドリフトピンの最大荷重と、木構造計算規準に示

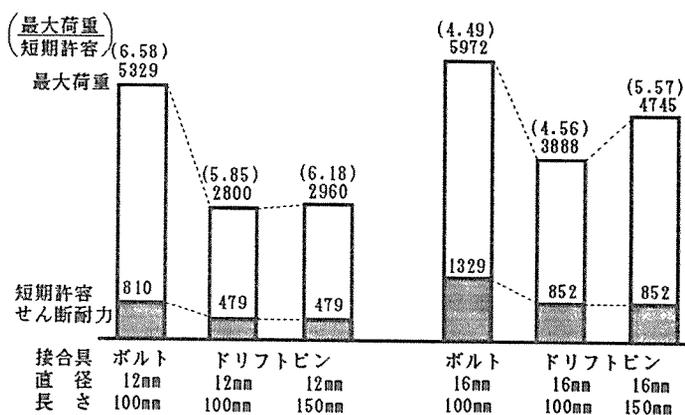


図 5.1-9 ボルトおよびドリフトピンの最大荷重と短期許容せん断耐力 (スギ集成材鋼板挿入式ドリフトピン接合、およびボルト接合 繊維平行方向加力、端距離はいずれも 150mm)

されたボルトおよびドリフトピンの短期許容せん断耐力を示した。(ドリフトピンの短期許容耐力については5. 2項参照)

この結果を見ると、ボルトの繊維平行方向加力時の最大荷重は短期許容せん断耐力の4.5~6.6倍の値を示しており、木構造計算規準に基づいて設計された鋼板挿入式ボルト接合は、十分な安全率を有していると考えられる。なおこれは、ドリフトピンについても同様である。

引用文献

- 1) 日本建築学会：木構造計算規準・同解説、1988
- 2) 日本建築センター：大断面木造建築物設計施工マニュアル、1988年版、日本建築センター
- 3) LARSEN. H. J : IUFRO-V, p. 646-654, (1974)
- 4) 坂田ら、未発表
- 5) 金谷紀行、川元紀雄：日本建築学会学術講演梗概集(九州)、p. 103~104, (1989)

5. 2 ドリフトピン接合

5. 2. 1 ドリフトピン接合のせん断許容耐力

ドリフトピンのせん断許容耐力は、木構造計算規準¹⁾と大断面木造建築物設計施工マニュアル²⁾では異なっており、後者の許容耐力は5. 1. 1の(2)式で求められ、これはボルトの許容耐力と同じ値である。ただし、ドリフトピンに許される接合形式は5. 1項の図1中のAタイプとCタイプのみである。

一方、木構造計算規準では、ドリフトピン接合の許容せん断耐力は以下の式により求められる。

木材の繊維方向に加力を受ける場合の短期許容せん断耐力は、

$$2 \leq l / d \leq 4 \quad \text{の場合} \quad P = 260 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot d \cdot l$$

$$l / d > 4 \quad \text{の場合} \quad P = 1040 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot d^2$$

ここで、

P : ドリフトピンの短期許容せん断耐力 (kgf)

α : 継手形式による係数 (鋼板挿入式では $\alpha = 1.0$)

d : ドリフトピンの直径 (cm)

l : 主材厚 (cm)

ρ : 木材の気乾比重 (スギ材では 0.32)

で求められ、長期許容せん断耐力は短期の値の1/2、繊維直交方向加力では繊維平行方向加力時の1/2となっている。

この木構造計算規準を用いて、スギ集成材 (比重0.32) を用いた鋼板挿入式ドリフトピン接合の短期許容せん断耐力を計算すると、例えば材幅100mm (挿入鋼板を除くと主材厚 91mm) で直径 12mm のドリフトピンが 479kgf、直径 16mm では 852kgfとなる。

一方、大断面木造建築物設計施工マニュアルでは、同じ条件で直径 12mm のドリフトピンの短期許容せん断耐力が 810kgf、16mm のドリフトピンが 1329kgf となり、両者の許容耐力値はかなり異なっている。これは両者の許容耐力の誘導方法が異なるためであり、どちらを採用するかは個々の判断にまかされよう。

5. 2. 2 繊維平行方向加力時の鋼板挿入式ドリフトピン接合の性能

(1) 試験方法および結果

図1に示すようにスギ集成材に 9mm 厚の鋼板を挿入し、直径 12mm および 16mm、材幅 100mm (主材厚 91mm) および 150mm (主材厚 141mm) として材幅と同寸のドリフトピンを打ち込んだ接合部の、繊維平行方向加力時のせん断耐力試験の結果を図2、3に示した。試験は端距離を 50mm (A)、75mm

(B)、100mm (C)、150mm (D) とした場合、2本のピンを端距離は100mm一定として、ピン間隔を50mmとした場合 (E)、(E)と同じ間隔で2本のピンの打ち込み位置をピンの半径だけ左右にずらした場合、(F)、ピン間隔を100mmとした場合 (G) の7種類について各3体ずつ行った。

試験の結果には端距離の影響が顕著にみられ、端距離50mmではほとんどの試験体が降伏点に達しないうちに集成材の割り裂けあるいはせん断により破壊し、一方、端距離を100mm以上とった場合には、おおむね破壊にいたるまでの変位量が10mm以上に達した。

また、ドリフトピンを2本打ち込んだ場合には、ピン1本当当たりの最大荷重が、端距離が同じ100mmで、ピン間隔が100mmの場合でもピン1本打ちの場合の0.98~0.75倍程度に落ち、破壊に至るまでの変位量も小さくなった。

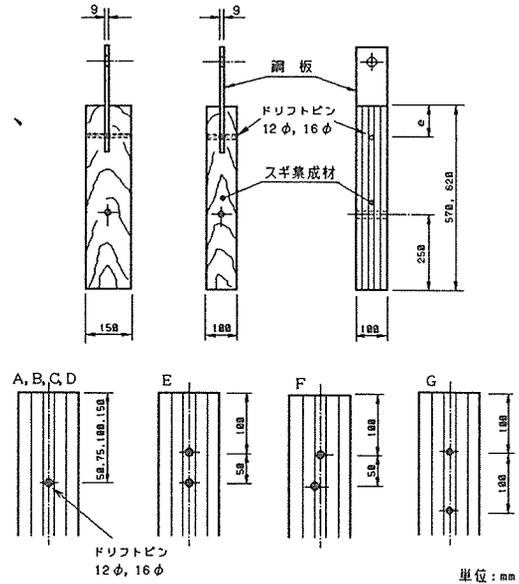


図5.2-1. 鋼板挿入式ドリフトピン接合試験体の形状とドリフトピンの打ち込み位置 (繊維平行方向加力)

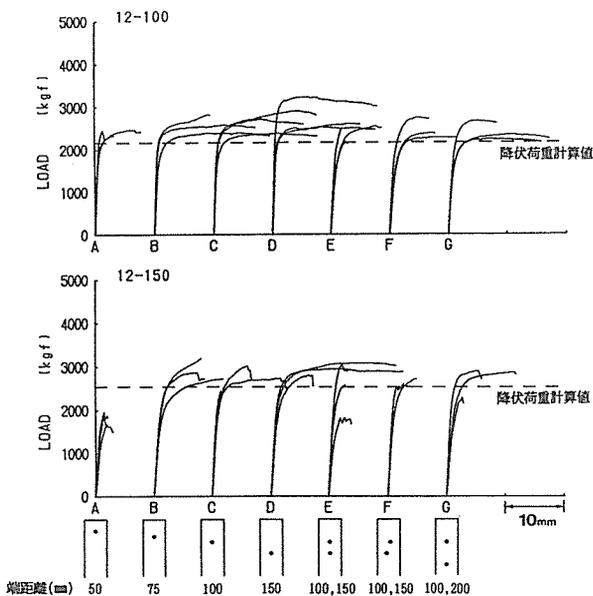


図5.2-2. 鋼板挿入式ドリフトピン接合の荷重-相対変位曲線 (繊維平行方向加力、直径12mm、上：材幅100mm、下：材幅150mm)

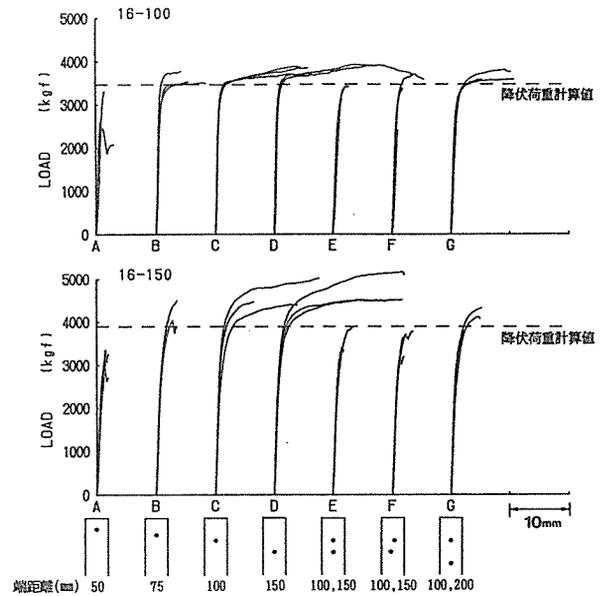


図5.2-3. 鋼板挿入式ドリフトピン接合の荷重-相対変位曲線 (繊維平行方向加力、直径16mm、上：材幅100mm、下：材幅150mm)

(2) 降伏荷重の推定

図2および3中の点線は、LARSEN³⁾ が提唱したドリフトピンやボルトなどのダボ式接合部の降伏荷重推定式を用いて求めた降伏荷重である。

この降伏荷重推定式を鋼板挿入式接合について示すと、図4のようになる。まず、ドリフトピンの直径に対して主材厚(ドリフトピン長さ)が小さい場合には、ドリフトピンは変形することなく木材中にめり込んでいき、この場合の降伏荷重 P_y は、

$$P_y = S \cdot d \cdot \ell \dots\dots\dots (1)$$

ここで

- P_y : 降伏荷重(kgf)
- S : ドリフトピンの繊維平行方向へのめり込み強度(kgf/cm²)
- d : ドリフトピンの直径(cm)
- ℓ : 主材厚(ドリフトピン長さ-鋼板厚さ)(cm)
- M : ドリフトピンの曲げ降伏モーメント(kgf·cm)

で求められる。

次に、 ℓ が長くなると、今度はドリフトピンが挿入鋼板部で曲げ降伏し、この場合の降伏荷重は

$$P_y = S \cdot d \cdot \ell \left(\sqrt{\frac{1.6 M}{S \cdot d \cdot \ell^2} + 2} - 1 \right) \dots\dots\dots (2)$$

で求められる。

さらに ℓ が長くなると、ドリフトピンは挿入鋼板部のみでなく、木材中の左右2ヶ所でも曲げ降伏するため、これ以上は ℓ に関係なく降伏荷重 P_y が一定となり、

$$P_y = 2 \cdot S \cdot d \sqrt{\frac{4 \cdot M}{S \cdot d}} \dots\dots\dots (3)$$

となる。

実際の降伏荷重は(1)、(2)、(3)式の値のうちの最少値として得られる。

図2、3中の降伏荷重計算値は、スギ集成材繊維平行方向のドリフトピンめり込み強度(S)として16mmピン 288kgf/cm²、12mmピン 272kgf/cm²を実験により求め、同様にドリフトピンの曲げ降伏モーメント(M)も16mmピン3200kgf·cm、12mmピン1670kgf·cmを実測により得、これを上記の計算式に代入することにより求めた。今回試験を行った範囲内では(2)式がいずれも最小値を与え、この降伏荷重計算値は実際の降伏荷重とよく一致した。

なお、ドリフトピン接合部の最大荷重は、いずれも降伏荷重計算値の1.3

倍以内であったため、この式を用いれば降伏荷重のみでなく、ドリフトピン接合の最大荷重についてもおおむね把握が可能であろう。

なお、大断面木造建築物設計施工マニュアルのドリフトピン接合（および木構造計算規準のボルト）の鋼板挿入タイプの短期許容せん断耐力は、上の（1）、（2）、（3）式において√の中のスを $3 \cdot f_c$ （ f_c は木材の長期許容圧縮応力度）、 M を $F \cdot d^3 / 6$ （ F はボルトの降伏点応力）と置き換え、√の外にある S を $2 \cdot f_c$ で置き換えて計算すれば求められる。

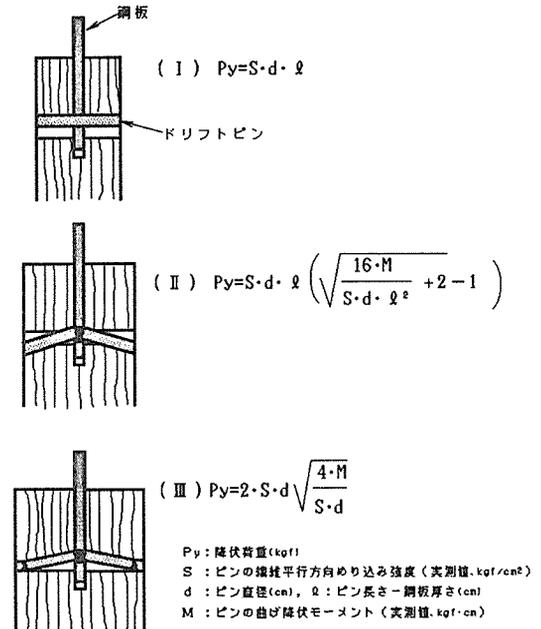


図5.2-4. LARSENの降伏荷重推定式（鋼板挿入式接合、繊維平行方向加力）

(3) 樹種、比重と強度性能

木構造計算規準では、用いる樹種の気乾比重（スギでは 0.32）を係数として用いることにより、樹種による許容せん断耐力の調整を行っている。

図5は前田⁴⁾がベイマツ、ベイツガ、エゾマツ、スギの4樹種を用いて実施した鋼板挿入式ドリフトピン接合の繊維平行方向せん断耐力試験の結果で、その最大荷重（各5体の平均）と木構造計算規準による短期許容せん断耐力を示した。いずれの樹種でも最大荷重は短期許容せん断耐力の 3.3~8.9 倍を示した。

この前田のデータから、最大荷重（ P_{max} ）をドリフトピンの直径（ d ）、主材厚（ l ）、供試材の気乾比重（ ρ ）から推定すると、

$$P_{max} = 1328 \cdot d^{1.156} \cdot l^{0.449} \cdot \rho^{0.606} \dots \dots \dots (4)$$

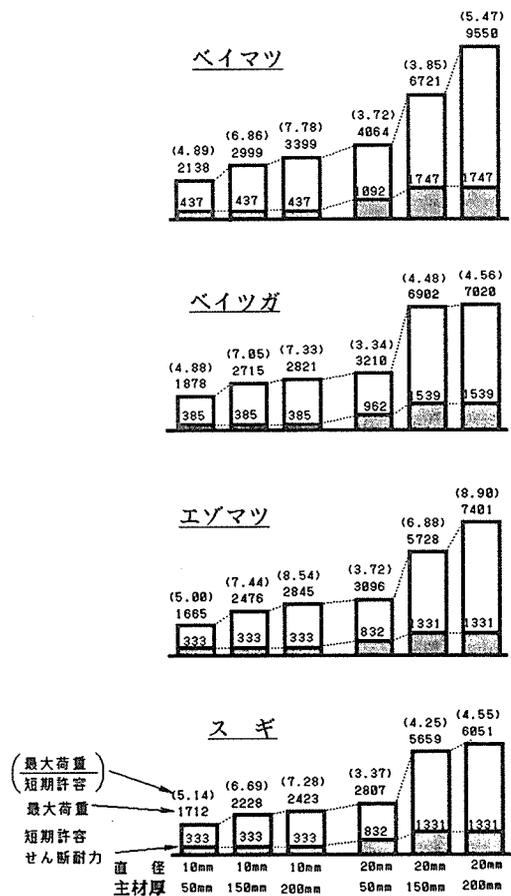


図5.2-5. 各樹種ドリフトピン接合の最大荷重と短期許容せん断耐力（繊維平行方向加力、最大荷重は5体の平均値）

ここで、

P_{max} : 最大荷重 (kgf)

d : ドリフトピン直径 (cm)

l : 主材厚 (cm)

ρ : 気乾比重

が得られた。

この(4)式をみると、比重はその0.61乗程度でしかドリフトピン接合の最大荷重に影響を及ぼしていないことになる。特にドリフトピンの長さか直径に対して十分長く、降伏荷重がピン自身の曲げ降伏で決まる場合(2)式や(3)式で決まる場合)には、降伏荷重計算値の樹種間での較差が小さくなるため、比重が小さいスギやエゾマツだからといって、そのドリフトピン接合部の強度性能が高比重材に比べて著しく不利になることはない。

5. 2. 3 繊維直交方向加力時の鋼板挿入式ドリフトピン接合の性能

(1) 縁距離、端距離が強度性能に及ぼす影響⁵⁾

ドリフトピン接合部に、繊維直交方向の荷重がかかった場合には、木材にドリフトピン打ち込み部から材端にかけて割れ裂きを生じ、破壊してしまうことが多い。そこで、図6に示すよ

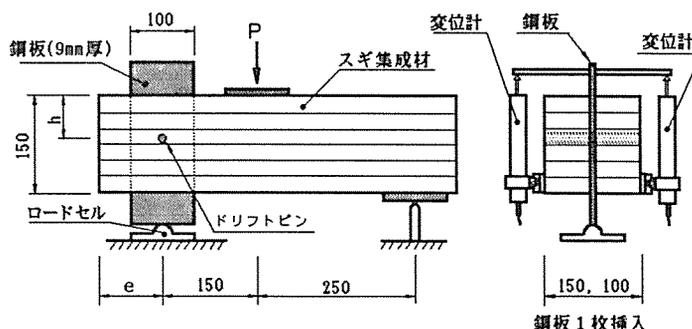


図5. 2-6. 曲げ型試験の方法

うにスギ集成材の一端にスリットをあけ、ここに9mm厚の鋼板を挿入してドリフトピンを打ち込み、集成材の他端とこの鋼板を支持してその間を加力することにより、割れ裂きが広がりやすい条件でドリフトピン接合部の繊維に直交方向のせん断耐力試験を行った。試験は各条件3体とし、割れ裂けによる破壊がドリフトピン打ち込み部から材端に達するまで加力した。

図7~10には、縁距離(h : 40mm、70mm、100mm)、端距離(e : 50mm、100mm、175mm)の組み合わせごとに、ピン直径16mmで主材厚100mmおよび150mm、ピン直径12mmで主材厚100mmおよび150mmのそれぞれのドリフトピン接合の荷重-相対変位曲線を示した。

ドリフトピンの直径(d)と主材厚(l)の比(l/d)が小さい場合、例えば直径16mm、長さ100mmのドリフトピンの場合は、荷重が鋭く立ち上がるかわりに、相対変位が小さいうちに集成材が割裂破壊してしまい、接合部はねばりに欠けた。逆に l/d の大きい直径12mm、長さ150mmのピンで

は接合部にねばりがみられ、降伏点をすぎた後も変位の増大に伴って最大荷重が少しづつ増大していった。

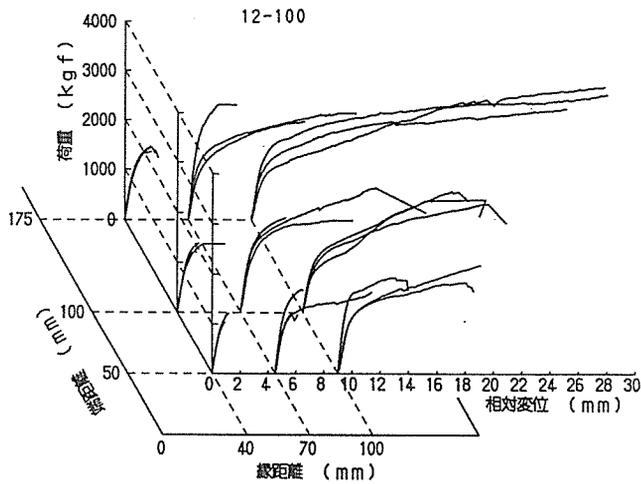


図 5.2-7. 繊維直交方向加力時の荷重-相対変位曲線 (ドリフトピン直径12mm、長さ100mm)

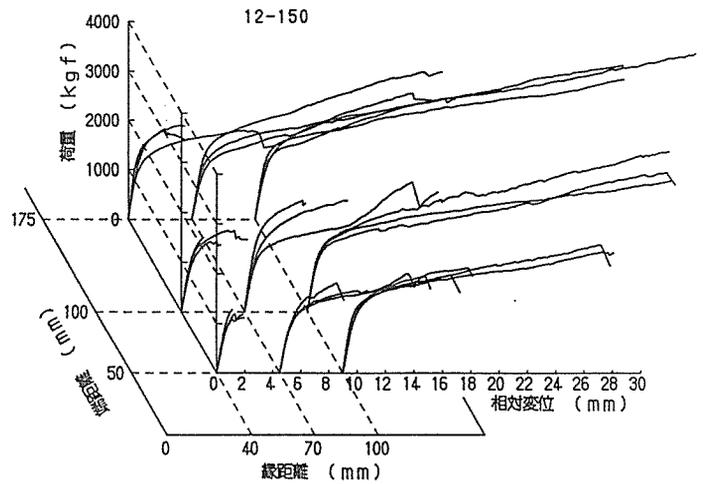


図 5.2-8. 繊維直交方向加力時の荷重-相対変位曲線 (ドリフトピン直径12mm、長さ150mm)

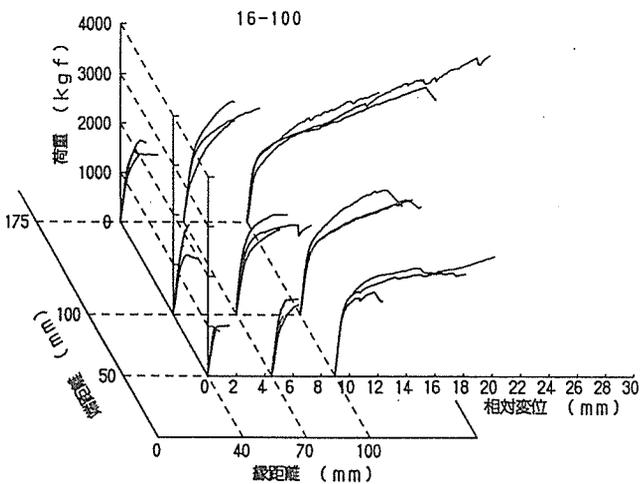


図 5.2-9. 繊維直交方向加力時の荷重-相対変位曲線 (ドリフトピン直径16mm、長さ100mm)

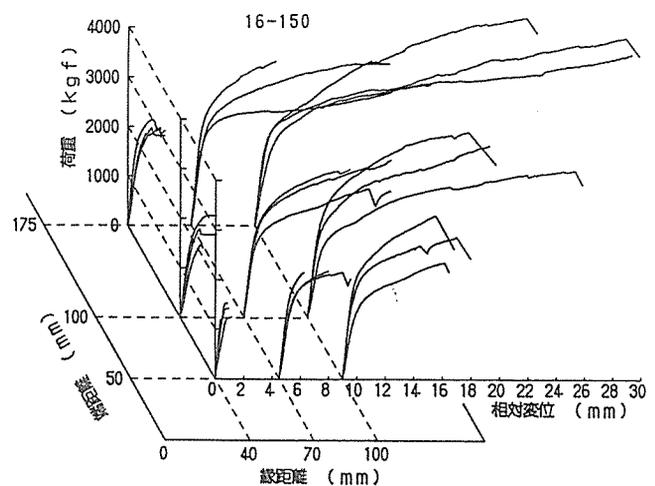


図 5.2-10. 繊維直交方向加力時の荷重-相対変位曲線 (ドリフトピン直径16mm、長さ150mm)

また、縁距離 (h) および端距離 (e) は最大荷重に顕著な影響を及ぼしており、最大荷重 (破壊荷重) は

$$P_{max} = a \cdot h^n \cdot e^m \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

P_{max} : 最大荷重 (kgf)

h : 縁距離 (mm)

e : 端距離 (mm)

a, n, m は定数

で推定できた。この回帰式を用い、任意の縁距離、端距離の組み合わせから期待される最大荷重の計算値の一例を図 1 1 に示した。結果は直径 12mm と 16mm、長さがいずれも 150mm のドリフトピンの場合であるが、縁距離、端距離の増大とともに最大荷重が大きくなり、特に縁距離の影響が顕著であった。

本構造計算規準では、縁距離はドリフトピン直径の 4 倍以上、端距離は 7 倍以上と定められているが、それ以上に縁距離、端距離を大きくとれば、より割裂破壊が生じにくくなり、従ってより高い最大荷重が期待できる。

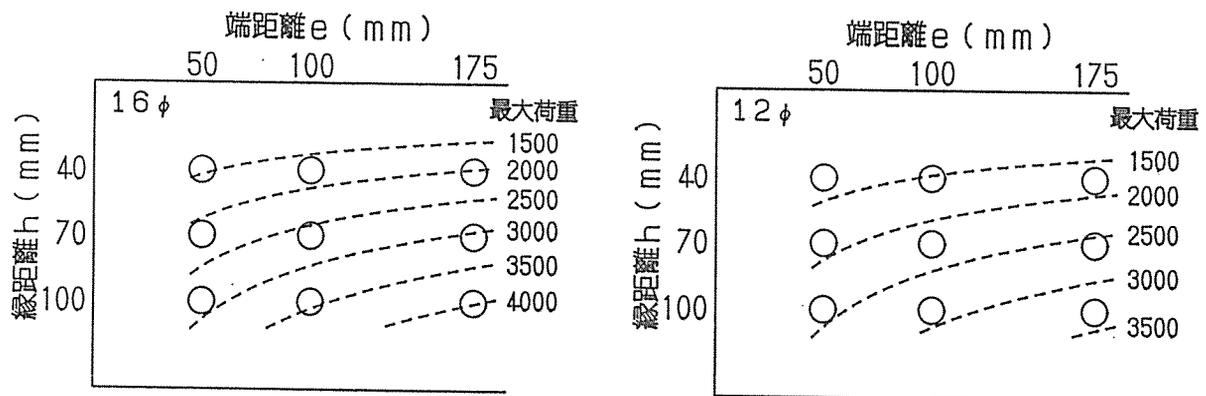


図 5.2-1.1. 任意の縁距離、端距離から期待される最大荷重
(左：ドリフトピン直径 16mm、右：ドリフトピン直径 12mm)

(2) 繊維平行方向加力と直交方向加力の比較

図 1 2 は、ドリフトピン直径 16mm と 12mm、長さ 100mm と 150mm の場合の、繊維平行方向加力 (端距離 150mm の場合) と直交方向加力 (縁距離 100mm、端距離 150mm の場合) の荷重 - 相対変位曲線を比較したものである。

繊維平行方向加力では、加力初期に荷重が急勾配で上昇するものの、降伏点をすぎると荷重がほとんど増大せず、変形のみがすすんでいった。一方、繊維直交方向加力では、直線域の傾きや降伏荷重は平行方向加力時の 50~70% 程度の値しかなかったものの、降伏点をすぎた後も変位の増大に伴って荷重がゆるやかに増大していき、直径 12mm で長さ 150mm の場合には、繊維直交方向の最大荷重が平行方向のそれを上まわるまでに至った。このことから繊維直交方向加力では、縁距離、端距離を十分にとっておけば、繊維平行

方向加力とほぼ等しい最大荷重が期待できる。

一方、繊維平行方向加力では最大荷重の推定に LARSEN の式が使えたが、繊維直交方向加力では降伏荷重と最大荷重との間に 2 倍近い開きがあるため、この LARSEN の式は繊維直交方向加力時の最大荷重の推定には使えない。

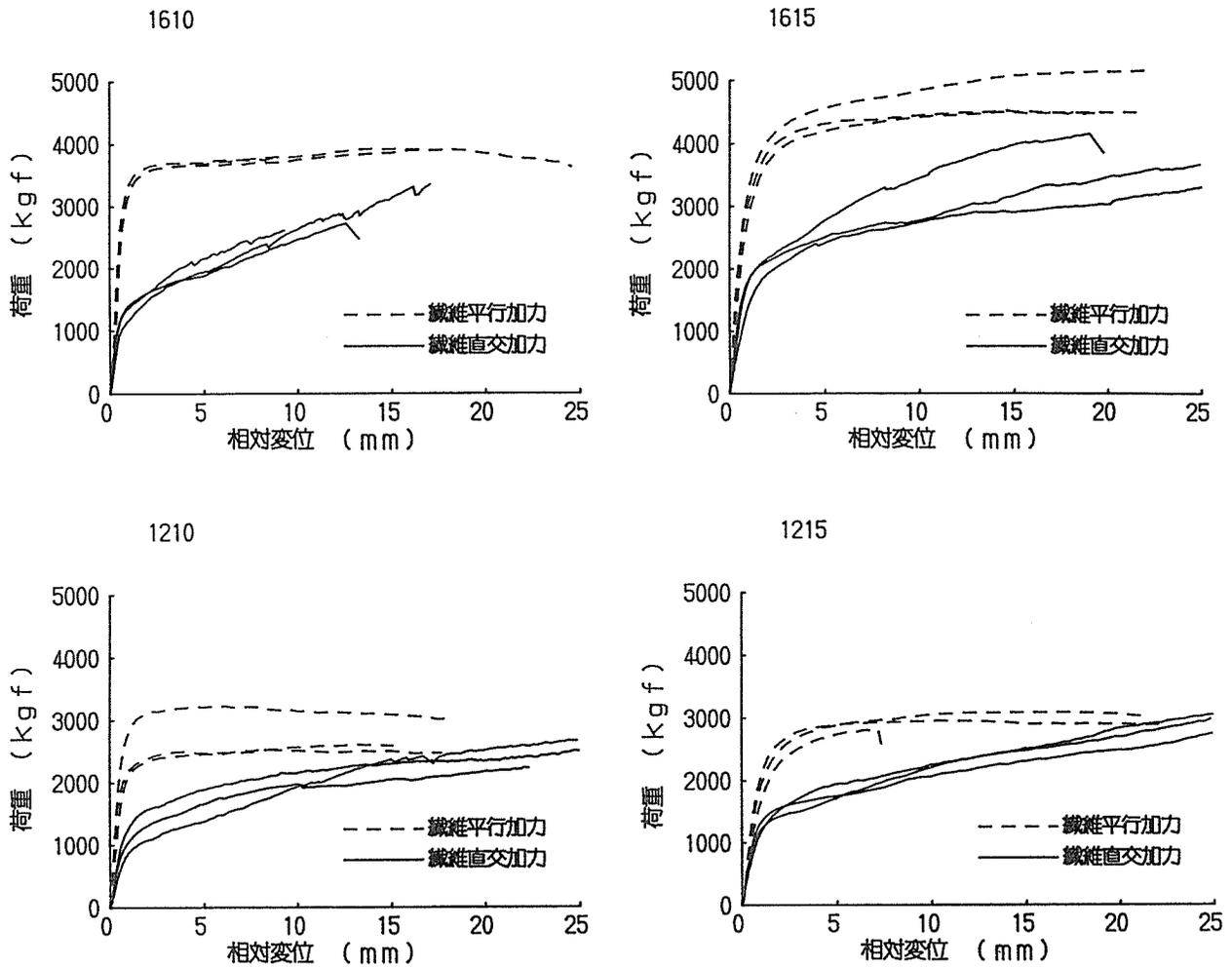


図 5.2 - 1 2. 繊維平行方向加力と直交方向加力の比較

(左上：直径 12mm, 長さ 100mm、右上：直径 12mm, 長さ 150mm)

左下：直径 16mm, 長さ 100mm、右下：直径 16mm, 長さ 150mm)

(3) 木構造計算規準との比較 (繊維直交方向加力時)

表 1 は、今回の試験の結果をもとに、縁距離を直径の 4 倍、端距離を直径の 7 倍とした時のスギ集成材ドリフトピン接合の繊維直交方向加力時の最大荷重を (5) 式で求め、これを木構造計算規準に示す短期許容せん断耐力と比較したものである。

この結果、縁距離を直径の 4 倍、端距離を直径の 7 倍とした時の最大荷重は短期許容せん断耐力の 4.2~7.1 倍の高い値を示し、これより縁距離、端

距離を大きくとると最大荷重はさらに高くなる。

表 5.2-1. 繊維直交方向加力時の最大荷重と短期許容せん断耐力
(スギ集成材、縁距離 4 d、端距離 7 d とした場合)

ピン直径 d (mm)	ピン長さ* (mm)	最大荷重** (kgf)	短期許容耐力*** (kgf)	最大/許容
12	100	1372	240	5.72
12	150	1696	240	7.07
16	100	1790	426	4.20
16	150	2524	426	5.92

*主材厚は (長さ-9mm)、** (5) 式より計算、***木構造計算規準による

このことから、木構造計算規準を用いて設計した鋼板挿入式ドリフトピン接合は、繊維直交方向加力時においても十分な耐力を有していると考えられ、直径が小さく長さが長いドリフトピンを用いた場合ほどその安全率は高くなる。

引用文献

- 1) 日本建築学会：木構造計算規準・同解説、1988
- 2) 日本建築センター：大断面木造建築物設計施工マニュアル、1988年版、日本建築センター
- 3) LARSEN. H. J：IUFRO-V, p. 646-654, (1974)
- 4) 前田典昭：木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書「木造化技術開発」、日本住宅・木材技術センター、1987, p. V-215 - V-249.
- 5) 川元紀雄他：第40回日本木材学会大会(つくば)研究発表要旨集、p. 402, (1990)

5.3 ラグスクリーク接合

5.3.1 概要

ラグスクリークは、図5.3-1に示すように、ボルトの先端にネジ加工を施したもので、従来わが国ではコーチスクリークと呼ばれたもので、ラグボルトと呼ばれることもある。

ラグスクリークは、孔径を軸径より若干(0.5mm程度)小さめに加工して、施工するため、ボルトに比べてガタが少なく、初期剛性が期待できる接合具である。しかし、あまり強く締めすぎるとネジが利かなくなるため注意も必要である。最近では、わが国でも集成材構造建築物のモーメントを伝達する接合等に使用され、その剛性の高さについては定評があり、木構造計算規準の中で許容耐力等が規定されている。

5.3.2 許容耐力

木構造計算規準¹⁾では、ラグスクリークの許容耐力を次のように算定する。

(1) 許容せん断耐力

側材に鋼板を用いた木材の繊維方向の力を受ける場合、短期許容せん断耐力は、次式により与えられる。

$$\begin{aligned} 4 \leq \ell / d \leq 10 \quad \text{の場合} \quad P &= 125 \rho d \ell \\ \ell / d > 10 \quad \text{の場合} \quad P &= 1250 \rho d^2 \end{aligned}$$

ここで、

P：ラグスクリークの短期許容せん断耐力(kgf)

d：ラグスクリークの軸径(cm)

ℓ：ラグスクリークの打ち込み長さ(cm)

ρ：木材の気乾比重(表5.3-1参照)

- 1) 長期許容耐力は、短期の1/2とする。
- 2) 木材の繊維方向に直角方向の力を受ける場合は、繊維方向の1/2とする。
- 3) 木材含水率が20%を越える状態になった場合の許容耐力は2/3に低減する。
- 4) 荷重角度が0°と90°の間の場合は、ハンキンソン式により調整する。
- 5) 1箇所の接合部に複数個使用の場合には、許容耐力を調整して適当に低減

する。(北米のNational Design Specificationには、低減係数が決められている。)

6) 木口に打ち込まれたラグスクリューの許容耐力は、側面うちの2/3に低減する。

7) 上記のせん断許容耐力は鋼板厚さが13mmまでのものに適用し、それ以上の厚さのものについては、ラグスクリューの打ち込み長さの比で低減する。

(2) 許容引抜耐力

ラグスクリューのネジ部の単位長さ当りの短期許容引抜耐力 P_w は次式より算定する。引抜耐力を求める際、ラグスクリューの許容引張応力を越えないことを確認する。

$$P_w = 120 \rho^{0.8} d$$

ここで、

P_w : ラグスクリューの短期許容引抜耐力(kgf)

d : ラグスクリューの軸径(cm)

ρ : 木材の気乾比重(表5.3-1参照)

1) 長期許容耐力は、短期の1/2とする。

2) 構造耐力上主要な部分においてラグスクリューの引抜耐力に抵抗させることはできるだけ避ける。やむをえず使用する場合は、側面打ちの3/4を越えない値とする。

5.3.3 せん断と引抜を同時に受ける場合

荷重が木材の表面にある角度を持って作用し、ラグスクリューがせん断と引抜を同時に受ける場合、それをせん断と引抜に分けて検討する。

5.3.4 配置及び座金

ラグスクリューの配置間隔、縁距離および端距離、使用する座金は同じ胴部径のボルトに対する規準を準用する。

5.3.5 注意事項

1) 孔加工

胴部の孔径は、ラグスクリュー胴部径と同径に開け、その長さも胴部と同寸

とする。ネジ部の先孔は樹種グループJ1でネジ径の60～75%、その他の樹種グループは40～70%とし、長さもネジ部と同じにする。

2) ラグスクリュウの締め付け

ラグスクリュウの締め付けは、レンチ等により回しながら挿入する。ハンマー等による打ち込みは行わない。

5. 3. 6 荷重－すべり曲線

スギの実験としては、三重大の徳田²⁾の研究がある。図5.3-3は、徳田が行った実験の試験体の概要で、図5.3-4及び図5.3-5はせん断実験の荷重－すべり曲線を示す。ラグスクリュウは、ドイツ規格DIN-7998に準拠したφ9mmおよびφ20mmのものが日本で注文生産された。主材はスギの他にベイマツ、カラマツ、ベイツガの構造用集成材で、側材として、φ20mmには12mm厚の添板鋼板、φ9mmには6mm厚の添板鋼板が用いられた。実験でカバーされた l/d の範囲は4～16の範囲である。

図5.3-4は $d=9$ mmラグスクリュウの、また図5.3-5は $d=20$ mmにおける荷重－スリップ曲線を各樹種ごとに示す。ベイツガの $l=40$ mmの場合を除いて、いずれも比重の序列から推定されたとおり、スギが最も耐力的に低い値をとる傾向が読み取れる。しかし、最大変形能力については特に低いとは言えないようである。

文献

- 1) 日本建築学会；木構造計算規準・同解説、P43、P176(1988)
- 2) 徳田迪夫；ラグスクリュウの接合部のせん断剛性及び強度、木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書、(財)日本住宅・木材技術センター(1987)

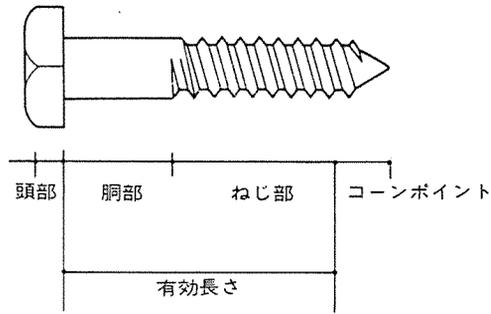


図 5.3 - 1 ラグスクリーの呼称

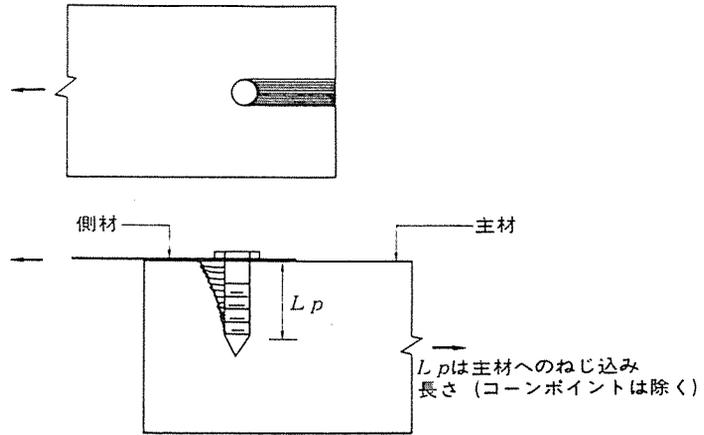
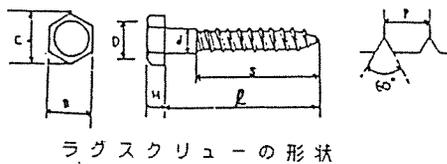


図 5.3 - 2 ラグスクリー接合の応力状態

表 5.3 - 1 樹種グループと接合部の設計に使う基準比重

樹種グループ		比重*
J 1	べいまつ, くろまつ, あかまつ, からまつ, つが	0.42
J 2	べいひ, べいつが, ひば, ひのき, もみ	0.37
J 3	とどまつ, えぞまつ, べにまつ, スプルー, すぎ, べいすぎ	0.32

注: *樹種グループ内の下限気乾比重 (含水率15%)



ラグスクリーの形状

d	l	l/d	シリーズ名
9	40	4.4	a
	65	7.2	b
	100	11.1	c
	150	16.7	d
20	75	3.8	a
	150	7.5	b
	230	11.5	c
	300	15.0	d

d: 胴部直径 (mm), l: 全長 (mm)

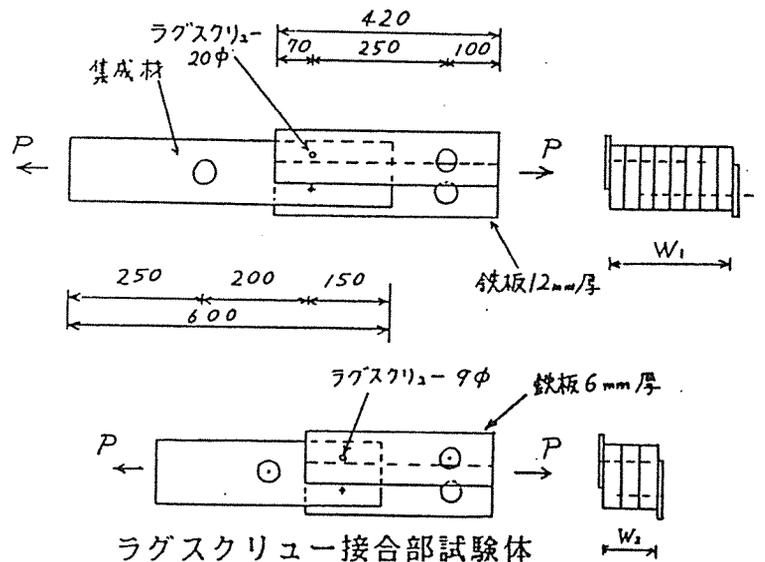


図 5.3 - 3 徳田の行ったラグスクリー実験の概要

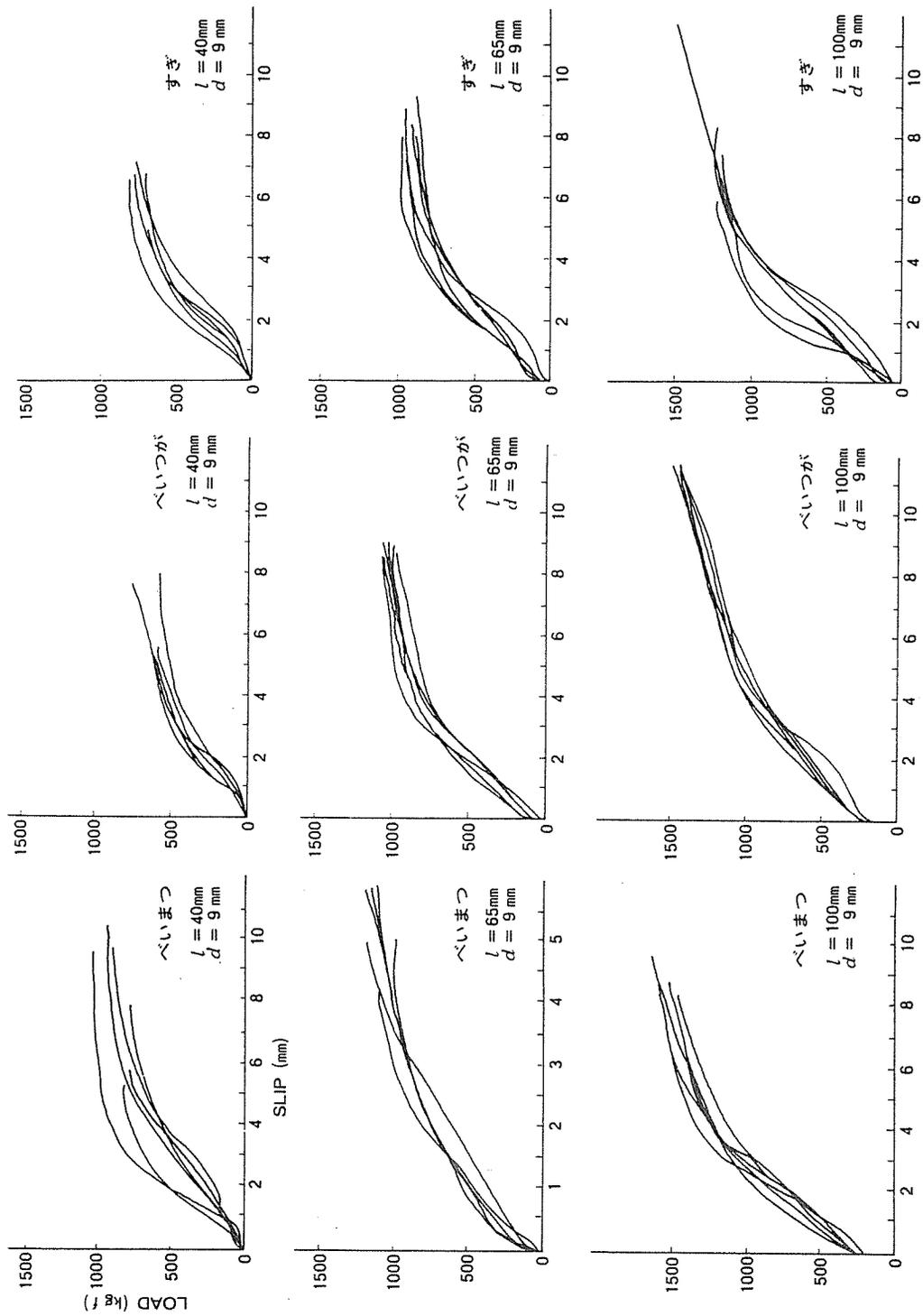


図 5.3-4 ラグスクリュウ接合の荷重-すべり曲線図 ($d: 9\text{mm}$ 直径, l :長さ)

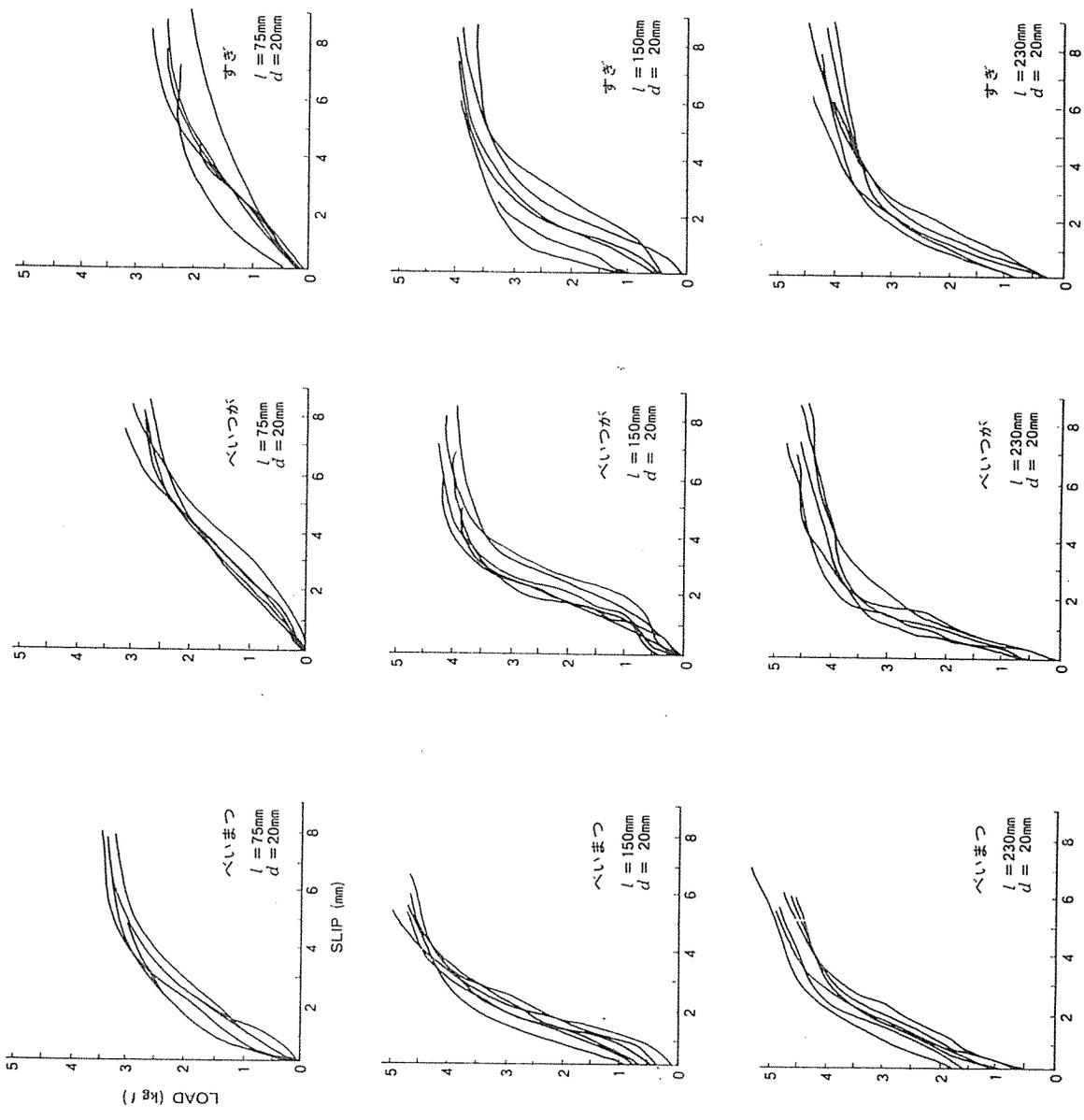


図 5.3-5 ラグスクリュー接合の荷重-すべり曲線図 (d:20mm直径、 l :長さ)

5. 4 圧入式ジベル接合

5. 4. 1 概 要

ジベルは接続される二材間のすべり面に配置され、そのひっかかりで抵抗する接合具である。すべりに抵抗する原理は図5. 4-1のようなもので、ジベルの回転を止めるため締め付けボルトと共に用いることが多い。ジベルには鋼板を折り曲げて歯を起こした圧入式ジベル（図5. 4-2）とシアプレートやスプリットリングのような彫り込み式環形ジベルがあるが、彫り込み式ジベルについては5. 5で紹介するので、ここでは圧入式ジベルについて述べる。（ただし、アベルリングについても同時に実験がされているのでデータを示す。）

圧入式ジベルの特徴は①接合耐力が高く粘りがある。②緩みがなく初期ガタが少ない。③複数個の使用でも加工はボルト孔だけなので加工精度をあまり必要としない④圧入にジャッキ等の治具が必要である。⑤歯のベース板を二材間に残すことにより施工後のジベル使用の点検が可能。などである

5. 4. 2 圧入式ジベルのせん断耐力実験

圧入式ジベルの許容せん断耐力については、木構造計算規準にも具体的な数値の提案はされていないので、ここでは平嶋¹⁾が行ったジベルの実験および提案されている許容せん断耐力について述べる。

1) 実験に用いたジベル

実験に用いたジベルを表5. 4-1に示す。ジベルは、すべてD I Nに規定される接合具で、ブルドック62、ブルドック95は、鋼板を折り曲げた歯を有するジベル、ゲガ95は、鋳物製で突起を有しているジベルである。

2) 接合試験体

試験体は、図5. 4-3に示すように主材及びそれに直交する側材とからなり、これをジベルとボルトで接合する。接合試験体に用いた主材、側材、ボルトは表5. 4-2に示す。使用樹種は、J 1 ベイマツ、J 2 ベイツガ、J 3 スギで、主材や側材に使った木材は、予め樹種毎に比重によりマッチングを行って調整したが、ベイマツが標準的であったのに対して、ベイツガ、スギは高めの比重であった。試験体数は、ゲガ95が各3体で他のジベルは各6体ずつとした。

3) 荷重－すべり曲線

図5. 4-4に主材と側材が直交する90°方向の荷重－すべり曲線を示す。参考としてφ22mmのボルトを同じ条件で実験した荷重－すべり曲線も示す。3種類のジベルは、耐力的にはベイマツが優っているが、ベイツガとは遜色ない耐力を示し、変位の伸びも大きく、かなりの靱性が見て取れる。

4) ジベルの許容せん断耐力

ここでは、平嶋が実験より提案しているジベルの許容せん断耐力を示す。許容せん断耐力は、実験とシミュレーションで得たジベルの接合最大耐力分布の5%下限値をもとに安全率等を考慮して定めている。

$$F_a = \frac{T_o}{a \cdot b}$$

ここに、 F_a ：長期許容耐力

T_o ：各樹種あるいは樹種グループ内の比重などパラメータのばらつきを考慮して得た最大耐力の5%下限値

a ：安全率

b ：長期応力に対する係数

T_o の値が実験とシミュレーションより得られた5%下限値で、ジベル別、応力と木材繊維のなす角度(0°及び90°)別に表5. 4-3、表5. 4-4に示す。

安全率 a は、構造物や荷重の状況に応じて決めるのが基本であるが、設計上の煩わしさから、比較的スパンの大きい骨組構造を対象に考え、強さの安全率を「2～1.5」程度に選んでいる。また、長期応力に対する係数 b は、圧入式ジベルに対しては、通常「3」をとる。

実際の接合部の設計では、応力と剛性の両方をにらみながら設計するわけ、耐力だけで決まるわけではなく、剛性も考慮して決めるのが基本である。

許容耐力は、シミュレーションで樹种群毎の比重をもとに算出しているため、スギは、樹種の中では比重が小さいため、許容耐力も低いところで抑えられている。

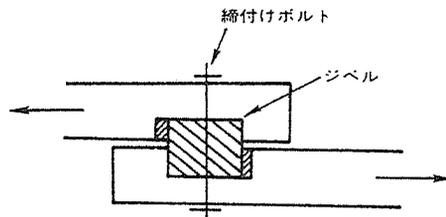
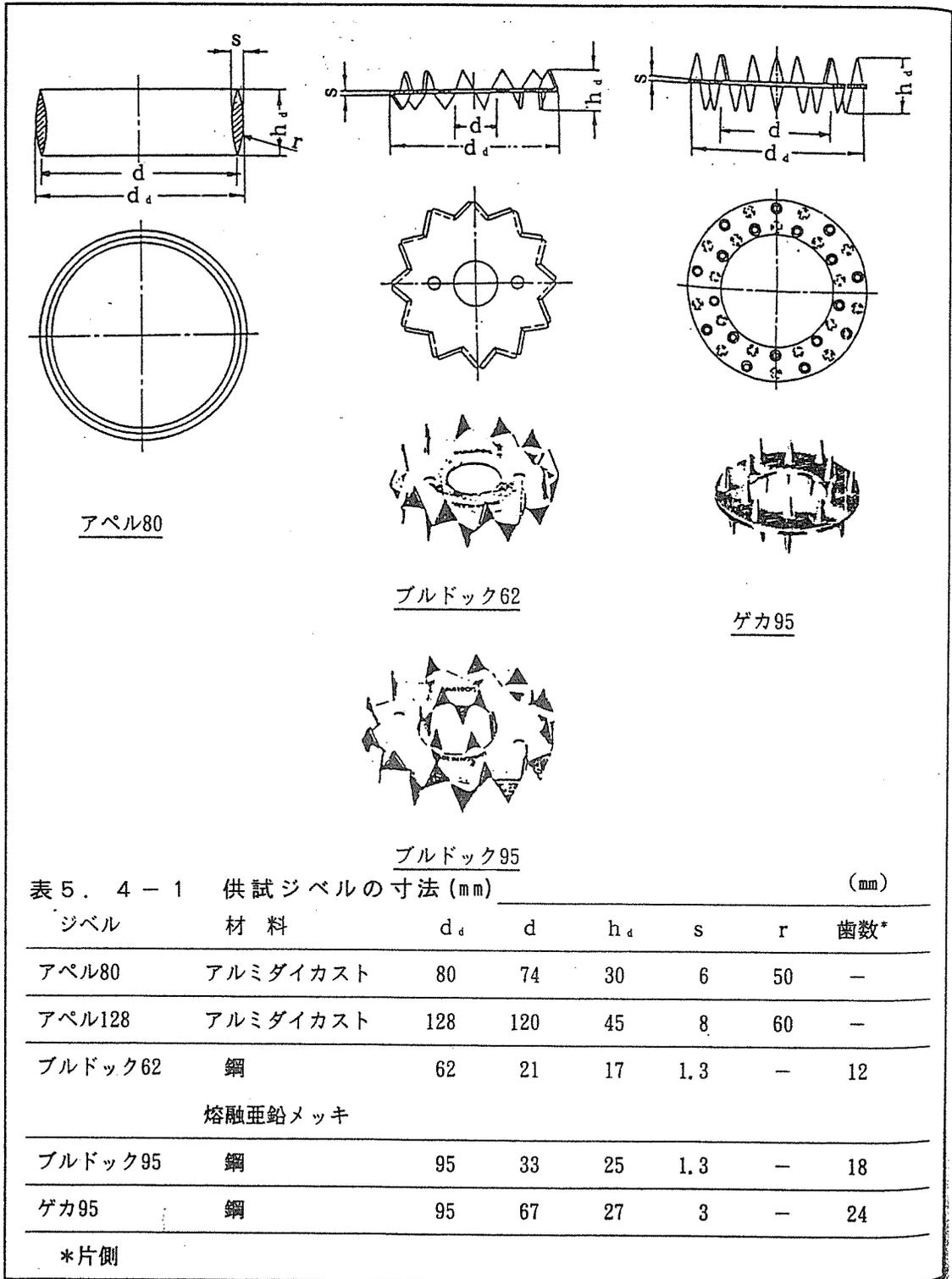


図 5. 4 - 1 ジベルの原理

図 5. 4 - 2 供試ジベルの仕様



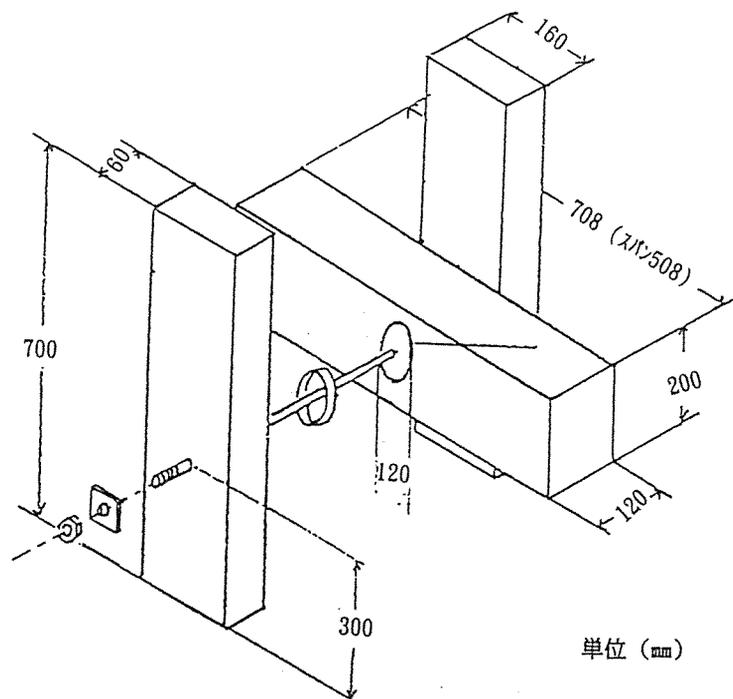


図 5. 4 - 3 試験体の組立図 (90° 方向)

表 5. 4 - 2 試験体に用いた主材、側材、ボルト、座金の寸法 (mm)

(mm)

ジベル	中心材			側材			ボルト	座金
	長さ	幅	せい	長さ	幅	厚さ		
アペル80	522	100	130	460	110	50	M12	60×60×6
アペル128	708	120	200	700	160	60	M12	60×60×6
ブルドック62	460	80	110	340	100	40	M12	60×60×6
ブルドック95	568	100	140	380	120	50	M16	80×80×9
ゲカ95*	568	120	140	500	120	60	M22	115×115×11

*ボルト接合試験体もこれに同じ

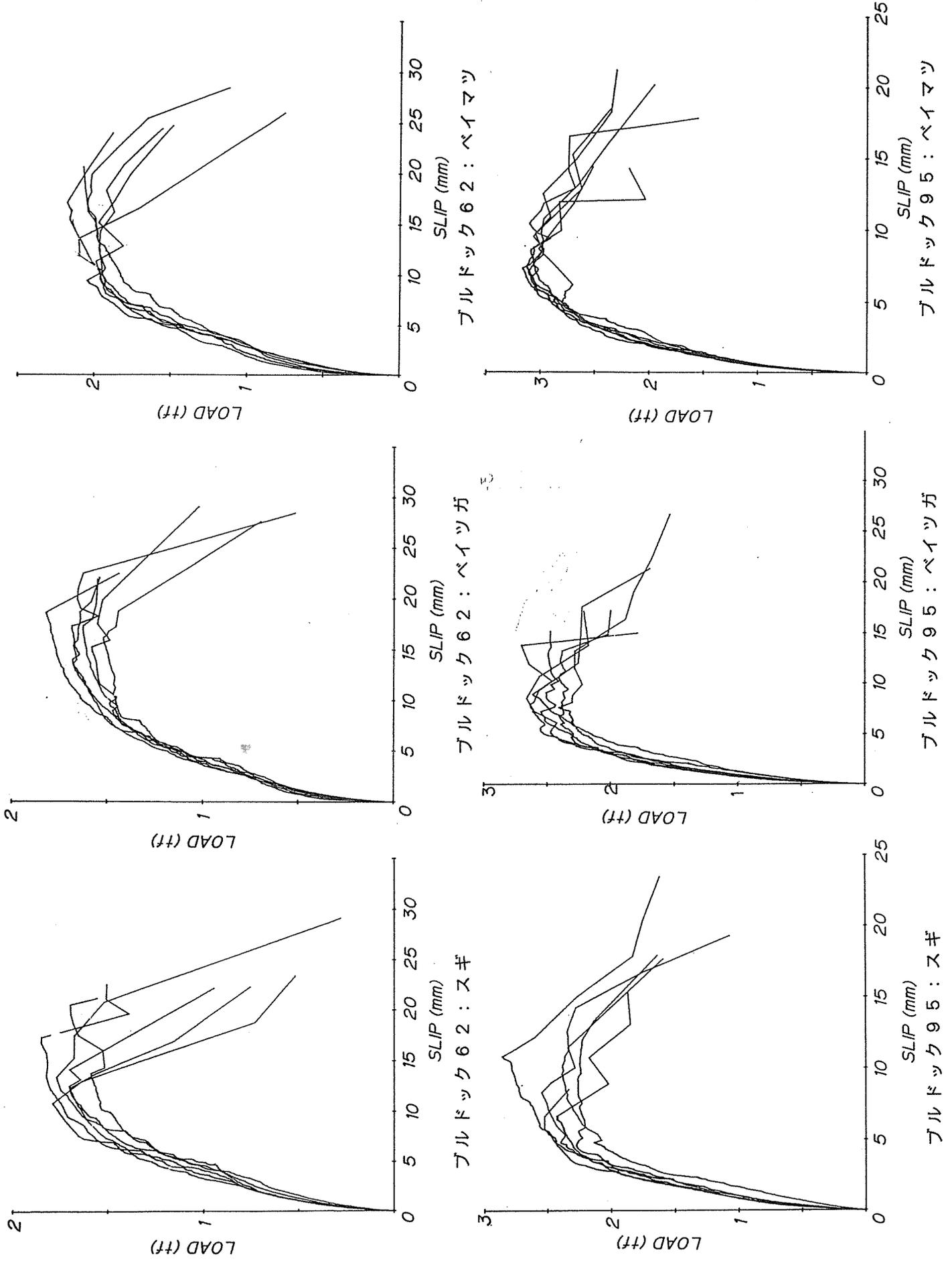


図5. 4-4 荷重-すべり曲線図

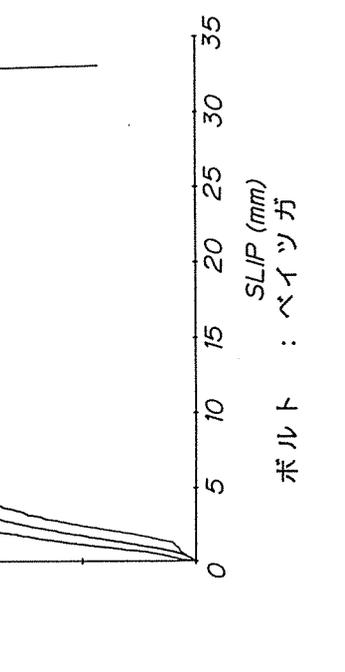
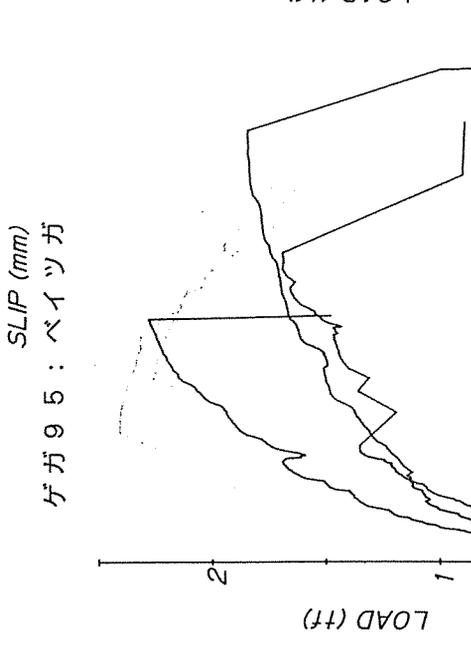
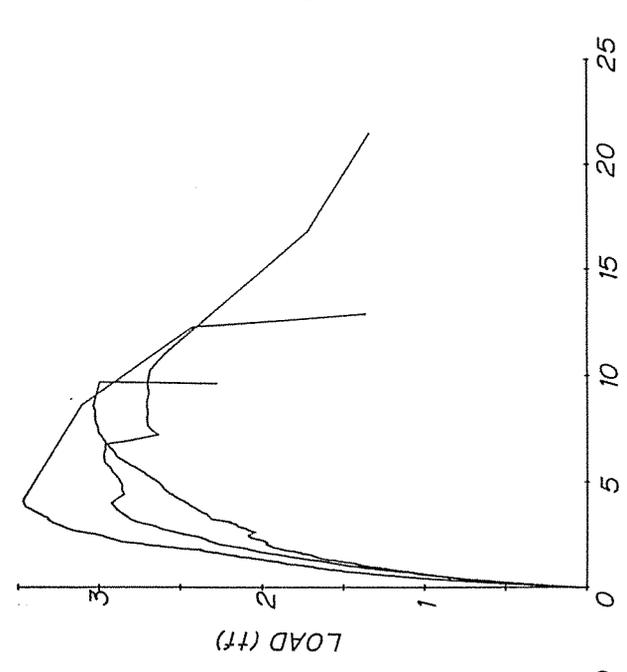
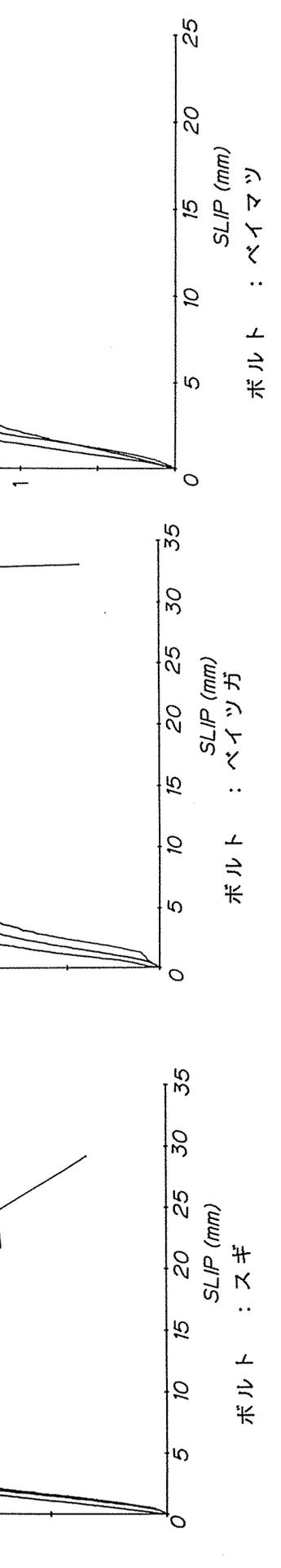
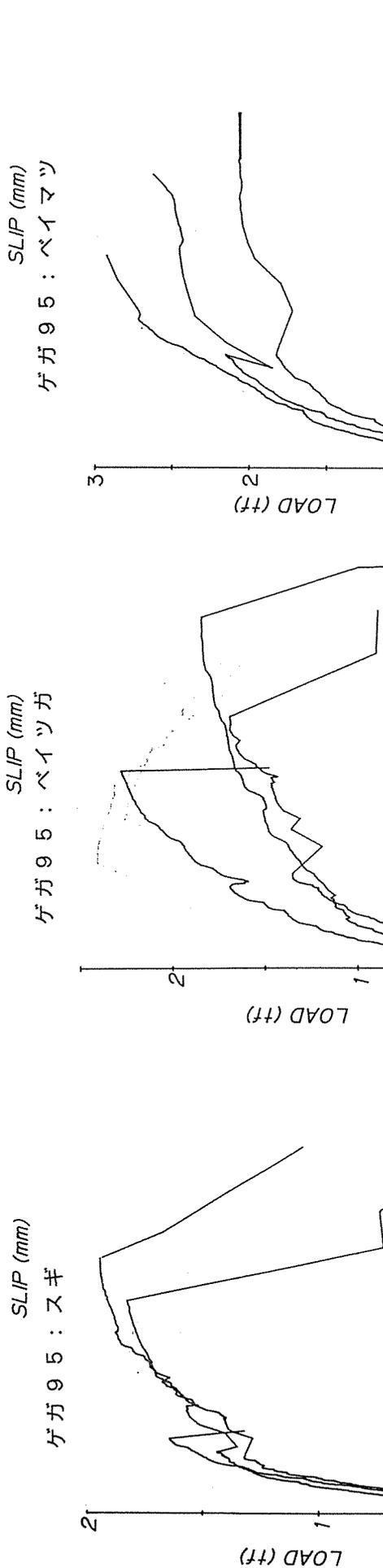
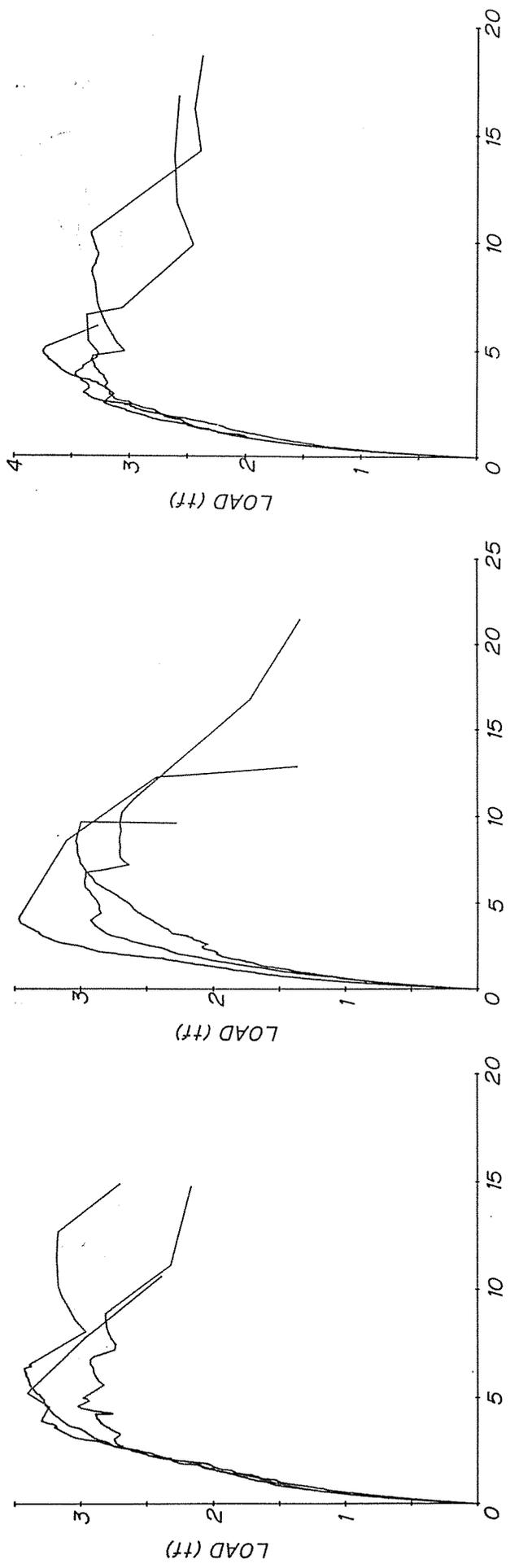


図5. 4-4 荷重-すべり曲線図

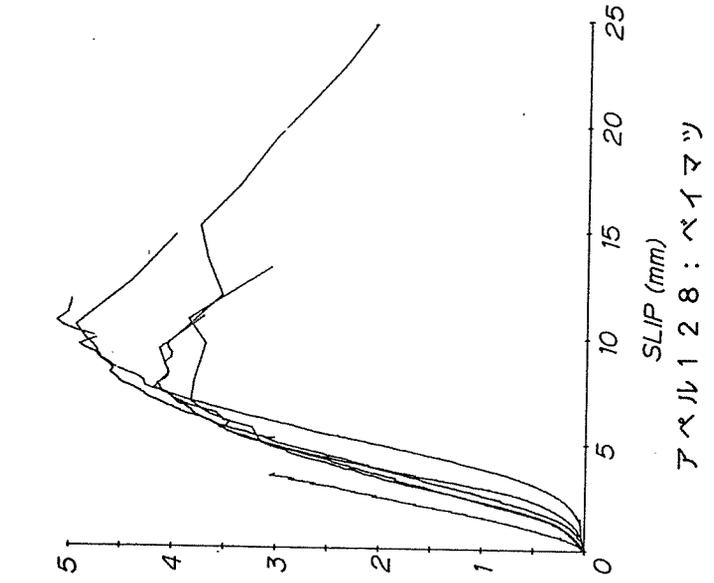
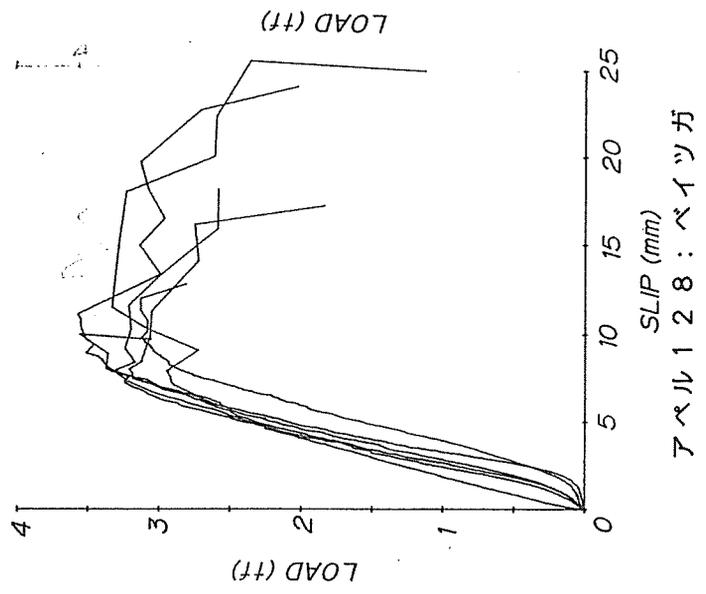
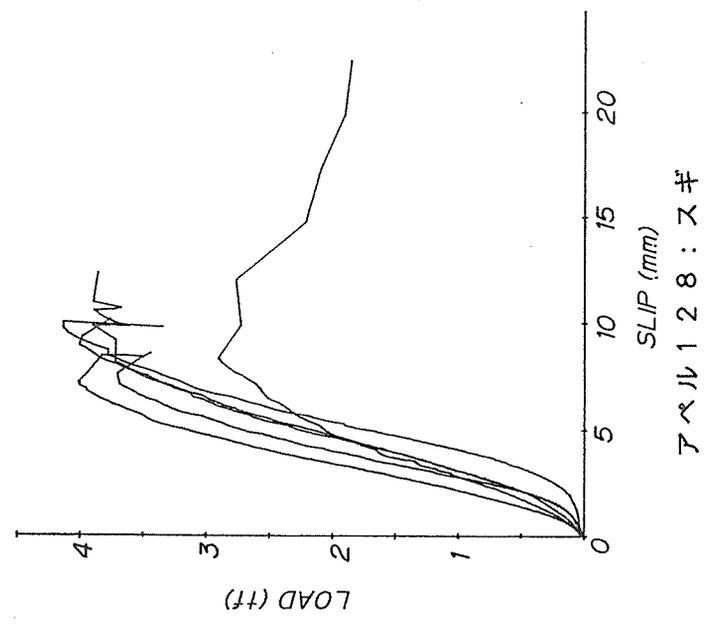
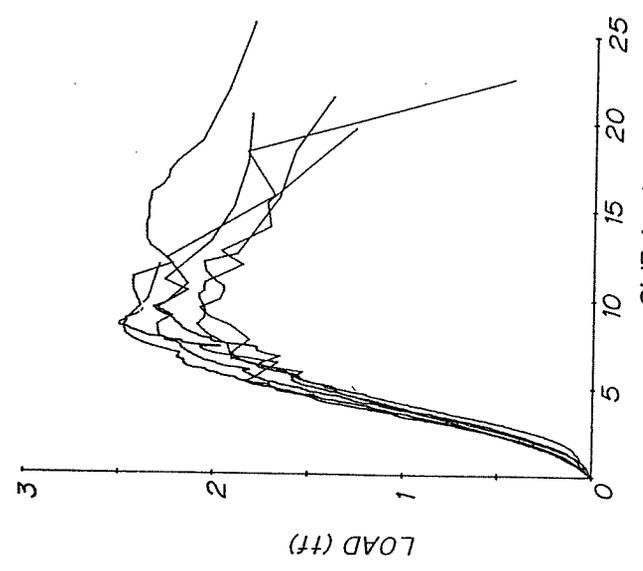
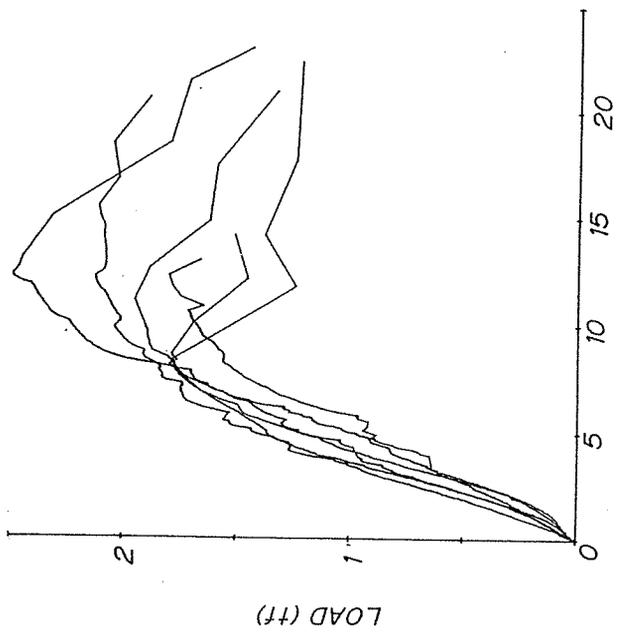
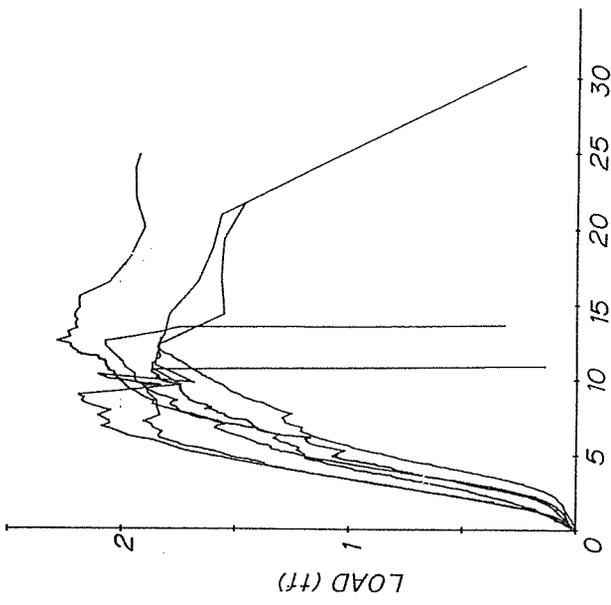


図5. 4-4 荷重-すべり曲線図

表5. 4-3 ジベルのせん断耐力5%下限値(0°方向)(kgf)

グループ	樹種	アベル80	アベル128	ブルドック62	ブルドック95	ゲカ95
J1	べいまつ	3312	4898	2817	3739	6307
	くろまつ	3247	4789	2769	3618	6207
	あかまつ	3116	4569	2672	3376	6008
	からまつ	2985	4348	2575	3133	5808
	つが	2985	4348	2575	3133	5808
	グループ*	3080	4508	2649	3297	5939
J2	べいひ	2787	4017	2428	2767	5507
	べいつが	2721	3906	2379	2645	5407
	ひば	2655	3795	2330	2522	5307
	ひのき	2589	3683	2281	2400	5206
	もみ	2589	3683	2281	2400	5206
	グループ*	2639	3767	2320	2485	5274
J3	えぞまつ	2523	3572	2231	2277	5106
	べにまつ	2390	3349	2133	2032	4904
	スプルス	2390	3349	2133	2032	4904
	とどまつ	2323	3237	2083	1910	4803
	すぎ	2189	3012	1984	1663	4600
	べいすぎ	2122	2900	1934	1539	4499
	グループ*	2284	3170	2059	1819	4803

表5. 4-4 ジベルのせん断耐力5%下限値(90°方向)(kgf)

グループ	樹種	アベル80	アベル128	ブルドック62	ブルドック95	ゲカ95
J1	べいまつ	1828	3014	1679	2459	3111
	くろまつ	1811	2967	1649	2426	3084
	あかまつ	1776	2872	1589	2358	3029
	からまつ	1742	2777	1528	2291	2974
	つが	1742	2777	1528	2291	2974
	グループ*	1771	2856	1568	2342	3017
J2	べいひ	1689	2634	1437	2189	2890
	べいつが	1672	2586	1407	2155	2862
	ひば	1655	2538	1376	2121	2834
	ひのき	1637	2490	1346	2087	2806
	もみ	1637	2490	1346	2087	2806
	グループ*	1652	2531	1367	2114	2829
J3	えぞまつ	1620	2442	1315	2053	2778
	べにまつ	1584	2346	1254	1984	2722
	スプルス	1584	2346	1254	1984	2722
	とどまつ	1567	2298	1223	1950	2694
	すぎ	1532	2201	1162	1881	2638
	べいすぎ	1514	2153	1131	1847	2609
	グループ*	1561	2281	1200	1933	2681

表5. 4-5 許容荷重に対するスリップ量(mm)

角度	アベル80	アベル128	ブルドック62	ブルドック95	ゲカ95
0°	0.4	1.7	0.3	0.3	0.3
90°	3.8	3.4	2.4	1.1	0.9

*グループ全体の比重分布を用いた場合の値

5. 5 コネクター接合

5. 5. 1 コネクター接合の概要

コネクターは、図5. 5-1の形状・寸法を持つスプリットリングとシアプレートとの総称で、図5. 5-2のような加工により、せん断型の接合を行う。

コネクター接合の長所には、接合具1個当りの強度が高く、剛性も比較的高いことなどがあるが、短所としては、破壊性状が脆性的であることが挙げられる。なお、鋼板添板とシアプレートによる接合では、鋼板のボルト孔をボルトと同径にしないと、ガタを生じる。

5. 5. 2 許容耐力

スギの接合許容耐力は、表5. 5-1, 2のようになる。許容耐力は次のように調整する。

- (1) 長期許容耐力は短期の1/2とする。
- (2) 荷重角度が0°~90°の許容耐力は、ハンキンソンの式による。
- (3) 含水率が20%以上の状態になる場合の許容耐力は、2/3倍とする。
- (4) 直角に切断された木口面に使用する場合の許容耐力は、荷重角度が90°許容耐力の0.6倍とする。木口面が斜めに切断されている場合の許容耐力は、次式による(図5. 5-3参照)。

$$R_{\beta} = \frac{0.6 R_{0} R_{90}}{R_{0} \sin^2 \beta + 0.6 R_{90} \cos^2 \beta}$$

ただし、 β ：木口面の傾斜角度

R_{β} ：許容せん断耐力

R_{0} ：荷重角度が0°の許容耐力

R_{90} ：荷重角度が90°の許容耐力

- (5) 1箇所の接合部に多数のコネクターを使用する場合は、許容耐力を適当に低減する(文献1, 2を参照)。

5. 5. 3 接合部における部材の有効断面積

有効断面積からコネクタの投影面積を差し引いて求める。複数のコネクタを使用する場合で、平行方向間隔がコネクタの直径以下の場合は、これらのコネクタの投影面積の合計を差し引く。

5. 5. 4 接合部における部材の水平せん断応力度

図5. 5-5のように、接合部を介して部材がせん断力を受ける場合は、次式によつてせん断応力度を計算し、これが部材の許容せん断応力度を超えないようにする。

$$\sigma_s = K \frac{3Q}{2bh}$$

ただし、 σ_s : 部材のせん断応力度

Q : せん断応力 Q_1 、 Q_2 のうち大きい方の値

b : 部材の幅

h_0 : 力非負担側縁距離

K : 端距離 c が部材のせい h の5倍以上の場合は $2/3$ 、5倍未満の場合は h/h_0 。

h : 部材のせい

5. 5. 5 配置間隔

コネクタの配置間隔は、許容耐力に対する使用耐力の割合に応じて調整することができる。コネクタを繊維方向、あるいは繊維に直角の方向に並べる場合の配置間隔を表5. 5-3、4に示す。

コネクタを繊維に対して傾斜する方向に並べる場合の間隔は、傾斜させない場合の間隔（表5. 5-4の平行方向間隔を x 、直角方向間隔を y ）を基に次式で求める。

$$\frac{S_0^2}{x^2} + \frac{S_{90}^2}{y^2} = 1$$

ただし、 S_0 、 S_{90} ：コネクタを繊維に傾斜する方向で並べる場合の平行方向間隔および直角方向間隔。

α ：コネクタの中心を結ぶ直線の繊維に対する傾斜角度。

この式を図解すると、図5. 5-6のようになり、1個を楕円の中心に置くと、他方は楕円上のどこに置いても良い。

5. 5. 4 注意事項

コネクタ接合の剛性や強度は、彫り込み加工の精度に依存する。彫り込みにはできるだけ専用の刃物を用いる。スギ集成材は材質がやわらかいので、特に刃物の研磨には注意が必要である。摩耗した刃物を用いると、けば立ちが生じて剛性が著しく低下する。

シアプレート接合で添板に鋼板を用いる場合、添板の設計は鋼構造設計規準によるが、許容応力度設計で設計した厚さでは、鋼板の孔の変形が大きいので、厚みに余裕を持たせることが望ましい。

繊維に平行方向の力を受ける102mmシアプレートの接合で、SS41、SM41などの中ボルトを使用した場合、集成材の比重が0.4以上でボルトのせん断破壊を生じ、非常に脆性的となる。これは許容接合耐力の誘導に際して、木材の下限品質を考慮するなど鋼板より大き目の余裕を見込んでいるためである。したがって、強度の余裕を一般の木構造と同程度にしたい場合は、高力ボルトなどを使用する必要がある。

5. 5. 5 変形・強度の実験データ

以下に許容耐力の誘導のために行われた実験を紹介する。なお、90°方向加力の実験データは、採用した試験方法の影響を受けていると思われるので、参考程度とされたい。

(1) 試験条件

材厚、配置間隔 木材については、最大の許容耐力が得られる条件での最小値。但し、102mmコネクタの90°方向試験体の主材厚さは規定(8.8mm)より大きく、15cmとした。鋼板の厚さは4.5mm(67mmのシアプレート)、6mm(102mmシアプレート)、鋼板のボルト孔の直径は21mm。

加力方法 0°方向加力は圧縮型（小径コネクター）、または引張型（大径コネクター）、90°方向加力は曲げ型。

ナットの締め付け スパナで固く締め付けた後、緩めて再度指締め。

（2）荷重変形曲線と許容耐力の変形

図5. 5-7～10に荷重-変形関係を示す。変形は主材と添板との相対変位で、シアプレート接合では、加力開始前に試験体を手で抑えて、ボルトのガタをなくしている。

許容耐力時の変形は、67mmシアプレートを除いて、1mm以下である。67mmシアプレートでは2mm近くの変形となっているが、これは、刃物がよく研磨されておらず、彫り込み加工面が粗くなったためである。

（3）許容耐力の余裕

図5. 5-11～14に（最大耐力／短期許容耐力）の比を示す。

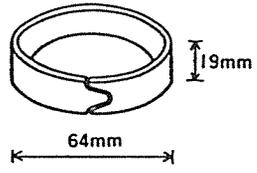
許容耐力は、他樹種を含む接合実験で得た強度と比重の関係式を基に、統計・確率論的方法（モンテカルロシミュレーション）によって誘導されている。その際、各樹種の下限品質を考慮するとともに、最大耐力に対して1.7倍（引張の場合）、2倍（圧縮の場合）の安全率が見込まれている。

圧縮型で実験を行った67mmシアプレートの試験体は、比重が比較的低いながら、安全率2を満足している。大径のコネクターは引張型で実験を行っているが、比重が比較的高いので、安全率は2以上となっている。以上から、比重が樹種の指標になるとの仮定の下で誘導された接合許容耐力は、スギに対してほぼ目標どりの余裕が得られていると云える。

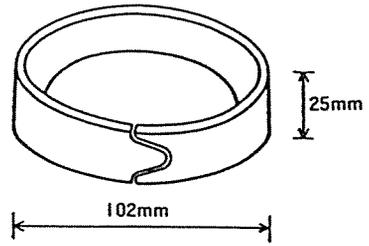
参考文献

- 1) 木構造計算規準・同解説、建築学会、1988.11。
- 2) コネクター接合、日本住宅・木材技術センター木構造設計資料、FA-1、1991.3
- 3) 25/8"（67mm）シアプレートと21/2（64mm）スプリットリングを用いた接合耐力試験、林試研報、第347号、1987.11
- 4) 駕海四郎・古沢信・神谷文夫、コネクターを用いた接合部の耐力試験、第39回木材学会大会研究発表要旨集、1989.4

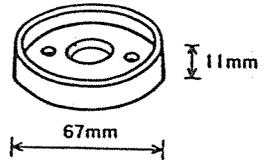
- 5) 神谷文夫・杉本健一・鷲海四郎, 102mmシアプレートと102mmスプリットリ
ングの強度、建築学会大会学術講演梗概集, 1990.10
- 6) National Design Specification For Wood Construction, NFPA, 1990.



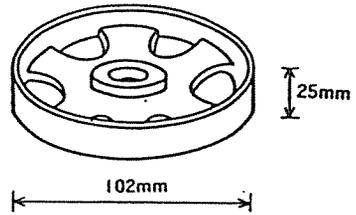
64 mmスプリットリング



102 mmスプリットリング

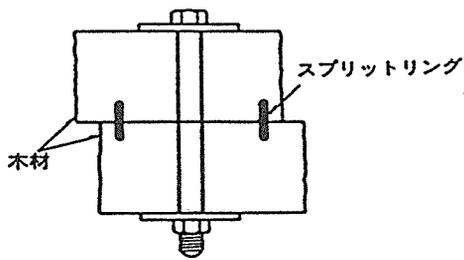


67 mmシアプレート
(Pressed steel)

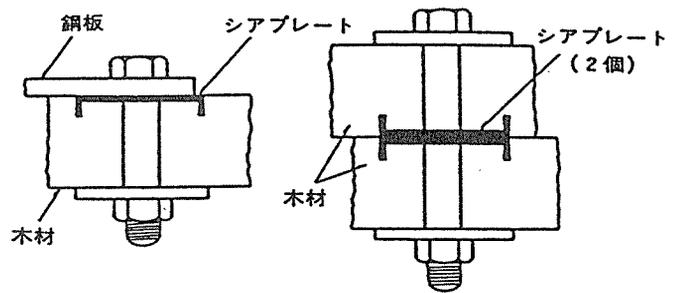


102 mmシアプレート
(Malleable iron)

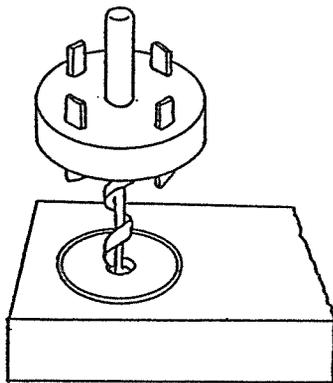
図5. 5-1 コネクタの形状と寸法



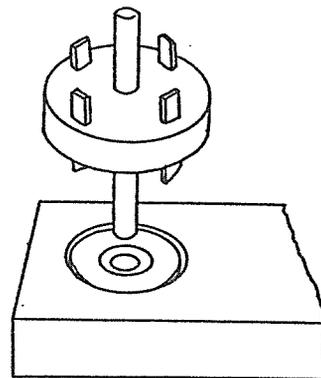
スプリットリングによる
接合方法



シアプレートによる
接合方法



スプリットリングの
彫込み加工



シアプレートの
彫込み加工

図5. 5-2 コネクタの接合法と彫り込み加工

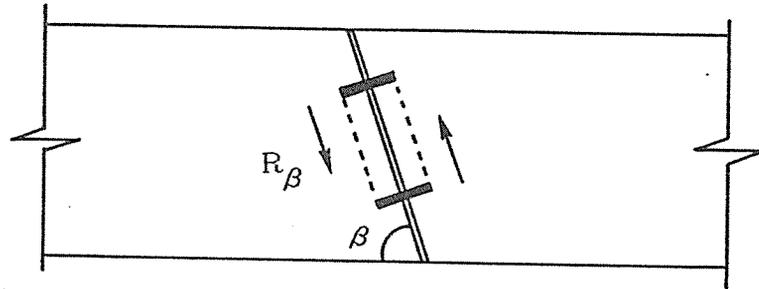
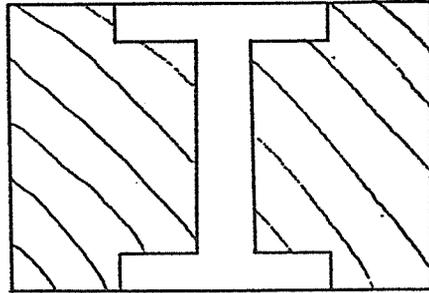


図5. 5-3 木口面での使用



(全断面積からI形の部分の断面積を減じる)

図5. 5-4 コネクタ接合部材の有効断面

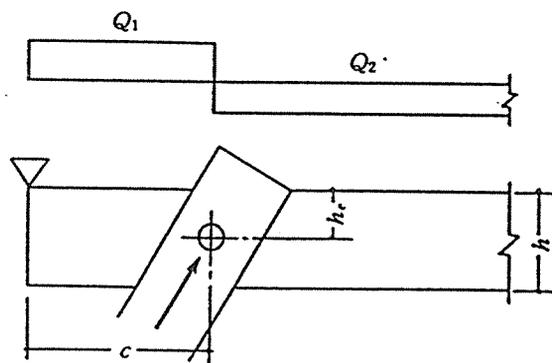
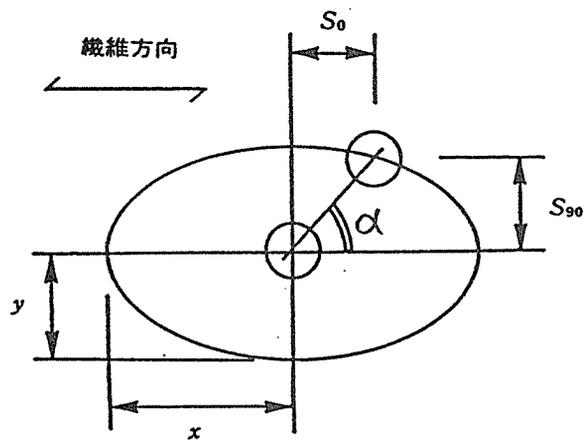


図5. 5-5 接合部せん断応力



(楕円上の任意の位置に配置できる)

図5. 5-6 接合具間隔の求め方

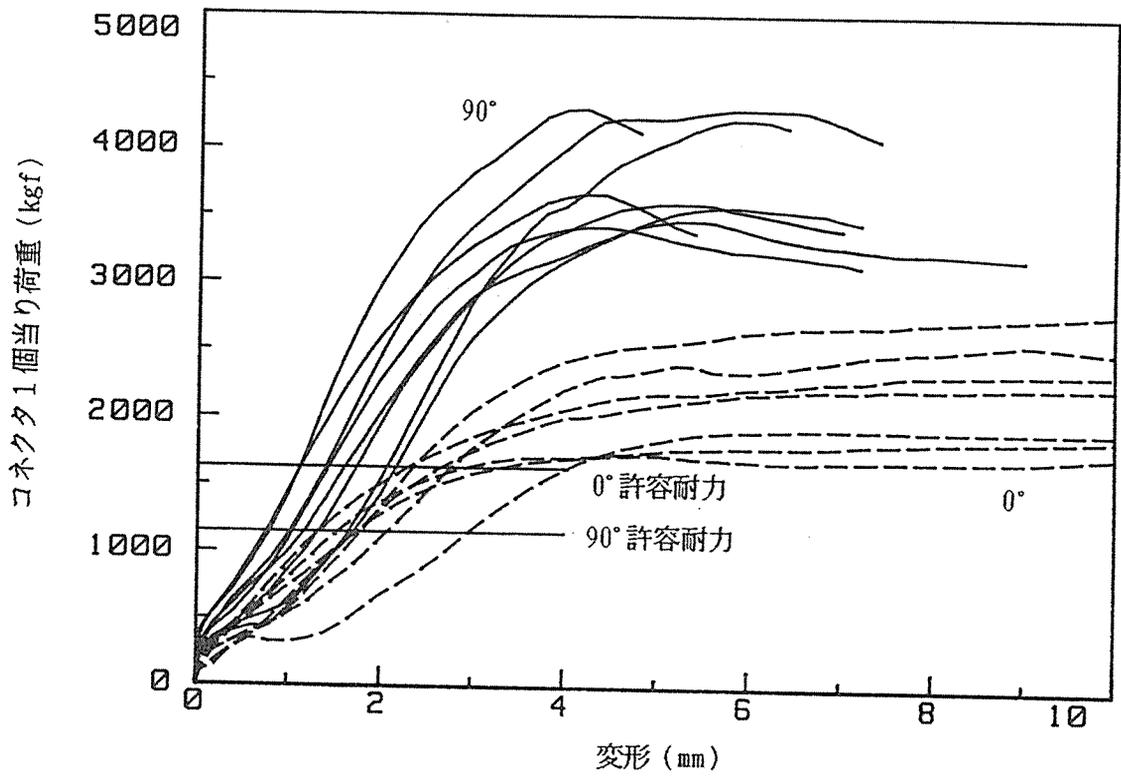


図5. 5-7 67mm シアプレート接合

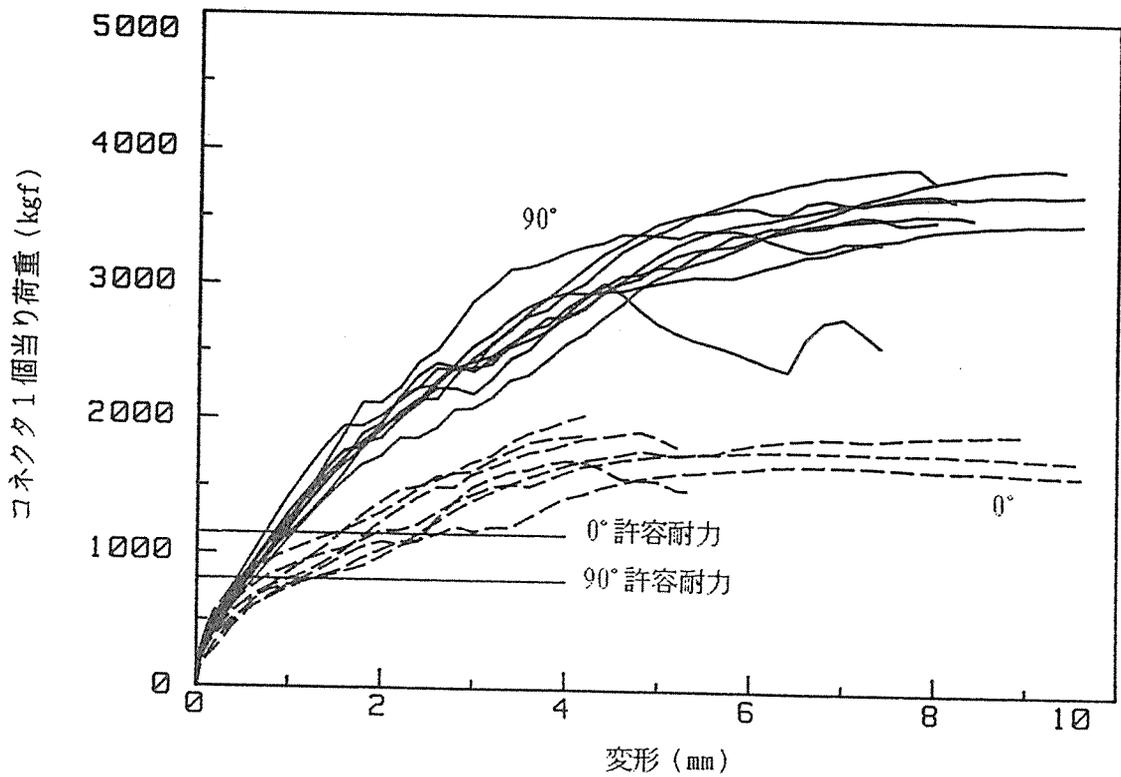


図5. 5-8 64mm スプリットリング接合

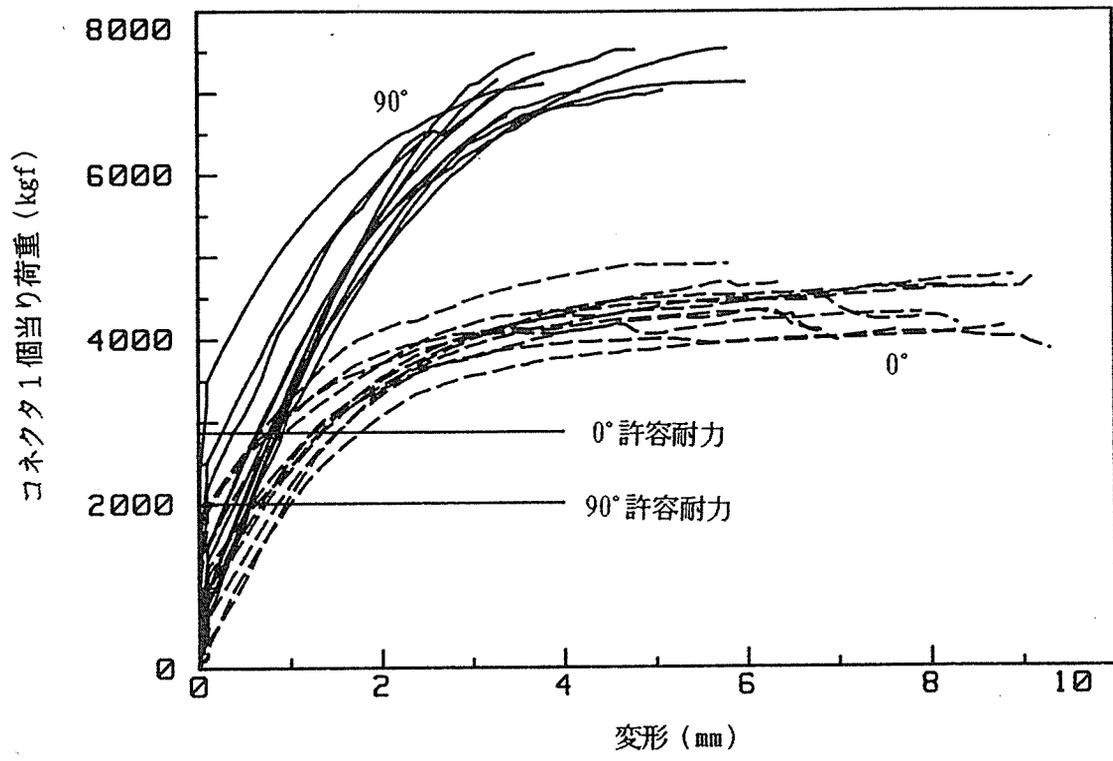


図5. 5-9 102mm シアプレート接合

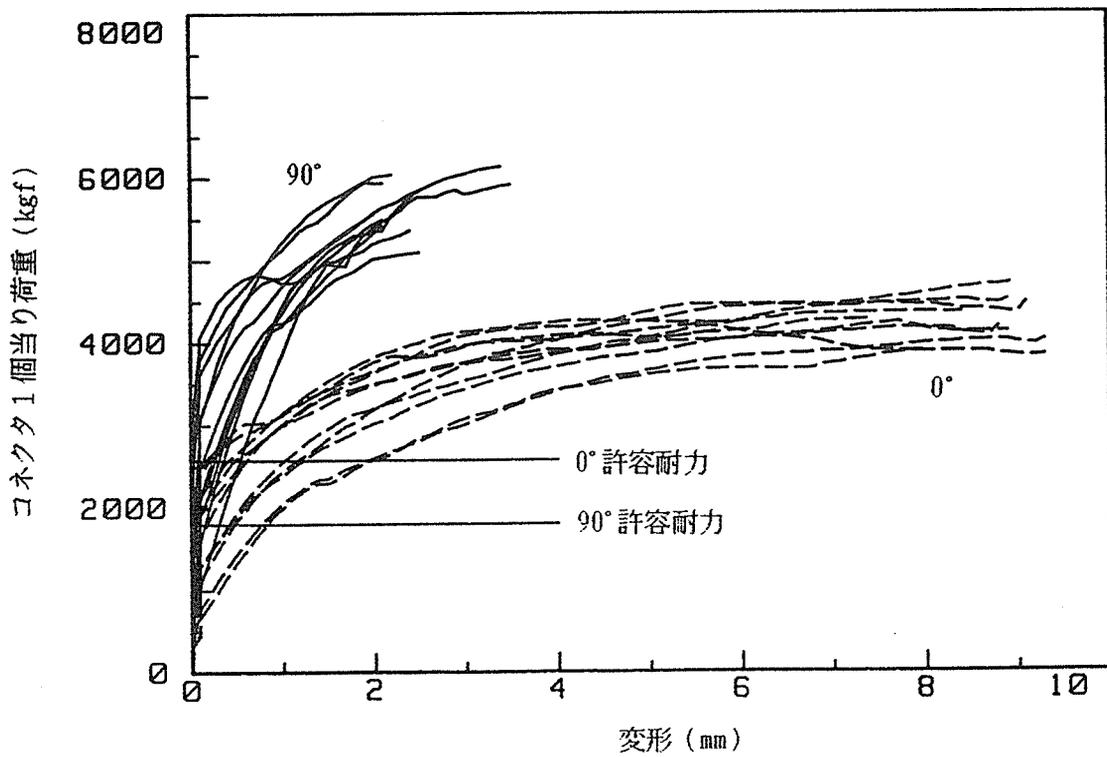


図5. 5-10 102mm スプリットリング接合

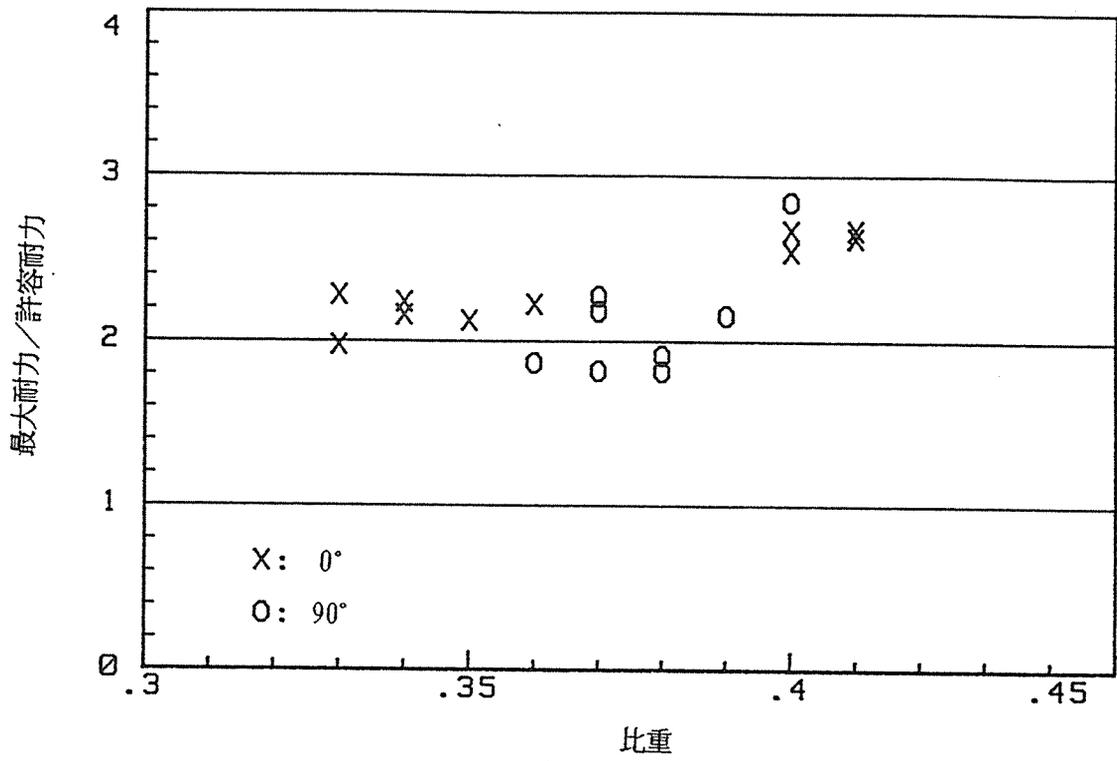


図5. 5-11 67mm シアプレート接合

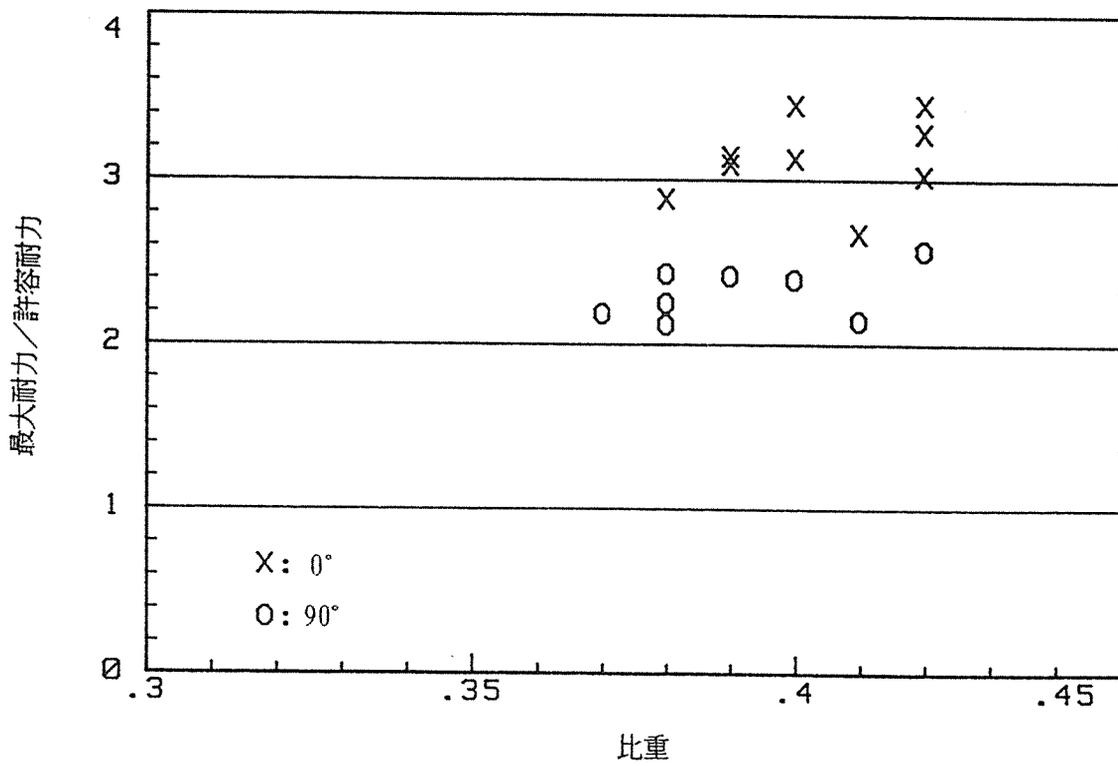


図5. 5-12 64mm スプリットリング接合

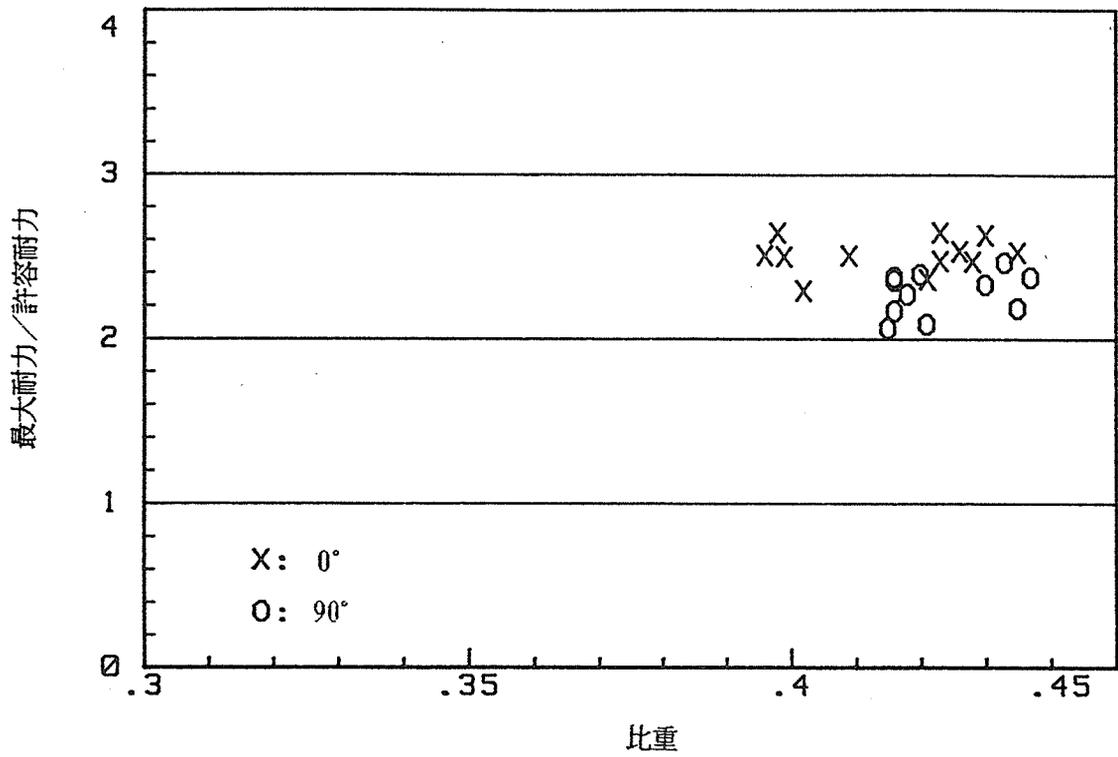


図5. 5-13 102mm シアプレート接合

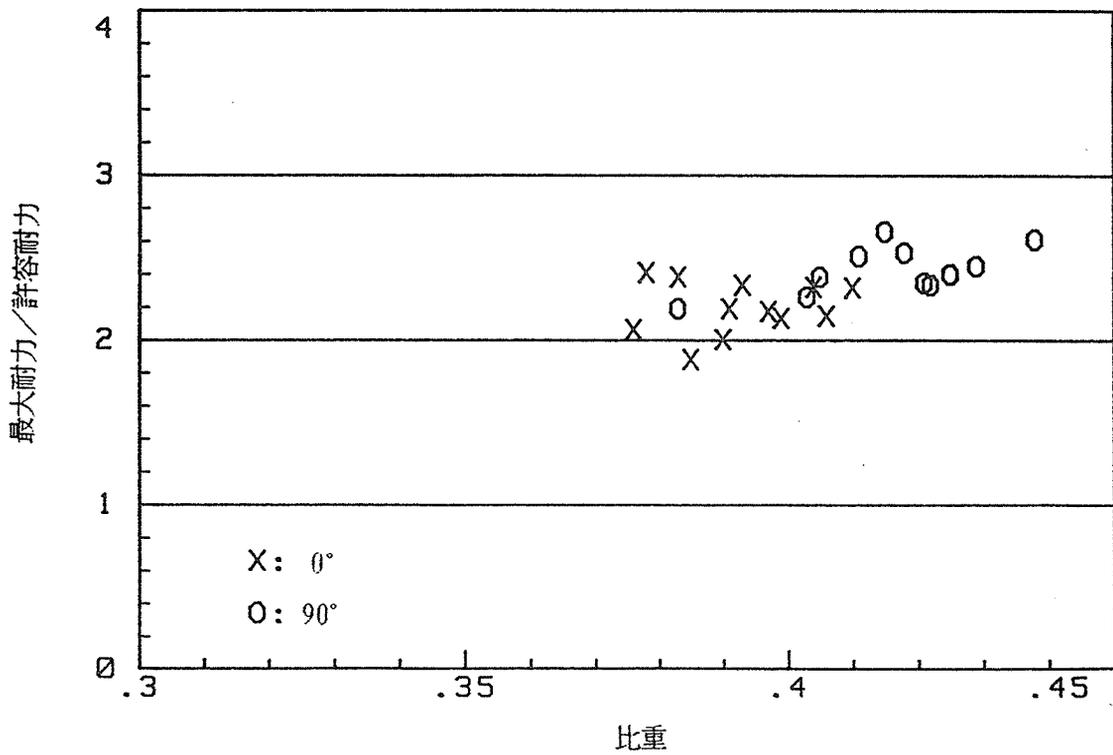


図5. 5-14 102mm スプリットリング接合

表5. 5-1 64mmスプリットリングおよび67mmシアプレートの短期許容せん断耐力

種類	ボルトの直径	当該部材にあるボルト1本当りのスプリットリングおよびシアプレートの数	木材の厚さ (cm)	繊維方向の許容耐力 P_{0-0} (kgf)	繊維に直角方向の許容耐力 P_{0-90} (kgf)
64mm スプリット リング	12mm	1	2.5	960	680
			3.8以上	1140	800
67mm シアプレ- ート	20mm	2	3.8	880	620
			5.0以上	1140	800
			1	1520	1060
			3.8	1180	820
			5.0	1540	1080
			6.3以上	1620	1140

[注] (1) 表に記載されている厚さに満たない木材は使用しない。

(2) 中間の厚さの木材に対しては直線補間で許容耐力を求める。

表5. 5-2 102mmスプリットリングおよび102mmシアプレートの短期許容せん断耐力（1個当り）

種類	ボルトの直径	当該部材にあるボルト1本当りのスプリットリングおよびシアプレートの数	木材の厚さ (cm)	繊維方向の許容耐力 $P_{0=0^\circ}$ (kgf)	繊維に直角方向の許容耐力 $P_{0=90^\circ}$ (kgf)
102mm スプリット リング	20mm	1	2.5	1700	1190
			3.8	2500	1750
			4.2以上	2560	1790
		2	3.8	1710	1200
			5.0	2060	1440
			6.3	2430	1700
	7.5以上	2560	1790		
		20mm	1	3.8	1900
4.4以上	2880			2020	
2	4.4		1910	1340	
	5.0		2140	1500	
	6.3		2440	1710	
	7.5	2740	1920		
	8.8以上	2860	2000		

[注] (1) 表に記載されている厚さに満たない木材は使用しない。
 (2) 中間の厚さの木材に対しては直線補間で許容耐力を求める。

表5. 5-3 コネクタの縁距離と端距離 (c.m)

コネクタの種類	縁距離		端距離	
	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 45^\circ \sim 90^\circ$	力非負担側	力負担側
64mmスプリットリング 67mmシアプレート	4.4	4.4	7 (100%) ~ 4.4 (83%)	10 (100%) ~ 6.4 (62.5%)
102mmスプリットリング 102mmシアプレート	7	7	9.5 (100%) ~ 7 (83%)	14 (100%) ~ 8.3 (62.5%)

[注](1) カッコ内は許容耐力の割合で、中間の縁距離、端距離に対しては直線補間で求める

(2) $\theta =$ 荷重角度 (力の方向と繊維の方向とがなす角度)

(3) 中間の荷重角度に対しては直線補間で求める

(4) 縁距離と端距離は表の値を下回ってはならない

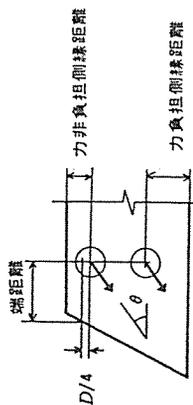


表5. 5-4 コネクタの間隔

コネクタの種類	$\theta = 0^\circ$		$\theta = 60^\circ \sim 90^\circ$	
	平行方向間隔	直角方向間隔	平行方向間隔	直角方向間隔
64mmスプリットリング	17(100%) ~	9	9	11(100%) ~
67mmシアプレート	9(50%)			
102mmスプリットリング	23(100%) ~	13	13	15(100%) ~
102mmシアプレート	13(50%)			

[注](1) カッコ内は許容耐力の割合で、中間の縁距離、端距離に対しては直線補間で求める

(2) θ = 荷重角度 (力の方向と繊維の方向とがなす角度)

(3) 中間の荷重角度に対しては直線補間で求める

(4) 間隔は表の値を下回ってはならない

5. 6 接着剤による接合部の補強

5. 6. 1 接合部のガタの問題

ボルト、ラグスクリュー、ドリフトピンのように、孔をあけてダボ型の接合具を挿入する接合方式では、接合部の変形を少なくするために、できるだけ孔の直径を接合具の直径と等しくすることが必要である。しかしながら、このことは現実的には難しく、例えばボルト接合では、孔の直径をボルトの直径より2mm程度大きくしているのが現状である。

このようなボルト接合部（図5. 6-1）の荷重-変形関係は、図5. 6-2に示すように、加力方向の隙間の状態（主材および添板につき、それぞれ最大1mm、2mmのガタが生じる）によって、最大3mmのすべりを生じることになる。

孔を大きくした場合の強度的問題は、1箇所の接合部が複数の接合具によって構成されている場合、接合剛性の低下にとどまらず、接合強度をも低下させることになる。隙間のない接合部に応力が集中し、連鎖破壊をまねくからである。

5. 6. 2 接着剤を充填する効果

孔は大きくしたいが、接合剛性・強度は低下させたくないという場合の方策として、接合具と孔の隙間を接着剤で充填する方法がある。この方法が採用された建物として、熊本県小国町の一連の立体トラスの建物、熊本市東稜高校体育館などがある。

図5. 6-3は小国町の立体トラスの接合部の荷重-変形関係である。この接合部試験体は、図5. 6-2の接合部にエポキシ接着剤を充填したもので、明らかにガタが除かれている。許容耐力時（建築学会の旧規準で2250kgf）の変形は、平均で0.22mmで、接着剤を充填しない場合でガタを除いたときの変形より小さい。また、最大耐力も10%程度高い。これらは製材のデータであるが、集成材の場合も同様であると考えてよい。剛性や強度が上昇するのは、ボルトを支える木材の部分が接着剤によって補強されるため、理論的な解析も行われている（文献参照）。

5. 6. 3 接着剤

充填する接着剤としてはエポキシが使用されているが、接着剤の強度的性質は骨材などによって様々である。どのような接着剤が最適かについては、未だ明らかにされていないが、現時点では、強度的性質が木材のそれと似かよっていることが一つの目安となっている。

接着剤の粘度は、木材への吸収を防ぐ（吸収量が多いと隙間が完全に充填されない）ために、ある程度の高さが必要である。

硬化後の接着剤は、温度が高くなると軟化する性質を持っているので、軟化点の高いものが良い。

5. 8. 4 充填方法

充填に際して最も重要なことは、孔と接合部の隙間が完全に充填されることである。図 5. 8 - 4 にこれ迄に行われた充填方法を示した。

5. 8. 5 注意事項

充填のために注入した接着剤は、ある程度主材と添板とを接着することになる。この接着効果によって初期剛性は非常に高くなるが、接着部分が破壊するとき、急激に変形が進行する。したがって、基本的には、添板と主材とはできるだけ接着されないようにすることが肝要である。

充填効果だけでなく接着効果を狙う場合は、接着層の応力を考慮して、きちんとした接着設計を行う必要がある。また、木構造は、一般に、接合部のエネルギー吸収性で耐震性を確保する構造が多いので、構造計画をしっかりと立てる必要がある。

参考文献

エポキシ充填鋼板挿入式ボルト接合、日本住宅・木材技術センター木構造設計資料。

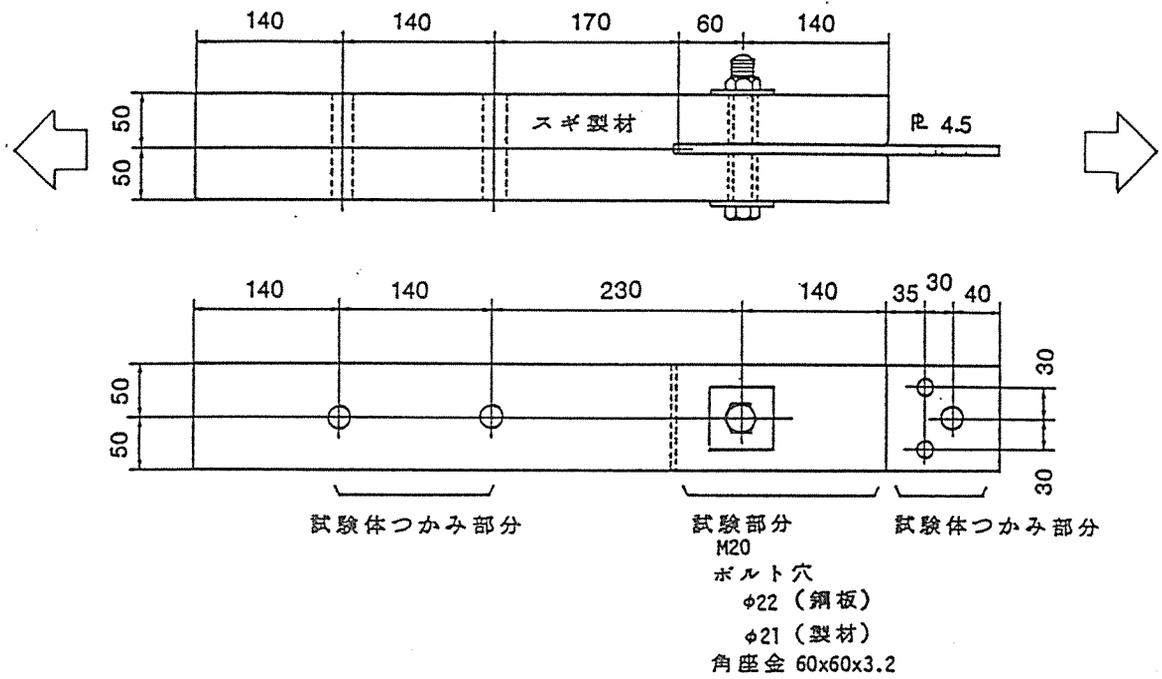


図 5. 6 - 1 試験体の形状

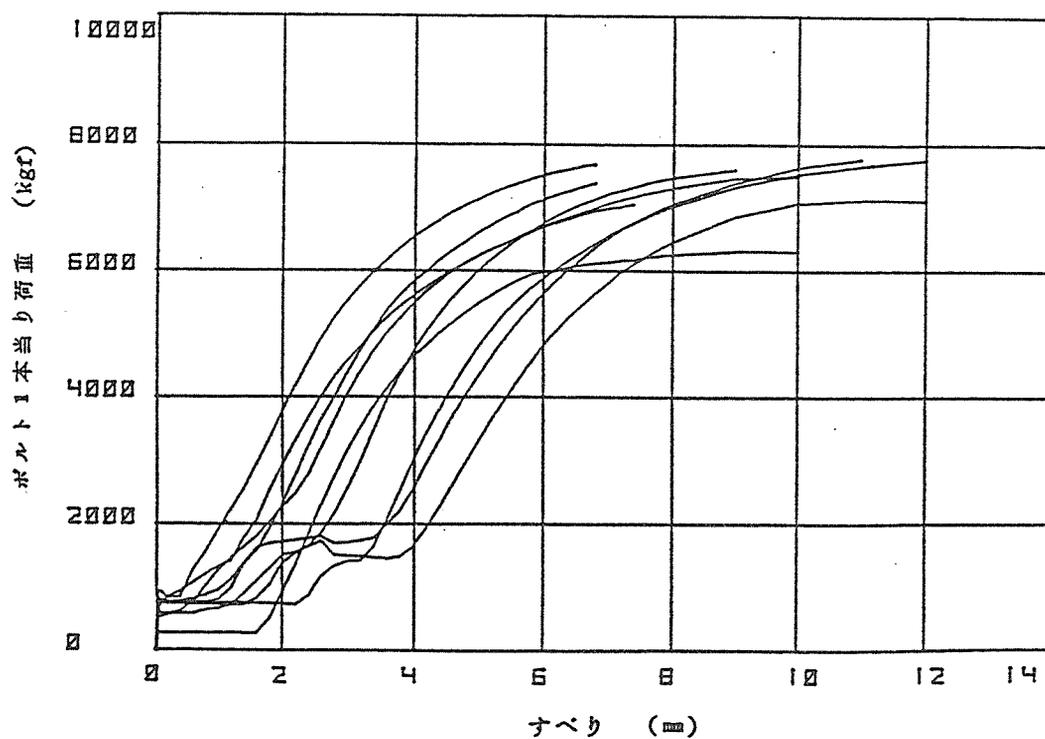


図 5. 6 - 2 添板にプラス2mm、主材にプラス1mmのガタ
があるときのボルト接合の荷重-変形関係

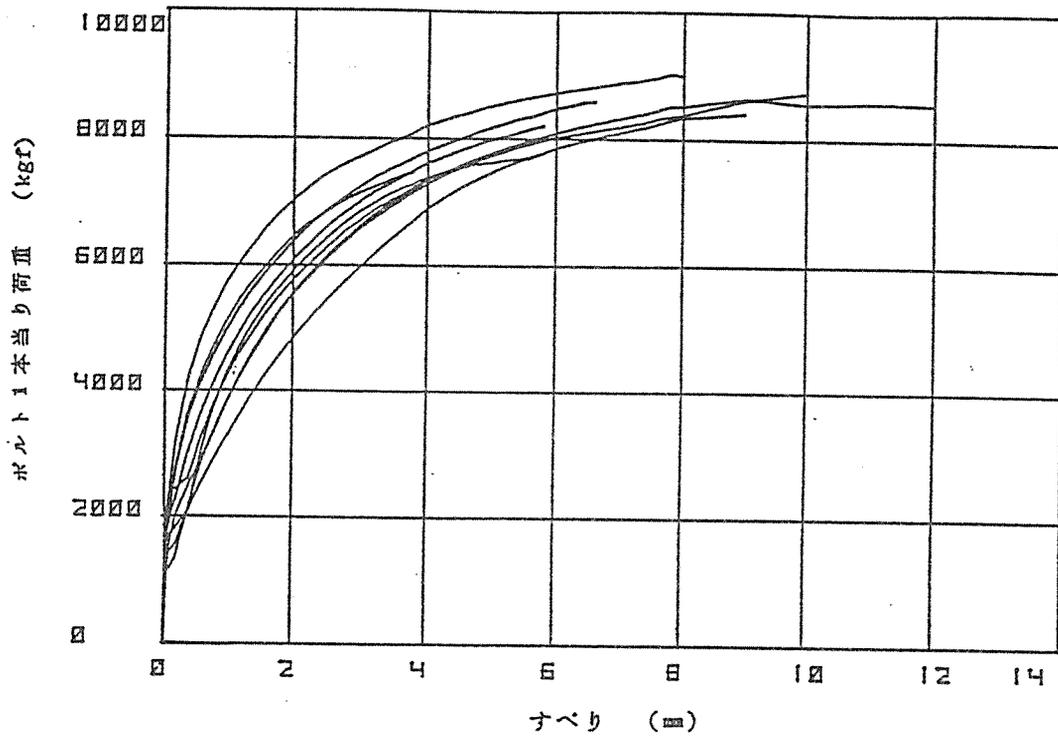
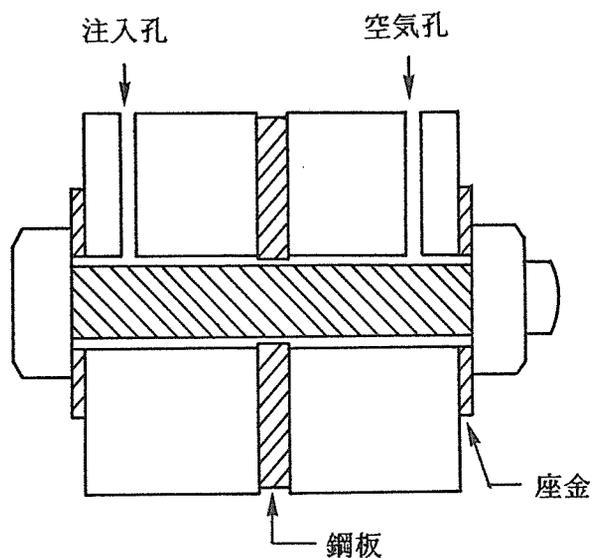
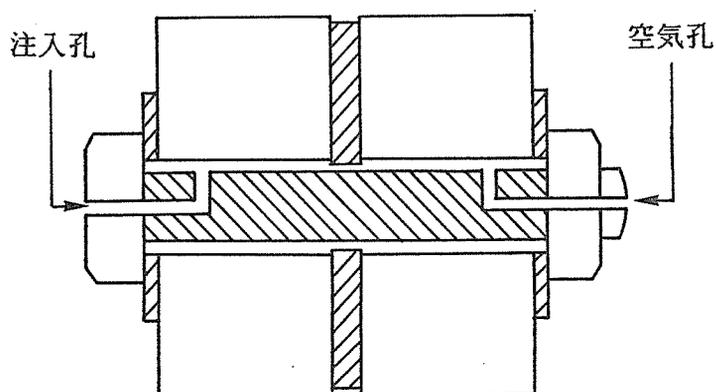


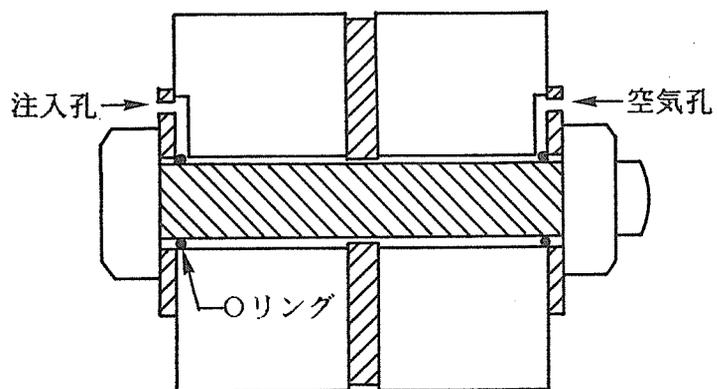
図 5. 6 - 3 エポキシ接着剤を充填したボルト接合の荷重-変形関係



- a. 木材の側面に注入孔を設ける方法
(特許に注意)



- b. 注入孔を持つボルトを使用する方法



- c. 座金の孔と木材の溝より注入する方法
Oリングは樹脂の厚さを一定にするため

図 5. 8 - 4 接着剤の充填方法

第6章 スギ集成材を用いた建築物と設計事例

6.1 秋田県の事例・・・ウッディホール”こだま”

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

生涯学習の時代を迎え、各種の集会・研修などの学習活動の拠点となる多目的な利用を目的とした施設の必要性が高まってきている。これに対して建設地周辺が秋田杉など良質な木材を産出する地域であることから、木材の持つ暖かさ、親しみやすさを前面に出した魅力的な施設を建設し、学習の場の提供と学習意欲の高揚を図ると共に、木造建築物に対する理解を深め、木材関連産業の振興を目指すことを目的とした。

そのため、研修室の主構造に秋田杉の大断面湾曲集成材を採用し、アーチ形大空間を構成し、木のもつ力量感や柔らかみを強調した。

また、設計積雪2mの多雪地域であるが、敢えて強度上不利である秋田スギの大断面集成材を使用し、スギ集成材による長スパン空間の可能性を探ってみた。

2) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地	秋田県本庄市館字中島372		
建築主	本庄市		
設計	あいば建築設計工房(株)		
施工	長田建設(株)		
納材	相澤銘木(株)		
建物用途	研修施設		
地域地区	無指定		
構造方式	木造一部二階建		
高さ	最高 9.6 m	軒高	7.3 m
面積	建築 451.1 m ²	延床	473.3 m ²
工期	平成元年11月15日～平成2年3月15日		
総工費	¥67,192,000		

3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		ア ー チ
形 状	直、ア-チ	ア ー チ
寸 法	長 さ	12600
	柱脚せい	700
	肩せい	1300
	棟せい	650
	幅	150
樹 種		スギ

単位：mm

4) スギ集成材の設計、製造上の意見

① ラミナの購入、強度

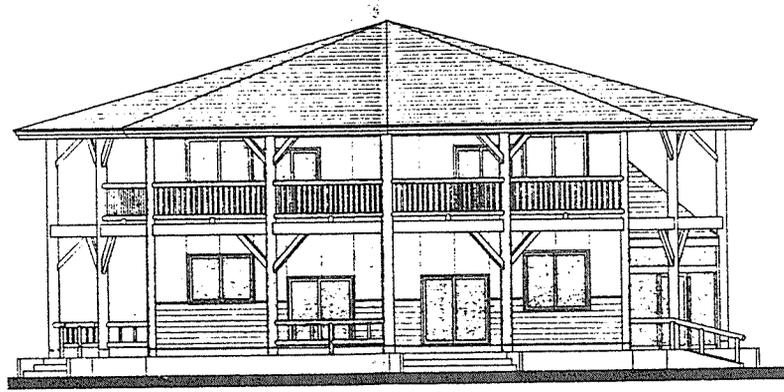
構造用集成材用のラミナは、一般に流通材がなく物件ごとの各寸法で仕入れるため納期に45～60日ぐらいかかるようである。

また、強度はラミナのJAS基準に適合させるには、樹齢約50～60年以上の丸太でないと強度的にクリアーできないようである。

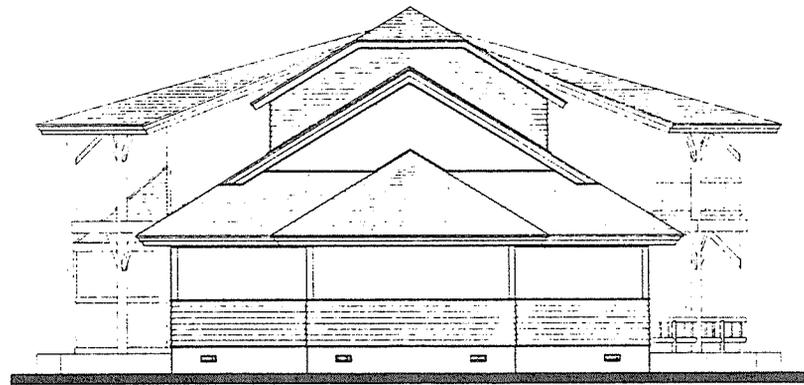
② 製造について

ラミナの乾燥、接着については、特に問題はないが生節が少なく死節が多いのでクロスカットして除去すると非常に歩止まりが悪く、ロスが多くなってしまふ。そのため、価格的に他樹種よりも割高になってしまうようだ。

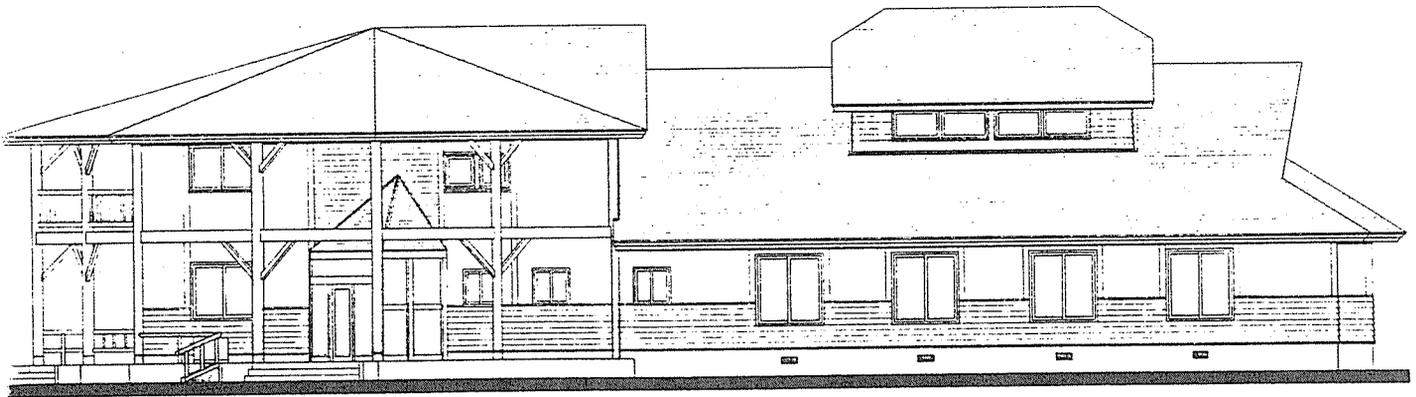
また、美観上同じラミナでも赤身、白身がはっきりしているので少しうるさい感じがするように思われる。取扱は材料が非常に柔らかいので注意しないと角などの傷がつきやすい。



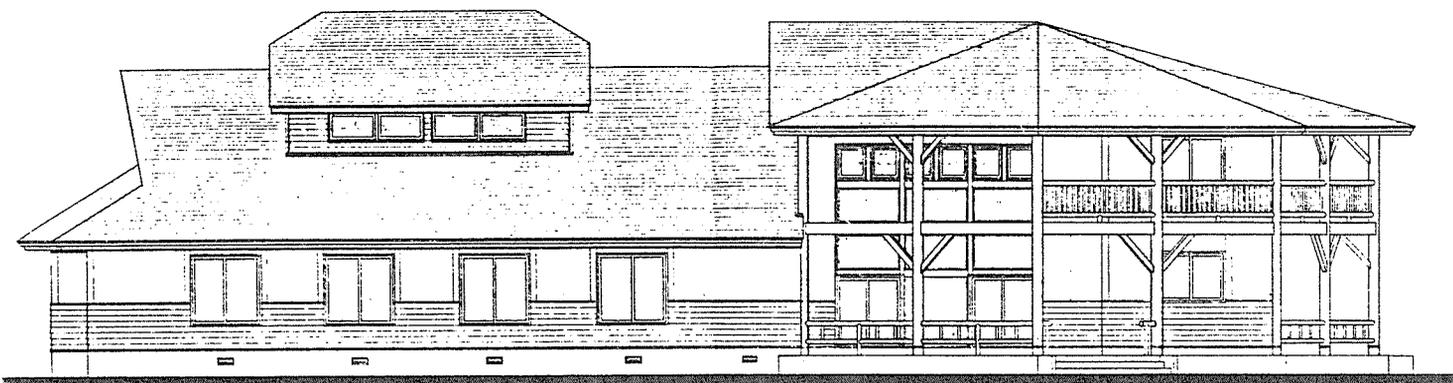
南立面图



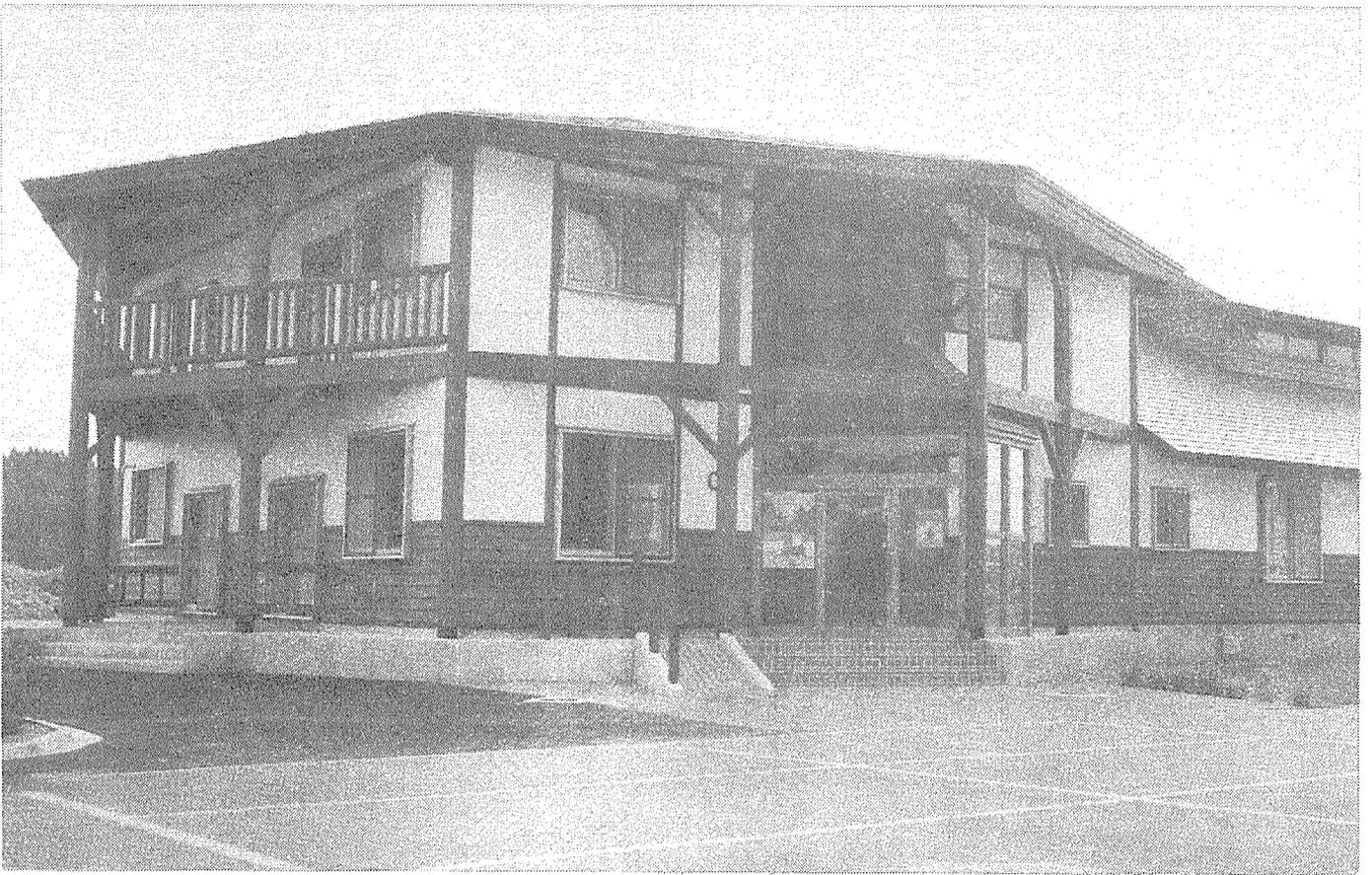
北立面图



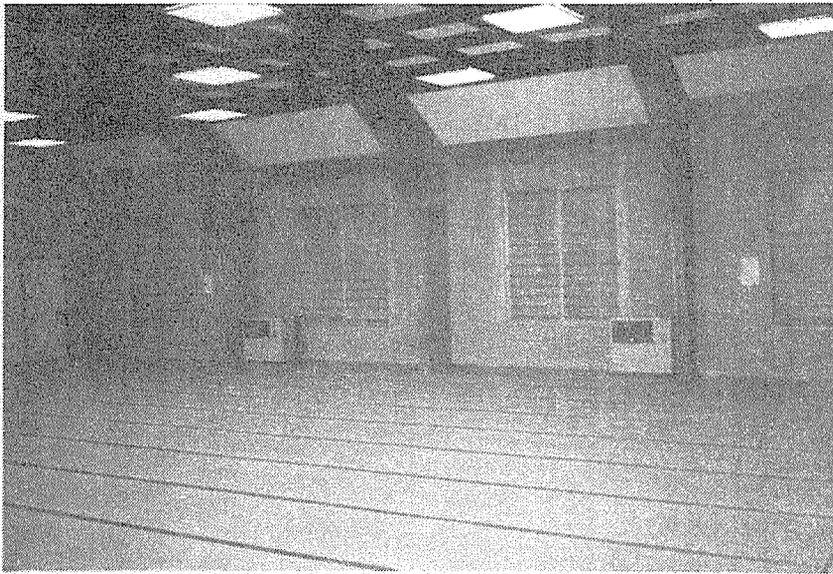
東立面图



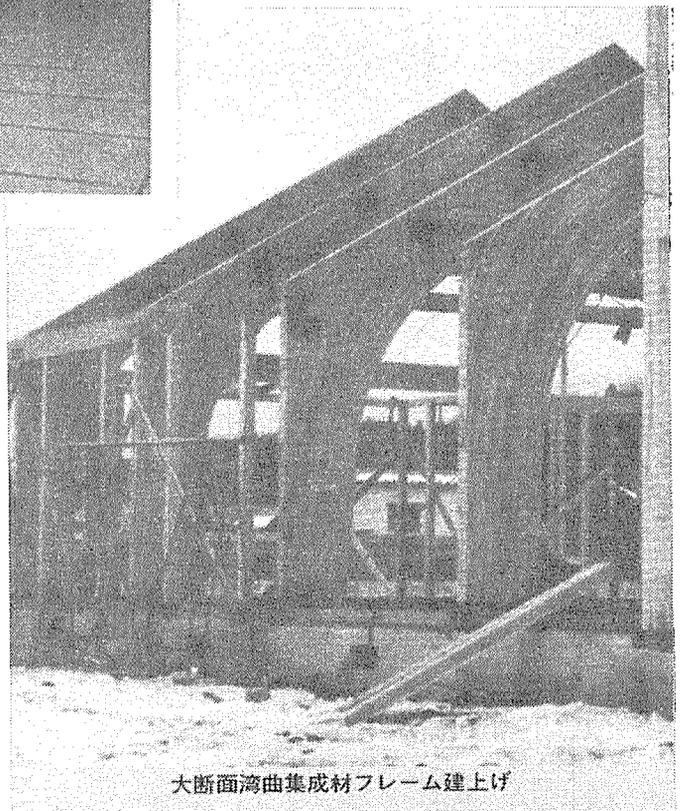
西立面图



ウッディホール”こだま”（秋田県）



建物内部



大断面湾曲集成材フレーム建上げ

6. 2 新潟県の事例・・・山北町立八幡小学校体育館

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

林業の町（総面積の92%が山林）としての活性化を図ると共に心豊かで逞しい子供たちが育つことの願いを込めて、地元山北町のスギ材をできる限り取り入れて、学校校舎を建築した。その中で体育館棟は、木の持つ温かさ、柔らかさを生かすためにスギの大断面集成材を使用し、林業の町「山北町」にふさわしい建物となった。

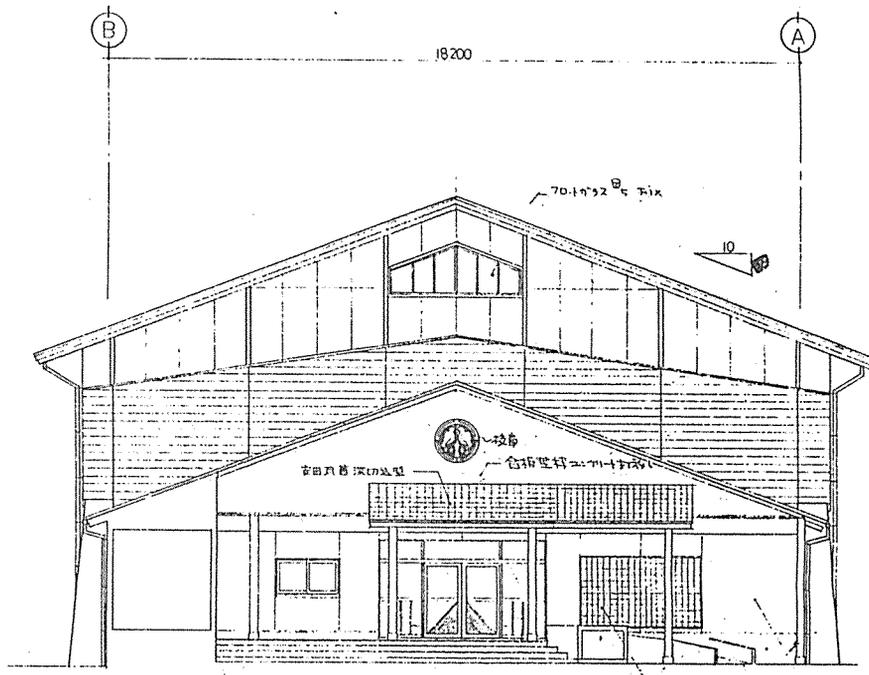
2) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地	新潟県岩船郡山北町大字勝木20-1
建築主	山北町
設計	(株)日本都市建築設計新潟事務所
施工	八幡小学校体育館改築建設共同企業体 (株)富樫組、下越建設(株)、本間工務店
納材	齊藤木材工業(株)
建物用途	体育館
地域地区	無指定
構造方式	山形ラーメン構造
高さ	最高 12.488m 軒高 8.768m
面積	延床 760m ²
材積	スギ集成材：161.2m ³ 、スギ製材品：143.2m ³
工期	平成2年7月～平成3年3月
総工費	¥177,160,000

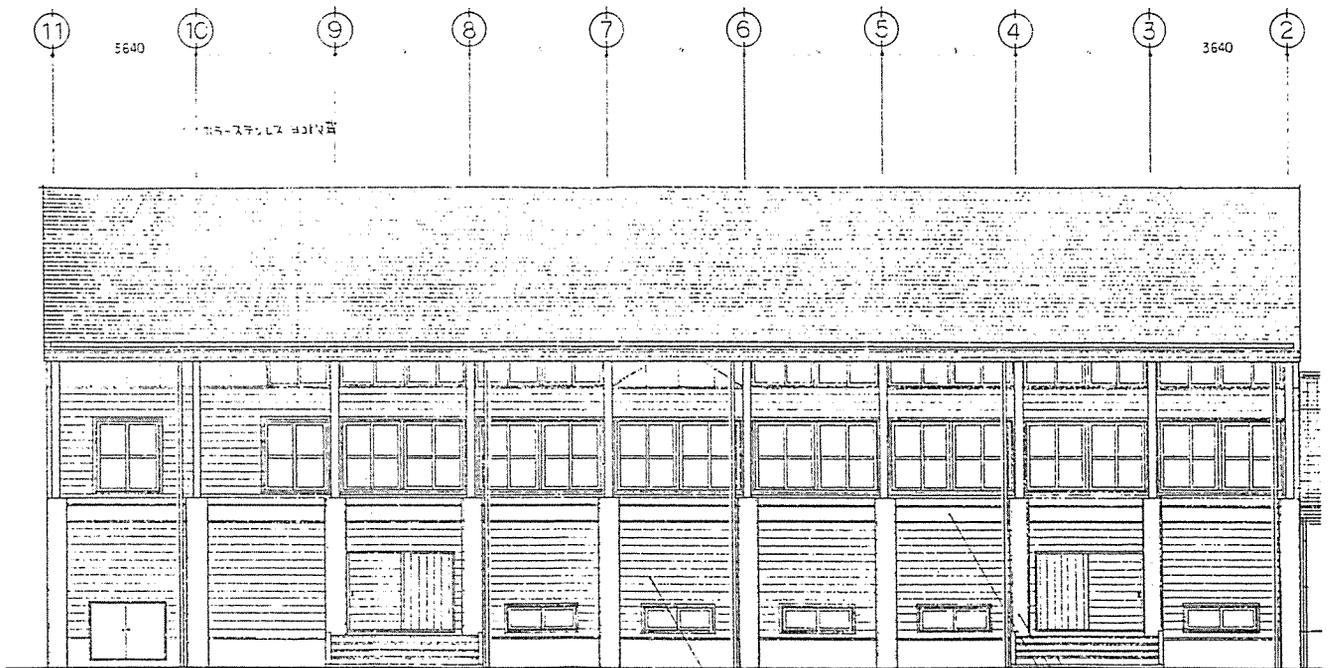
3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		ア ー チ	梁
形状	直、ア-チ	ア ー チ	直
寸法	長さ	1200	300
	せい 幅	200	150
樹 種		スギ	スギ

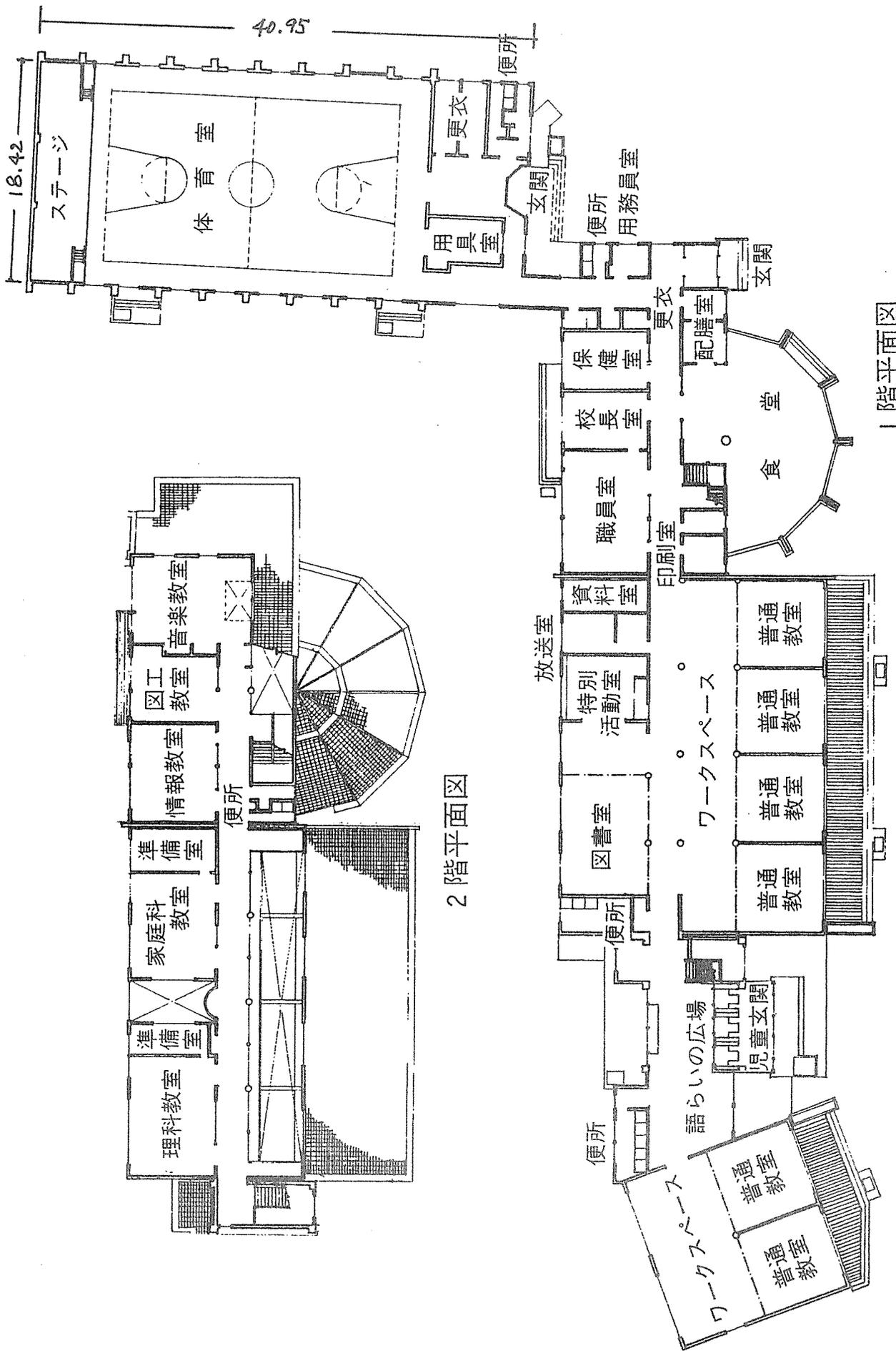
単位：mm



南侧立面图 S=1:100

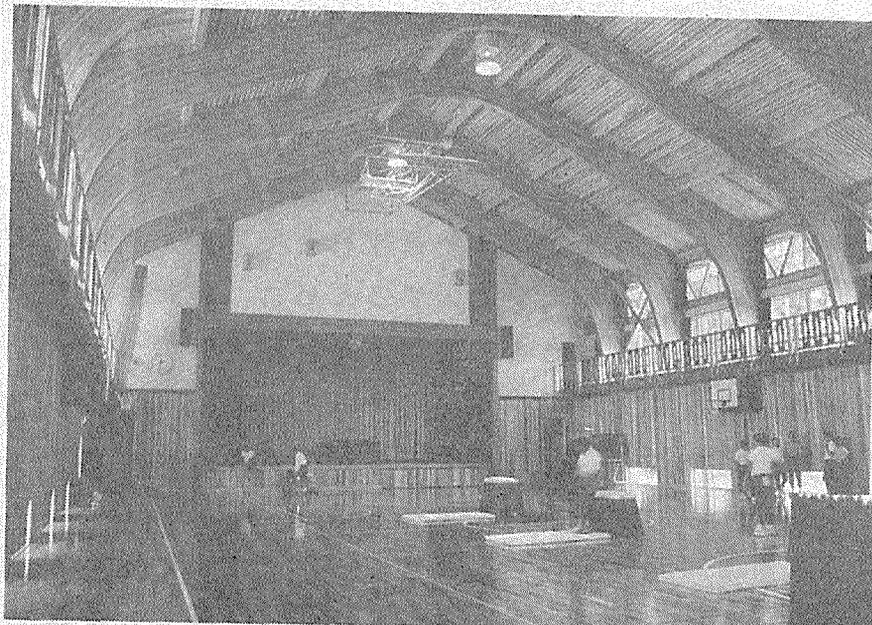


西侧立面图 S=1:100



2階平面図

1階平面図



体育館棟

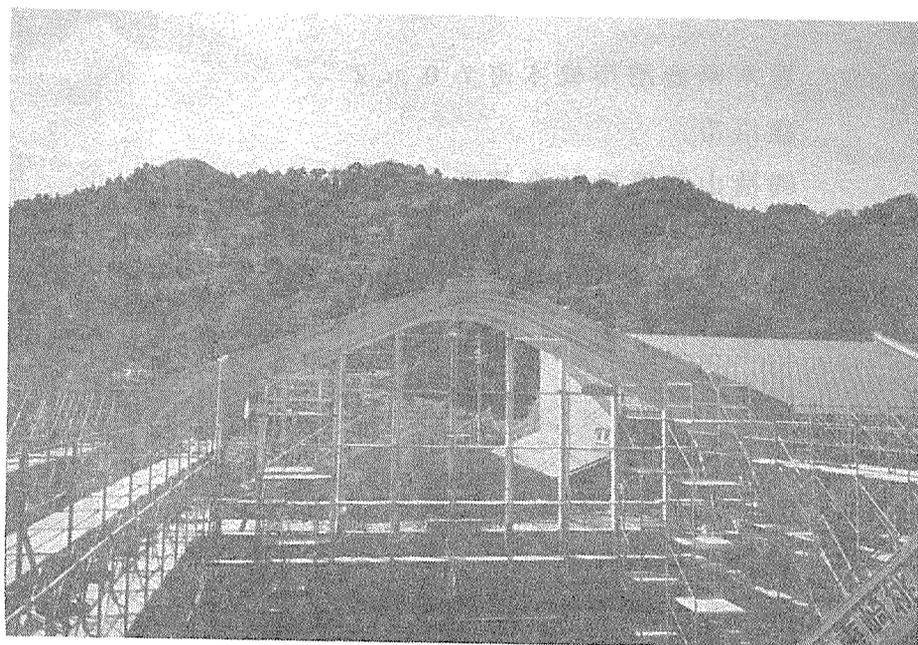
体育室



全 景



校舎・体育館全景



八幡小学校の体育館棟の建方（RC造の上に集成材の山形ラーメンを設置）

6. 3 栃木県の事例・・・楡木小学校屋内運動場

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

この建築物は、栃木県で産出する木材の需要を拡大するために、特に生産量の多いスギ、ヒノキを多用した屋内運動場である。鹿沼市は、栃木県内でも木材関係の業種に携わる人が多く、集成材を建築物に使用することで地場産業の活性化に役立ち、さらに集成材を主体とした公共建築物を利用する人々に県産材の活用と建築材料としての良さを認識してもらうためである。

設計上の留意点は、構造用大断面集成材の持つ、長さの自由さや安定的な強度、大きい断面の可能性、自由な形状の成形、木材の持つ人間への優しさの表現、木肌が持つ気品の醸成、湾曲の醸し出す木目の曲線の優雅さ等々を特に表現するよう留意した。

外観は、東西切妻面の採光部に鋭角菱形とその鋭さを柔らかく受ける弧を組合せて、逞しさと優しさの融合を演出し、主軸の構造は特に曲線の優しさを強調して、建造物の全方向からの景観を優美な雰囲気統一することを試みた。構造の概略については、先ず柱脚ピン山形ラーメンで大空間を形成した。壁面、天井面はスギ間伐材の集成野地角を使用し、床面は栃木県林務観光部が開発したダイナミックフロア工法によるヒノキ間伐材の集成床板を使用した。アリーナはもとより、各室とも木の温もりと軟らかさに包まれ、春夏秋冬、快適な心地を感じさせてくれる。

2) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地	栃木県鹿沼市楡木町70-2		
建築主	鹿沼市		
設計	㈱袖山建築設計事務所		
施工	サノヤ産業㈱		
納材	栃木県集成材協業組合		
建物用途	教育施設・屋内運動場		
地域地区	無指定		
構造方式	柱脚ピン山形ラーメン		
高さ	最高	12.6m	軒高 9.0m
面積	建築	1026m ²	延床 960m ²
工期	昭和63年6月～平成元年2月		
総工費	¥215,790,000		

3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		柱	柱	梁	軒・庇
形状	直、7- <i>f</i>	特殊形状	直	変形断面通直	直
寸法	長さ	9000	11650	10300	3600
	せい	1100	400	650~1100	400
	幅	200	200	200	200
樹 種		スギ	スギ	スギ	スギ

単位：mm

4) スギ集成材の製造および使用で気が付いた点

① ラミナの購入

鹿沼地域の内地材専門製材工場4社に発注した。当地区はスギの生産地であるが一度に大量の注文となると納期が難点である。なお、黒心は除くように依頼した。挽板厚みは35mmと24mmとし、天然乾燥を約1ヶ月、その後人工乾燥を6日間実施し、含水率を10±2%に仕上げた。割れ、カップ等の防止は特に考慮していないが、比較的良好に乾燥できている。

② ラミナの接着

ラミナの縦継ぎはフィンガジョイントによる行ったが、接着性は良好であった。

③ 集成材の製造

材料が軽く作業性がよい。

④ 取扱、運搬、施工、建方

軽いので持ち運びは容易であるが、スギ材は軟らかく傷つき安いので建方等の際、布帯を用い、集成材の面を保護した。また、フレームの吊り上げの際には部材に無理な変形が生じないように治具あるいは補強材により十分に補強して行うべきである。

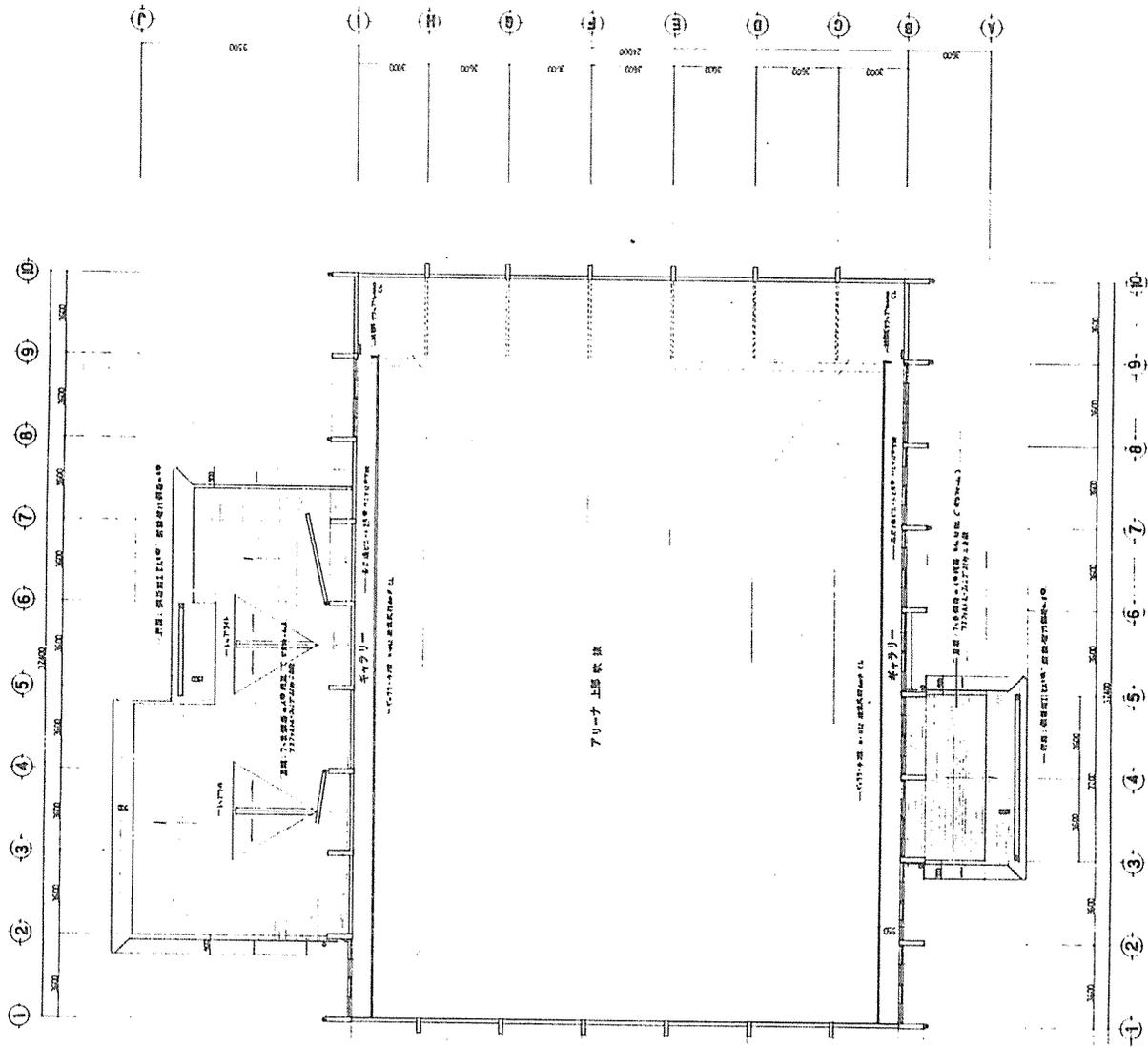
⑤ 構造設計上

スギ材は、強度、ヤング係数が他樹種に比べ小さいので、どうしても部材断面が大きくなりコスト高になりがちである。しかし、生育場所、樹齢等の違いによりバラツキがあるので製造過程において強度等級区分を慎重に行い設計に反映させ、ムダの無い断面設計をすべきである。

接合部はボルト、ラグスクリュー、あるいはドリフトピンを用いた接合が強度施工上からも有利である。スギ材は特に脆く、割裂またはせん断により破壊しやすいため、端距離や間隔は十分に取るべきである。

⑥ デザイン的に

それほどの派手さはないが、スギ材のもつ色合いによりシットリと落ちついている



工務名義 藤岡町 第六小学校 厨作部 改修工事

株式会社 袖山建築設計事務所
 SODEYAMA ARCHITECT & ASSOCIATES

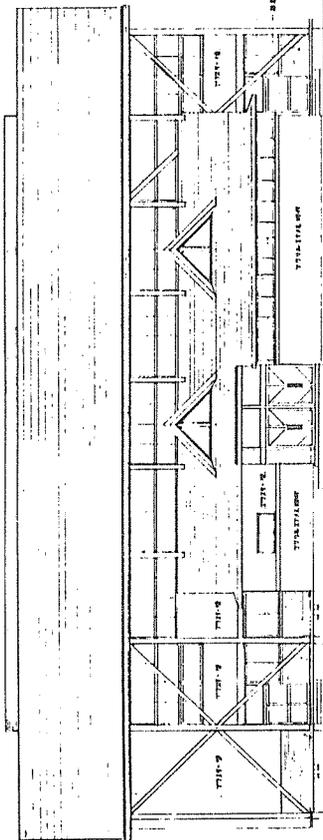
事務所 袖山 第一
 SODEYAMA ARCHITECT & ASSOCIATES

水戸市 区 田 町 10 番地
 SODEYAMA ARCHITECT & ASSOCIATES

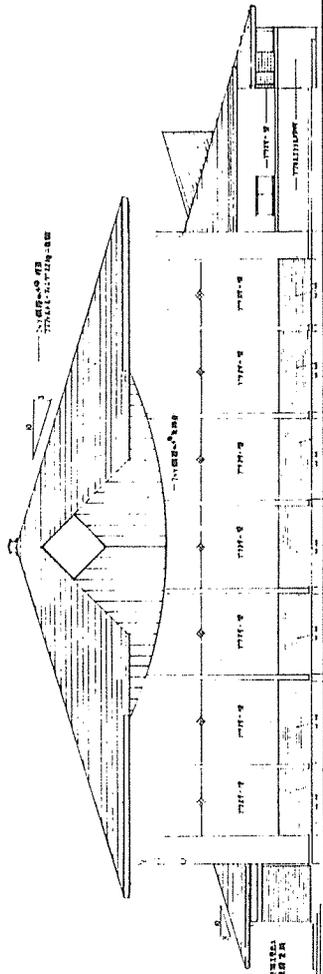
水戸リーキー千原 建築株式会社
 SODEYAMA ARCHITECT & ASSOCIATES

1/100

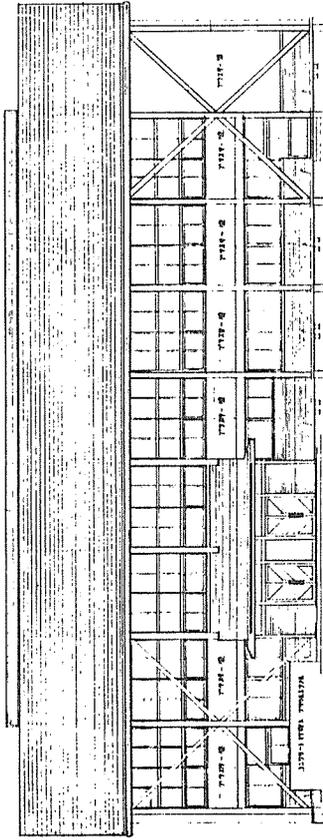
D-9 9



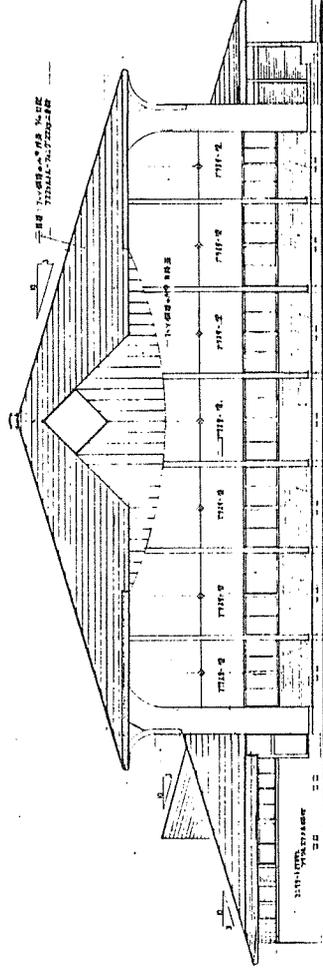
1:100 立面图



1:100 立面图



1:100 立面图



1:100 立面图

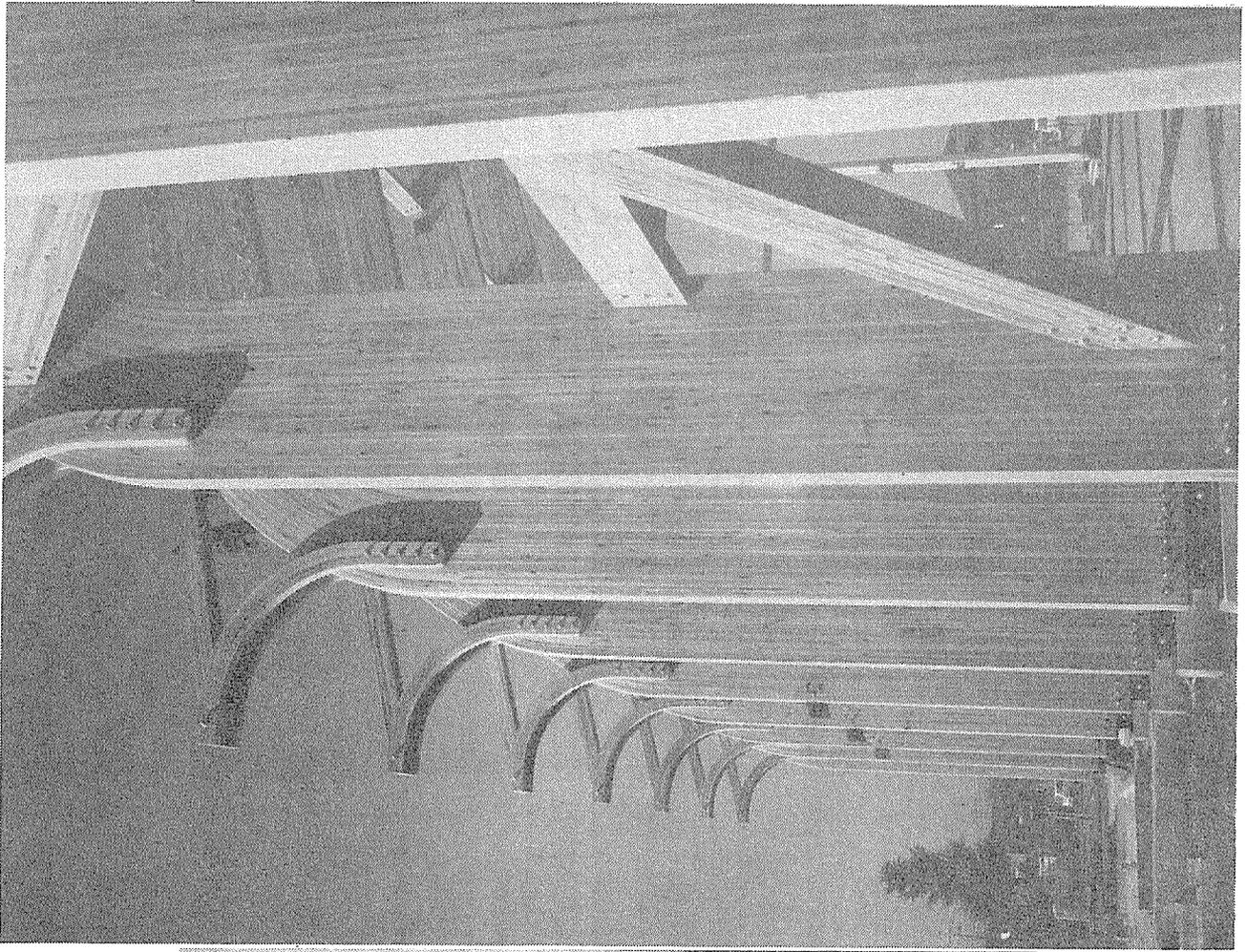
工務名義 關西立本小學堂 屋內運動場 改築工事

株式会社 袖山建築設計事務所
 THE SODEYAMA ARCHITECTURE DESIGN OFFICE
 SOEYAMA ARCHITECT AND ASSOCIATES

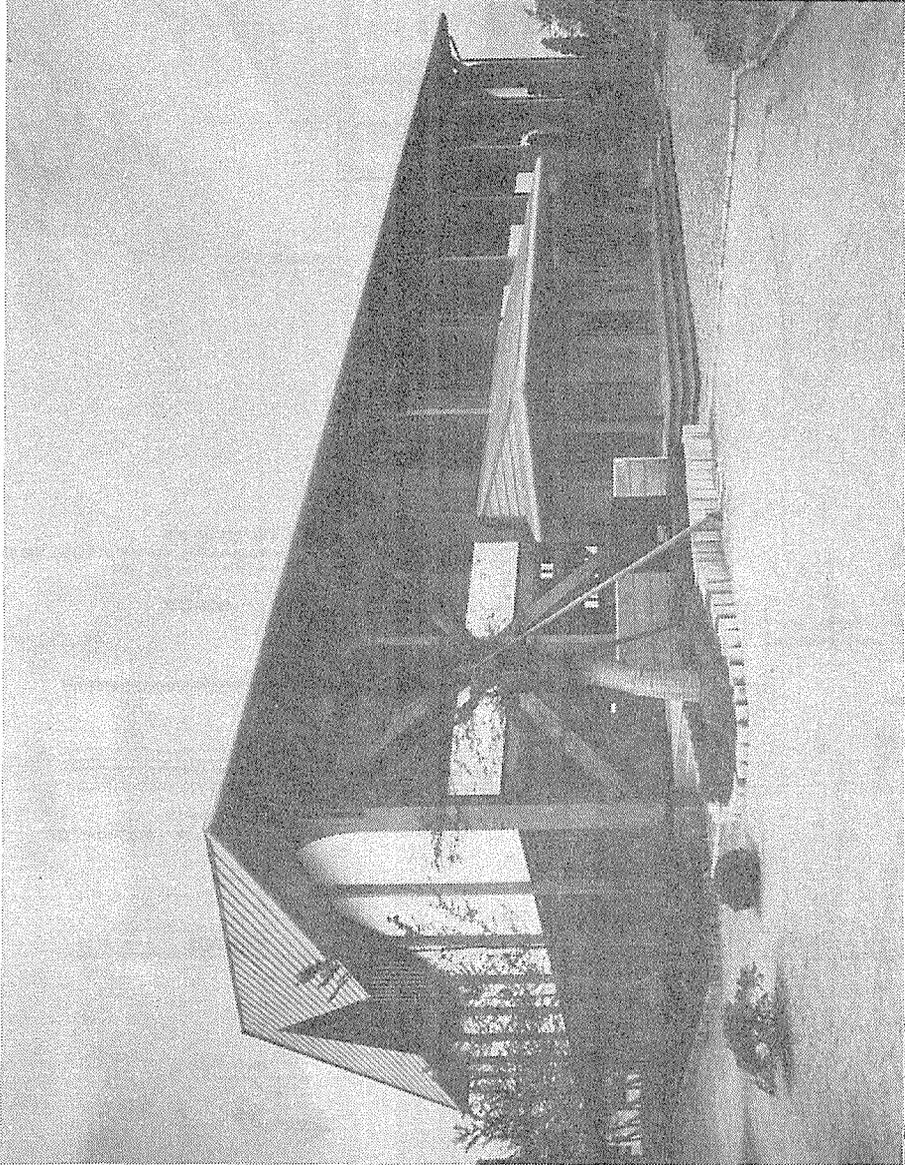


東區 關西立本小學堂 屋內運動場 改築工事
 1:100
 1:100

DR D-11 11



山形ラーメンの建方



楡木小学校屋内運動場（栃木県鹿沼市）

6. 4 静岡県 の 事例 天竜市立林業体育館

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

この建物は、林業構造改善事業の補助により行われたもので、そのため木造が義務づけられている。

このような大型建物は、継手の接点が多く、複雑になるため、単純で接点も少なくデザインの的にも形が自由にくめる集成材を用いた。スギは、天竜を代表する地元材であり、ヒノキに比較して價格的にも安価である。地元スギの集成材を使って、体育館の大架構を設計したその主旨を次に示す。

- ① スギは天竜産材として生産量が最も多い。
- ② 新たな木材需要拡大のひとつとして、産地材を使った集成材建物を天竜に建てる必要があった。
- ③ 集成材にすることにより、柔らかさやあたたかさといった木材の持つ質感を保持すると共に、材料的には均質性、安定性、耐久性など工業材料一般の属性を向上させることができる。
- ④ 構造用集成材は、挽板の段階で選別等の品質管理を充分に行うことが出来るので製材品に比べ高い安全性がある。
- ⑤ 集成材は製造時に十分乾燥するので、製造後の狂いなどが少なく断面寸法が安定している。
- ⑥ 集成材は、構造材として湾曲させたり自由な形をつくる事が出来るし、断面寸法や長さも必要に応じて作り出すことが可能である。
- ⑦ 挽板を多数積層するので、製材品より強度、ヤング係数のバラツキが少ない。挽板を効率的に配置することで許容応力度を製材品より大きくとることが出来る。
- ⑧ 大断面集成材は、火災によって燃えても炭化層ができ、燃えしろ設計をしていけば、設計荷重を支持できる。

2) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地 静岡県天竜市月957
 建築主 天竜市
 設計 中谷悟設計工房
 施工 川島建設合資会社
 納材 川島建設合資会社浜北支店集成材工場
 建物用途 体育館
 地域地区 都市計画区域外
 構造方式 2ヒンジアーチ構造
 高さ 最高 11.6m 軒高 8.17m
 面積 建築 570.24m² 延床 497.04m²
 使用材積 スギ集成材：68m³
 工期 平成3年3月竣工予定
 総工費 ￥136,372,000

3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		柱	アーチ	梁	間柱	筋かい
形状	直、7-チ	直	アーチ	直	直	直
寸法	長さ	7000～11000	38000	3400～3700	5000～6500	5500
	せい	400～600	800	450～600	300～450	150
	幅	150	150	150	150	150
樹 種		スギ	スギ	スギ	スギ	スギ

単位：mm

4) スギ集成材の製造、設計上気をついた点

① ラミナの購入

スギラミナ約140m³を天竜地域のスギ専門の製材2社へ外注した。黒心は除去するように依頼したが選別は無理で赤黒混入材を購入せざるをえなかった。

② ラミナの乾燥、接着

黒心は別に棧積みし天日乾燥日数を増やした。人工乾燥には最後にいれたが、生産にのるものではない。納期が短いため十分な天日乾燥は行われていない。入荷直後に乾燥入れすることもあり、乾燥に手間取った。曲げようラミナは薄いのでカップ等で歩止まりが悪い。

③ 集成材の製造

軽いので持ち運びが楽で作業者の疲労が少ない。

④ 取扱、運搬

軽いので小型のクレーンが使用できた。傷つやすいので移動の際十分な注意が必要である。

⑤ 施工、建方

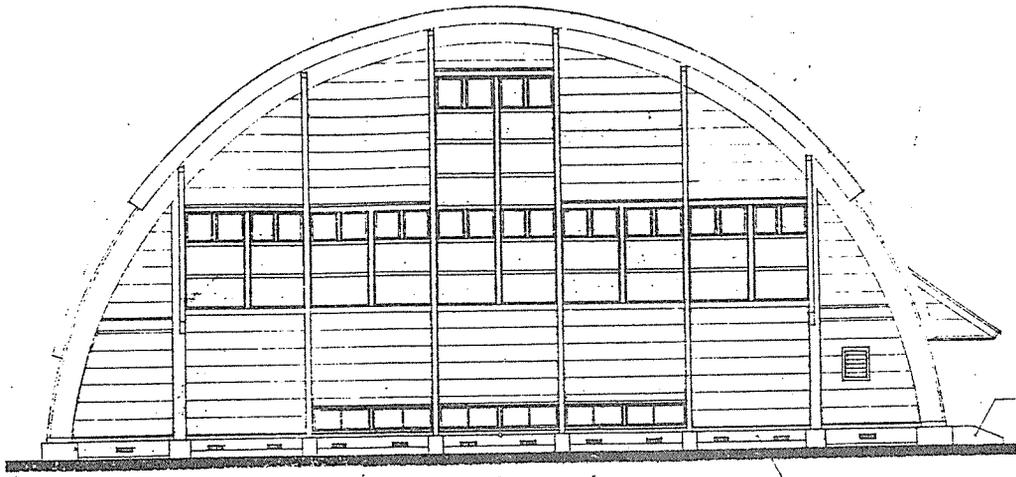
材が柔らかいので、クレーンでつり上げる際には傷がつかないような養生を行う。

⑥ 設計

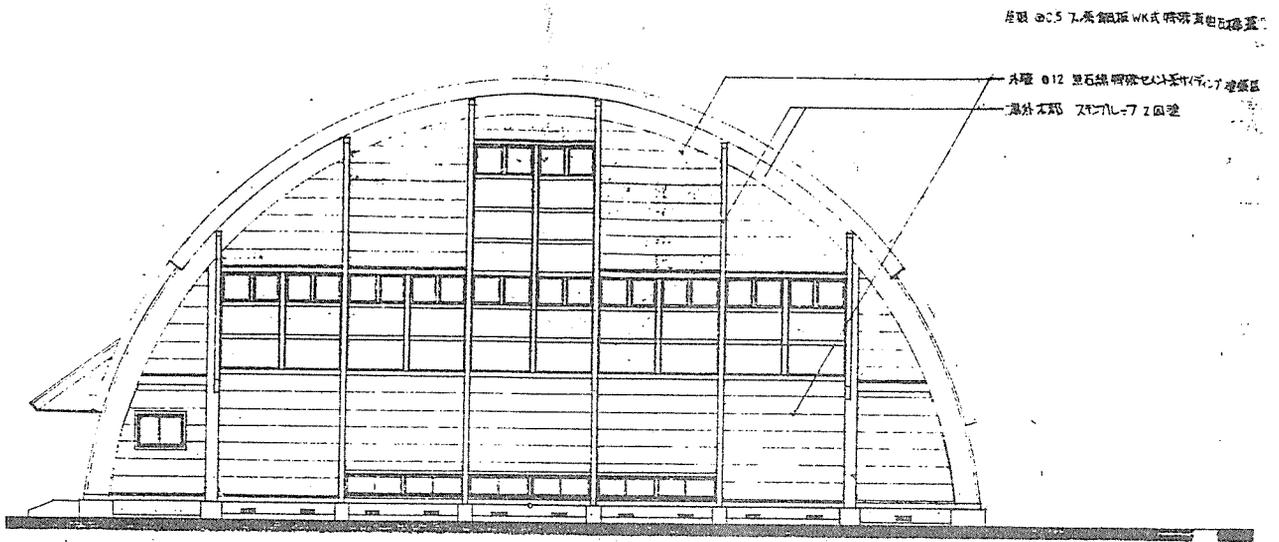
構造的には断面を大きくすれば問題はない。コスト高の吸収も製造、接合金物、建方等の工夫で可能であり、研究の余地がある。

⑦ デザイン

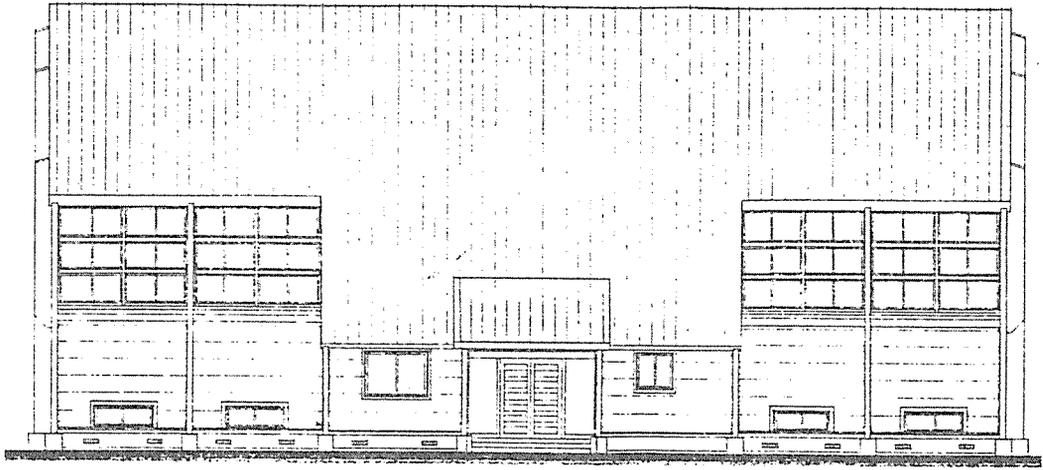
他の樹種と変わらない。ただし、ラミナの色が白、赤、黒といろいろな表面のモザイク模様が顕著である。



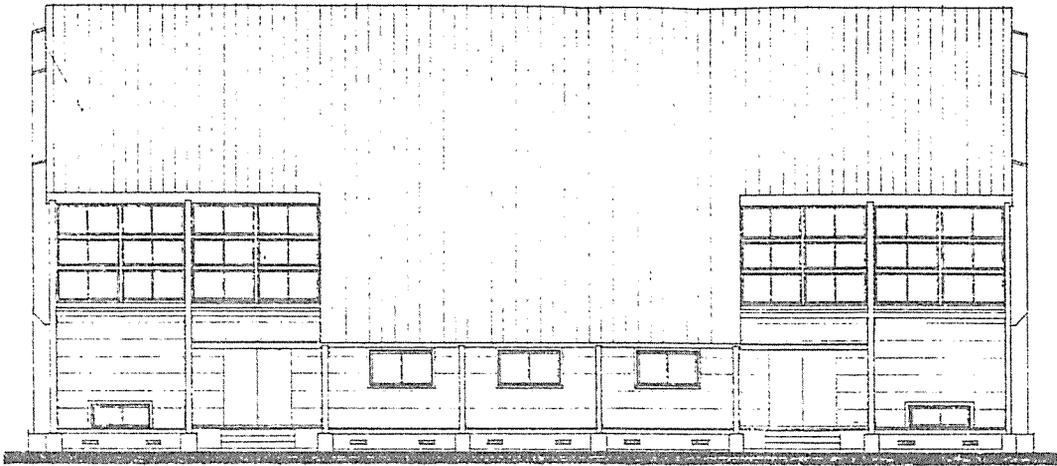
東立面圖



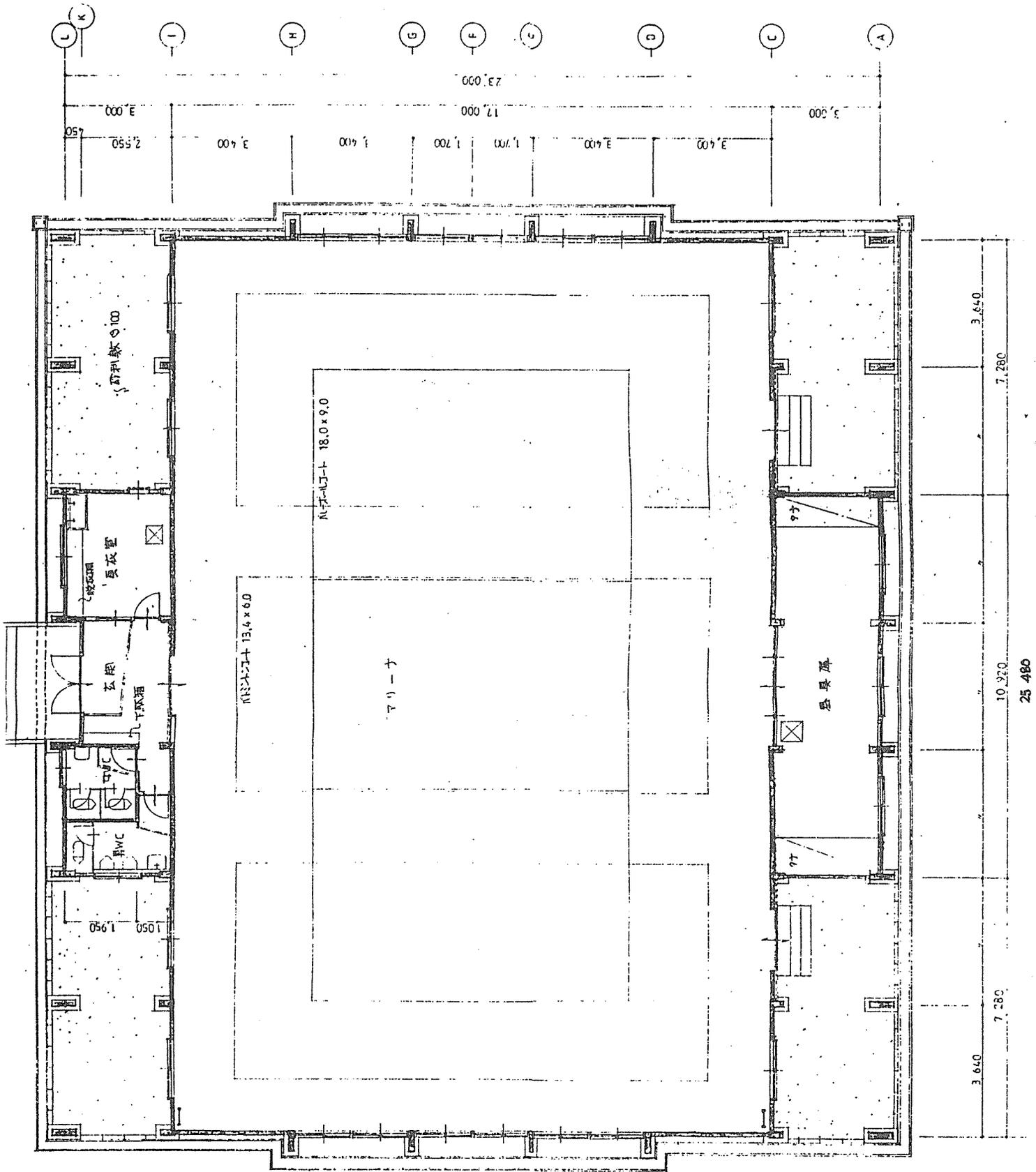
西立面圖



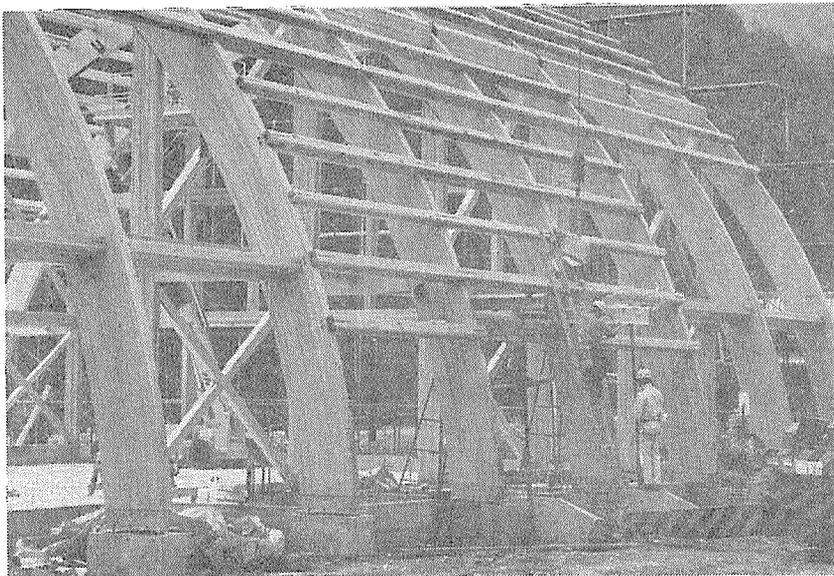
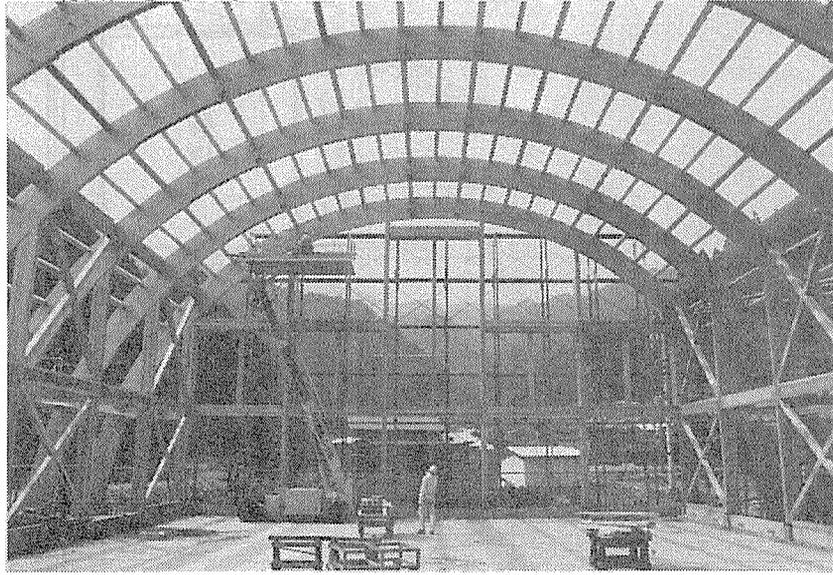
北立面图



南立面图



平面図



天竜市立林業体育館（静岡県）の建方

6. 5 愛知県の事例・・・・・・豊田プレカット工場、旭町野外ステージ 愛知県民の森催事場、旭製材工場

(1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

国産材の利用促進と地場の木材産業を振興するために、スギ集成材の利用を試みた。

(2) 豊田プレカット工場

1) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

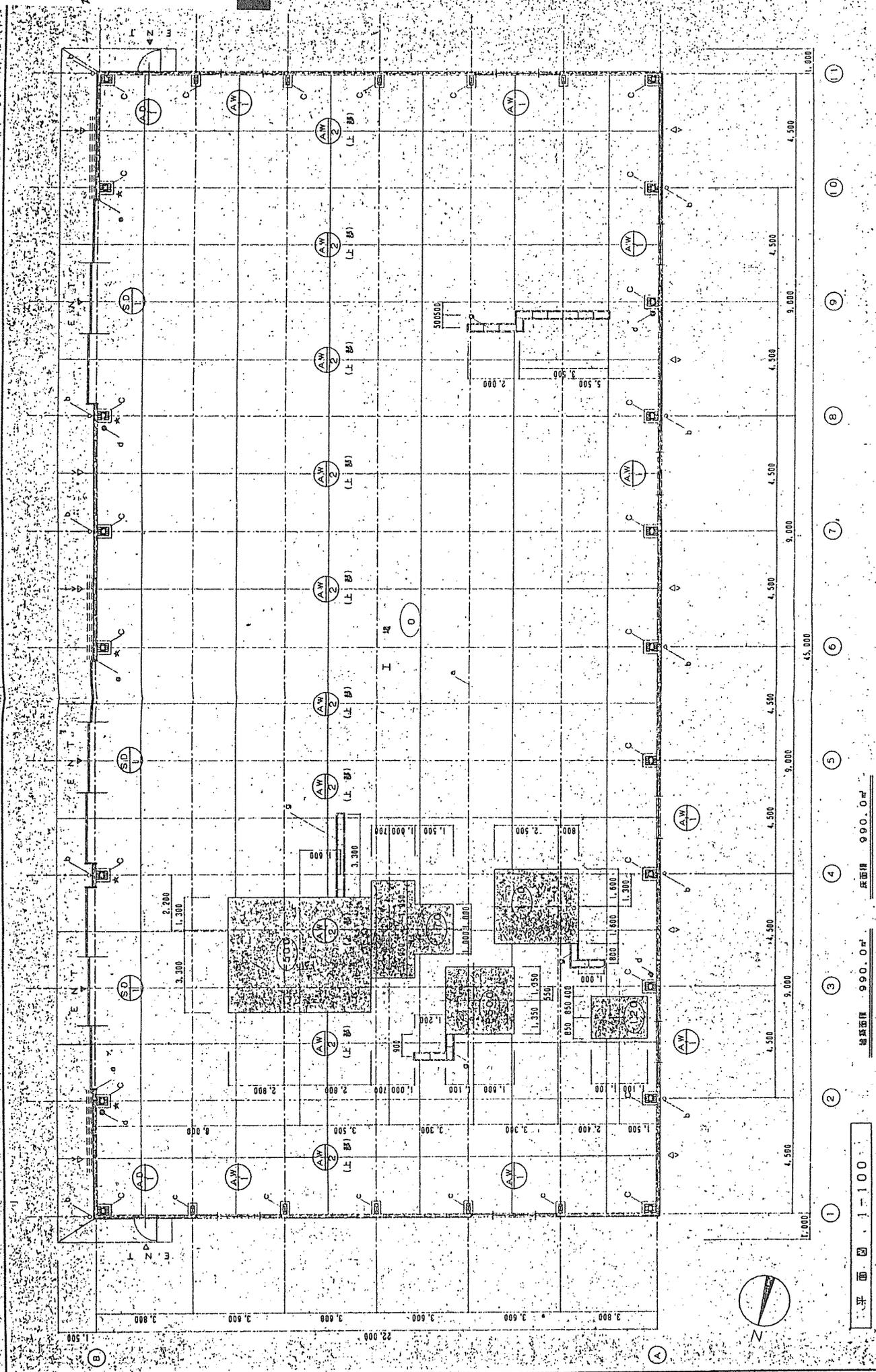
所在地 愛知県豊田市花丘町2-73-1
 建築主 豊田木材協同組合
 設計 (株)松浦建築設計事務所
 施工 太啓建設(株)
 納材 セブン工業(株)
 建物用途 工場
 地域地区 無指定 市街化調整区域
 構造方式 木造大断面集成材構造
 高さ 最高 8.9m 軒高 5.0m
 面積 建築 990.72m² 延床 990.72m²
 工期 平成2年10月26日～平成2年11月14日
 総工費

2) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		柱	梁
形状	直、7- <i>f</i>	直	直
寸法	長さ	5000	12000
	せい	430～900	450～900
	幅	90	150
樹 種		スギ	スギ

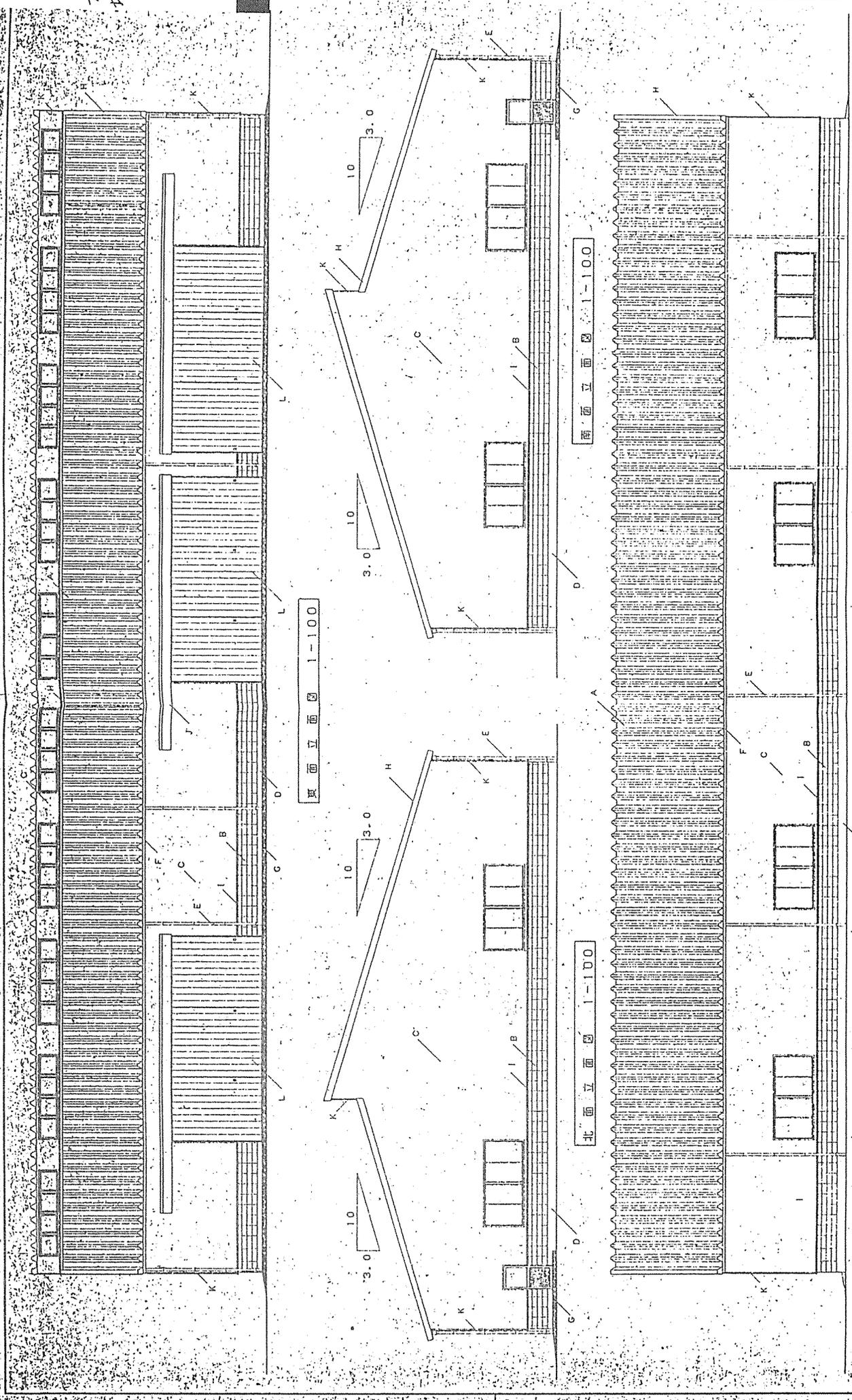
単位：mm

松浦建設事務所
1-1



<p>松浦建設事務所 TEL (05613) 2-0318</p>		<p>工事名称 豊田木材協同組合プレカスト工場新築工事設計図 図面名称 工場棟 平面図 1 棟建 2 層 No. 7</p>	
<p>平面図 1-100 建築面積 990.0㎡ 床面積 990.0㎡</p>		<p>材料: 鉄筋コンクリート構造 (FL+1500) 床: 床仕上げ 柱: 鋼管柱 梁: 鋼管梁 窓: 複層ガラス窓</p>	
<p>コンクリート全高工 目地切 仕上り 戸建空室 基礎: 基礎埋込コンクリート管 φ100 柱脚: モルタル全高工 消火器: ABC10型 (附連) 設置</p>		<p>三方柱: PL-1.0 剛工 SOP 鋼管柱 鋼管梁 複層ガラス窓</p>	

松浦 70.8
工場
1-2



東面立面図 1-100		北面立面図 1-100		西面立面図 1-100	
A	瓦葺屋根 70.8 (国産セメント)	E	空橋: 既設強化コンクリート製空橋 φ100	I	水切りカラ-瓦葺 70.4 加工
B	防水コンクリートブロック 7100 (化粧目)	F	軒端: 既設強化コンクリート製 150角	J	化粧カ-: PL-1.6 SOP
C	防火サイディング 711 (既設品) (97坪分)	G	コンクリート全工(目付)	K	カラ-瓦葺 70.4加工 (L型)
D	各種型枠コンクリート打設	H	瓦葺屋根 70.8 加工	L	頭取ハンゴ-

工業部 豊田木材部 組合プレカット工場新築工事設計図

図面名称: 工場

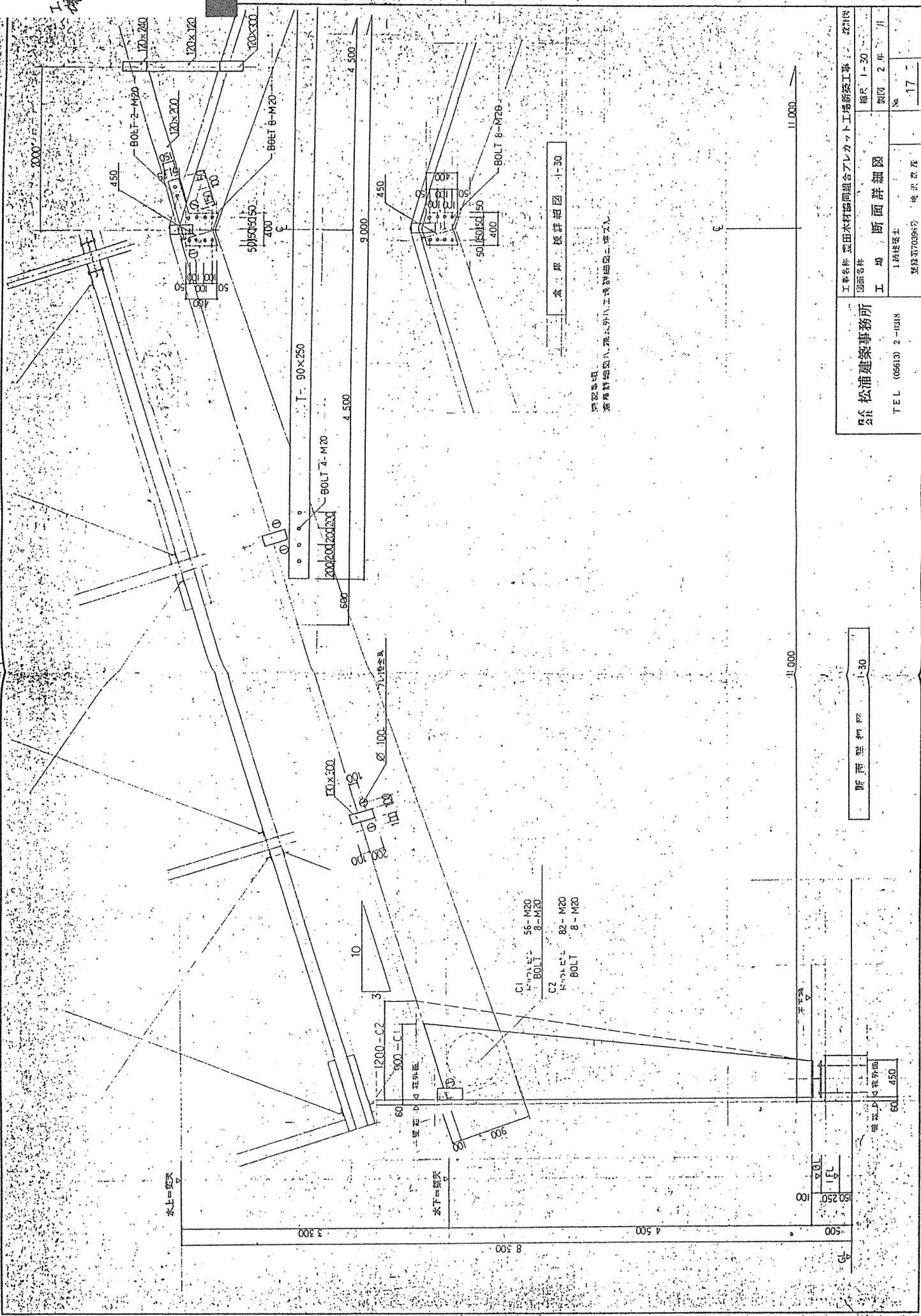
図面番号: 1-100

設計: 松浦建築事務所

TEL (0561) 2-0318

1 松浦 8

豊田 70396号 竣工 8

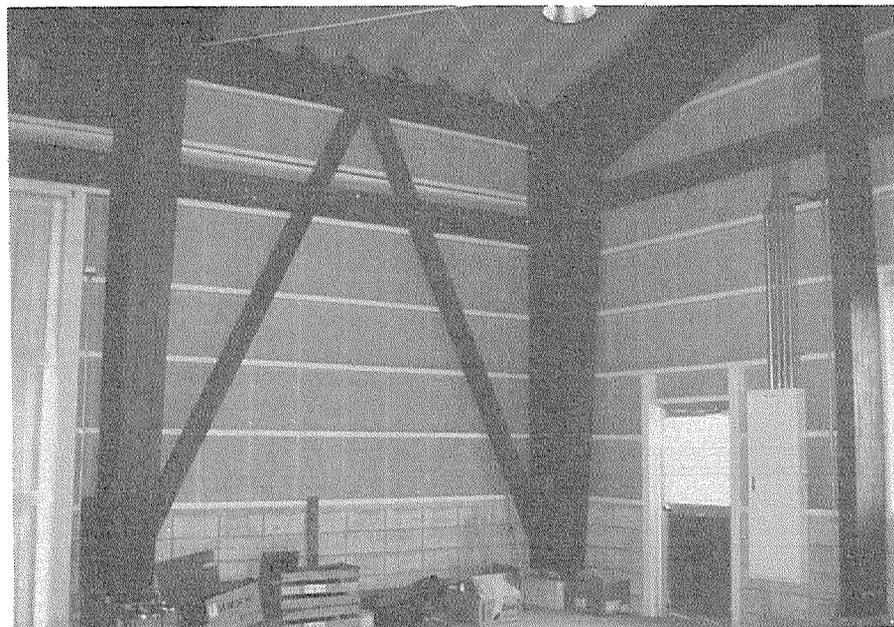
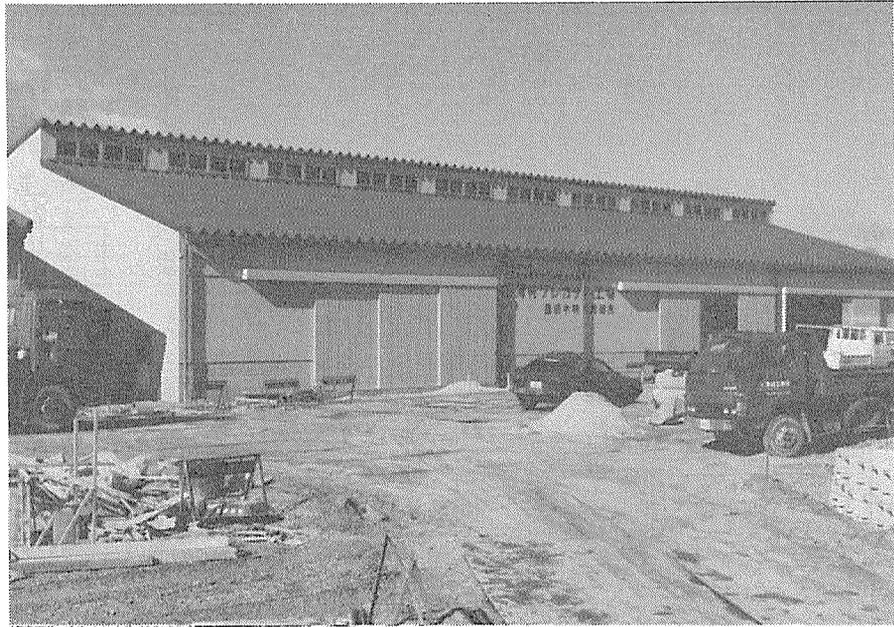


断面詳細図 1-30

配筋詳細
断面詳細図 1-30 及び 1-31 工事詳細図に示す。

松浦建築事務所 TEL (05613) 2-0311		1 株式会社 豊田カレット工場	
工事名称 豊田カレット工場新築工事		図面名称 断面詳細図	
図面番号 1-30		工 場 2 月	
1 株式会社		No. 17	

断面詳細図 1-30



188 豊田プレカット工場（愛知県）

(3) 旭町野外ステージ

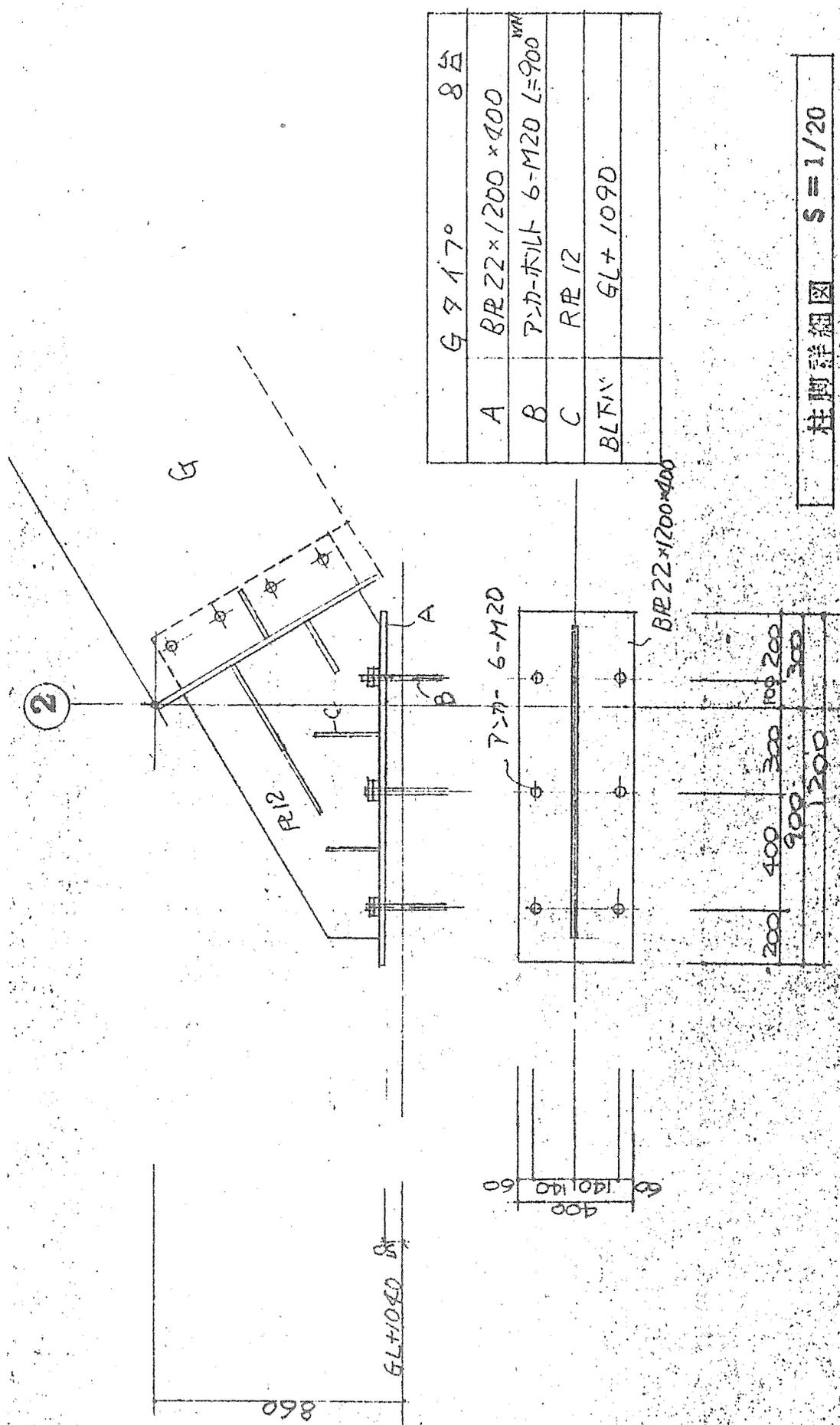
1) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地 愛知県東加茂郡旭町
 建築主 旭町
 設計 (株)翼建築設計
 施工 三濃製材(株)
 納材 セブン工業(株)
 建物用途 集会施設
 地域地区 無指定
 構造方式 木造大断面集成材構造
 高さ 最高 8.468 m 軒高 5.0 m
 面積 建築 245 m² 延床 245 m²
 工期 昭和63年7月竣工
 総工費

2) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

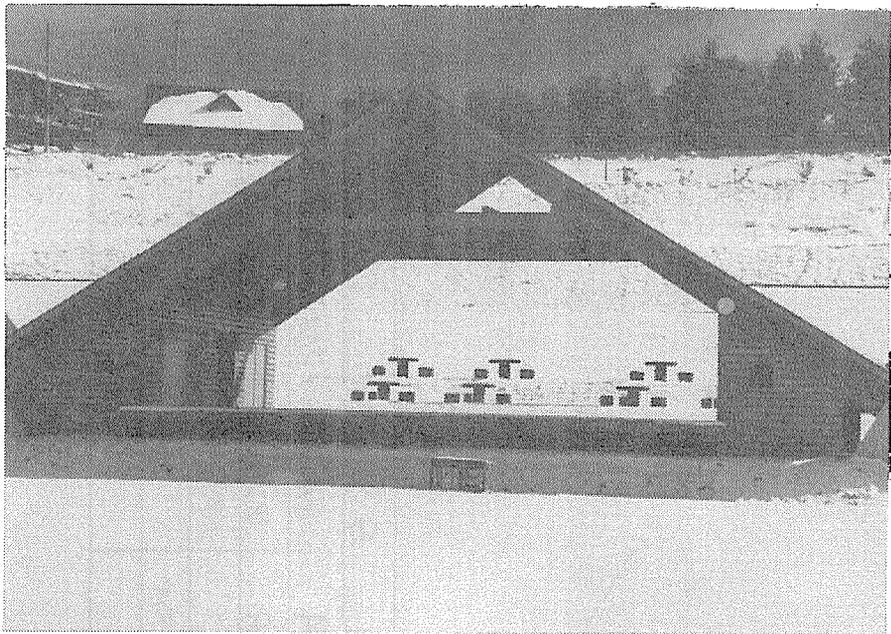
部 位		柱	梁
形状	直、7-7		直
寸法	長さ せい 幅		14340 500~900 200
樹	種		スギ

単位：mm



	G 7 17°	8 5
A	BPE 22 x 1200 x 400	
B	7>7-ボルト 6-M20 L=900 ^{mm}	
C	FR 12	
BLTIV	GL+1090	

柱脚詳細図 S=1/20



(4) 愛知県民の森催事場

1) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地 愛知県南設楽郡鳳来町
 建築主 愛知県
 設計 (有)建築計画連合
 施工 三河建設工業(株)
 納材 セブン工業(株)
 建物用途 集会施設
 地域地区 無指定
 構造方式 木造大断面集成材構造
 高さ 最高 12.638m 軒高
 面積 建築 490m² 延床 490m²
 工期 昭和63年11月～平成元年3月
 総工費

2) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		柱	梁
形状	直、7-7		直
寸法	長さ		13379
	せい		700
	幅		240
樹 種			スギ

単位：mm

(5) 旭製材工場

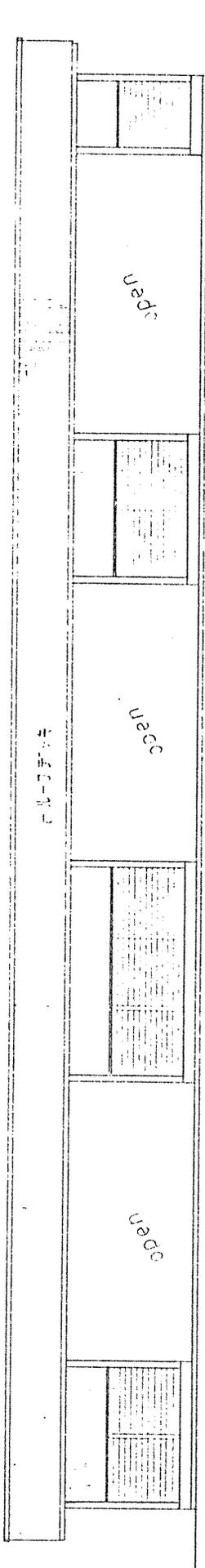
1) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地 愛知県東加茂郡旭町
 建築主 旭町プレカット協同組合
 設計 マルス建設(株)
 施工 糟谷木材(株)
 納材 セブン工業(株)
 建物用途 工場
 地域地区 無指定
 構造方式 木造大断面集成材構造
 高さ 最高 5.2 m 軒高 4.0 m
 面積 建築 480 m² 延床 480 m²
 工期 平成元年秋竣工
 総工費

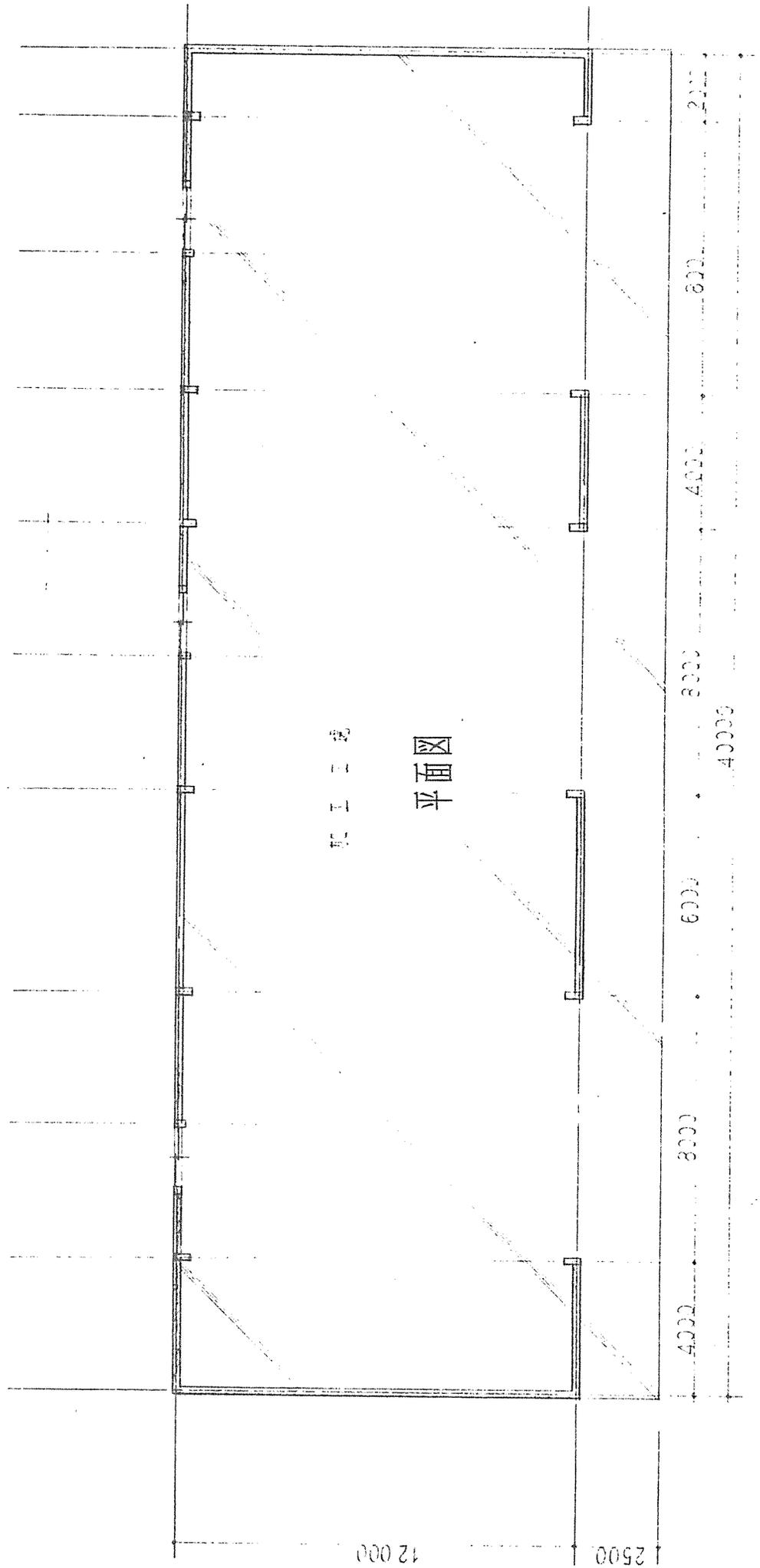
2) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

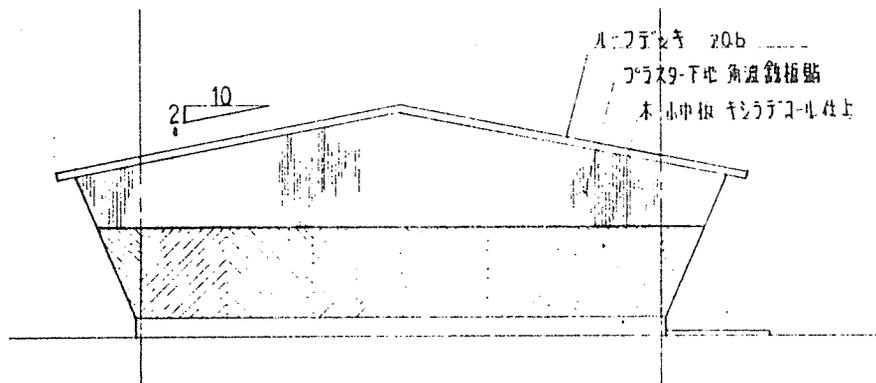
部 位		柱	梁
形状	直、ア-チ	直	直
寸法	長さ	2400	5400
	せい	300	300
	幅	120	120
樹 種		スギ	スギ

単位：mm

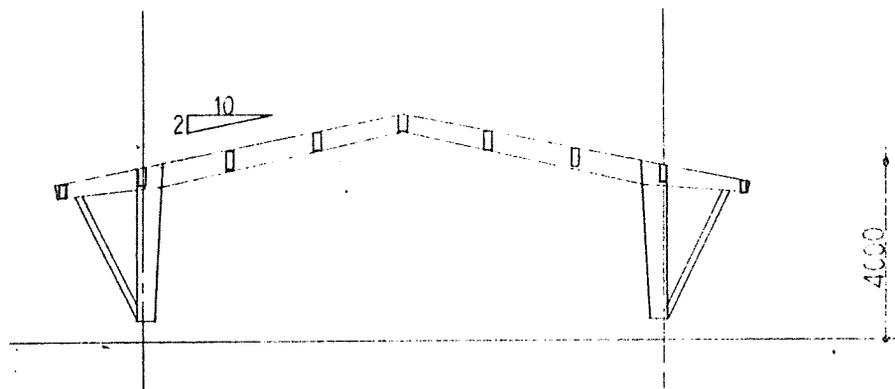


立面图





立面図 $S=1/100$



断面図 $S=1/100$

床面積	480 m^2
構造	木造
屋根	ル-ジデッキ 20b へり付
壁	プラスターボード下地 角波鉄板貼
腰壁	木小巾板 キシラテコ-ル仕上
床	コンクリート $t=130$ 鉄筋 D10 @300 メッシュ ビニ-ルシート敷込



(6) スギ集成材の製造および使用上で気をついた点

① ラミナの購入

森林組合から購入している。J A Sに合わせて等級の区分をしている。

② ラミナの乾燥、接着

乾燥はバラツキが大きく難しい。自然乾燥は長い時間が必要である。ラミナの接着は良好である。

③ 集成材の製造

材が軟らかすぎるため、傷がつき易いが、加工は容易である。

④ 取扱、運搬

傷がつき易く、汚れ易い。

⑤ デザイン

材色がよい。

⑥ 価格

ベイマツ集成材等にくらべて高い。

6. 6 京都府の事例・・・美山町立宮島小学校校舎

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

山の里、美山の町にふさわしい校舎で、自然と人間のふれ合いから心豊かでたくましい児童を育成することをねらいとして、木の持つ温もり、美しさ、優しさを生かした校舎で、美山町のシンボリ的な施設を建設するため、地元材を活用するなど、林業振興にも寄与する国産材を用いた建築物である。

2) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地	京都府北桑田郡美山町大字島小字島台 1 1		
建築主	美山町		
設計	(株)環建築アトリエ		
施工	寿・市川共同体		
納材	斉藤木材工業(株)		
建物用途	学校施設		
地域地区			
構造方式	山形ラーメン構造		
高さ	校舎	最高 11.8 m	軒高 8.5 m
	多目的ホール	最高 11.7 m	軒高 4.9 m
面積	延床 2042 m ² (学校食堂 137 m ² 、多目的ホール 137 m ²)		
材積	スギ集成材：1451 m ³ 、ヒノキ集成材：21.9 m ³		
工期	平成元年8月1日～平成2年3月15日		
総工費	¥394,245,000 (建築工事費：¥380,507,000)		

3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		ア ー チ	梁
形 状	直、ア-チ	ア ー チ	直
寸 法	長 さ		
	せ い	580	750
	幅	180	180
樹 種		スギ	スギ

単位：mm

4) スギ集成材の特徴

① 優雅な造形美と建築美

木材の持つ美しさ、やさしさ、やわらかさを失わない吸音性大で音響効果に優れている。

② 優れた耐久性

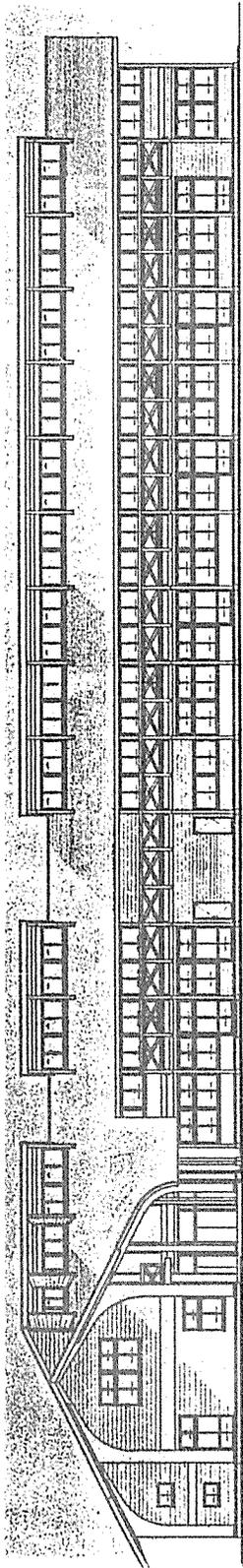
十分に乾燥した木材を使用するので割れ狂いがない。レゾルシノール樹脂接着剤使用。RCより長持ちする材料である。

③ 優れた調湿能力

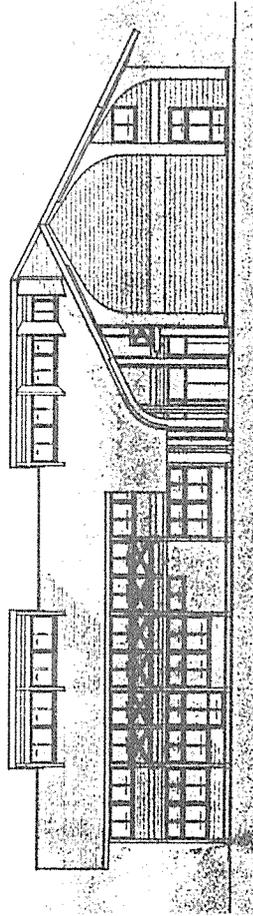
屋内スポーツ等の環境に最適。

④ 維持管理費が安い。

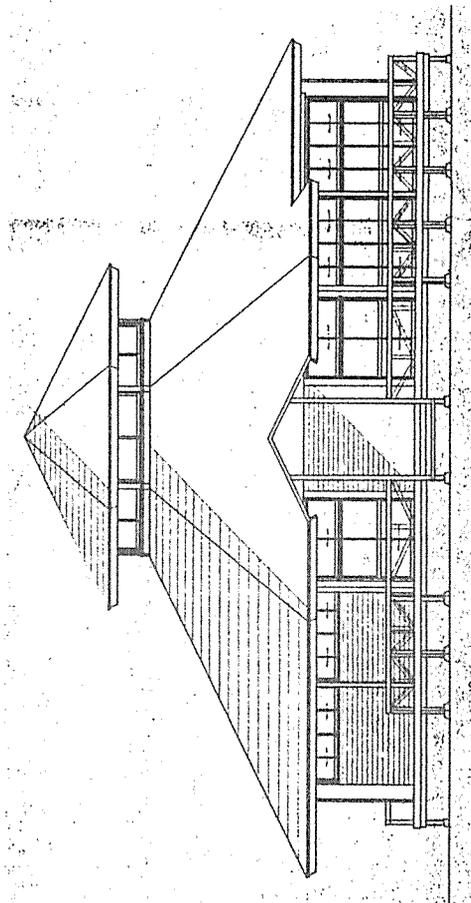
鉄骨造のようにサビ止めの塗替えをしなくてよい。



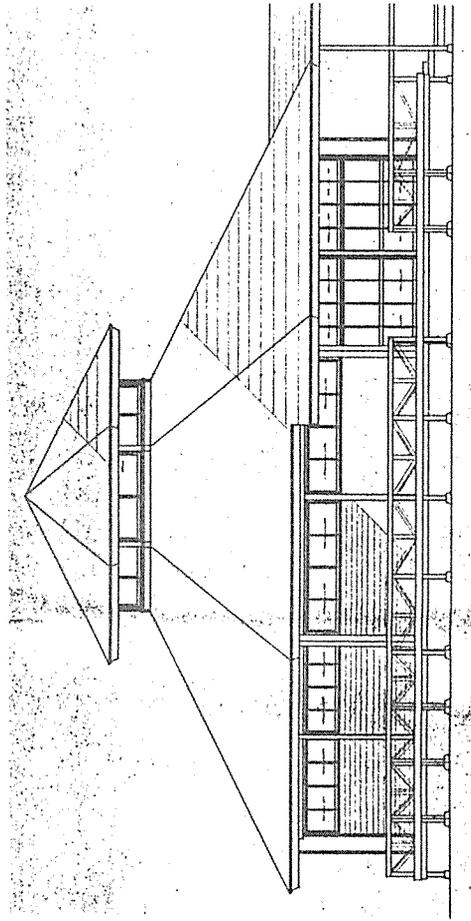
南立面图



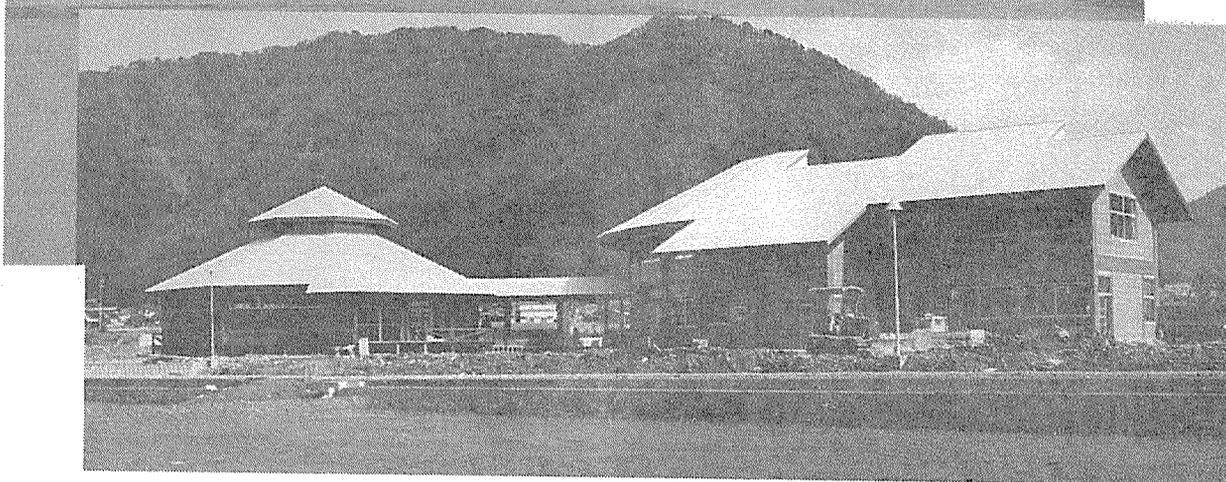
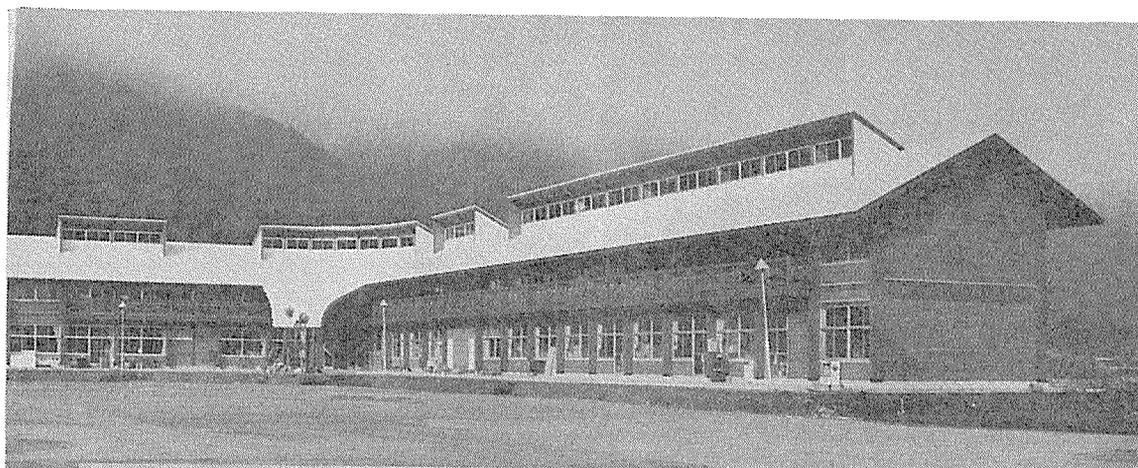
東立面图



西立面图



北立面图



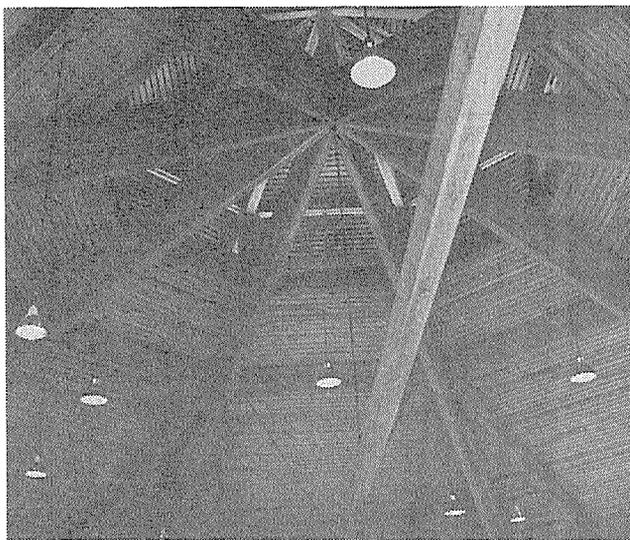
美山町立宮島小学校校舎



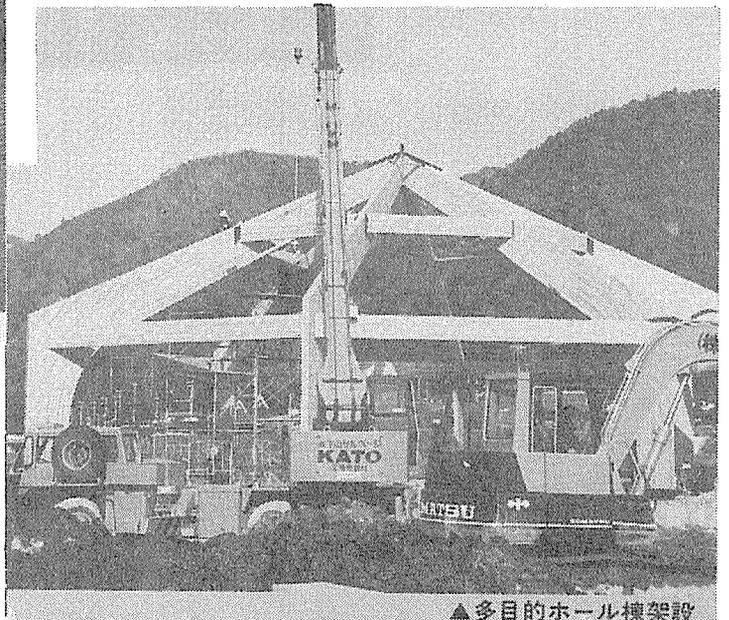
▲廊下



▲校舎棟粗構造



▲多目的ホール棟 トップライト



▲多目的ホール棟架設

6. 7 和歌山県の事例・・・・・・・・龍神村林業者健康増進センター

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

山村林業構造改善事業による林業者等村民の健康増進、スポーツ振興を目的とした施設であるため、木造が最適と判断された。

また、地元の龍神スギをフルに使用した大型木造建築物を全国に先駆けて挑戦すること、により龍神材のPR、需要拡大、産業おこしを狙ったものである。

2) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地	和歌山県日高郡龍神村大字安井822		
建築主	龍神村		
設計	渡辺豊和建築工房、(株)岡本設計		
施工	村本建設(株)		
納材	三井木材工業(株)		
建物用途	体育館		
地域地区	無指定		
構造方式	基礎：布基礎、上部構造：鉄筋コンクリート造、 屋根：木造トラス立体架構		
高さ	最高 18.0 m	軒高	11.5 m
面積	建築 1169.29 m ²	延床	1226.80 m ²
工期	昭和61年2月1日～昭和62年3月15日		
総工費	¥185,000,000		

3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		屋根トラス材
形状	直、ア-チ	直
寸法	長さ	2000～9000
	せい	150～270
	幅	150～210
樹 種		スギ

単位：mm

4) スギ集成材の設計、製造上の意見

① ラミナ

55年生スギを地元で製材、加工し、乾燥、接着は集成材メーカーに送り行った。ラミナのヤング係数は全数検査した。

② 集成材の製造

上級ラミナの割合が少ないため、苦心した。

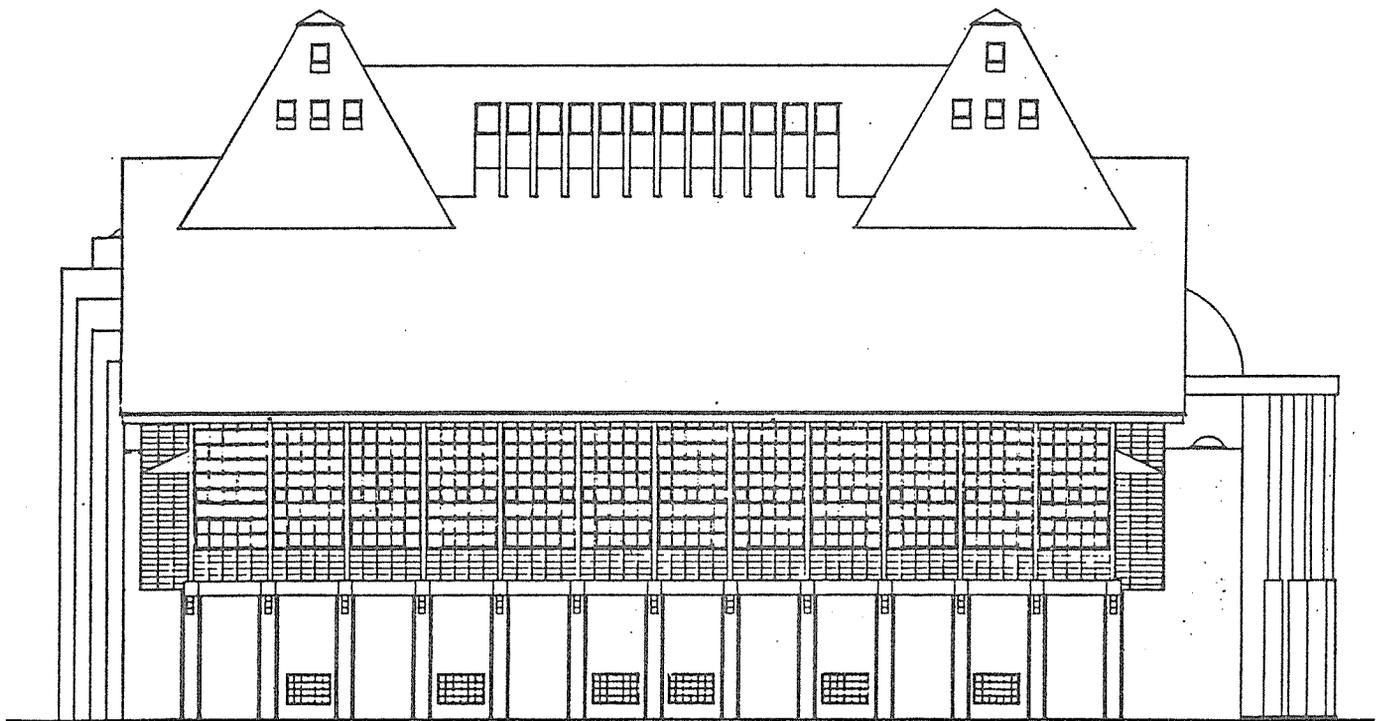
③ 施工・建方

立体トラスの組立順序がポイントであった。トラスの軸材であるため強度的には余り気にならない。

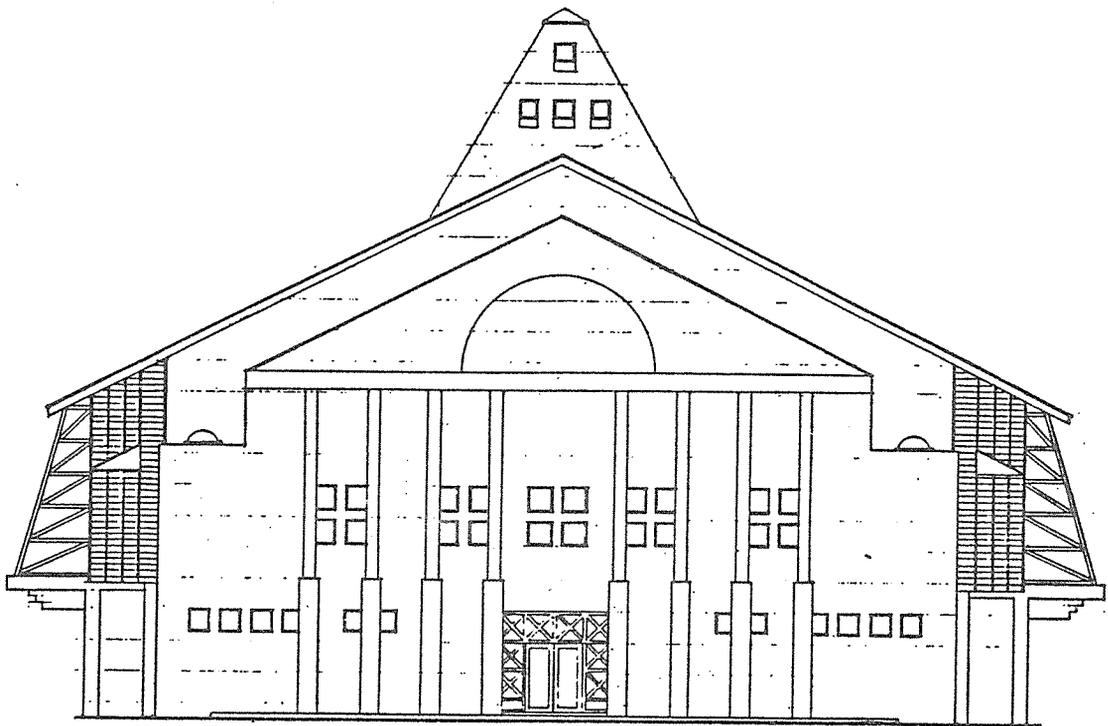
④ デザイン

黒みが気になる。

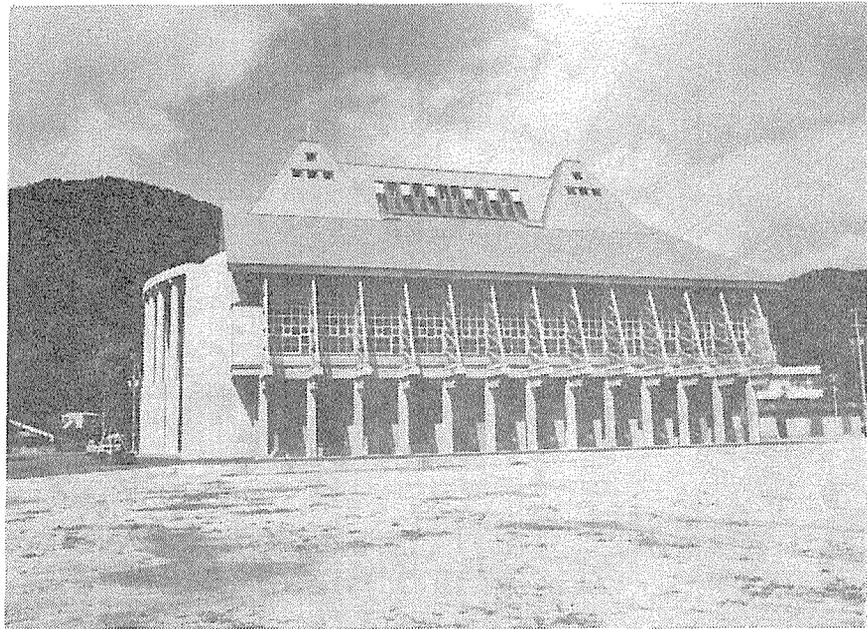
⑤ 原板段階ではやや割高であり、製品になると歩止まりが悪いため、一層高くなる。



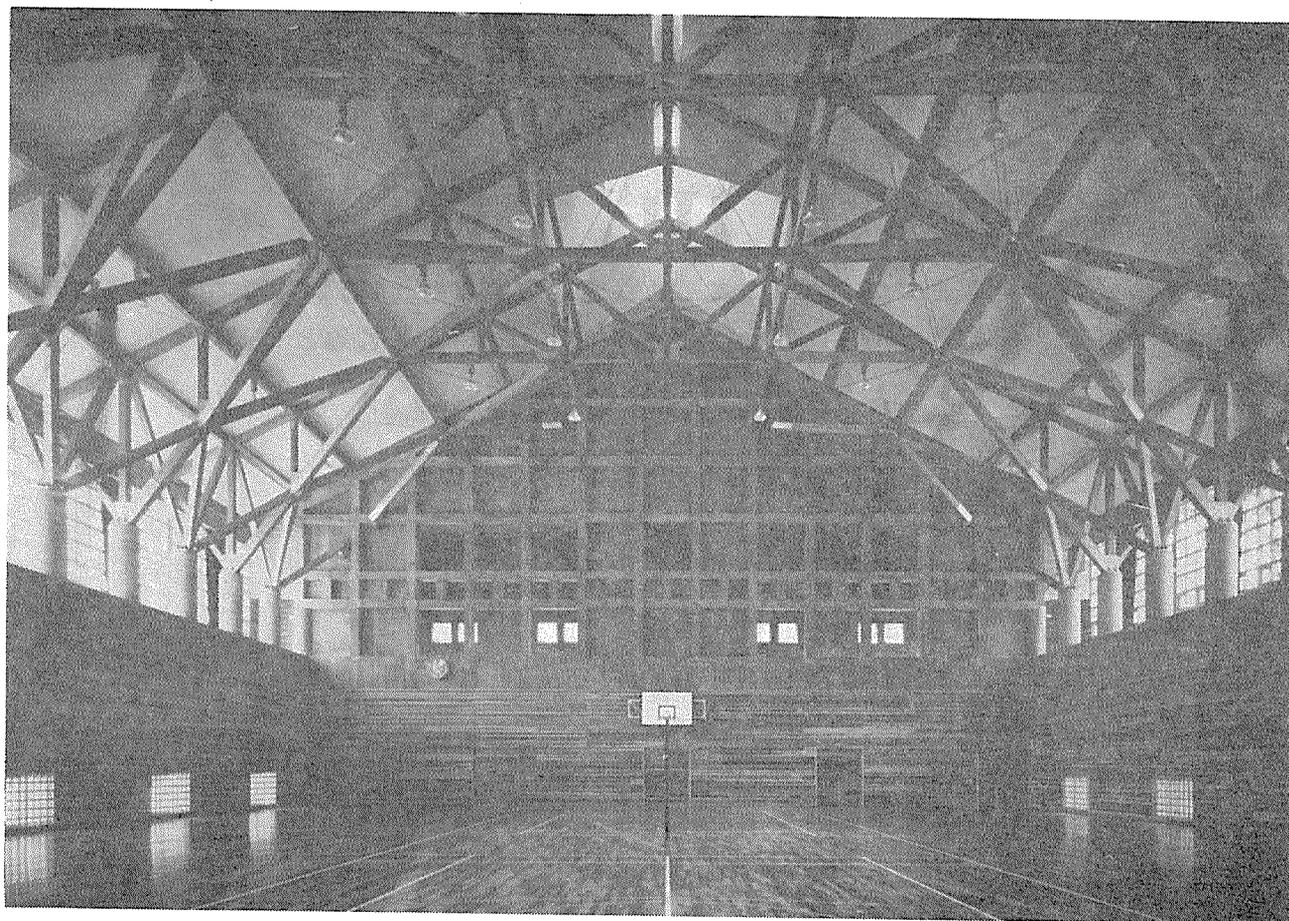
南立面图



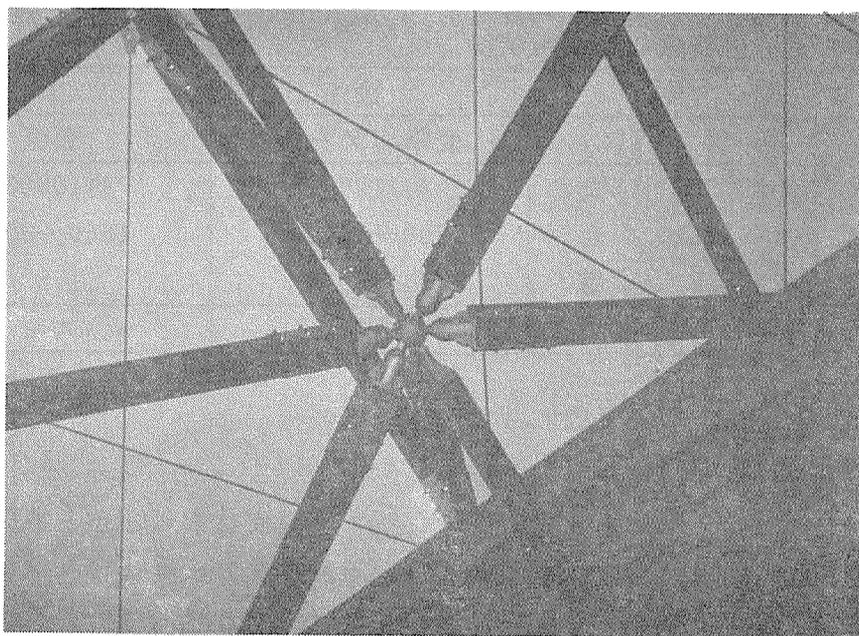
東立面图



龍神村林業者健康増進センター（和歌山県）



建物内部のスギ集成材トラス



トラス接合部のボールジョイント

6. 8 奈良県の事例・・・室生村農林トレーニングセンター 第2浄化センター プール管理棟

(1) 「室生村農林トレーニングセンター」

1) スギ集成材を使用した理由

山村振興農林漁業対策事業の一環として、地元材、特に室生村産のスギを使用することにより林業活性化を図るを目的とした。

2) 建築概要

所在地 奈良県宇陀郡室生村大字大野3849番地
 建築主 室生村
 設計 株式会社 ワールド設計
 施工 松塚建設株式会社
 納材 奈良県集成材工業協同組合
 建物用途 体育館
 地域地区 国定公園 都市計画区域外
 構造方式 構造用集成材造（木造平屋建）
 高さ 最高12.75m
 軒高8.5m
 面積 建築1020.60㎡
 延床 960.52㎡
 工期 S.61.12.23～S.62.9.19
 総工費 163,812,000円

3) 構造用集成材の使用状況

部 位		柱	梁
形 状		変断面アーチ	通直
寸 法 (mm)	長さ	約11900	約10300
	せい	700～1000	1000～900
	幅	175	175
樹 種		スギ	スギ

(2) 「第2浄化センター プール管理棟」

1) スギ集成材を使用した理由

シャワールーム・脱衣室等、絶えず湿潤状態にあるため構造材の防腐処理が最大の課題となった。防腐処理方法はCCAの加圧注入方

法を採用したが、他の材料に比べるとスギは最も注入しやすく内部までかなり薬剤が入りこんでいるため、仕口加工面の安全性も保たれるからである。

2) 建築概要

所在地	奈良県北葛城郡広陵町大字萱野102番地 他
建築主	奈良県
設計	株式会社 ワールド設計
施工	株式会社 笹井工務店
納材	奈良県集成材工業協同組合
建物用途	プール管理棟
地域地区	市街化調整区域
構造方式	構造用集成材造（木造平屋建）
高さ	最高8.35m 軒高4.20m
面積	建築534.412㎡ 延床468.259㎡

3) 構造用集成材の使用状況

通直集成材	19.1 m ³
樹種	スギ

(3) 使用樹種から見た奈良県の集成材建築物の概要

奈良県は全国有数の林産県であり集成材工業も盛んであるが、県内で建てられた集成材建築物は未だ32例を数えるにすぎない。その他、木造橋等屋外構造物が6例あるが、内地材を使用した建築物は、スギが7例、ヒノキが4例にすぎず、その他は、24例がベイマツ、3例がエゾマツである。圧倒的に多いのがベイマツであり、使用樹種決定の主たる要因が集成材のコストにあることがはっきりしている。スギを使用した物件は、体育館・研修施設等比較的大型の物件が多いが、大半が農林省や林野庁の補助事業であり、地域の林業活性化につながるものである。またヒノキを使用した物件は比較的小規模のものが多い。その理由は、大量に材料を入手することが不可能に近いことである。大きな断面になると、必要なラミナの幅が170mm以上になり、コスト的にはスギの比ではない。また、幅はぎ加工にしてもかなりの

コスト高になる。従って、ヒノキの場合、その優れた耐久性能や美観を生かせる特殊な用途に限られている。それでは、スギとベイマツではどの程度コストが違ってくるかというと、集成材の製造コスト（主として材料購入価格の差）で15%～20%スギの方が高くなる。また許容応力度の違いによる断面差が平均15%程度あるので、建物の構造部材としてのコストは3割～4割程度違ってくる。建築コストから見たこの差は大きく、特に民間需要の場合ほとんどがベイマツになっている。

(4) スギ集成材の問題点

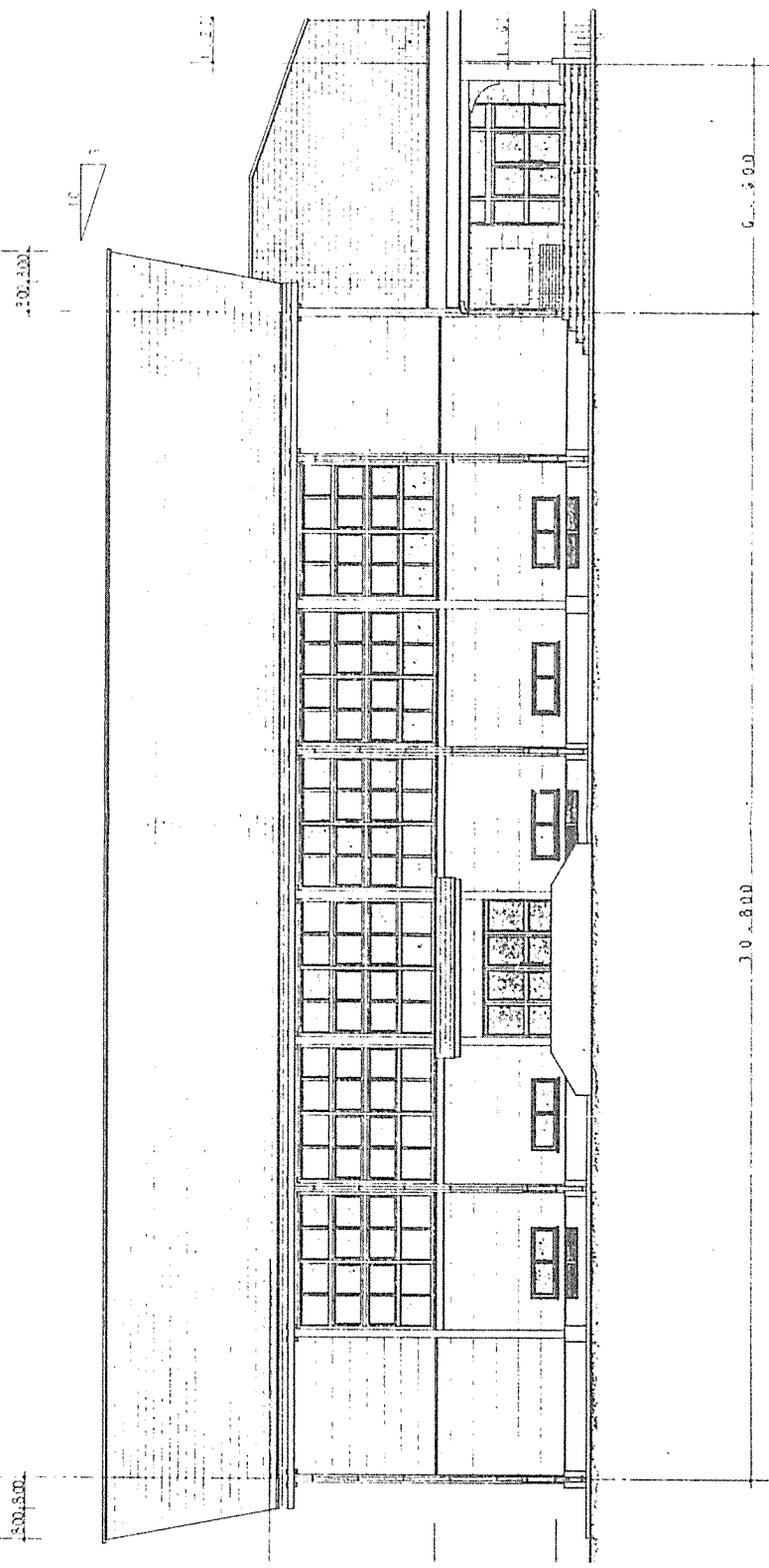
ベイマツに比較すると、スギはコスト以外でも問題点が多い。

- 1) 産地による強度のバラツキが大きいため、部材設計の段階でかなり安全率を見る必要がある。
- 2) 一度に大量のスギラミナを用意するのに数箇所の製材所が必要である。
- 3) 製材・乾燥に時間を要し納期が長い、特に地元材を使用する場合は、発注形態も含めてかなり以前から準備しておく必要がある。このような点から、政策的な後援がないとスギ集成材は普及しにくいのが現状である。

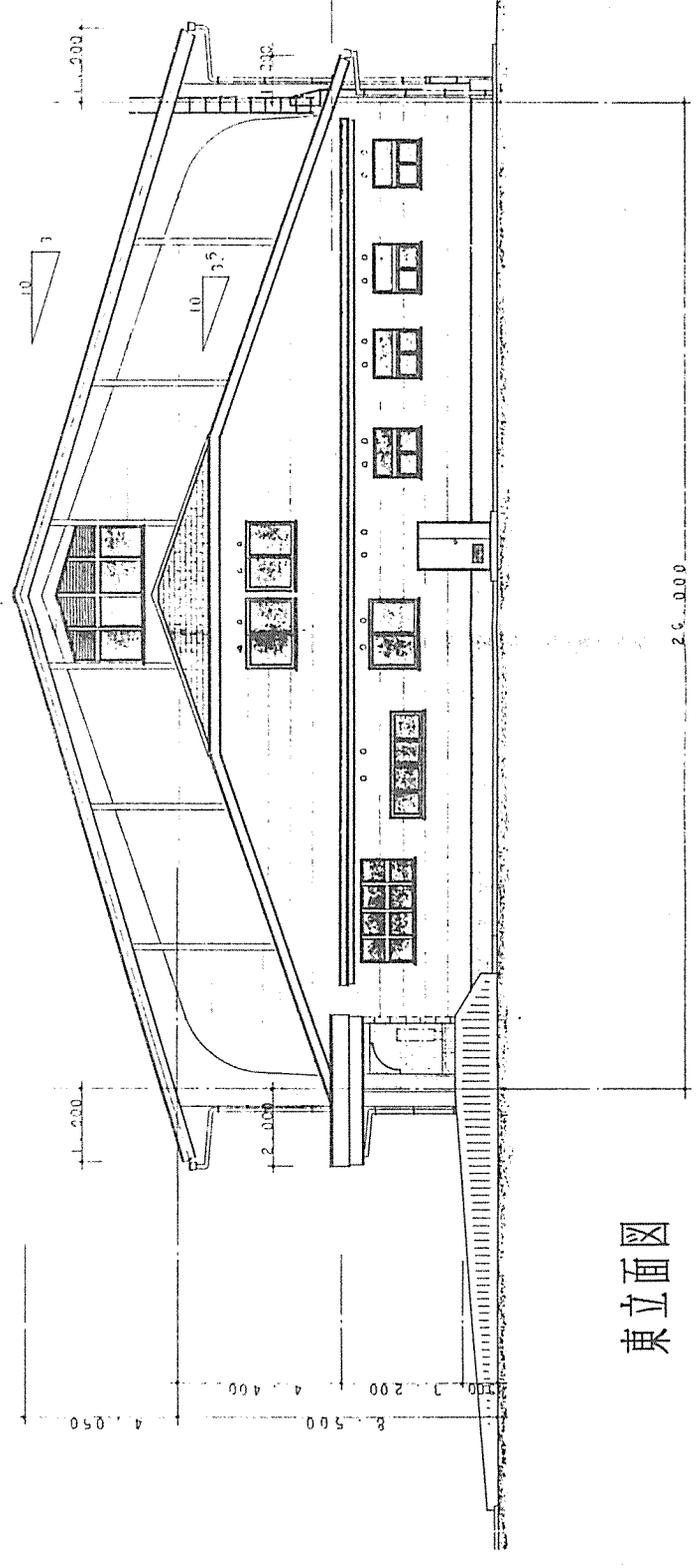
(5) 今後の対応

スギ集成材のコストをベイマツ集成材と同等以下にすることは、はっきり言って無理である。たとえ立方メートル当たりの製造コストが同等になっても、許容応力度の違いによる断面差の分だけ、スギ集成材の方が、建築コストが高くなる。従ってスギ集成材のコスト上昇分は容認して頂けることを前提として、その差を少しでも縮める方向に努める事が必要である。そのためには、前項の問題点をクリアしなければならない。1つには、強度的に比較的安定しているスギラミナの流通ルートを作ることである。幸いにも奈良県の十津川村のスギ、京都の北山スギ、和歌山の竜神村のスギ等は、比較的強度が安定し、ヤング係数も90トン/cm²以上のラミナが結構ある。このラミナを普段から準備し、乾燥して流通ルートに乗せることを当組合でも検討している。2つには、通直用・湾曲用のラミナの寸法を数種類に統一して設計の規格化を図ることである。このことによって、納期面での問題点は解消し、コストも多少安くなり、比較的使い易くなるのではないかと

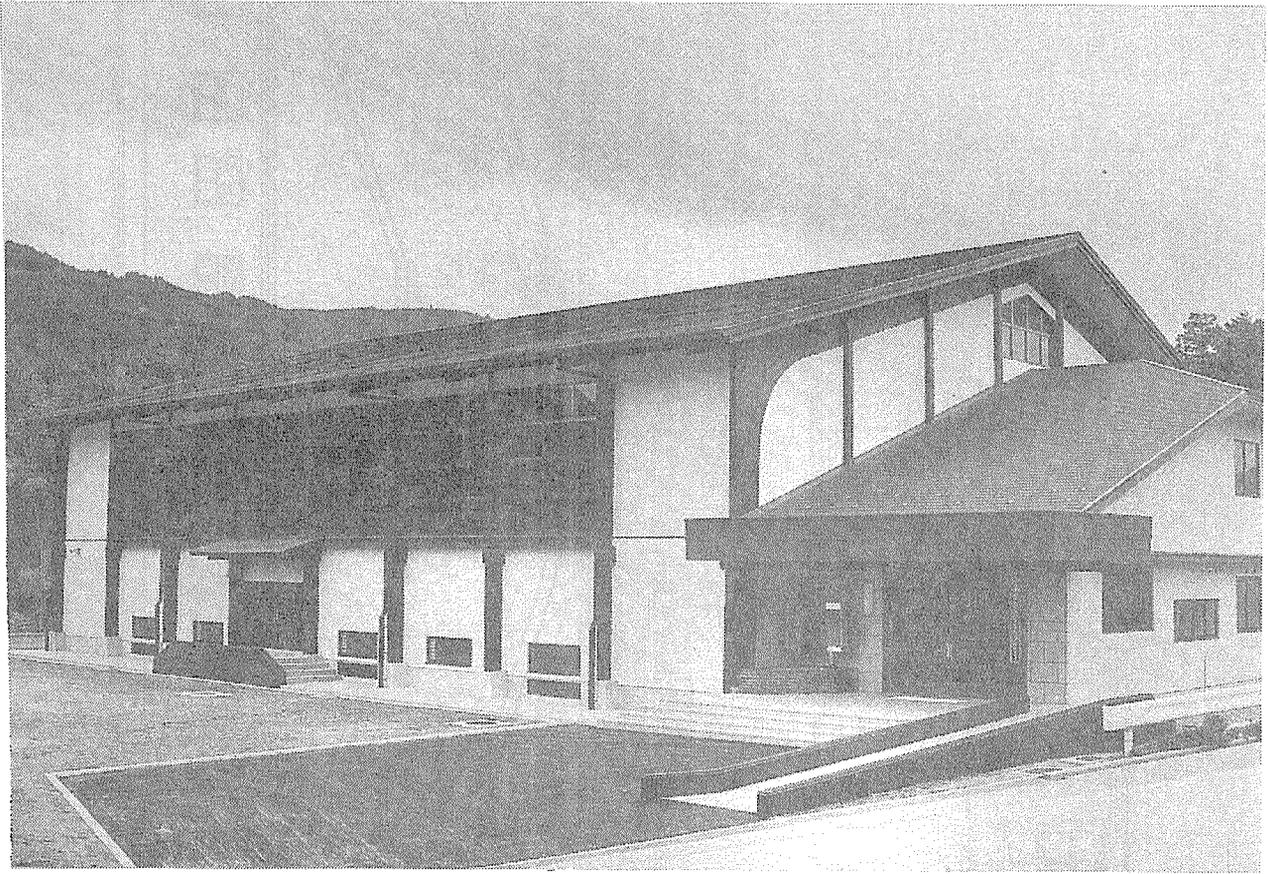
と思う。最後に事例(2)のようにスギは薬剤注入処理が簡単で確実であるという特長を生かして、木造橋等屋外構造物や耐久面での安全性を要求される建築物に積極的に利用できるのではないかと思う。



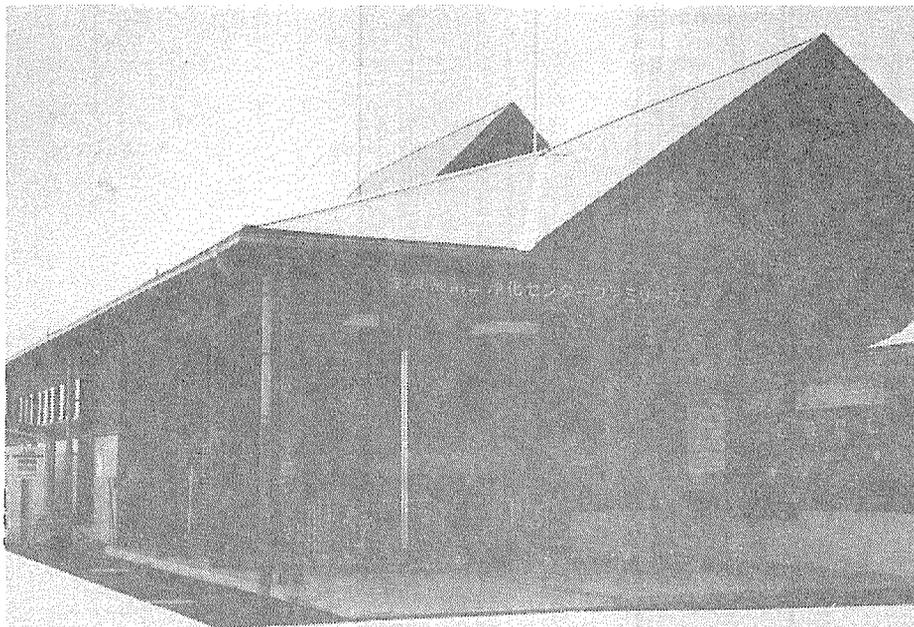
南立面图



東立面图



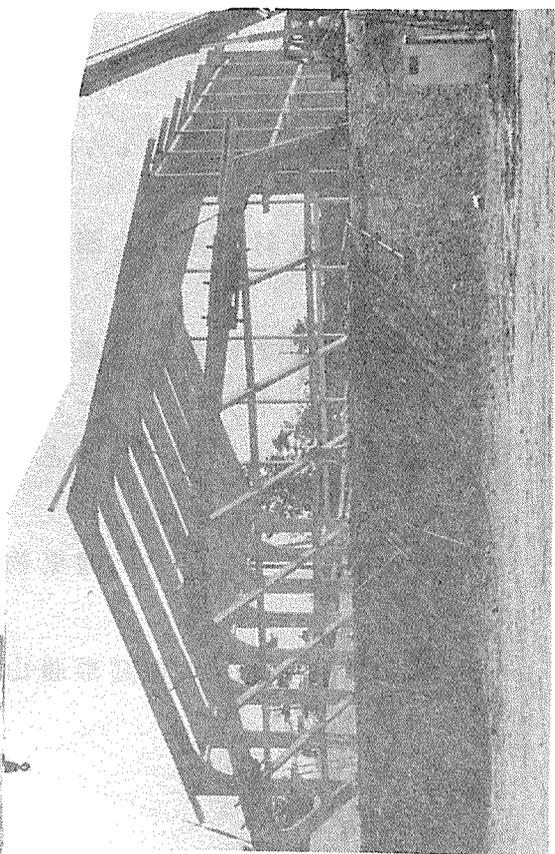
室生村農林トレーニングセンター（奈良県）



第2浄化センター プール管理棟（奈良県）



山形フレームの建て起こし



室生村農林トレーニングセンターの建物内部

6.9 岡山県の事例・・・農業構造改善センター

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

町の地場産業の基盤である木材産業の振興と過疎化対策のため、町のシンボルでもある「木」のイメージを高め、木の利点、木の持つ素晴らしさ、新しい利用法などをPRする建物として建設されたものである。

2) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地	岡山県真庭郡勝山町大字古呂々尾中		
建築主	勝山町		
設計	太田建築設計事務所		
施工	(株)荒木組		
納材	銘建工業(株)		
建物用途	体育館併用地域コミュニティ施設		
地域地区	無指定		
構造方式	2ヒンジアーチ構造		
高さ	最高	11.2 m	軒高 8.0 m
面積	建築	612 m ²	延床 681 m ²
工期	昭和62年8月～昭和63年3月		
総工費			

3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		柱	梁	継ぎ梁、軒桁	棟木
形状	直、7-チ	アーチ	アーチ	直	直
寸法	長さ	11200	10700	3750	3750
	せい	650～850	550～850	360	420
	幅	165	165	120	120
樹 種		スギ	スギ	スギ	スギ

単位：mm

4) スギ集成材の製造および使用上、気が付いた点

① ラミナの購入

地元にはスギ、ヒノキ等の内地材製材所が多数有り、またラミナ寸法が26mm×185mm×4000mmと比較的製材しやすい寸法なので材料入手は容易である。ただし、材料のグレードにおいては芯を除くこと、節の程度など充分打ち合せが必要である。

② ラミナの乾燥、接着

接着時に塗布量を約1割り増しとし、接着剤の吸い込み早さに対応した。

乾燥においては水分の抜けにくい部分があり、乾燥むらを防止するために、中間蒸射、イコーライジング、コンディショニング操作を行った。

③ 取扱、運搬

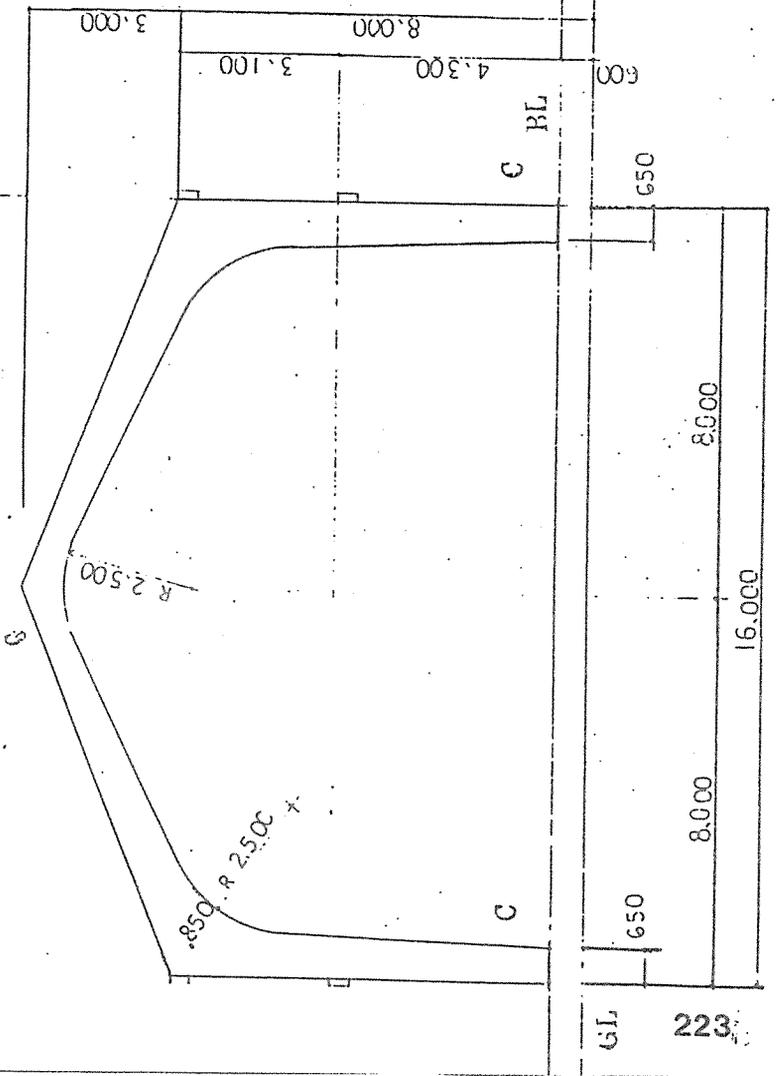
軟材なので加工中、運搬中に傷がつき易く、材料を置く場合にゴミを充分除いてから行う。

④ デザイン

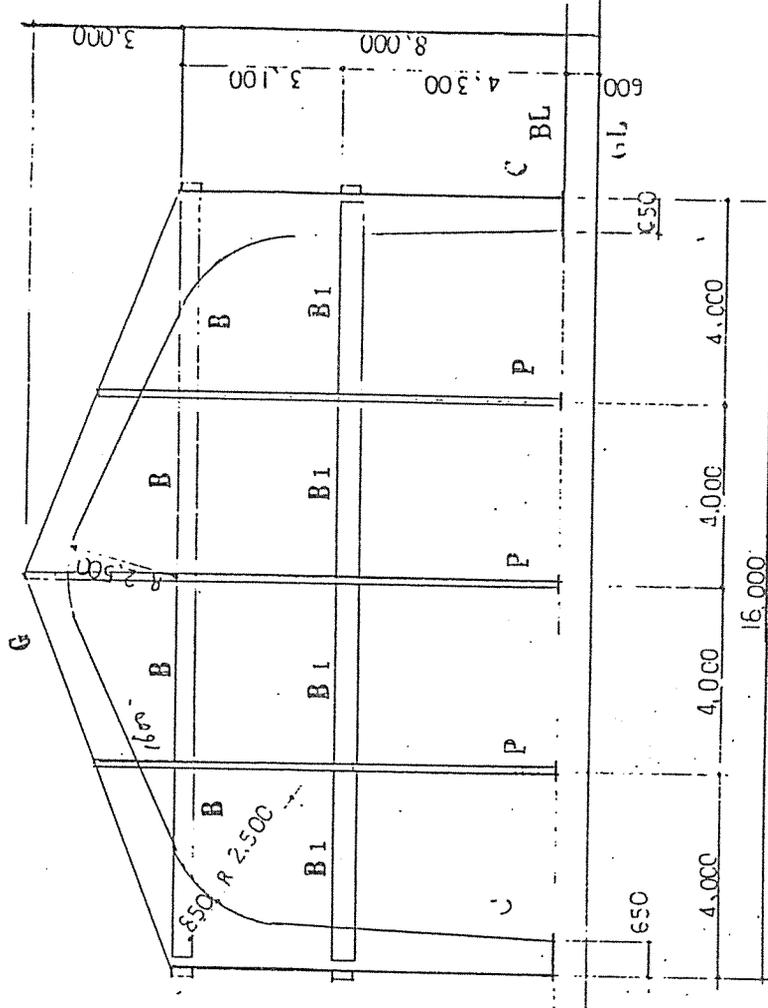
節が多く、赤白のコントラストが強いのでクリア塗装では非常にきつい感じとなるので濃い塗装とした。

⑤ 価格

ベイマツと比較すれば、強度が低いので材積の増加、ラミナ価格が高く、乾燥時間の増加等で約3割増となる。



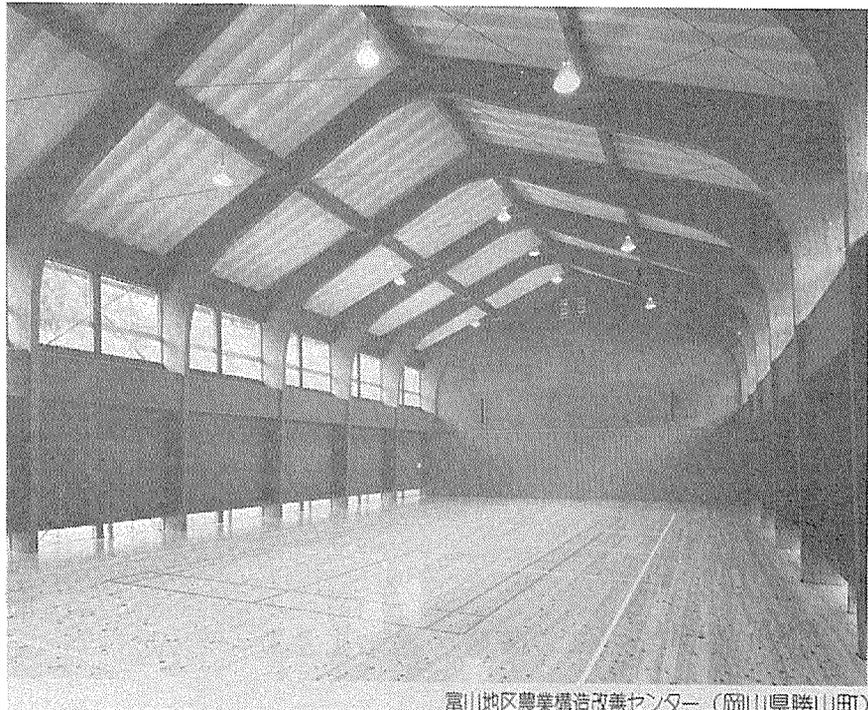
6~11 通称組図 1:100



12 通称組図 1:100

部材リスト

部材	仕様	数量	単位	備注
C	50 ~ 850 x 105			集成材
P	600 x 105			集成材
G	550 ~ 550 x 105			集成材
B	100 x 300			集成材
B1				



富山地区農業構造改善センター（岡山県勝山町）

6. 10 徳島県の事例・・・・・・・・塩塚高原総合案内施設

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

山城町集成材工場で生産された集成材をキャンプ場等集客力のある公営施設に積極的に利用することにより、集成材の良さを理解してもらおうと共に、そのPRを図ることを目的とした。

2) スギ集成材を用いた建築物の建築概要

所在地	徳島県山城町平野ドヲメキ205番地		
建築主	山城町		
設計	㈲アキ建築設計事務所		
施工	㈲大月工務店		
納材	山城町木材加工協同組合		
建物用途	塚原高原総合案内施設		
地域地区	無指定		
構造方式	木造平屋一部二階建（在来工法）		
高さ	最高	11.33m	軒高 3.30m
面積	建築	264.87m ²	延床 315.90m ²
工期	昭和63年12月17日～平成元年3月20日		
総工費	¥21,354,000		

3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

部 位		柱	梁	合掌	火打材
形状	直、7- <i>f</i>	直	直	直	直
寸法	長さ	2400～7390	4000～14000	8000	1000
	せい	120	270	240～300	270
	幅	120	120	120	120
樹 種		スギ	スギ	スギ	スギ

単位：mm

4) スギ集成材の製造状況および使用状況

この施設の集成材は、山城町が昭和59年度山村地域若者定住環境整備モデル事業として設置した木材加工施設で製造されたものである。

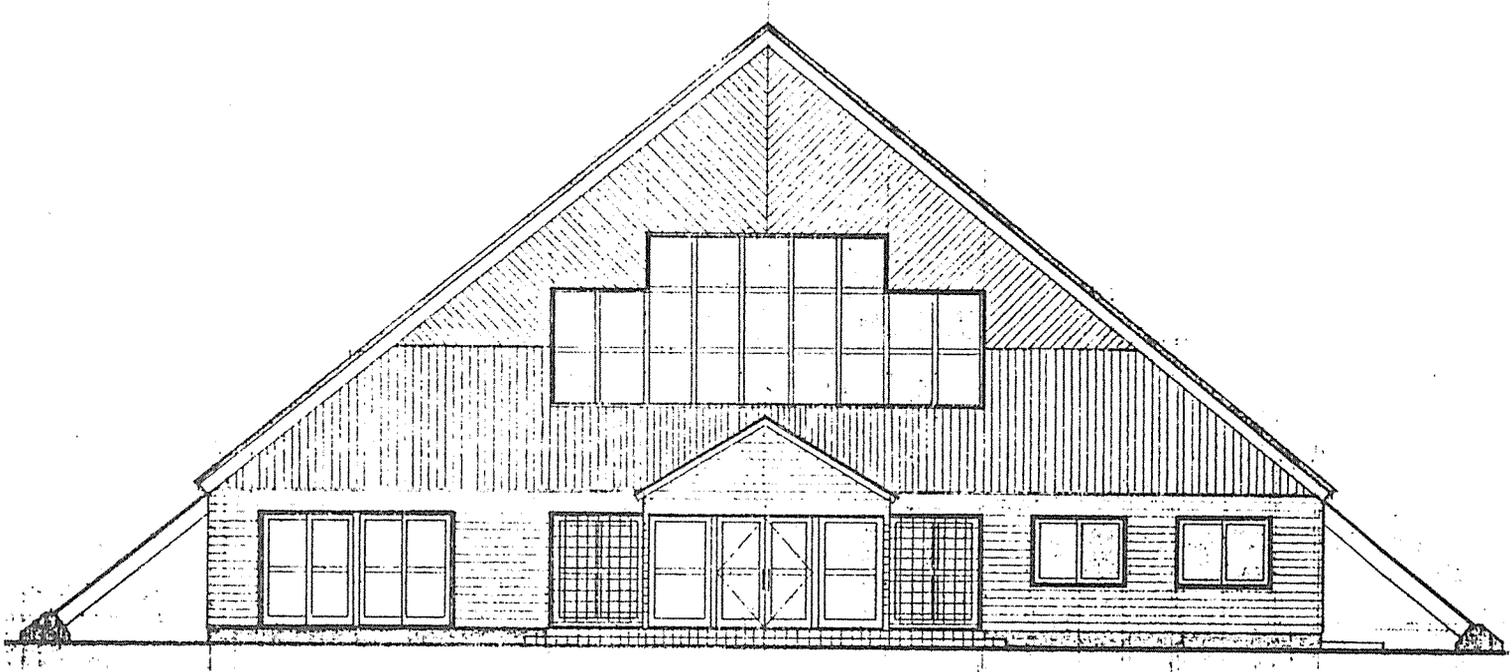
ラミナの購入については、町内の林家から間伐材丸太を直接購入しており、それを製材している。森林組合や周辺の製材所からも一部調達しているが、安定的にそろわないため全体の2割程度に留まっている。集成材用原木は林地で2メートルに採材するため搬出コストが安く、従って購入価格も安い。

集成材製造上の問題点は、ラミナの人工乾燥の能力が小さいことである。現在導入されているのは、14m³の除湿式乾燥機1基のみであるが、今後生産量を増やす場合は、乾燥設備の増強が不可欠である。

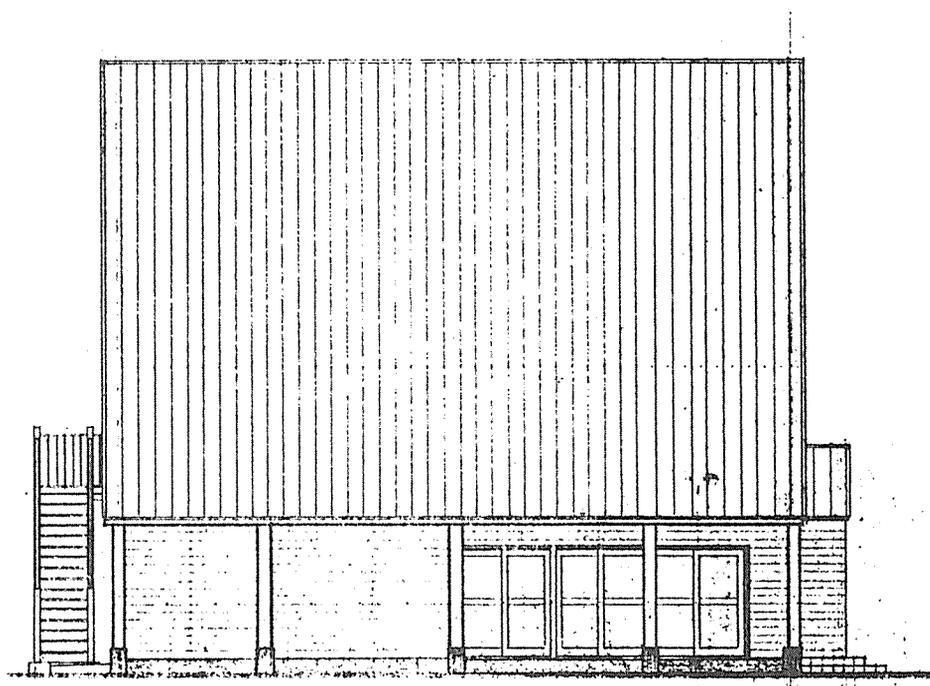
構造用部材としては、柱、梁を製造しているが、6m以上の梁については単位長4mの材を金物で接合している。構造設計上、強度等の問題点は今のところ発生していない。

デザイン面において、当案内施設は山をイメージして大きくみせるため登り梁を用いた構造とした。また、造作材としても集成材を使っているが、単調にならないようラミナの方向性を活かし、変化を持たせた。

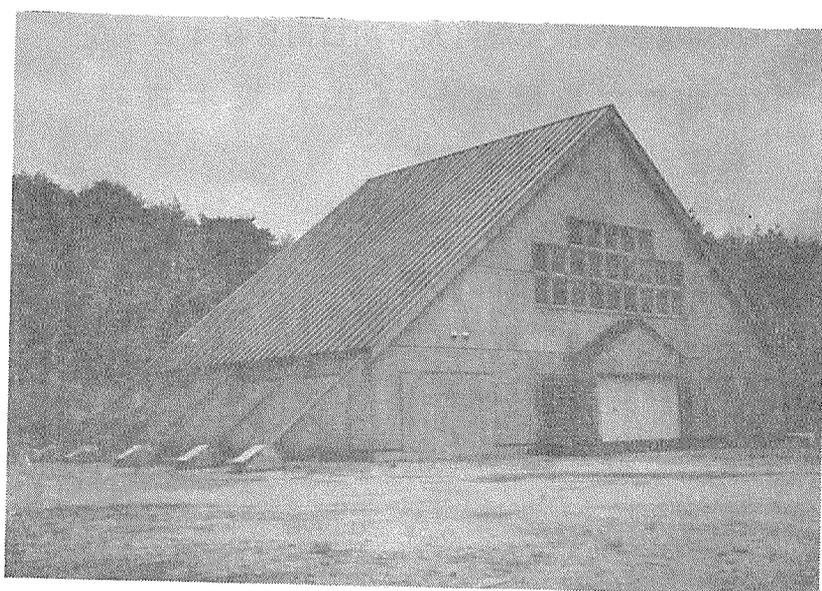
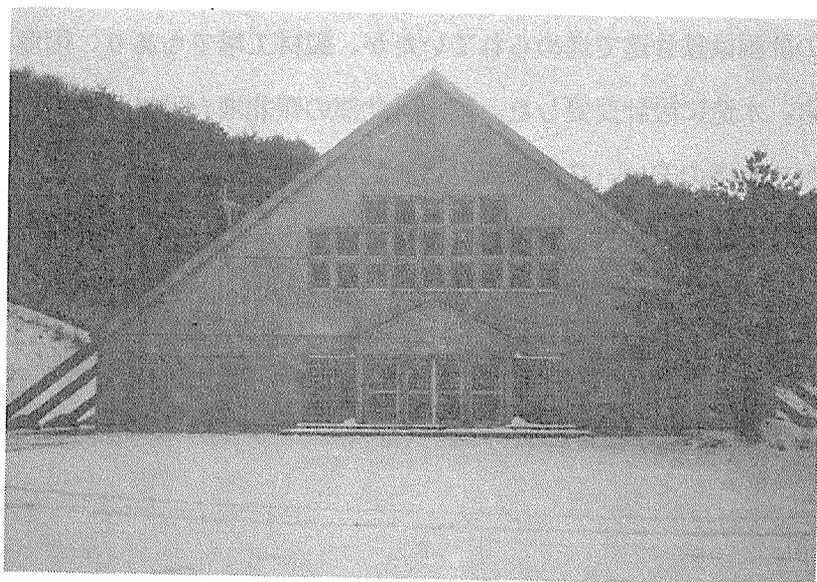
価格的には、10万円/m³程度のものを製造している。今後増産体制を取ればコストは下げられるが、人員確保等の問題もあり、当面計画はない。



立面图



立面图



塚原高原総合案内施設（徳島県）

6. 1 1 高知県の事例・・・・・・製材工場

1) スギ集成材を用いた建築物の設計主旨と特にスギ集成材を使用した理由

当初の計画は鉄骨造で進められていたが、製材工場でもあり、国産材使用の主旨から、木造に設計変更した。高知県北部の嶺北地方はスギの産地でもあり、桧に比べて価格の安い、スギ集成材に決定した。

日本の茶室建築に代表される、スギ材の醸し出す侘び寂びと独特のエネルギーは、心の落ち着きを与えてくれる。

柱梁の継手部分の剛性の必要上、湾曲材として集成しなければ成らなかった。

2) 代表的なスギ集成材を用いた建築物の建築概要

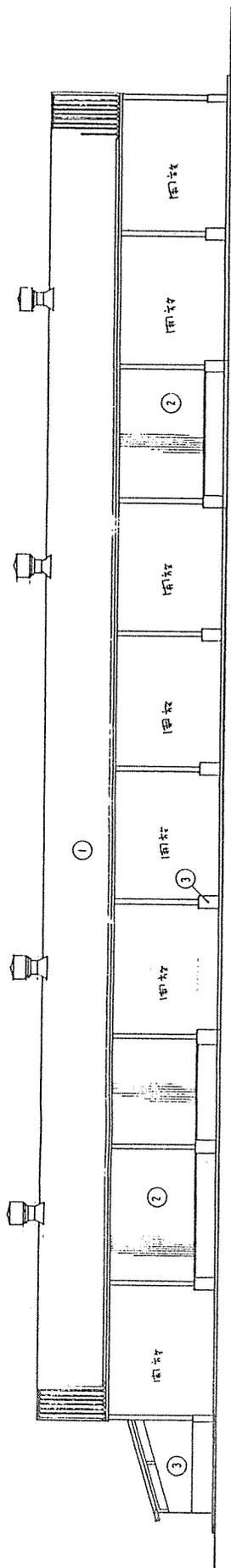
所在地	高知県長岡郡大豊町大字川口南2042-6		
建築主	嶺北林材協同組合（代）坂本雄祺		
設計	浜住一級建築士事務所		
施工	株式会社 浜 住		
納材	ハマシウセイ株式会社		
建物用途	製材工場		
地域地区	都市計画区域外		
構造方式	木 造		
高さ	最高 7.400m	軒高	4.750m
面積	建築 1020.66㎡	延床	997.86㎡
工期	昭和62年12月1日 - 昭和63年3月31日		
総工費	¥62,000,000-		

3) 設計事例建築物の構造用集成材の使用状況

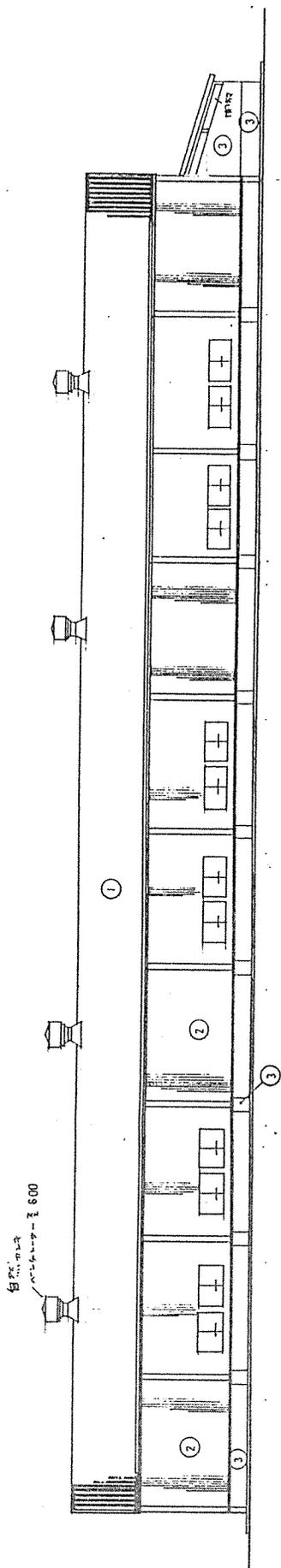
部 位		柱	梁	ア ー チ	
形 状	直、ア-チ	ア ー チ	直		
寸 法	長 さ	6,650	7,000		
	せ い	650	600		
	幅	180	180		
樹 種		ス ギ	ス ギ		

4) スギ集成材の製造および使用上、気が付いた点

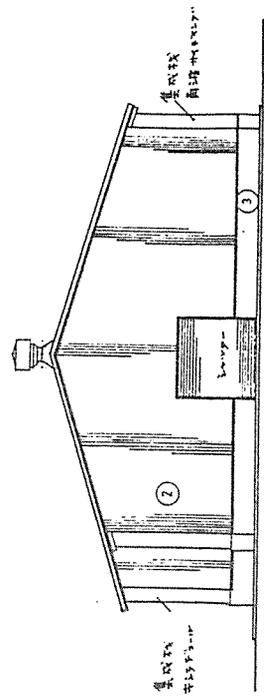
- ・ラミナの購入 現実には長野県からの購入であり、スギのラミナを集めるのに時間が掛かった。
- ・ラミナの乾燥、接着など 取り立てて問題は無かった。
- ・集成材の製造上 材の湾曲時に時間、手間が掛かる。
- ・取扱、運搬上 トンネル通過の高さが問題になった。
- ・施工、建方上 キズが付きやすいので神経が疲れる。
- ・構造設計上 強度、ヤング係数が他樹種に比べ低いが 価格が安いので採用した。
- ・デザイン的には 柔らかい構造体が得られ、親近感が増す。
- ・价格的には 鉄骨造に比べて多少割高になる。



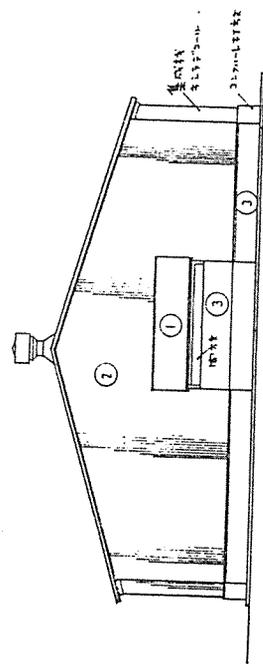
西立面图



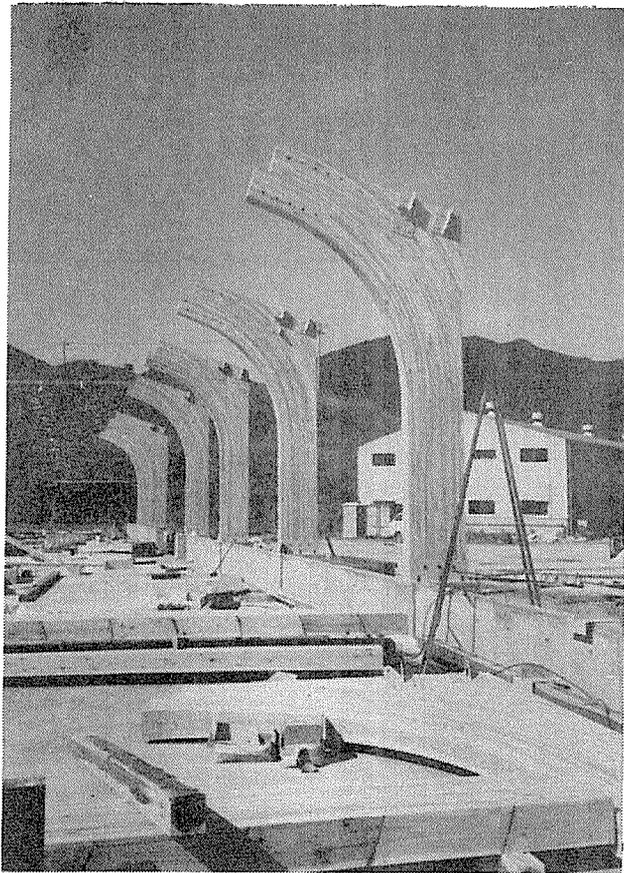
东立面图



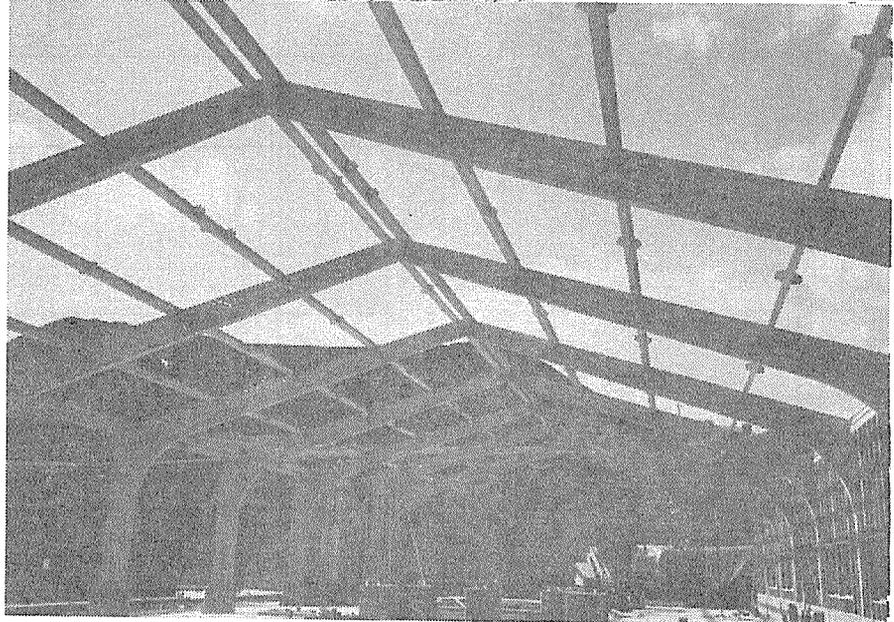
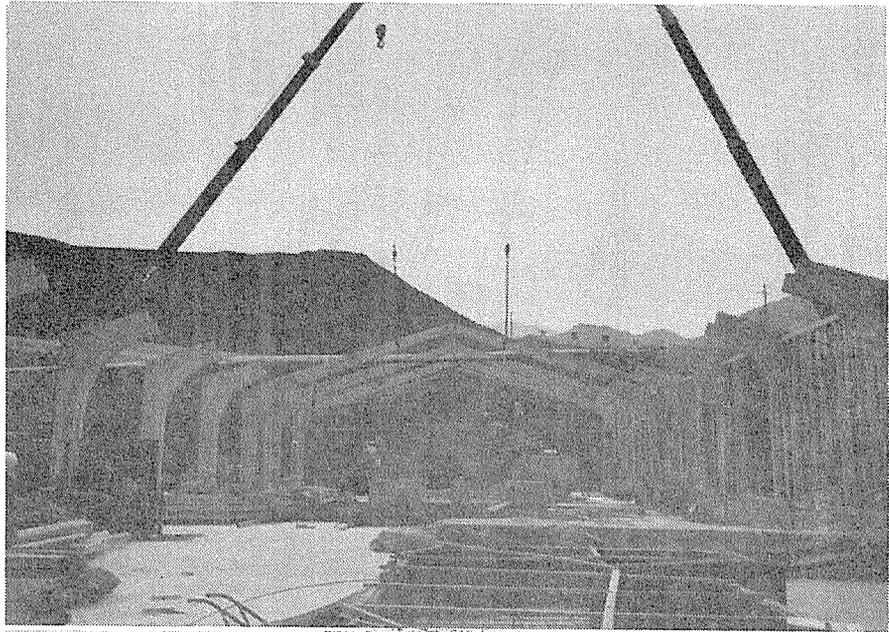
南立面图



北立面图



嶺北木材協同組合製材工場
の建方（高知県）



6. 1 2 スギ集成材の加工性・施工性

実際にスギ集成材を製造したり、集成材建物を施工した経験より、スギ集成材の加工性や施工性についてまとめる次のとおりである。

1) スギ集成材の製造

①現状では、スギラミナは流通品でないため納期に時間（例えば45日～60日）がかかる。乾燥にも時間を要し、発注形態も含めてかなり以前から準備しておく必要がある。

②ラミナ強度は、J A Sを満足するには樹齢50～60年生の丸太が必要である。

③上級ラミナの割合が少ないので、集成材の製造に苦勞した。

2) 加工性

①材質が軟らかいので加工はしやすく、刃物の減りは少ない。

②刃物を良く研磨しておかないと、切削肌が悪くなるので、研磨の管理が肝要である。

③刃物が逃げないので、ベイマツ等より精度をだしやすい。

④春材、秋材の密度差がはっきりしているため、加工しにくい面もあり、化粧的にも色むらとなり歓迎されない面もある。

3) 輸送運搬

①材が軟らかいので、積み降ろし、荷造り、結束固定などの場合に、材に傷をつけないような配慮は、他の材より一層必要である。

②一度に運べる材積は、密度の軽い分だけ、多く運送可能となる。

4) 現場建方

①材に傷がつき易いので、建方時のつり上げ、つり下げ等には布帯や材面を保護する治具を用いて作業を行うと共に、十分な養生を行う。

②建方作業にはクレーン等の揚重機械を用いるため、密度が軽いためのメリットは殆どない。

6. 1 3 集成材建築物の防腐・防蟻処理および塗装

6. 1 3. 1 集成材建築物の耐久性

(1) はじめに

集成材建築物の耐久性は、それらを構成する材料の耐久性能に大きく支配される。すなわち集成材の構成材である木材(ラミナ)の生物劣化(腐朽・蟻害)、接着層の劣化、および接合部に使用される金物類(構造金物、ボルト等)の劣化(腐食)等である。スギ材の耐久性については2. 8に述べているが、建築物になった場合に特にスギだけの仕様があるわけではないので、ここでは建築物としての一般的な対応について示す。

接着層の耐久性に関しては、現状では明確に耐久性を評価することは難しいが、木部と同様に使用環境が重要な要因となる。実態調査の結果等では約20～25年は十分な耐久性を有していることが明かとなっており、諸外国の例をみても現存する集成材建築物では取り立てて使用上の支障を生じていないものが多い。

構造金物に関しては、雨水の侵入や結露の発生等によって金物が錆びたり、また金物の形状によっては、金物内の集成材がそれらの水分によって腐朽や蟻害を生ずる可能性もあり得るので、防錆処理が耐久性を高めるうえで重要となる。

建物の耐久性に影響を与えるこれらの劣化は、それが発生するような環境を作らないことが大事であり、建物の計画、設計、施工時、さらに維持管理において耐久性に対する十分な配慮が必要である。ここでは、現状での集成材の耐久性を高める方法である集成材の薬剤処理についてその留意点を述べる。

(2) 木造建築物の防腐・防蟻処理

木造建築物の防腐・防蟻処理は、建物の建設地域によって図6.13-1に示すような区分が決められている。また、建物内においては、水を使用する部位や水がかかり易い部位などは劣化外力が強く作用するため、それ以外の部位よりも防腐・防蟻処理を慎重に行う必要がある。薬剤の選択にあたっては、構造金物などを腐食させないような薬剤および濃度を用いる必要がある。また、薬剤処理の場合、ラミナへの薬剤の浸透性が重要となるが、樹種や辺材(浸透しやすい)・心材(浸透しにくい)の違いによって、薬剤の浸透性が異なるため薬剤メーカーの仕様に従うのが良いとされている。なお、参考として、表6.13-1に樹種の違いによる薬剤の浸透性の差異を示す。

(3) 集成材の防腐・防蟻処理

集成材の防腐・防蟻処理の方法は、概ね次の3つに大別できる。第1はラミナを薬剤処理してから集成化する的方法、第2は集成材を製造後、工場での薬剤処理をする方法、第3は現場において処理する方法である。

通直集成材の場合には、何れの方法も採用可能であるが、最も有効的なのはラミナの段階で薬剤を加圧注入処理してから集成化する的方法である。この場合、接着力を低下させないような薬剤の選択が重要である。

彎曲集成材の場合には、集成材製造後に薬剤を加圧注入処理することは、ほとんど不可能であり、ラミナを加圧注入処理してから集成材化する的方法が好ましい。そのため、薬剤が未処理で製造された場合には、現場での塗布処理を行わざるを得ない。

なお、現場での処理方法については、塗布や吹付けが主であり、浸漬は柱脚部分の木口面等に適用が可能である。

(4) 集成材の薬剤処理

薬剤の種類は、現状ではクレオソート油または、CCA系の防腐剤が主になると考えられる。また、薬剤の選択は、集成材が使用される用途や部位によっても異なるが、一般的にCCA系の薬剤は美感を重要視する場合に用いられるようである。材料に干割れを生ずる可能性があるが、薬剤を塗布後、防腐剤が混入された油性塗料を塗布し、発水性を高めることにより回避できる。また、屋外で雨風に直接さらされ、人間が直接触れない箇所にはクレオソート油で処理することが多い。

薬剤の再処理については、使用された薬剤の効力持続期間を基準にして、定めるのが一般的である。現場処理(クレオソート2回塗布)の場合、現状では効力持続期間が9年間程度であることから、これを目安として再処理年数を設定するのがよい。また、再処理に際しては、集成材が露出していれば、それだけ作業がしやすく、再処理の効果も上がることから、建物の耐久性上重要であると考えられる部材については、再処理が容易に行えるように、部材等を露出しておくなど設計時の配慮が肝要で、このことが、建物の耐久性を向上させる結果にもつながると思われる。

表6. 13-1 心材の浸透性による分類

産地	良 好	やや良好	困 難	きわめて困難
日本材	ヒバ	アカマツ、クロマツ、スギ、ツガ、モミ、シオジ、	エゾマツ、トドマツ、トウヒ、ヒノキ、ケヤキ、ブナ、ミズメ、ヤマザクラ	カラマツ、カツラ、キハダ、クリ、クヌギ、クスノキ、コナラ、セン、ミズナラ
北米材	ボンデンローサマツ、レッドウッド、レッドオーク、	ダグラスファー(コースト)、ウェスタンヘムロック、チェストナット、オーク、	イースタンヘムロック、ロジボールパイン、シトカスプルー、ノーブルファー、ホワイトファー、イエローポプラ	ダグラスファー(マウンテン)、ノーザンホワイトシーダー、タマラック、ウェスタンレッドシーダー、ホワイトオーク
南洋材	アピトン、バクチカン、バルサ、クルイン、マンガシノロ、パラゴムノキ、ラミン、ホワイトラワン、ホワイトメラランチ、	マヤピス、メラワン、イエローメラランチ、イエローターミナリア、	カプール、チーク、	ダークレッドメラランチ、マホガニー、レッドラワン、レッドメラランチ、タンギール、ニューギニアウォールナット、バルサ、

良好は1㎡あたり301kg以上、やや良好は201～300kg、困難は101～200kg
 きわめて困難は100kg以下 (出典：木材工業ハンドブック改訂3版、p 769)

表6. 13-2 建設地別の防腐・防蟻処理並びに土壌処理の適用区分

建設地区分		木 材		土 壌
		加圧注入処理木材	現場で行う処理	
I	沖縄、九州、四国、中国、近畿及び愛知県、静岡県	製材の日本農林規格 ¹⁾ の防腐・防蟻2種処理材以上	塗布または吹付けによる防腐・防蟻処理	土壌処理を行う
II	関東地方及び岐阜、長野、山梨県	製材の日本農林規格 ¹⁾ 防腐・防蟻2種処理以上、またはJIS規格 ²⁾ による木材	塗布または吹付けによる防腐・防蟻処理	ほとんどの地域で土壌処理を行う
III	福井、石川、富山、新潟、山形、秋田、岩手、宮城、福島県		塗布または吹付けによる防腐・防蟻処理	一部の地域で土壌処理を行う
IV	北海道、青森県	製材の日本農林規格 ¹⁾ の防腐3種処理材以上、または、JIS規格 ²⁾ による木材	塗布または吹付けによる防腐または防腐・防蟻処理	必要に応じて土壌処理を行う

注 1)農林水産省告示第406号(昭和56年3月19日)
 2)日本工業規格A 9108「土台用加圧式防腐処理木材」
 3)加圧注入処理木材と現場で行う処理と併用する場合は、各々の区分による。

6. 1 3. 2 塗 装

(1) 目 的

塗装は、デザイン上の美観だけでなく木材素地の保護の立場からも必要である。塗装は、塗膜を形成することにより水分に起因する急激な膨張、収縮を軽減し、素地の狂いや亀裂を防止する。また、紫外線、熱線及び各種汚れなどが素地木材を透過するのを妨げやけ、変色を防ぐ。

(2) 木材塗装の工程と特長

1) 素地調整

素地調整は、塗装に不適當な素地を塗装に適するように処理することであり、例えば素地木材の材種、材色、含水率、欠点の有無、厚さ、汚染除去、漂白などを調整する作業である。地味な作業であるが十分な素地調整が行われていれば、作業能率を高め、各工程におけるトラブルも少なく、良好な塗装仕上げができる。

素地研磨は、素地調整の中でも重要であり、次のようなことに注意して行う。

- ・ ドライ研磨が一般的である。
- ・ 研磨は小さい圧力で行う。
- ・ 羽毛を除去する。
- ・ 研磨粉を除去する。
- ・ 全面を均一に研磨する。

2) 目止め

目止め剤により導管孔を主に充填することにより、塗料の材中への浸透を防ぐとともに仕上がりむらを防ぐ。

3) 下塗り

下塗りは、木材素地の水分による膨潤収縮を減少させ、木材中に浸透することにより、上塗り塗膜の形成を促し、木材と上塗り塗料の付着性をよくする。

一般に下塗り用塗料は、ウッドシーラーを用いる。

4) 中塗り

中塗りは、目止め又は下塗りにより完全にシールされなかった部分及び塗膜の目痩せによって生じた凹部を充填し、平滑な上塗り塗膜をつくり易くする。サンディングシーラー研磨の標準粒度は#240～#320が一般的である。

5) 上塗り

上塗りは、最後の総仕上げであり、塗りむら、ゆず肌、ぶつぶつ、光沢むらなどが発生しないようにする。

なお、塗装作業は、できるかぎり塗装環境や作業能率のよい工場で行い、現場では最小限の作業を行うのが望ましい。表6. 13-3にJASSで示す木質素地用塗り工法の選定の目安を示す。

表6. 13-3 木質系素地用塗り工法の選定の目安

