

平成11年度 農林水産省補助事業  
ティンバーエンジニア養成事業

# ティンバーエンジニアマニュアル作成事業報告書

## (エンジニアードウッドの品質性能)

平成12年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



## はじめに

「エンジニアードウッド」、「エンジニアリングウッド」あるいは「EW」といった用語が、わが国の木材関連業界内で使われ始めたのは、1980年代の後半であった。時まさに、大断面木造が可能となり、わが国の木造建築が戦後延々と続いた暗黒時代から脱却しはじめた頃であった。

よく知られているように、この時期を境にしてEWの市場は、急激に拡大してきた。現代の木質構造は、もはやEW抜きには成立しないといっても過言ではない。

ただ、残念なことにEW導入の揺籃期において生じた用語の混乱が尾を引き、今なおEWに関する誤解が残ったままである。特に「EW=木質材料」という不正確な認識は、製品の適切な利用や製品・用途開発の障害になっていることも多いようである。

本書は、EWの本来の意味とその技術的背景、さらには各製品の特性、製造法、利用法などについて、出来るだけ易しく解説したものである。特に、図や写真などを多用しているところが本書の特徴である。

なお、2000年3月末現在、建築基準法の性能規定化などに伴う様々な建築関連法規の見直し作業が進行中である。当然、EWに関する法的背景も変化することが予想される。とりわけ、製材等に関する許容応力度の見直しが進行中であること、許容応力度などの単位系がCGSからSIに移行中であること等々、本書の内容に大きく関わる部分が、改訂される可能性も高い。

したがって、本書の中で述べている法令、基準などに関わることは、あくまでも現時点での内容であることをご承知おきたい。また、引用されている許容応力度などの数値を実務等に使われる場合には、最新の資料を再度検討の上お使いいただくようお願いしておきたい。



## はじめに

I. EWの基礎知識	1
1.1 用語の定義	1
1.2 EWとは	2
1.3 木質材料とは	3
1.4 戦後の木質建材の歴史(製材→木質材料→EW)	5
1.5 EW登場の背景とここ10数年の歩み	6
1.6 EWの利点	7
1.7 接着とVOC	8
1.8 EWに対する誤解	9
1.9 EWの利用にあたって	11
II. EW化技術	13
2.1 EW化技術とは	13
2.2 強度等級区分	14
2.3 集成加工による積層効果	17
2.4 原料エレメントの細分化	18
2.5 たて継ぎ	19
2.6 配向	21
2.7 プルーフローディング	23
2.8 実大実験	25
2.9 シミュレーション	26
III. 各製品の製造、性能、利用	30
3.1 MSR材	30
3.2 構造用たて継ぎ材	32
3.3 構造用集成材	36
3.4 構造用LVL	52
3.5 PSLとOSL	60
3.6 Iビーム(I-Beam)	65
3.7 OSB	68
3.8 構造用合板	72
3.9 その他のEW	75

IV. EW製品の現状と今後	79
4. 1 EWと金物工法	79
4. 2 EWの耐久性と信頼性	84
4. 3 EWおよび木質材料の原料としてのスギ材	94
4. 4 EWと品確法	105
4. 5 木質構造研究の進展	109

## I . EWの基礎知識

### 1.1 用語の定義

本題に入る前に、ここでEWと類似の用語の定義を明確にしておく必要がある。

まず、「木質建材」というのは、木材を主材料にした建築材料全般のことを言う。これとよく似た用語に「木質材料」がある。木質材料（Wood-based Materials）は、若干の例外はあるものの、一般には原料である木材をより小さなエレメントに分解して乾燥し、その後、接着により再構成した製品のことをいう。木質材料は、力のかかる構造部材として使われる構造用と、造作や化粧材に使われる造作用の2種類に大別される。

これらとは別に、工学的な手法によって強度性能が計算・評価・保証された木材製品のことを、「エンジニアードウッド」あるいは「エンジニアリングウッド」という。なおEWとは、両者の頭文字をとった略語である。

両者はかつて、用語を使う人や製造する企業の思い入れ、さらには言葉の持つニュアンスなどのために、混乱して使われていたが、現在では全く同じ意味を持った用語として扱われるようになった。

あえて両者について蛇足的な説明を付け加えると「エンジニアードウッド」は英語で言う「Engineered Wood Products」を日本的に省略したところから派生した用語であり、「エンジニアリングウッド」は「エンジニアリングプラスチック」や「エンジニアリングセラミックス」などをイメージして派生した和製英語である。

また、欧米における「Engineered Wood Products」については、未だに用語の定義がなされていない。このため、わが国の揺籃期のような混乱が続いており、英語を母国語とする欧米人の中でも、認識の違いが見られる。

はじめに述べたように、EWの揺籃期には木質材料とEWとが混同されることが多く、一般的な著書や文献のなかにも、そのような記述がなされていることも散見されたが、英語の違いからも明らかなように、両者は本来別の意味を持った用語である。もちろん、互いに深くオーバーラップした部分がある。例えば、構造用集成材や構造用LVLは、構造用木質材料でもあるし、EWでもある。

時々、EWの訳語として「工業化木材」などと言う用語が使われていることもあるが、これは意味を取り違えた誤訳である。元来、EWの概念の中に「工業的に大量生産された」というような意味は含まれないからである。また、林業・素材生産関係では「性能資材」という用語が使われることもある。こちらの方が、

工業化木材よりもEWの本来の意味に近いが、いずれにしても、妙な日本語訳を使うよりも、EWという用語を直接用いた方が誤解を避けるためにも好ましい。

## 1.2 EWとは

EWの定義は先に述べたとおりであるが、もう少し、具体的なイメージを示すと図1-1のようになる。この図にあるように、まず強度性能を計算して、原材料の構成や断面などを決定し、その性能を評価し、さらにそれを保証するための様々な品質管理を行なった上で製造された製品がEWである。

逆に、構造用の用途を想定しておらず、強度に関する品質管理と保証がなされていないものは、非EWである。また、構造計算に不可欠な許容応力度などの値が設定されていないものも非EWである。

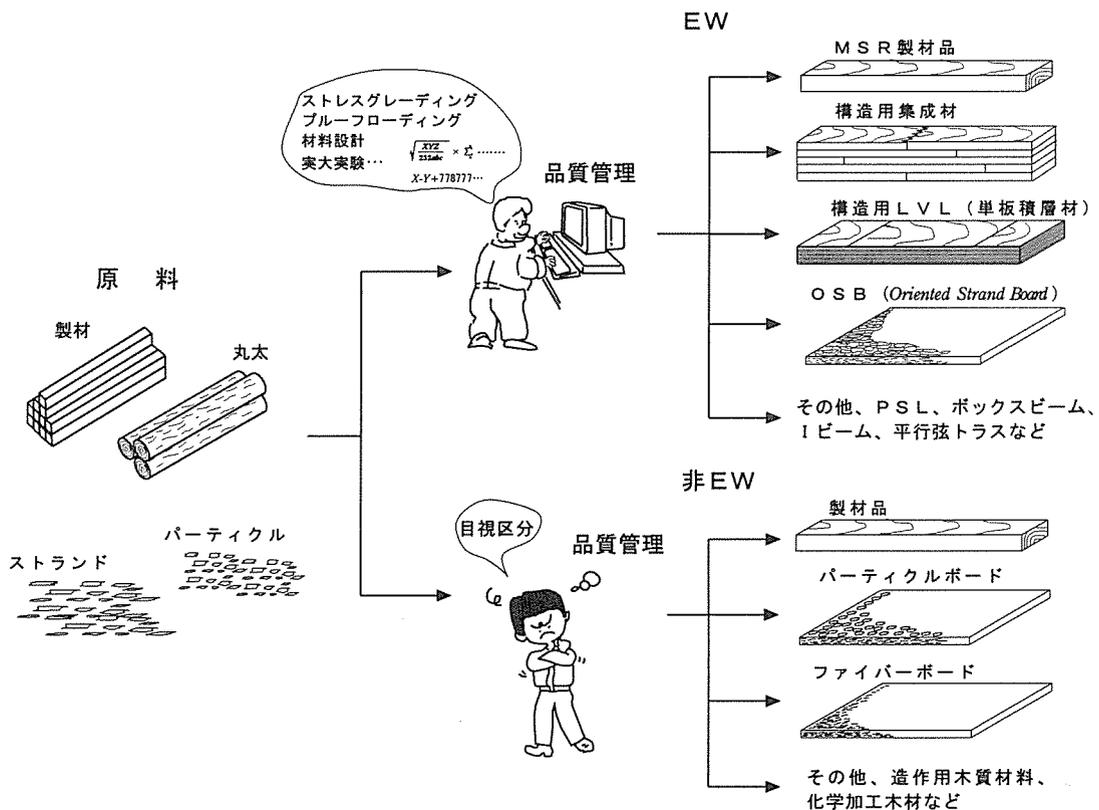


図1-1. EWとは

結局のところ、EWが従来からの木質建材とどこが違うかといえば、まさにその定義の通り、強度特性の信頼性が高いということにつきます。つまり、従来からの製品では構造用といってもその強度特性がはっきりせず、あまり信用がおけなかったのに対して、エンジニアードウッドでは強度特性が明確でかつそれが保証されており、安心して使うことができるのである。

このことは次項以下に説明する木質材料の意味やその発展の歴史などを知れば、容易に理解できる。

### 1.3 木質材料とは

木質材料は、すでに述べたように、原料である木材をより小さなエレメントに分解し、その後、再構成した製品のことである。一般にエレメントは気乾状態以下にまで乾燥され、再構成には接着剤が使われるのが普通である。

さて、木質材料の製造工程を模式的に示したものが図1-2である。ここでは、木質材料の中でも、細長い形状を持ったもの（軸材料とか軸組材料と呼ばれている）について示してある。

まず、木材を帯鋸や丸鋸などで切断して形を整えたものが、昔ながらの「製材」あるいは「製材品」である。当然これは定義から考えても木質材料の範疇には入らない。

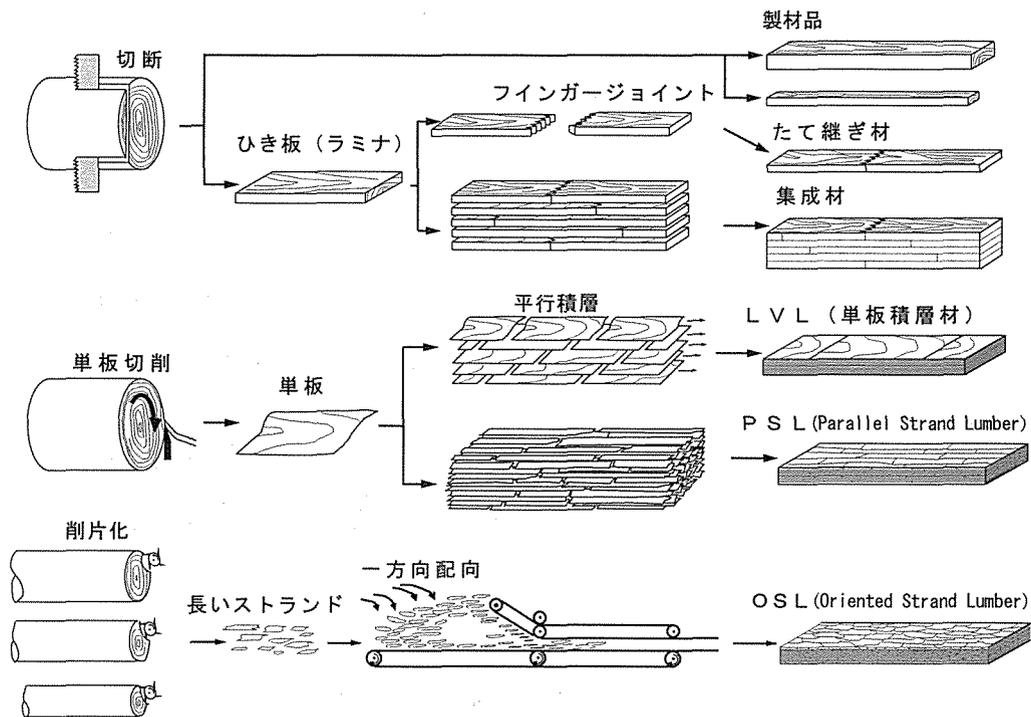


図1-2. 木質材料(軸材料)の製造工程

次に、製材したひき板や角材をフィンガージョイントによって縦方向に接着接合したものが、「たて継ぎ材」である。また、たて継ぎしてもしなくてもよいが、ひき板を何枚も積層接着したものが「集成材」である。

一方、ひき板や角材ではなく、丸太を大根のようにかつら剥きして作った単板（ベニア）を、軸と平行方向に積層接着したものが「LVL（エルブイエール：単板積層材）」、さらに、単板を縦に裂いて短冊状にしたもの（ストランド）を平行に積層接着したものがPSL（ピーエスエル：平行ストランド材）である。

これとは別に、小径の丸太から直接ストランドを取り、それを一方向に並べて

積層接着したものが、LSL（エルエスエル：積層ストランド材）である。

これら木質材料の特長としては、原料が小さくても長く太い製品にできること、乾燥されているのでくずれが少ないこと、均一性が高いので各種の性能が安定していることなどがあげられる。

図1-3は木質材料の中でも平面的な板として用いられる面材料の製造工程を示したものである。軸材料の場合もそうであるが、木材を鋸で切断して形を整えたものが、昔ながらの「製材」の「板」である。これは当然木質材料の範疇には入らない。

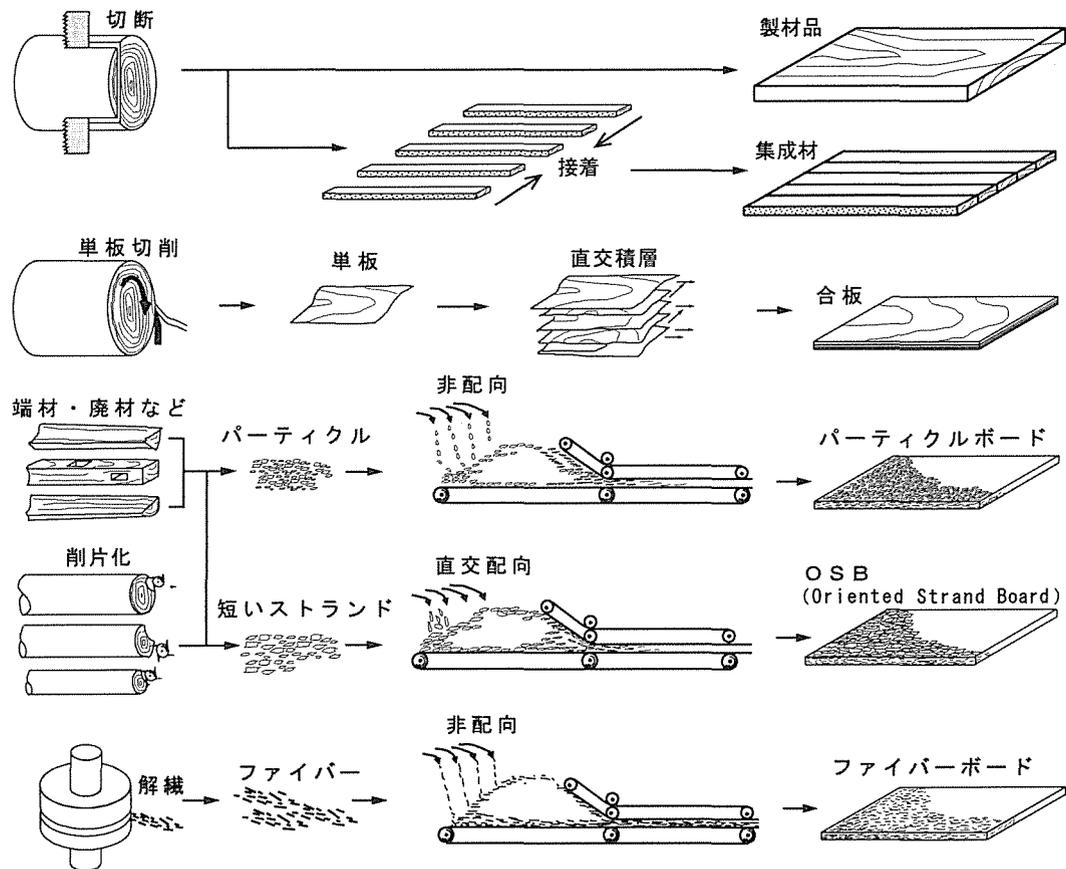


図1-3. 木質材料(面材料)の製造工程

幅の狭い板や角材を幅方向に接着したものが「集成材」である。集成材は軸材料としてばかりではなく、このような面材料としても使われることがある。

丸太をかつら剥きして作った単板（ベニア）を、各層ごとに方向を変えながら積層接着したものが、かの有名な「合板」である。合板はベニアから作られるので「ベニア板」、あるいはコンクリートの型枠に使用されるので「コンパネ」と俗称されることがあるが、よく知られているように、これらはいずれも正しい用語ではない。

使い途のない小径材や端材、あるいは建築廃材などを砕いて小片（パーティク

ル)にし、これを圧縮接着したものがパーティクルボードである。パーティクルボードの中でも、小径の丸太からストランド(名刺大の削片)を取り、これをトランプのようにうまく並べて(配向させて)、縦横に直交させながら積層接着したものが、OSB(オーエスビー:配向性ストランドボード)である。OSBはかつて使い途がなかった北米のアスペン材などを有効に利用できる製品として開発されたものである。

パーティクルよりもさらに木片を小さくして、繊維(ファイバー)にし、これを板状に固めたものがファイバーボードである。

これらの木質材料(面材料)、当然のことながら種類によってそれぞれ特性と用途が異なる。合板は寸法安定性と均一性を活かして、「板」が必要なあらゆる所に使われる。集成材は階段の手すりや木目を活かせるような家具に、パーティクルボードは家具の芯材や床下地に、OSBは強度の高さを活かして屋根や壁や床の構造用材に、ファイバーボードは均一性を活かして家具や自動車の内装などに用いられる。

以上の説明からも明らかなように、木質材料では一旦木材をエレメントにし、それを求められる性能が得られるように再構成する(Composite)ところに技術的な重点がある。英語で木質材料(Wood-based Materials)のことを、時に「Wood Composite Materials」とか「Composite Wood」などと呼ぶのは、このためである。

#### 1.4 戦後の木質建材の歴史(製材→木質材料→EW)

図1-4は代表的な木質材料を出現順に図示したものである。合板は戦前から存在していたが、合成高分子系の接着剤が使われるようになったのは戦後である。図からわかるように、集成材、パーティクルボード、ファイバーボードも昭和20年代後半には、すでに日本で生産されていた。

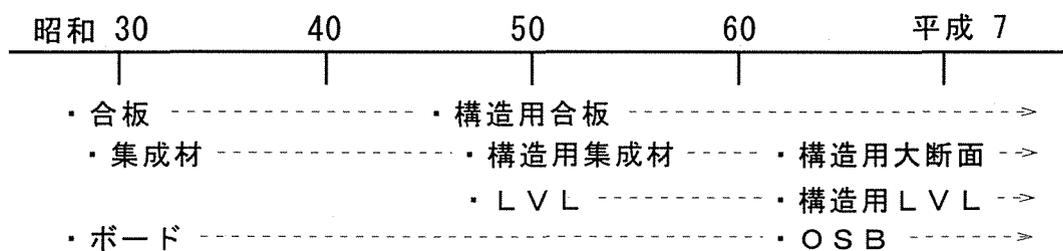


図1-4. 木質材料の変遷(戦後)

合板には当初、構造用・造作用という区分がなかったが、昭和40年代後半のツーバイフォー導入をきっかけとして構造用合板が登場した。同じころ、集成材

も構造用集成材と造作用集成材に分化した。その後、昭和 62 年（1987 年）の建築基準法改正を契機に構造用大断面をはじめとする様々な E W が出現してきたわけである。

このような木質建材の移り変わりを概略的に表現したものが、図 1 - 5 である。すなわち、木質建材には当初「製材」の板や柱しかなかったものが、戦後に合板やボードのような木質材料が加わった。その後、木質材料は化粧・造作用と構造用の二種類に分化し、さらにその中でも構造用が、強度に関する品質管理や保証方法などの技術的発展により、より信頼性の高い E W に進化したというわけである。同時に、信頼性工学の発展により「製材」の中でも非破壊的機械検査がなされている M S R 材や、構造計算により品質保証がなされ、構造信頼性の高いメタルガセットトラスなども、E W として認知されるようになったわけである。

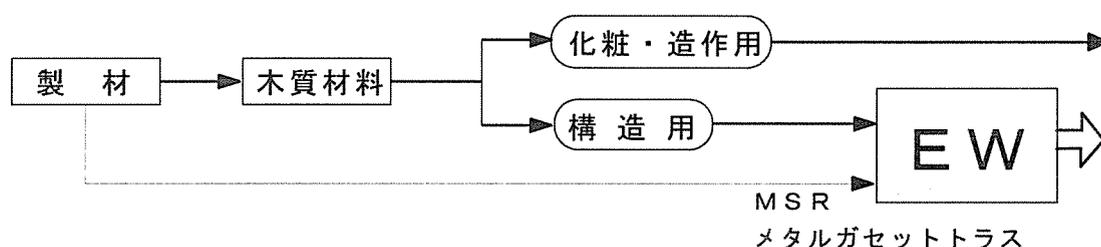


図 1 - 5. 木質建材の沿革（戦後）

### 1. 5 E W 登場の背景とここ 10 数年の歩み

先にも少し触れたように、わが国において E W が檜舞台に登場する契機となったのは、大規模木造建築が可能となった 1987 年の建築基準法の改正である。構造計算にきちんとのるような、すなわち、要求される強度性能を過不足なく満たすような木質建材が必要になったことが、E W 躍進の直接的な原因である。

もちろんそれ以前から、わが国にも構造用合板や構造用集成材といった製品は存在していたが、強度に関する品質管理や保証方法の技術的裏付けとなる構造信頼性工学が未発達であったため、これらの製品は正直なところ、強度特性の明確さという意味では、必ずしも十分なものとはいえなかった。

1987 年以降、E W に関するここ 10 数年の流れを見てみると表 1 - 1 のようになる。まず、建築基準法の改正と歩調を合わせて大断面集成材の J A S ができ、構造用パネルとしての O S B の J A S ができ、I ビームの第 38 条認定がなされ、構造用 L V L の J A S が決まり、構造用針葉樹製材品の J A S、M S R 材の J A S、そしてパララムとかフィンガージョイント材など、さまざまな E W の認定がなされたわけである。

表 1-1. EWに関するここ十数年の情勢変化

年	建築法規関連	規格など	代表的建築物
1986	建築省総プロ開始、木造学校施設に対する補助金引き出し		サミットハウス
1987	建築基準法	大断面構造用集成材のJAS 構造用パネルのJAS Iビームの38条認定	矢ヶ崎大橋
1988		構造用LVLのJAS	小国ドーム、シクロド' 博会場
1989	木造住宅合理化システム認定事業		海と島の博覧会メインステージ
1990			
1991		構造用針葉樹製材品のJAS 枠組壁工法用MSR材のJAS	八甲田ホテル
1992	内装制限見直しの告示	パララムの38条認定	スーパーハウス、出雲ドーム
1993	建築基準法改正 (準耐火)		信州カラマツドーム
1994	新世代住宅供給システム認定事業	枠組壁工法用縦つぎ材のJAS	
1995	<b>阪神・淡路大震災</b>		
		LSLの38条認定	
1996		構造用集成材のJAS大改正	台が峰木造車道橋、長野オリンピックスケート会場
1997			秋田大館ドーム
1998	<b>建築基準法の性能規定化</b>		
1999	<b>住宅の品質確保の促進等に関する法律</b>		

なお、改めて説明するまでもないが、北米における Engineered Wood Products の歴史はわが国のそれより 30 年以上も先行していたと考えてよいであろう。

## 1.6 EWの利点

各種のEW製品に共通する利点は、強度特性が明確で信頼性が高いことである。それ以外の利点として、長大部材である（構造用集成材、構造用LVL、PSLなど）、寸法安定性が良い（構造用集成材、構造用合板など）、安価である（構造用たて継ぎ材、OSB、OSLなど）、軽い（Iビーム、メタルガセットトラスなど）、耐火性能が高い（大断面構造用集成材、大断面構造用LVLなど）等々がある。

ただ、すべてのEWが上に述べたようなすべての利点を有しているわけではない。例えば、構造用集成材は製材に比べて高価であるし、OSBは合板に比べて寸法安定性が悪い。すなわち、製品によってその長所・短所は異なるのである。

このため、要求される性能、用途、さらには予算に応じて製品を選択することが最も重要である。安価であるからといって、寸法安定性が必要なところにOS

Bを使うのは避けるべきであるし、スギの製材で必要十分な用途に高価な構造用集成材を使う必要はない。逆に大空間や吹き抜け空間では、長尺物の構造用集成材や構造用LVLが必要であるし、高い壁倍率が必要などときには構造用合板を使わざるを得ない。

当然のことではあるが、EWの利点を生かすも殺すも、選び方・使い方次第である。

### 1.7 接着とVOC

これまで述べてきたように、EWの多くはベニアやひき板などのエレメントから構成されている。当然、エレメント同士はバラバラにならないよう接着剤で接合されている。

EWでは一般に高い耐久性・耐水性を持つレゾルシノール樹脂接着剤やフェノール樹脂接着剤などが使われる。したがって、造作用の木質材料のように使用条件、特に水分条件について神経質になる必要はない。ただし、構造用集成材のJAS規格に見られるように、昨今では使用環境条件によってきめ細かく接着剤の種類を変え、生産効率の向上や生産コストの削減を図る傾向にある。このため、従来のように「構造用＝屋外用」、「造作用＝屋内用」といった単純な区分は成立しなくなってきた。

また、近年VOC問題という、接着剤を使うがゆえの大きな問題が持ち上がってきた。

VOC（揮発性有機化合物：Volatile Organic Compounds）とは、アルコール類、アセトンのような溶剤類など、揮発性をもつ極めて多様な化学物質の総称である。新築のビルや住宅に入れば、その臭いで分かるように、室内の建材、施工剤、家具、生活用品から様々なVOCが放散されている。

近年これらのVOCが、のどの痛み、頭痛、アレルギー、最悪の場合には化学物質過敏症まで引き起こす一因となることが明らかになってきた。もちろん、単純にVOCといっても、その種類と量が問題であるが、あまりにたくさんの種類がありすぎて、どの程度まで許容できるのかといったことについてはほとんど解析されていないのが現状である。ただ、VOCの中でも、かなりの量を占めるホルマリンについては、わが国でも0.08ppmという空気濃度のガイドラインが出されている。さらに最近では、トルエン、キシレン、ベンゼンといった有機溶媒についても規制がかけられる傾向にある。

さて、EWの製造に使われるフェノール、レゾルシノール樹脂接着剤はホルマリンを原料にしている。したがって、ホルマリンの放出は確かに問題となるが、

造作用に多用されているユリア樹脂接着剤のように原料の一部が未反応のまま残って、放散されたりするようなことはない。また、EWは構造用であるから、使用される場所も家具や内装材のように直接室内にさらされることが少ないので、その意味でも比較的安心である。ただ、中小断面の構造用集成材等では、水性ビニルウレタン（水性高分子－イソシアネート系）接着剤のようなホルマリンを全く放出しない接着剤への転換が進んでいるし、構造用合板などでは放出量の少ないF<sub>0</sub>グレードへの転換が進んでいる。

## 1.8 EWに対する誤解

最初に述べたように、EWに関しては揺籃期に用語の混乱が生じたために、以下に示すような多くの誤解が生じている。これらの中には本書の中ですでに若干解説されているものもあるが、重要なことであるので、重複を恐れず、再度記載しておきたい。

**誤解その1：木質材料＝EWである。**

確かにEWの多くは、木質材料（木材を一旦エレメントに分解し、それを再構成した材料のこと）ではあるが、すべての木質材料がEWではない。例えば、一般的な合板や、造作用集成材、パーティクルボード、MDFなどは元々構造用として製造されていないので、EWではない。当然、これらの製品には許容応力度が与えられていない。ボード系材料の仕様書に書かれた強度値は単に製造の基準値であって、許容応力度ではない。

一方製材品であっても、これまでに述べてきたように工学的な手法によって強度性能が計算・評価・保証された製品ならば、EWである。例えばグレーディングマシンによって、工学的に等級区分された製材（MSR材）はEWである。

**誤解その2：EWは北米産である。**

EW導入の揺籃期には、EWといえば、北米産のIビームやOSBのことであると誤解していた人が多くいた。言うまでもなく、EWであることと、生産された場所あるいは原木の種類とは何ら関係はない。

**誤解その3：EWは強い。**

構造用集成材の大幅な生産量増加とともに、「構造用集成材の曲げ強度は製材の1.5倍である」というPRが行き届いてしまったので、EWといえばすべて強度が高いと誤解されることも多いようである。同様に、EWを使った住宅ならば、地震に対して強いというのも大きな誤解である。

EWは要求された性能を過不足なく発揮できるよう製造された製品であるというだけであって、それは絶対的な強度が高いということを意味するものではない。

ましてや、それを使って建築された住宅の地震に対する抵抗力、すなわち住宅の耐震性は設計や施工の問題である。

高い強度が要求されるところには高い強度性能を持った製品を、そうでないところには価格に見合った強度性能の製品を使うことが出来るのがEWの利点である。

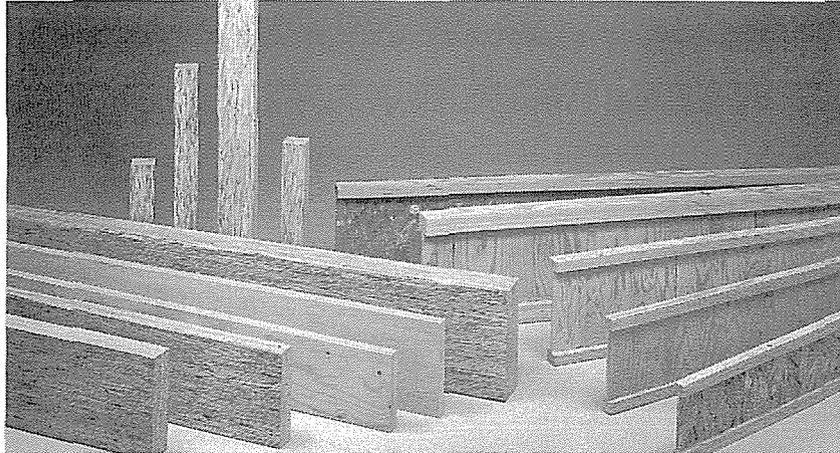


図1-6. 様々の北米産のエンジニアードウッド、右:Iビーム、下:OSL、左上:左からPSL(2種)、LVL(2種)、PSL (写真提供:トラス・ジョイスト・マックミラン社)

誤解その4 : EWは狂わない。

これも、誤解その3と同様、「構造用集成材は未乾燥の製材に比べて狂いが少ない」という認識が広まってしまったため生じた誤解である。もちろんEWを製造するときは乾燥した原材料(単板やひき板などのエレメント)を使うのが一般的であるが、それは寸法安定性が良い(狂いにくい)ことを直接意味するものではない。

一般に、接着の時に作用させる圧縮圧力が高いもの(ストランド系:図1-3を参照)では、製品になった後のはね戻り(スプリングバック)が大きいので、寸法安定性は良いとはいえない。もちろん、いわゆるズブ生の製材品に比べれば、寸法が安定しているといえようが、そのような比較をすること自体が無意味である。ともあれ、EWの寸法安定性は製品によって異なるので、使用・施工時には、各製品それぞれについての注意が必要である。

同様に、EWの吸放湿性も、MSR製材、構造用たて継ぎ材、構造用集成材のようにムク材と全く同じものから、ストランド系のように吸放湿を出来るだけ避けるようにしたものまで様々である。

誤解その5 : EWは耐久性が高い(あるいは、逆に耐久性が低い)。

構造用集成材は木造橋のようないわゆるエクステリアウッドとして使われることも多い。このためか、EWといえは単なる製材よりも耐久性が高いと誤解され

ることがある。しかしながら、EWとはいえ木材は木材なので、何も防腐処理が施されていないければ、耐久性は製材のそれと大差ない。

逆に、EWは接着しているから耐久性が低いという誤解も多い。EWの製造に使われる接着剤は基本的に耐久性の高いものばかりであるから、耐水性の低いユリア樹脂接着剤が使われている普通の合板、造作用集成材、パーティクルボードなどに比べ、製品としての耐久性は高い。エクステリアのような非常に過酷な用途は別にして、雨・風・紫外線が直接作用しない構造部材では、その耐久性は半永久的であると考えても差し支えない。

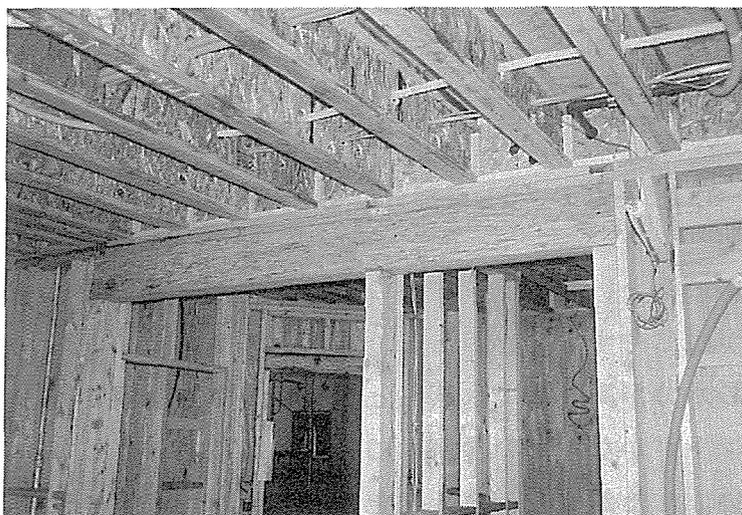


図1-7. スーパーハウスに用いられたEW、床の梁がIビーム、まぐさがPSL

**誤解その6：EWは省資源的である。**

これはパーティクルボードやファイバーボードがEWであると考えたための誤解である。一部の木質材料では、いわゆる残廃材を原料に利用できるし、造作用の集成材などでは、そのままでは製品にならない原料を製品にできるわけであるから、省資源的とは言える。しかしながら、一般的なEWの製造工程では強度性能を保証するために原材料が厳選され、加工によって歩止りの低下が生じる。例えば、構造用集成材の丸太に対する歩止りはせいぜい40%程度である。残りの60%以上は、乾燥による目減りや、鋸屑・鉋屑になって消えてしまう。このことからわかるように、原料面から見ればEWは一般的な製材よりもむしろ浪費的である場合もある。

### 1.9 EWの利用にあたって

EWを利用する上で、最も重要なことは、とにかくその製品についての知識を深めておくことである。先にも述べたように十把一絡げで「EWとは、こんなも

のだ」と思いこむことが一番危険である。マニュアルを無視し、手前勝手な思いこみとか、これまで製材品を扱ってきたときの経験や勘だけで、施工してしまうと、致命的なクレームを生じることになりかねない。

例えば、図1-8のようにIビームの上下のフランジ部分に切り込みや切り欠きを入れたりすると、所定の強度と剛性が得られない。

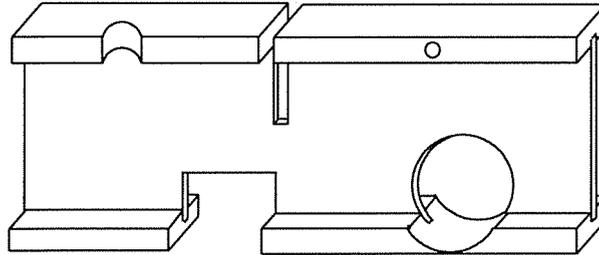


図1-8. Iビームのフランジ部分に切り欠きを入れることなどは厳禁

もう一例をあげると、ストランド系のOSBやパララムで、製材とは逆に、吸湿による膨潤が生じやすいことがある。これらの製品では圧縮硬化時におけるパンク（木材中の水分が高圧下で水蒸気となって一気に解放される現象）を避けるため、エレメントがかなり低い含水率に調整されている。このため、一般に製品の含水率も低い。したがって、OSBをあまりにもきっちりと隙間なく並べて施工してしまうと、膨潤したときに逃げ場がなくなって浮き上がってしまうこともある。

EWの接合についても、上と同様にそれぞれの製品について、ノウハウを蓄積する必要がある。例えば、構造用LVLでは原材料に単板を用いているので、集材材に比べれば繊維方向（軸方向）に沿った割れが入る可能性が高くなる。したがって、ボルトなどで接合する場合は端部までの距離を幾分長めに設定しなければならない。また、接合金物の隠し方や積極的なデザイン化なども製品によってそれぞれ異なる。

とにもかくにも、その製品がどのような原材料で、どのような製造工程を経て製造されているのか、そしてその結果どのような特性を持っているのかを十分知ることが、EWを使いこなすための第一歩である。

## II. EW化技術

### 2.1 EW化技術とは

EWの最大の特徴は、従来からの木質建材よりも、強度特性の信頼性が高いことにある。このことについては、前章で述べたとおりであるが、もう少しこの特徴を具体的なイメージとして表現すると、図2-1のようになる。

強度に関する品質管理のなされていない木材や木質材料では、図の破線のように強度のバラツキが大きく、またその分布がどのような状態にあるのかが明確になっていない。これに反してEWでは、強度のバラツキが小さく、また強度分布が明確である。

何故このように強度分布が明確であることが信頼性の高さにつながるかというと、非常に大ざっぱに言えば、分布が明確でなければ、いつ壊れるかもしれないのに対し、明確であれば、それなりに安心していられるからである。

経済性から見れば、分布が明確でないと、安全を見越さざるを得ないため、不経済な構造になるのに対し、明確でバラツキが小さければ、合理的な設計が可能となるからである。

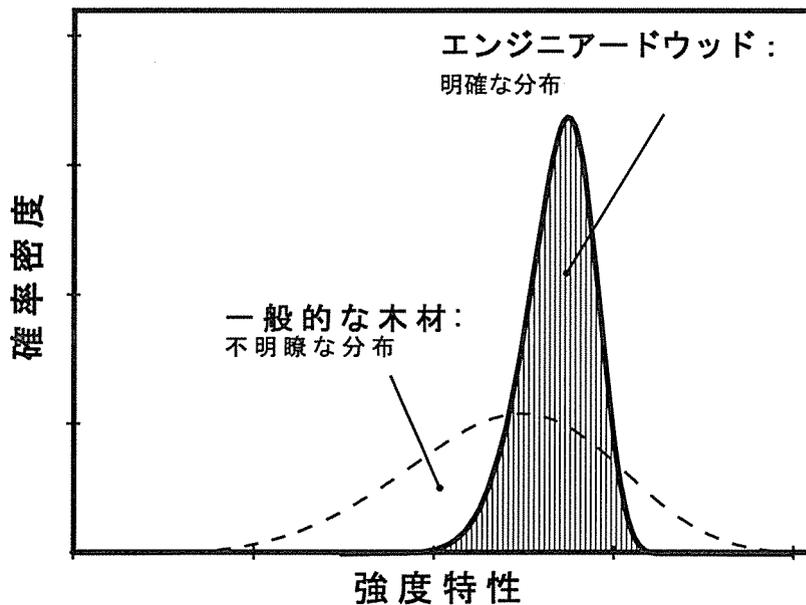


図2-1. EWと一般的な木材製品との相違点

さて、このように何らかの手法を用いて木材・木材製品の性能のバラツキを減少させ、生産工程において、製品の強度性能を明確に予測し、それをコントロールするための技術をEW化技術という。いいかえれば、単なる木材製品を「強度性能が計算・評価・保証された」製品に転換させるための技術がEW化技術である。

E W技術は、バラツキを減少させるための技術、強度そのものを向上させる技術、強度性能を明確化させるための技術に分類される。この原理を分類して表2-1に示す。以下、これらの技術について解説する。

表2-1. エンジニアードウッド化技術の原理

<p>バラツキ減少のための技術</p> <p>2.2 強度等級区分</p> <p>2.3 集成加工による積層効果</p> <p>2.4 原料エレメントの細分化</p> <p>強度向上のための技術</p> <p>2.5 たて継ぎ</p> <p>2.6 配向</p> <p>強度性能明確化のための技術</p> <p>2.7 プルーフローディング</p> <p>2.8 実大実験</p> <p>2.9 シミュレーション</p>
--

## 2.2 強度等級区分

ある木材を性能別に区分することを「等級区分」、とくに強度の大小で分けることを「強度等級区分」という。

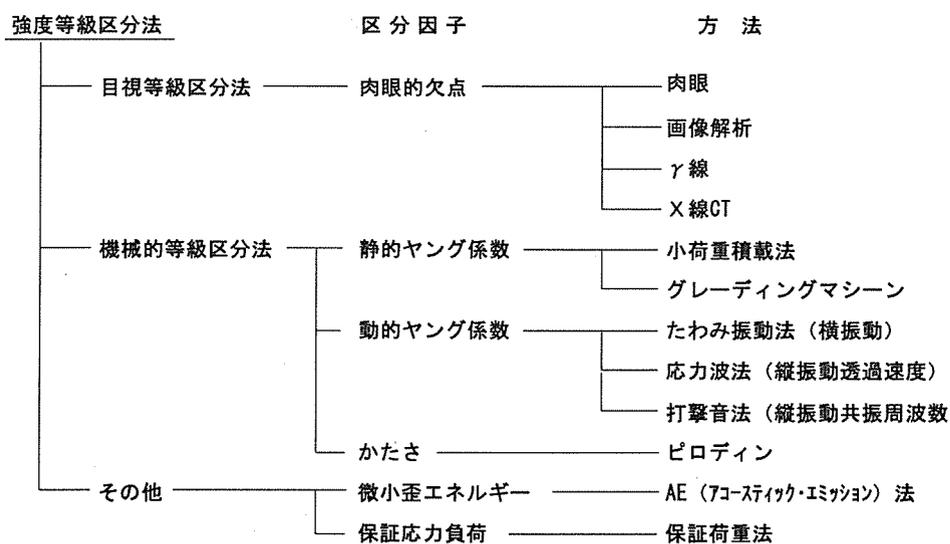


図2-2. 木材の強度等級区分法の分類

「強度等級区分法」を分類すると図2-2のようになる。目視等級区分法とは、外観から確認できる指標、例えば節の大きさなどによって、等級を区分するものである。一方、機械等級区分法は、視覚的には検知できないが強度性能と相関の高い材質指標によって等級を区分しようとするものである。

ただ、一般的に強度等級区分というと、機械的等級区分法、特に木材の曲げヤング係数（MOE：Modulus of elasticity）と強度の間にある強い相関関係（図2-3）を利用して、非破壊的に計測可能なMOEの仕切り値を決め、強度の区分を行うを指すことが多い。

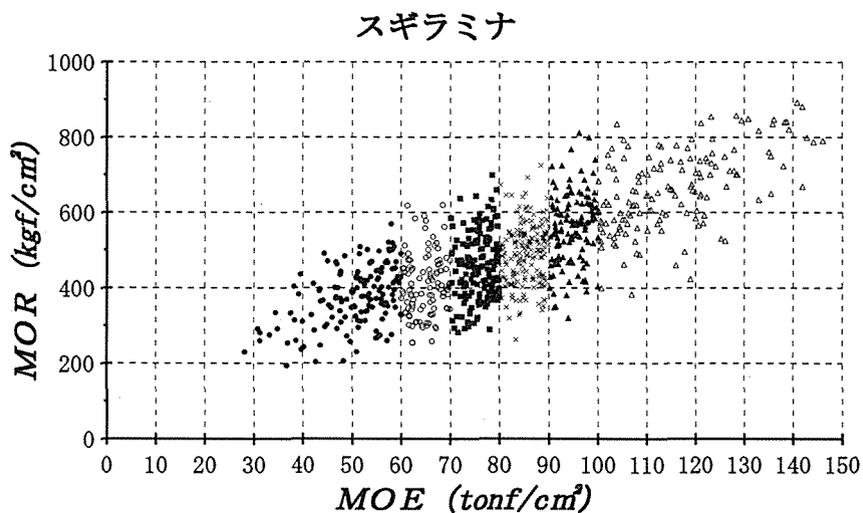


図2-3. 集成材用スギラミナのMOE-MOR

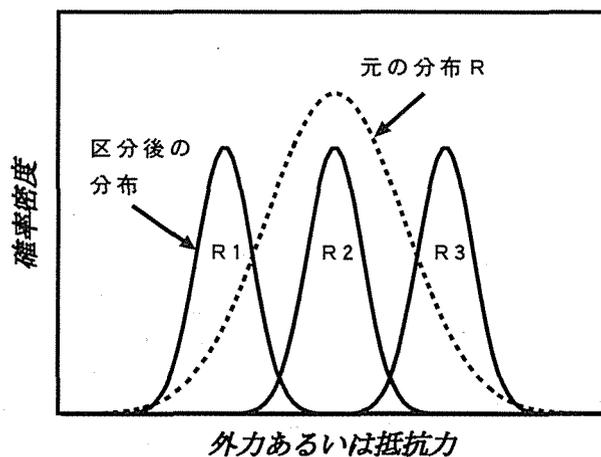


図2-4. 強度等級区分の概念

強度等級区分の重要性は、バラツキの大きい材料を区分することによって等級内のバラツキを減少させ、結果的に信頼性を向上させることにある。図2-4はその概念を示したものである。この図からも明らかなように、強度のバラツキが大きい材料であっても、強度の高いものと低いものとを区分して用いることにす

れば、それぞれの等級（グレード）内のバラツキは小さくなり、必然的に信頼性も向上する。

機械的等級区分法で用いられる MOE の測定機を、一般に「グレーディングマシン（GM）」と呼ぶ。GM の測定方式としては、「静的区分法」と「動的区分法」がある。

前者は、材に加わる荷重速度が比較的緩やかな場合である。具体的には、材を 2 点で支持し、適当な荷重を与えて材のたわみを検出するか、あるいは強制的な一定変位を与えて荷重の大きさを測定し、その値から曲げの MOE を求めようとするものである。

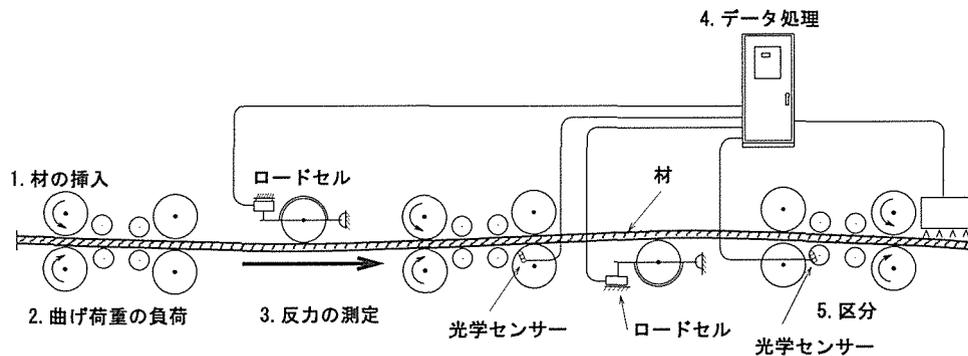


図2-5. 高速連続型グレーディングマシンの機構

GM の実用機には薄い板類の測定に適した連続式のもの（図 2 - 5）と断面が大きな材の測定に適したバッチ式（図 2 - 6）がある。前者を狭義の GM ということも多い。

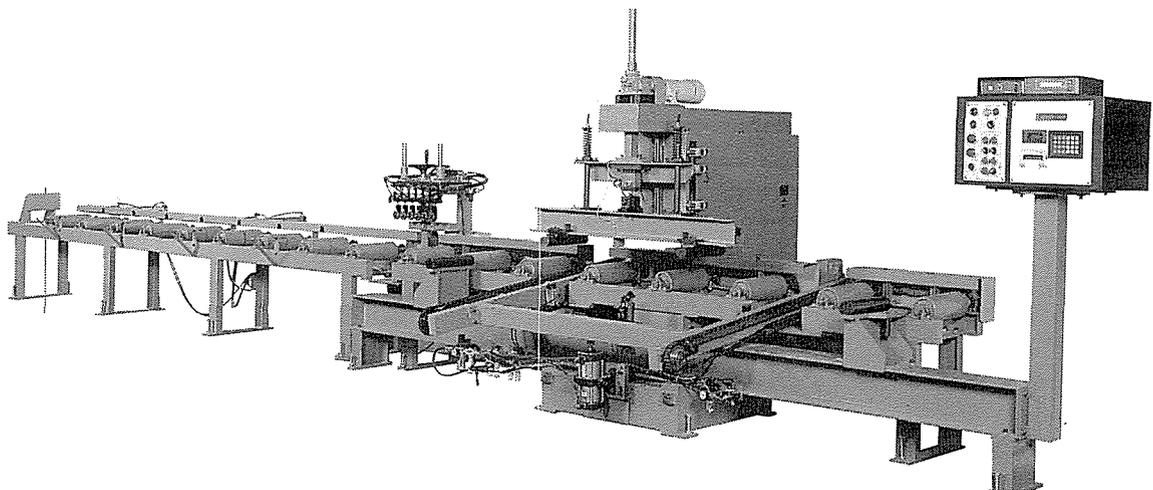


図2-6. バッチ式のグレーディングマシン 写真提供:飯田工業(株)

動的測定法（振動法）は、いずれも材料に打撃などを加えたときに発生する共振現象や微少な振動（音波など）を利用して MOE を計算する方法である。図 2 - 7 に縦振動法（打撃法）の概要を示す。

動的測定法は静的測定法に比べ、荷重の負荷方法や測定装置の機構が簡単であるため、大きな材料やねじれた材料にも容易に適用できることが特徴である。

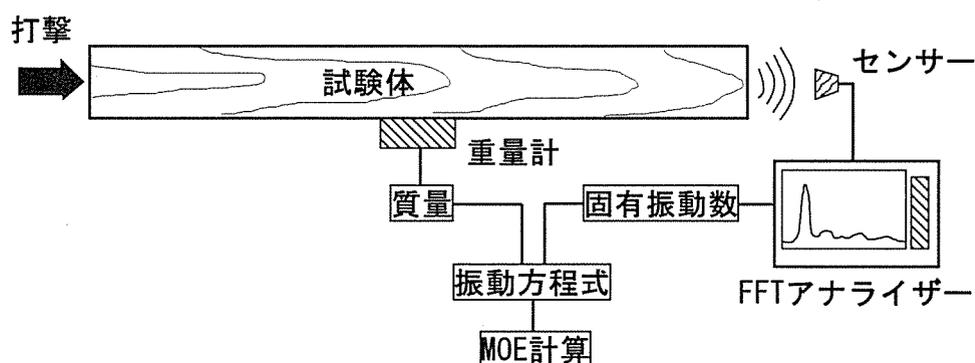


図2-7. 打撃法の機構

### 2.3 集成加工による積層効果

ひき板やベニアなどのエレメントを積層、たて継ぎ、あるいは幅はぎすることを集成加工と呼ぶ。また、このような加工工程を経て製造された木質材料を、特に集成加工材料と呼ぶことがある。

集成加工の目的は、製品の寸法を大きくすることや新たな特性を付与することなど様々であるが、その副次的な効果として、構造信頼性の向上につながる物性の平均化やエレメント相互の補強効果が生じる。

例えば、寸法が同じで密度が  $0.4\text{g/cm}^3$  のラミナと  $0.5\text{g/cm}^3$  のラミナを集成加工して2プライの集成材にすると、この製品の密度は  $0.45\text{g/cm}^3$  となる。つまり、製品の密度は2枚の原料の平均値になるわけである。同じように、引張強度が  $500\text{kgf/cm}^2$  のラミナと  $1000\text{kgf/cm}^2$  のラミナ（ただし、節などの欠点があまり多くないもの）を集成加工して2プライの集成材にしたとすると、この製品の引張強度は、密度ほど単純ではないにしても、 $500\text{kgf/cm}^2$  よりは高く  $1000\text{kgf/cm}^2$  よりは低くなるであろう。この場合、強い方が弱い方を補強していると考えることができる。

いずれにしても、エレメントの特性が非常にバラツキの大きいものであっても、その中から任意に取り出されたもの同士を積層すれば、積層された製品の特性は平均化され、そのバラツキは原料エレメントのそれよりも小さくなる。このような効果が一般に「積層効果」と総称されている。

積層効果の度合いは原料と構成内容によって異なるので、定量化は一般に困難なことが多い。ただし、先に説明した積層材の密度のような場合には、積層数(n)が増えるほど積層材の特性のバラツキが減少し、その標準偏差が原料の  $1/\sqrt{n}$  に

なる。すなわち、積層数を4枚にすればバラツキが元の1/2に、積層数を9枚にすればバラツキが1/3に減少することになる。

上の関係を図に示したのが、図2-8である。図中の太い実線（1層）が原料ラミナのMOEの分布曲線である。細い実線（2層）がこのラミナを2枚積層した積層材の、同様に細い破線（3層）が3枚積層した積層材のMOEの分布を示している。

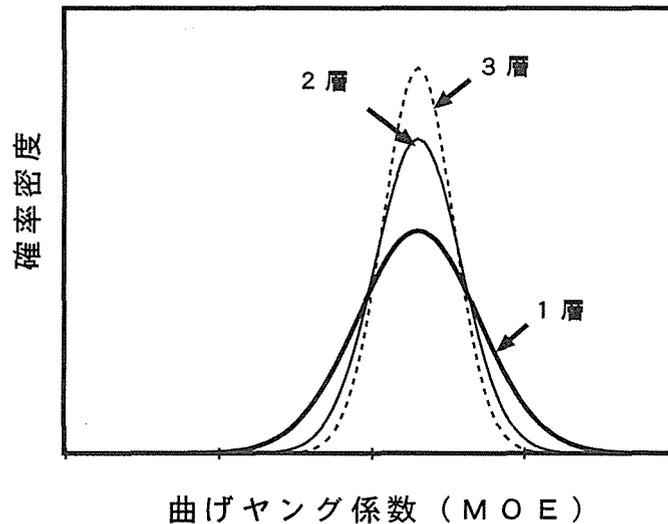


図2-8. 積層効果によるMOEのバラツキの減少

先に示した関係から明らかなように、積層数  $n$  が多ければ多いほど、確率分布の形態が先鋭になって、バラツキが減少し、信頼性が高くなることがよく分かる。また、分布の形についてみれば、元の分布形がどんな形態であっても、積層数が多くなるほどその分布形は正規分布に近づくことになる（中心極限定理）。

この例では、原料を等級区分せず、そのままランダムに積層すると仮定しているが、もし3種類程度の等級に区分し、それを適切に組み合わせて積層すればさらにバラツキの少ない製品を製造することが可能である。実際のEW、例えば構造用LVLの生産過程においても、このような単板の等級区分が行われている。また構造用集成材では、ラミナの断面構成そのものがJAS規格で規定されており、等級区分された材料を使うことが不可欠となっている。

#### 2.4 原料エレメントの細分化

前節で述べたように、エレメントを積層することにより製品のバラツキが減少するのならば、逆にエレメントを繊維方向に細分化すれば、エレメントのバラツキは大きくなるはずである。

図2-9に示した原料とラミナの関係を見ればわかるように、繊維方向に細分

されたラミナでは、左から1番目のようにほとんど欠点を含まない（強度の高い）ものや、逆に左から2番目のように大きな欠点を含む（強度の低い）ものができてしまう。このため、欠点を含む実大の木材では、細分によって強度のバラツキが大きくなる。

このような関係は、エレメントの寸法がラミナやベニア程度の大きさであれば成立するが、さらに細かく細分すると成立しなくなる。なぜなら、いわゆるストランド程度の寸法にまで細分すると、節が落下し、目切れが目立たなくなり、欠点が除去されてしまうからである（図2-9）。この結果、強度の平均値が上昇し、さらにバラツキも小さくなる。これがエレメントの細分化による信頼性向上効果である。

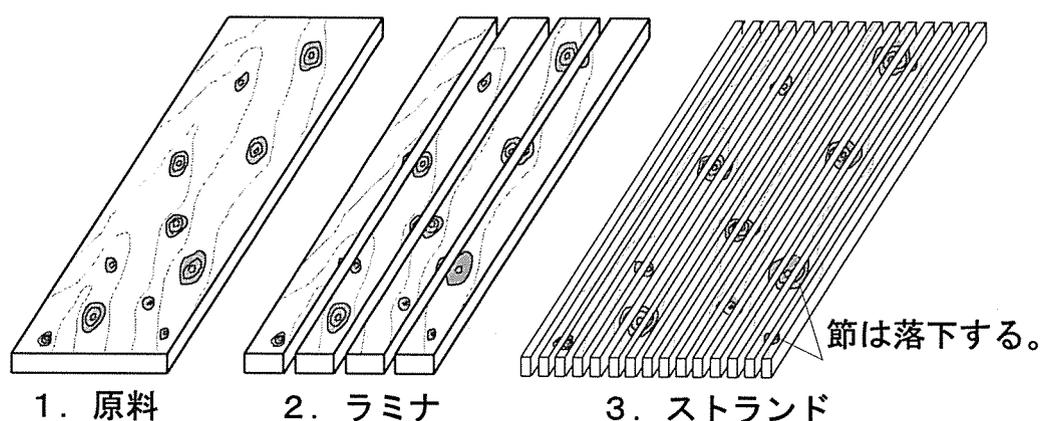


図2-9. 細分化による節とエレメントの相対的大きさの変化

ただ、単純にストランドが小さければ小さいほど強度が高くなるとは限らない。なぜなら、細分化が進むほど、生じる損傷（小さな割れなど）が多くなるし、またストランドが短くなって、たて継ぎ部分が製品中に増加することになるからである。

## 2.5 たて継ぎ

木材を繊維方向に接着接合することがたて継ぎである。たて継ぎの目的は、

- ①短尺材を長尺にすること、
- ②ねじれや曲がりなどを矯正すること、
- ③節などの欠点を除去すること

であるが、強度をほとんど期待できない材を、構造部材にすることが出来るという意味で、強度向上のための技術であると考えられる。

たて継ぎの方法には図2-10に示すようないくつかの種類があるが、これらのうち JAS（「枠組壁工法構造用たて継ぎ材」「構造用集成材」）で想定している

のは、フィンガージョイントのみであるため、本節ではこれに限定して話を進める。なお、「たて継ぎ」は「たてつぎ」とも「縦つぎ」とも表現されるが、本書ではJASに従い、「たて継ぎ」に統一する。

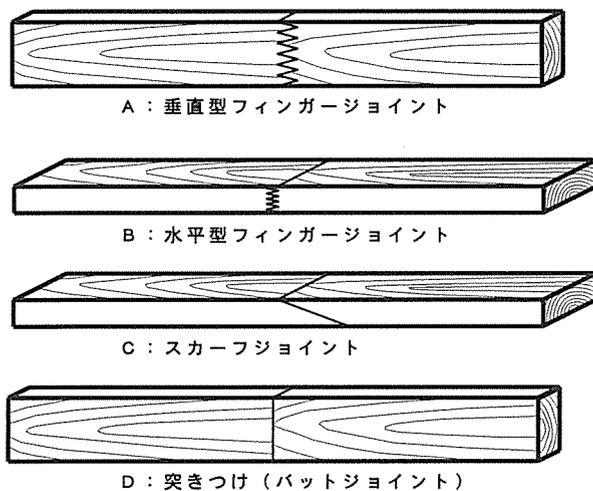


図2-10. たて継ぎの種類

たてつぎ材は図2-11に示したような構成となっており、これはいくつかの強度要素が直列に並んだ典型的な直列系の構成（図2-12）である。直列系では、要素の中で最も弱いものが破壊したときにシステムとしての破壊が生じる。したがって、接着条件や木材のわずかな相違によって製品の強度分布が大きく影響され、要素が並列的に並んだ積層製品に比べて、信頼性が低くなる傾向がある。たてつぎ材が構造部材として構造用集成材や構造用LVLなどと同等に評価されない最大の理由である。

このように、直列系のメカニズムを持ち、積層材のような積層効果を期待でき

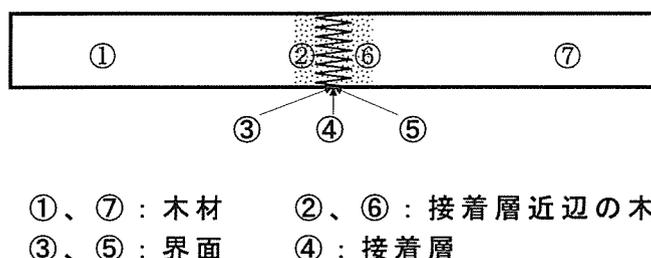


図2-11. たて継ぎの構成



図2-12. 直列系の構成

ない「たて継ぎ材」では、各要素の信頼性を高めることが、システムとしての信頼性を高めるのに必要である。ただ、後述するプルーフローディングの手法により、接着不良が生じた製品を除外することが出来れば、製品全体の信頼性は大きく向上する。

## 2.6 配向

配向とは木質材料を製造する際に、強度を高めることを目的として、エレメントの繊維方向をそろえることをいう。OSB(Oriented Strand Board)や OSL(Oriented Strand Lumber)の「oriented」とは「配向された」という意味である。

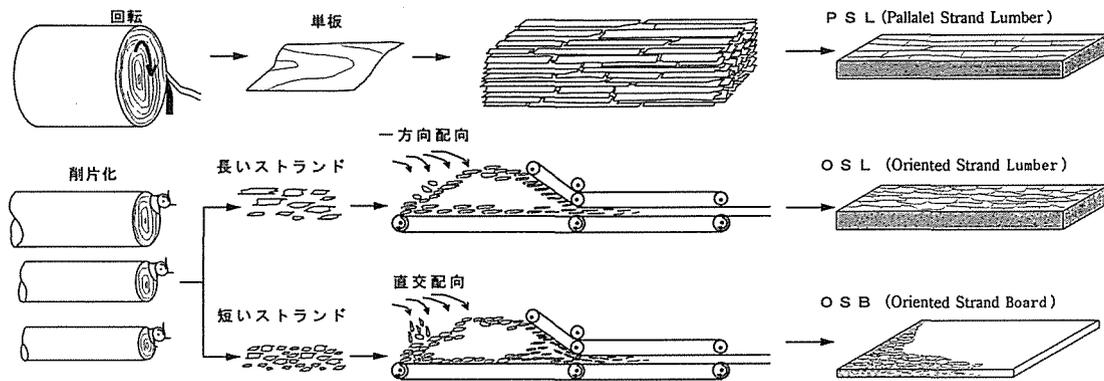


図2-13. 配向

よく知られているように、木材は異方性材料であり、繊維方向の強度性能が最も高く、半径方向、接線方向の順に強度が低くなる。水分の出入りに伴う寸法安定性も全くこれと同じ順に悪くなる。製材を板のまま使うとこのような異方性が災いして狂いやすい。合板では単板を直交積層してこのような異方性による狂いを防いでいる。エレメントを配向せずに製造するパーティクルボードやファイバーボードなどは、当然面内の異方性が小さい。一時期、これらのボード系材料では異方性が小さいことを売り物にしていた時代があった。

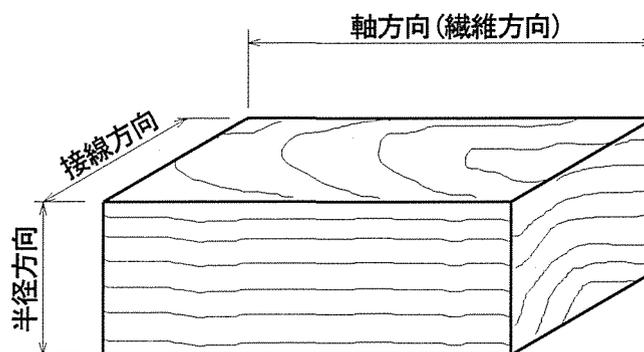


図2-14. 木材の3方向

造作用として利用されている間は、それが特徴でもあったが、構造的な利用では、異方性を利用しない限り強度の向上が困難であることが明らかになり、人為的に異方性を作るという配向の技術が重要視されるようになった。OSBでは高い曲げ強度を得るために表層ではエレメントが長さ方向に配向され、一方中層では寸法安定性を得るために表層とは直交方向にエレメントが配向されている。OSBのプロトタイプとも言うべきウェファーボードではエレメントが配向されておらず、構作用としての強度が不足していたため、表層のエレメントが配向されたOSBに駆逐されてしまったことは記憶に新しい。

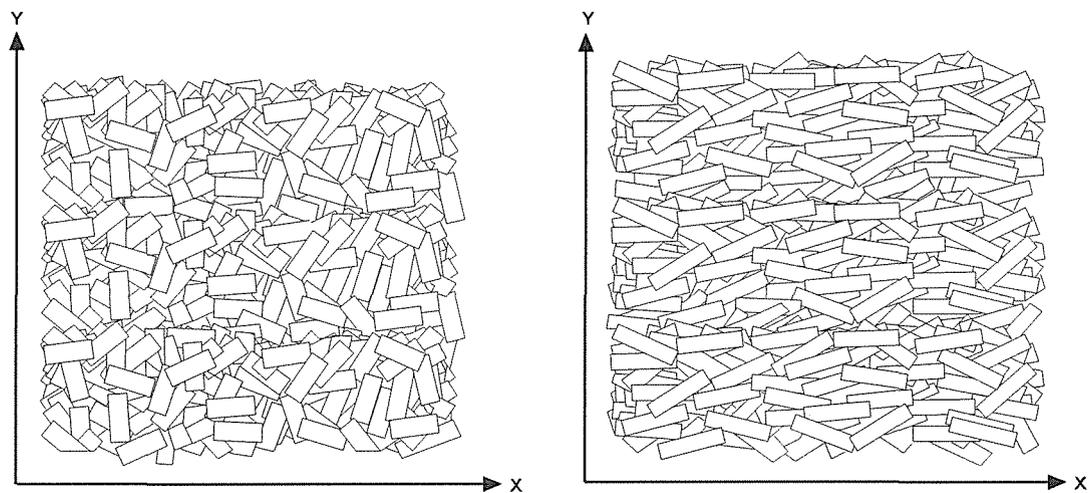


図2-15. スtrandのランダム配列(左)と配向(右)

エレメントが比較的大きくかつ細長比が大きい場合、例えばPSLの場合、配向は極めて容易であるが、エレメントが小さいOSBのような場合は、特殊な配向装置が必要である。

OSBの製造工程では、オリエンターと呼ばれる配向装置が用いられる。これは、一定の間隔で平行に多数配置されたブレードやディスクを、振動、交互運動、または回転させるもので、その上部からストランドを落下させ、ストランドがブレードやディスクの間隙を通過する間に、その方向を機械的にそろえるものである。

配向によってどれくらい曲げ強度が変わるのかを示したものが図2-16である。これは、日本住宅・木材技術センターの木質建築資材技術国際化対策事業委員会の報告書(1996年)から引用したものである。この図は、表層にスギのストランド、心層に解体材から得られたパーティクルをランダム配置した3層ボードで、表層のストランドを配向させたもの(OSB)とランダムにフォーミングしたもの(ランダム)の曲げ性能を比較したものである。重量比でおよそエレメント全体の1/3に相当する表層のストランドを配向すると、ランダム配置のもの

と比較して曲げ強さは約 35 % 増加し、曲げヤング係数は 65 % 向上している。一方、配向方向と直交する方向では曲げ性能は低下しており、一方向配向の場合には強度の異方性が高くなっていることがわかる。

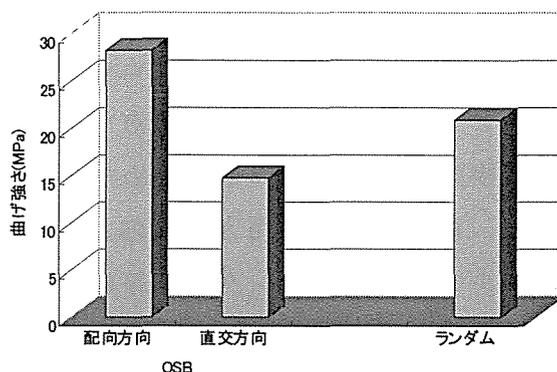


図 2-16. エレメントの配向と強度

なお、この結果は単なる一例であって、層の厚さや配向の度合いが変われば値は当然変化する。

さて、このような技術を利用して、ストランドを配向・積層加工し、集成材や LVL のような軸材料に加工したものが、OSL である。

なお、軸材料では幅が狭いので横方向の寸法安定性はあまり考慮する必要がない。したがって、OSL ではエレメントを直交配向させる必要はなく、一方向に列べるだけである。

## 2.7 プルーフローディング

図 2-17 に表されているのがプルーフローディング（保証荷重）の概念である。プルーフローディングとは、製品として出荷する前に使用応力より高い応力を製品に作用させ、安全性を確認することを言う。もし、製品中に使用応力以下で破壊が生じるような弱いものが存在するならば、この処理によって確実に除去することができる。

プルーフローディングは製品の強度分布、特に分布の下の裾野を明確にすると

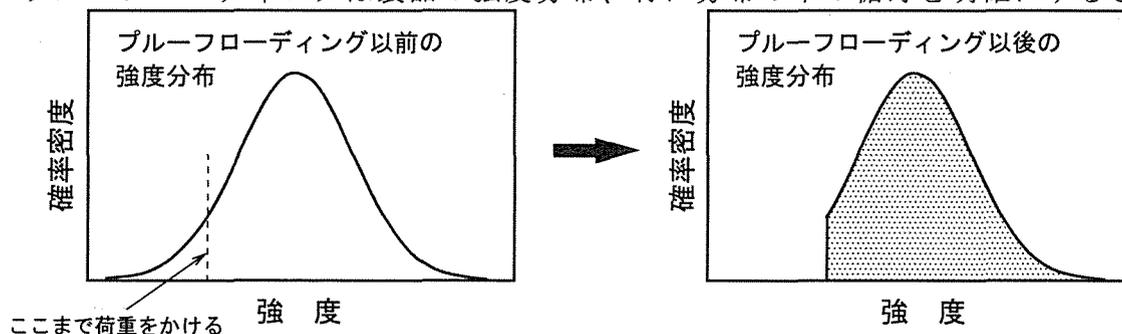


図 2-17. プルーフローディングの概念

いう意味においては、最も単純でかつ効果的な方法である。しかしながら、現在のところ実際の製材品の品質管理に応用されている例はほとんどない。その理由は、グレーディングマシン（応力を作用させて変形量を測定するタイプ）を用いている場合は、多少なりともプルーフローディングの効果があるため、単に低い強度の材を排除するだけであれば、特にプルーフローダーを設置する必要がないからである。また、プルーフローディングの問題点である負荷時の損傷とその予知について、未だ十分な検討がなされていないためである。

負荷時に生じる損傷は、材の強度が作用させた応力よりわずかに高い場合に生じる。当然、その材はプルーフローディングに合格はするが、破壊応力に近い応力によって、かなりの損傷を受けているはずである。その損傷が音や大きなたわみなどによって検知できる場合は問題ないが、そのような前兆が全く現れない場合が問題である。

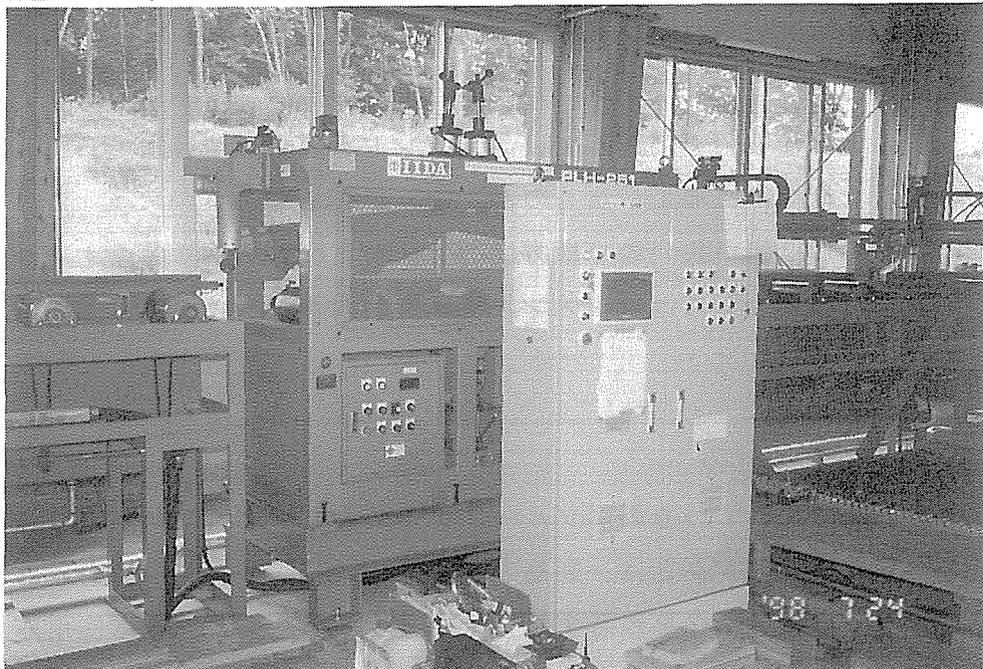


図2-18. 集成材ラミナ用 曲げ型プルーフローダー

さて、上で述べたように単なる製材についてはプルーフローディングが応用されていないが、集成材用ラミナのフィンガージョイントについては、多くの構造用集成材工場でプルーフローディングが採用されている。これは 1996 年に改訂された構造用集成材の J A S 規格で、プルーフローディングを受けたフィンガージョイントラミナについては、フィンガージョイントの位置に関する規制がなくなることになったからである。すなわち、これまでのフィンガージョイントラミナでは、隣接するジョイントの位置やジョイント相互の距離が規定されていたのが、プルーフローディングを受けたラミナでは、それらを見捨てることができ、

製造の効率を高めることができるようになったからである。

ともあれ、現在のところ、わが国で本格的にプルーフローディングを利用しているのは、構造用集成材工場のみである。いずれも、フィンガージョイントラミナの信頼性を高めるために導入されているものである。

## 2.8 実大実験

先にも述べたように、製品の強度分布を明確にするあるいは予測することは、製品をEW化するために不可欠である。その最も直接的な方法が、実際の製品について多数の実大実験を行なうことである。とはいえ、直接的ではあっても、時間と費用を要するこのような方法は、実大強度の分布の重要性が認識されていなかった木質構造の暗黒時代にはほとんど行われなかった。そのかわり、いわゆる無欠点小試験体 (Small clear specimen) による様々な試験が行われていた。

確かにこのような試験は、製品の強度特性について研究をしたり、製品の品質管理を行なう上では不可欠なものであったし、その重要性は現在も変わらない。また、実大試験が方法論的に確立されていないもの (例えば、せん断強度) については、無欠点小試験体で試験を行わざるを得ない場合が往々にしてある。

しかしながら、残念なことに実大の強度を小試験体の強度データから推定するのは困難なのである。特に製材品については、全く節や目切れなどの欠点を含まない無欠点小試験体と実際に欠点を含む実大材とでは、破壊のモードの相違のため、前者から後者の強度を推定すると全く矛盾した結果となる。

このような事実が徐々に明らかになるにつれ、実大寸法の試験体による試験が重要視されるようになってきたわけである。

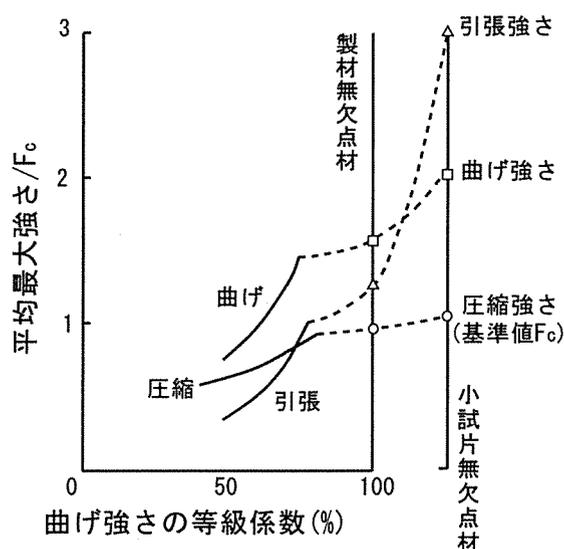


図2-19. 無欠点小試験体(図の右)と実大の試験体(図の左)の強度比較

図の2-19はサザンパインの各強度の平均値を比較したものである。図からも明らかなように、無欠点小試験体（図の右）と実大の試験体（図の左）では、強度の平均値が大きく異なる。また、無欠点では引張強度>曲げ強度>圧縮強さの順になっているのに対し、等級の低い実大試験体では全く逆の結果となっている。

このことから明らかなように、木材・木質材料では、無欠点小試験片のデータがいくらたくさんあっても、実際の製品の構造信頼性を議論するための基礎データとはなりにくいのである。言い換えれば、出来るだけ実際に使われる寸法に近い大きさの試験体について出来るだけ多くのデータをとることが、信頼性を評価するために必要なのである。

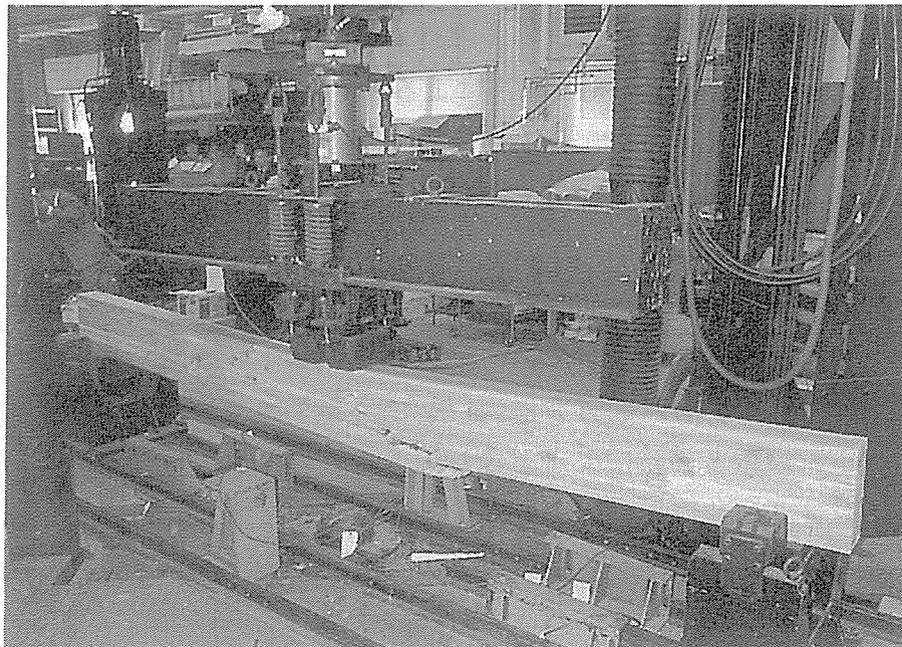


図2-20. 構造用集成材の実大曲げ試験

もちろん、せん断強度のように実大試験が困難なものについては、無欠点小試験体を用いて推測せざるを得ない場合もある。ただ、その場合であってもデータが多ければ多いほど精度の高い結果が得られることは言うまでもない。

なお、図2-19のように、材の寸法が大きくなるに伴って強度が減少してゆく現象を、寸法効果あるいは容積効果などと呼んでいる。効果というと強度が上がるように誤解されやすいが、実際には逆である。

## 2.9 シミュレーション

実大実験の必要性は前節に述べたとおりであるが、現実問題として大断面集成材などでは費用と時間の問題が非常に大きく、頻繁に実大試験を行うことはなかなか困難である。

このような場合に用いられるのが、エレメントの強度分布から製品の強度分布を予測するシミュレーションである。一般的には、まず寸法が小さくて安価に試験が可能であるエレメントについて試験を行い、その強度特性の分布を求める。次いで、コンピュータを用いて、その強度分布に従った乱数を発生させ、コンピュータ内部に仮想の木質材料を作成し、仮想の実大実験を行って強度を求める。さらにそれを何度も繰り返して強度分布を求めるという方法が用いられている（モンテカルロシミュレーション）。

この手法は非常に応用範囲が広く、強度特性の統計分布が比較的簡単に求められるので、EW化技術として今後さらに活用されると思われる。

シミュレーションによって、仮想の強度データが求めれば、後はそのデータを用いて信頼性や許容応力を評価したり、設計・製造にデータをフィードバックさせて品質管理に利用したりすることができる。

具体的な例として、筆者がかつて行なった5プライ集成材の強度分布予測シミュレーション結果を紹介する。この方法は機械等級区分されたラミナで構成された5プライ集成材の引張強度分布を、ラミナのMOEと強度の統計分布から予測しようとするものである。

本研究で用いた確率モデルの流れ図を図2-21に示す。

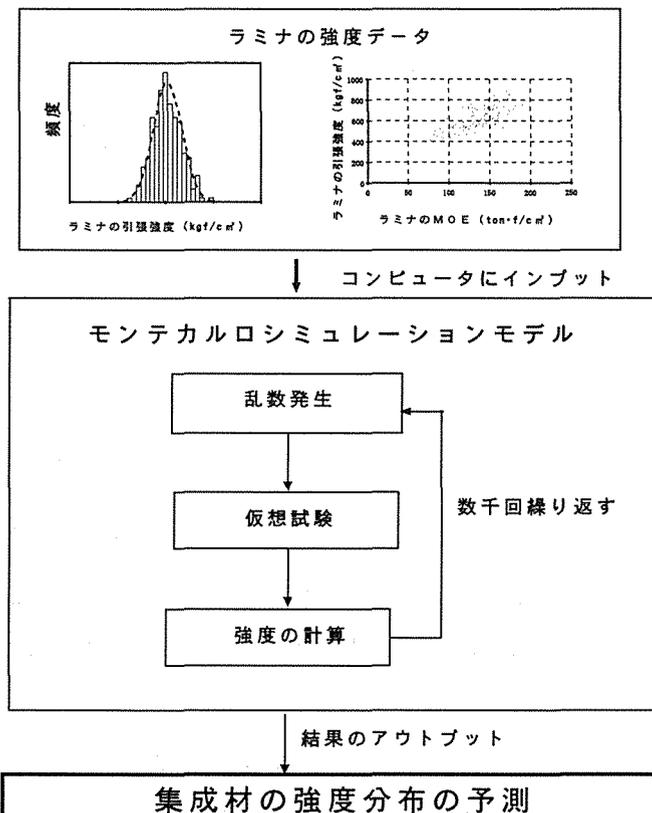


図2-21. 集成材の強度分布予測シミュレーション

- ① コンピュータを用いて、実大ラミナ（ひき板）の曲げヤング係数（MOE）の確率分布に従った乱数を発生させ、仮想ラミナのMOEを得る。次に、これと高い相関を示す引張強度（TS）の乱数を発生させ、仮想ラミナのTSを得る。
- ② この操作を積層数回繰返してコンピュータ内部で仮想の集成材を作成し、その引張強度を設定した破壊条件から計算により求める。
- ③ これら一連の操作を数千回繰返して、数千体の仮想集成材の引張強度の確率分布を求める。

この確率モデルによる予測結果と、実大実験から得られた結果とを比較したものが図2-22である。図中のヒストグラムはモンテカルロシミュレーションの結果、図中の○が実際の実験結果である。両者は比較的良好な一致を示している。このようにして、膨大な費用を必要とする実大実験を行わなくても、原料ラミナの強度分布特性さえ明らかになれば、シミュレーションによって集成加工材料の強度特性の分布を予測できるわけである。

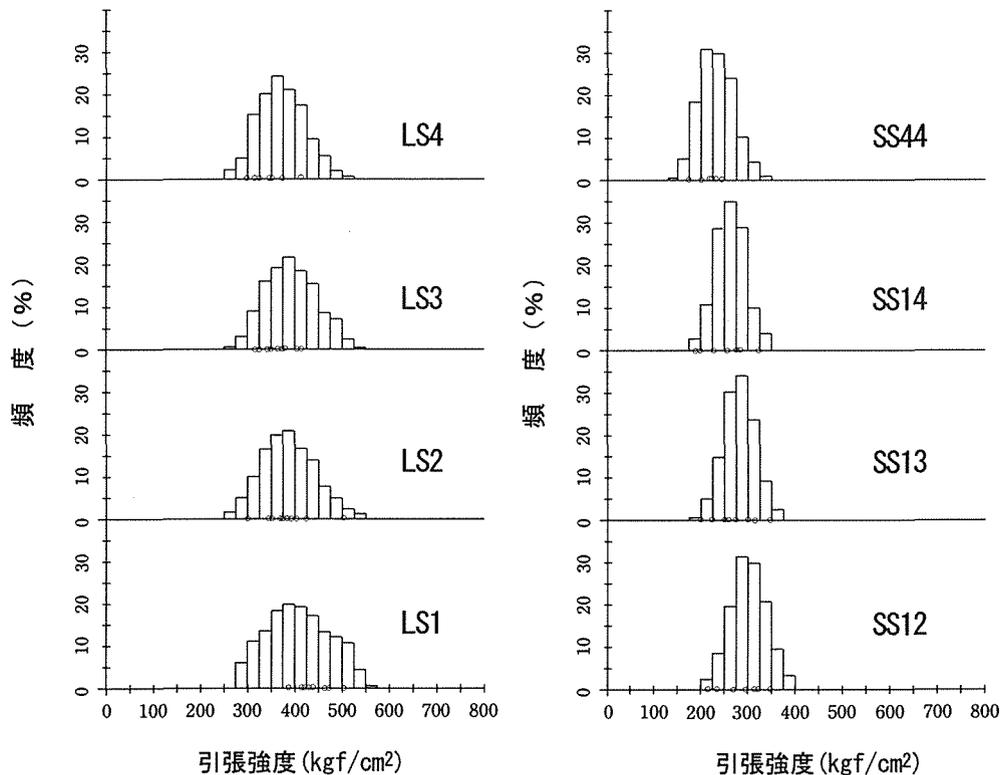


図2-22. モンテカルロシミュレーションによる集成材の引張強度の予測(ヒストグラム)と、実験結果(○)の比較、LSはLVLとスギの複合集成材、SSは一般的なスギ集成材、数値はラミナのグレード

なお、モンテカルロシミュレーションの問題点である計算時間は、パーソナルコンピュータの高性能化により、近年飛躍的に短縮されるようになってきた。また、最近の表計算ソフトでは容易にかつ高度なシミュレーションを行えるもの多

い。

ただ、いずれにしても、シミュレーションの結果は特性データの質と量によって影響されるので、データのサンプリング方法と解析方法には注意が必要である。また、このような周辺の技術的な問題と、モデルそのものの良否とは別問題である。モデルが現象を簡潔に表現できていなければ、シミュレーションの結果もそれなりの意味しかもち得ないのは当然である。

### Ⅲ. 各製品の製造、性能、利用

#### 3.1 MSR材

##### 3.1.1 MSR材の種類

一般に機械的強度等級区分された材には、等級区分機を用いて長さ方向に移動させながら連続して曲げヤング係数を測定したMSR材と、打撃法などにより、材全体のヤング係数を測定しただけの E-rated 材（前者に比べれば厳密な測定がなされていないので、使用に当たっては節径比などの制限が付加される）の2種類がある。

品質管理的に見ても、前者は要求された強度性能を満足させるためにMOEの値をコントロールするアウトプットコントロール方式であり、後者はMOEと強度との関係が安定していると仮定したインプットコントロール方式であるため、厳密には少し意味合いが異なる。

ただ、両者ともヤング係数で評価されているという点では共通しているので、本書ではこれらをまとめてMSR材と呼ぶことにする。

JASによる分類としては「枠組壁工法構造用製材」と「機械的等級区分による構造用製材」の2種類がある。

##### 3.1.2 MSR材の製造

さて、MSR材の製造において、最も問題となるのは、MOEの測定方法とその管理である。これについては、上に述べたようにいくつかの方式がある。また、単にMOEを測定すればよいというわけではなくて、品質管理のために、実大材についての強度データベースも必要である。

MAR材の製造において、MOEの測定に次いで重要となるのは、含水率の管理である。言うまでもなく、含水率が大きく変動すれば、強度特性も変化するので、MSR材の含水率は気乾状態に保たれていなければならない。

製材工程については、一般的な製材品の製造と大きく異なることはない。ただ、より効率的にMSR材を産出するために、立木あるいは原木選定の時点で、打撃法などによって予めMOEの高い原木を選別する方法が研究されている。

##### 3.1.3 MSR材の性能

MSR材は単なる製材品（目視区分材）に比べて強度のバラツキが小さく、それだけ構造信頼性が高い。1991年に建築指導課長通知（このあと1996年に改訂）の形で制定された「構造用製材 JAS」材の許容応力度値を表3-1に示す。ここ

で特徴的なのは、MOEが同じであれば、スギの方がベイマツなどよりも許容応力が高いということである。これは実大実験データから得られた両者の回帰直線(MOE-MOR)が異なるため、このような値となったものである。

表3-1. 機械的等級区分による構造用製材の繊維方向の長期許容応力度(1998.1現在)

等級	樹種群								
	あかまつ・べいまつ・ダフリカ からまつ・べいつが・えぞまつ・とどまつ			からまつ・ひのき・ひば			すぎ		
	圧縮	引張	曲げ	圧縮	引張	曲げ	圧縮	引張	曲げ
E50	—	—	—	35	25	45	60	45	75
E70	30	20	35	55	40	70	75	55	95
E90	55	40	70	80	60	100	90	70	115
E110	80	60	100	100	75	130	105	80	135
E130	105	80	130	125	95	155	120	90	155
E150	130	95	165	145	110	185	140	105	175

表3-2. 枠組壁工法構造用MSR製材の長期許容応力度

等級	NLGA	許容応力度(単位;kgf/cm <sup>2</sup> )			
		圧縮	引張	曲げ	
900Fb	— 1.0E	—	30	15	45
900Fb	— 1.2E	○			
1200Fb	— 1.2E	—	40	30	60
1200Fb	— 1.5E	—			
1350Fb	— 1.3E	○	50	35	65
1350Fb	— 1.8E	—			
1450Fb	— 1.3E	○	50	40	70
1500Fb	— 1.3E	—			
1500Fb	— 1.4E	○	55	45	75
1500Fb	— 1.8E	—			
1650Fb	— 1.3E	—	60	50	80
1650Fb	— 1.4E	○			
1650Fb	— 1.5E	—			
1650Fb	— 1.8E	—			
1800Fb	— 1.6E	○	65	60	90
1800Fb	— 2.1E	—			
1950Fb	— 1.5E	—	70	70	95
1950Fb	— 1.7E	○			
2100Fb	— 1.8E	○	75	80	105
2250Fb	— 1.6E	—			
2250Fb	— 1.9E	○	80	85	110
2400Fb	— 1.7E	—			
2400Fb	— 2.0E	○	85	95	120
2550Fb	— 2.1E	○			
2700Fb	— 2.2E	○	95	105	135
2850Fb	— 2.3E	○			
3000Fb	— 2.4E	○	105	120	150
3150Fb	— 2.5E	—			
3300Fb	— 2.6E	—	110	125	155
			120	130	160

○;NLGA SPS2-94規格における設定等級

一方、「枠組壁工法構造用製材」のMSR材に関する許容応力度を表3-2に示し

た。表からも明らかなように、カナダ規格（NLGA SPS2-94）による材が国内で流通できるようになっている。

### 3.1.4 MSR材の利用

MSR材は構造用集成材用のひき板としては、ごく常識的に採用されるようになってきているが、製材では一部の住宅や製材メーカーで、クローズドな形で実施されている程度で、なかなか市販製品として流通する状況にはなっていない。ただ、建築基準法の性能規定化と住宅の品質確保などに関する法律（品確法）の実施に合わせて、国産材製材をMSR材として販売するところも増えてきており、今後この傾向は一層深まるものと考えられる。

またMSR材の要となるGMが、最近数多く開発されてきており、その多くは全木連の認定機種として市販されはじめています。当然のことながらこれらの機種を用いれば、JAS規格製品として流通させることが可能である。

これらの機種とその概要を表3-3に示す。これらは主に、柱・母屋・梁桁といった材への適用を想定している。荷重方式は曲げと打撃振動の2種類である。

表3-3. 全木連認定の機械等級区分装置(1999年10月現在)

会社名	認定年月日	認定番号	認定機械型式	方式	適用範囲(単位: mm)
ESKシステムクリエイト(有) (有)板本鉄工所 (株)小野測器	6. 6. 1	JLA-Em-1	GP-350	曲げ荷重	断面寸法の短辺が90以上120以下で、 長辺が90以上150以下 長さ3m以上4m以下
	"	JLA-Ef-1	GM-1200	打撃振動	断面寸法の短辺が100以上120以下 長辺が100以上240以下 長さ4m以下
飯田工業(株)	6. 12. 1	JLA-Em-2	MGN-101	曲げ荷重	断面寸法の短辺が30以上120以下で、 長辺が60以上120以下
飯田工業(株)	"	JLA-Em-3	EI-001	曲げ荷重	断面寸法の短辺が60以上120以下で、 長辺が60以上120以下
飯田工業(株)	9. 5. 1	JLA-Em-4	MGN-101	曲げ荷重	断面寸法の短辺が90以上300以下で、 長辺が90以上390以下 長さ3m以上6m以下
中国木材工業(株)	9. 5. 1	JLA-Ef-2	DGM-01	打撃振動	断面寸法の短辺が90以上120以下で、 長辺が90以上390以下 長さ3m以上6m以下
(株)一条工務店	11. 10. 1	JLA-Ef-3	1WGS-01	打撃振動	断面寸法の短辺が105以上120以下で、 長辺が105以上300以下 長さ3m以上5. 5m以下
(株)菊川鉄工所	11. 10. 1	JLA-Em-5	YG-15	曲げ荷重	断面寸法の短辺が90以上150以下で、 長辺が90以上390以下 長さ1. 85m以上3m以下

## 3.2 構造用たて継ぎ材

### 3.2.1 構造用たて継ぎ材の製造

たて継ぎ材（フィンガージョイント材）が構造用として、流通しているのは「枠組壁工法構造用」のみである。「構造用集成材用ひき板」にもたて継ぎ材は使われるが、これはほとんどの場合クローズドな形で生産されるもので、一般には流通していない。

第2章にも述べたように、比較的断面の大きな軸組工法用の構造部材では、たて継ぎ部分の信頼性確保が困難なため、現在のところJAS規格もなく、使用す

ることが出来ない。

構造用のたて継ぎ材がわが国で使えるようになったのは比較的新しい。1991年に「枠組壁工法構造用たて継ぎ材のJAS」が施行されるまでは、構造材としての利用は認められていなかった。

当初、構造用として使えるのは「たて枠用」、すなわち間柱（スタッド）用に限定されていたが、その後1994年に至って甲・乙2種の「たて継ぎ材」が追加され、横架材への適用も可能になっている。

たて継ぎ材の接着接合に要する時間は切削・圧縮の2工程を合わせても10秒前後であるが、接合部位の条件、歯形、刃物の使用時間、接着剤の種類、硬化剤の量、圧縮圧、養生条件（温度・時間）等によって、製品の性能はきわめて大きく変化する。

製造条件に関するJAS規格を表3-4に示す。この表から明らかなように、甲種および乙種たて継ぎ材では、FJ部周辺における節の制限値が比較的厳しくなっている。これは材料の破壊が少なくともFJ部では起こらないようにするためと考えられる。

表3-4. 枠組壁工法構造用たて継ぎ材のJAS

区分	たて枠用たて継ぎ材	甲種たて継ぎ材	乙種たて継ぎ材
用途	たて枠用	主として高い曲げ性能を必要とする部分	左の2種以外の用途
寸法形式	204、206	203、204、206、208、210、212	203、204
等級・目視区分	1等級のみ(甲種2級、乙種スタンダード以上)	枠組JASの甲種枠組材と同じ	枠組JASの乙種枠組材と同じ
たて継ぎ部	節または穴	最大径25mm以下	木口面面積の10%以下
	丸身	厚丸身1/2以下	厚丸身1/2以下
	やにつぼ	木口面面積の10%以下	ないこと、3級のみ木口面面積の10%以下
	段差	1.5mm以下	1.5mm以下、3級のみ一方1.5mm以下、他方3mm以下
	フィンガー形状	長さ12mm以上	長さ12mm以上
	接着剤	特記なし	レゾ、フェノール・レゾ、およびこれと同等以上の性能

生産された材料の品質管理を具体的に行う方法には、「抜き取り試験」とすでに第2章に述べた「プルーフローディング」がある。JAS規格の抜き取り試験の項目として、接着試験（煮沸繰り返し、または減圧加圧試験）、含水率試験のほか曲げ試験があり、曲げ試験では先に述べた基準強度値が設定されている。

なお、横架材用の接着剤には耐水性が必要なため、「レゾルシノール、フェノ

ール・レゾルシノール、およびこれと同等以上の性能」の規定がある。

### 3.2.2 構造用たて継ぎ材の性能

表3-5. 枠組壁工法構造用たて継ぎ材の強度基準値

	樹種グループ	樹種群	等級	曲げ強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )		材料強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
				①	②		
たて枠用 たて継ぎ材	S I	D.fir-L		236	210	—	
		Hem-Tam		202	180	—	
	S II	Hem-Fir		202	180	—	
		S-P-F		169	150	—	
		W Cedar		169	150	—	
甲種たて 継ぎ材	S I	D.fir-L	特級	472	420	420	
			1級	405	360	360	
			2級	337	300	300	
			3級	185	165	165	
		Hem-Tam	特級	438	390	390	
			1級	371	330	330	
			2級	303	270	270	
			3級	169	150	150	
		S II	Hem-Fir	特級	405	360	360
				1級	337	300	300
				2級	303	270	270
				3級	169	150	150
	S-P-F		特級	371	330	330	
			1級	320	285	285	
			2級	253	225	225	
			3級	152	135	135	
	W Cedar	特級	337	300	300		
		1級	303	270	270		
		2級	253	225	225		
		3級	152	135	135		
乙種たて 継ぎ材	S I	D.fir-L	コンストラクション	287	255	225	
			スタンダード	236	210	120	
			ユティリティ	152	135	60	
		Hem-Tam	コンストラクション	253	225	210	
			スタンダード	202	180	120	
			ユティリティ	135	120	60	
	S II	Hem-Fir	コンストラクション	253	225	195	
			スタンダード	202	180	105	
			ユティリティ	135	120	45	
		S-P-F	コンストラクション	202	180	180	
			スタンダード	169	150	105	
			ユティリティ	101	90	45	
		W Cedar	コンストラクション	202	180	165	
			スタンダード	169	150	90	
			ユティリティ	101	90	45	

注) 曲げ強さの①は試験体の95%がクリアすべき値、②はすべての試験体がクリアすべき値である。また、材料強度は一般の枠組壁工法構造用製材長期曲げ許容応力度の3倍

構造用たて継ぎ材の許容応力度を表3-5に示す。これらの値は通常の枠組材のそれと全く同じである。すなわち、たて継ぎが存在しても、強度に関しては、全くないものと同様であることが公的に認められているわけである。これは、枠組壁工法では構造が高次の不静定で、かつ並列系であるため、たとえ主要構造部材の一部分に破壊が生じたとしても、軸組工法のように、それが直接構造物の破壊につながるということが少ないと考えられているためであろう。

### 3.2.3 構造用たて継ぎ材の利用

先にも述べたように、たて継ぎ材は構造用集成材用のラミナとして、ごく普通に使用されている。これは長大な構造用集成材にはたて継ぎラミナが不可欠であるという必然性があるからである。また、枠組壁工法の場合は一般的なディメンジョンランバーと同等に使えるため、これもごく普通に使用されている。

一方、それ以外の製材品となると、たて継ぎ材を採用する積極的な理由が見つからないため、わが国ではほとんど利用されていない。トラックボディ材（図3-1）のような特殊な用途はあるものの、欧米におけるIビームのフランジのような用途は今のところわが国には存在しない。

構造用たて継ぎ材のメリットを強いてあげれば、短尺ものの原材料からでも製造できるところに、価格的な優位性はある。ただ、直列系であるがゆえに、たて継ぎ部の数が多くなるほど信頼性は低下し、フィンガージョイントに要するコストも上昇するので、他材料との性能/価格競争にうち勝つのはなかなか困難なようである。

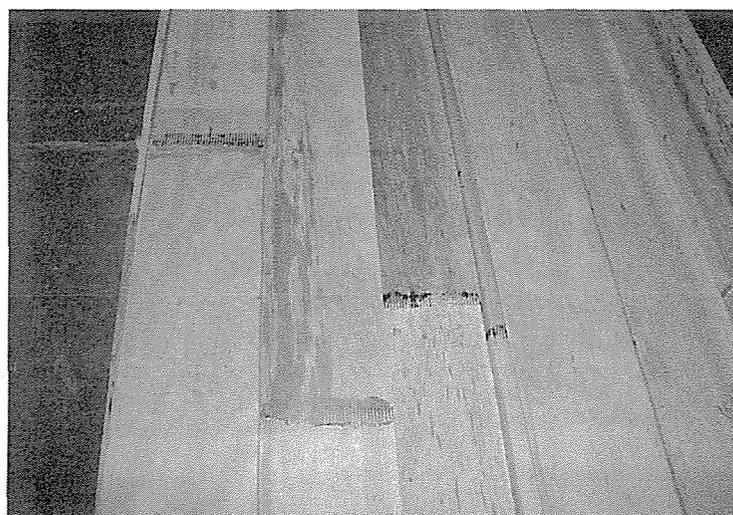


図3-1. トラックボディ材に用いられる構造用たて継ぎ材(樹種:アピトン)

### 3.3 構造用集成材

#### 3.3.1 構造用集成材の種類

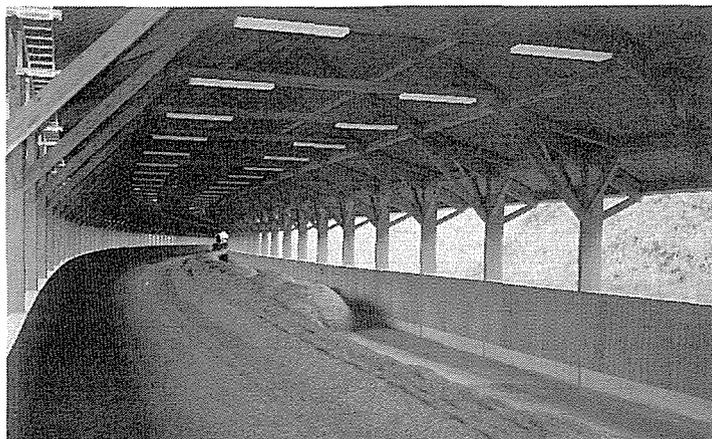


図3-2. 構造用集成材を用いて建設された競走馬の練習場

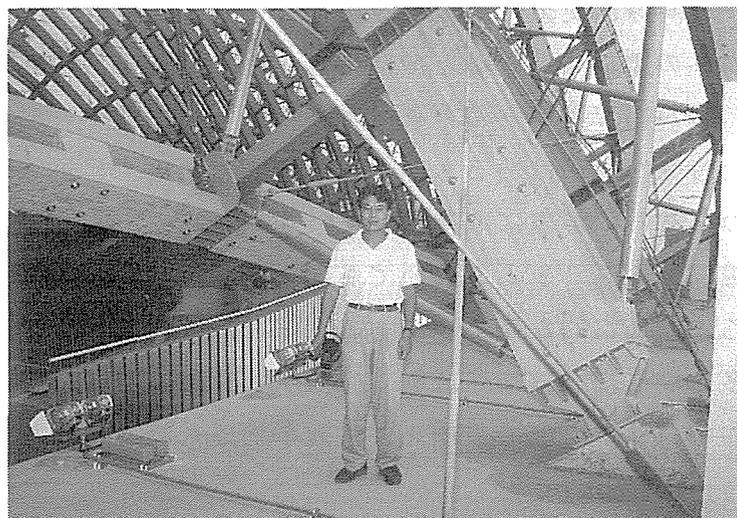


図3-3. 大館樹海ドームに用いられた構造用大断面集成材

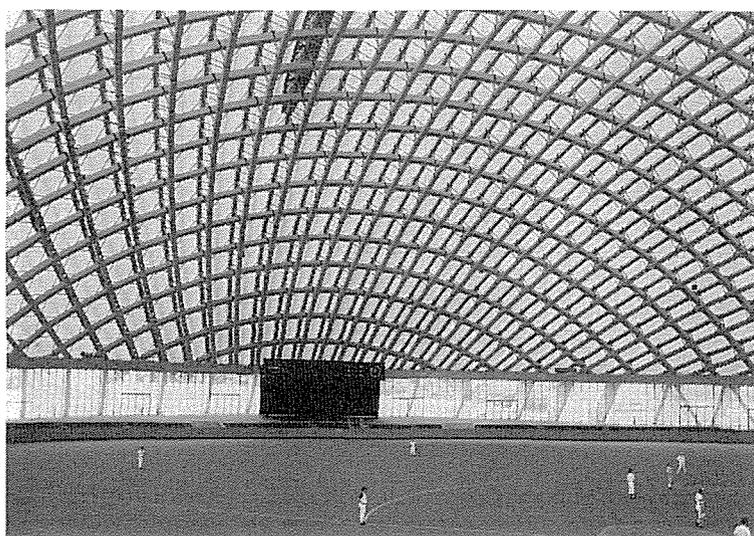


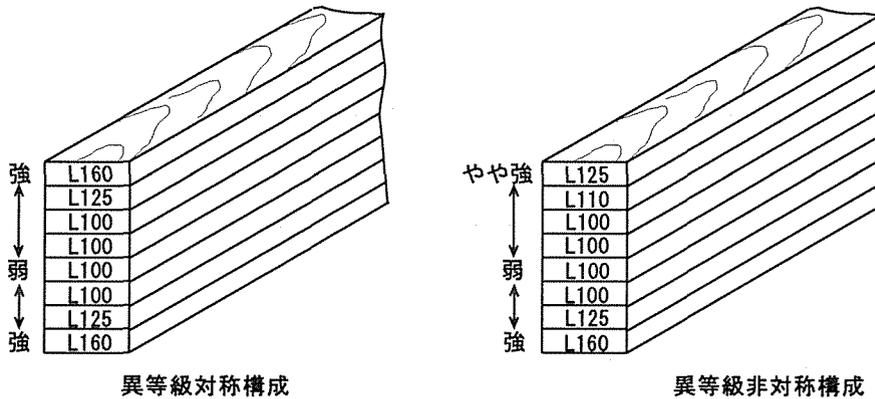
図3-4. 集成材が織りなす大館樹海ドーム内部の曲線

JASでは、構造用集成材をひき板の構成によって異等級対称構成、異等級非対称構成、同一等級構成の3種類（表3-6、図3-5）に、断面の大きさによって大断面、中断面、小断面の3種類（表3-7、図3-6）に、使用環境によって2種類（表3-8）に分類している。

またこの他にも、通直集成材とわん曲集成材といった形状による分類もある。

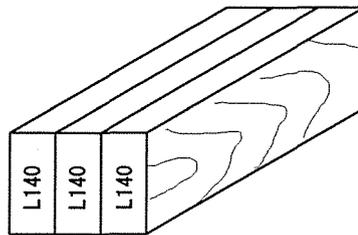
表3-6 ひき板の構成に関する用語の定義

用語	定義
異等級構成集成材	構成するひき板の品質が同一でない集成材であって、はり等高い曲げ性能を必要とする部分に用いられる場合に、曲げ応力を受ける方向が積層面に直角になるよう用いられるものをいう。
同一等級構成集成材	構成するひき板の品質が同一の集成材であって、ひき板の積層数が2枚又は3枚のものにあつては、はり等高い曲げ性能を必要とする部分に用いられる場合に、曲げ応力を受ける方向が積層面に平行になるよう用いられるものをいう。
対称構成	異等級構成集成材のひき板の品質の構成が中立軸に対して対称であることをいう。
非対称構成	異等級構成集成材のひき板の品質の構成が中立軸に対して対称でないことをいう。



異等級対称構成

異等級非対称構成



同一等級構成

注：数値は等級

図3-5. 集成材の断面構成と呼称

表3-7. 断面に関する用語の定義

用語	定義
大断面集成材	集成材のうち、短辺が15cm以上、断面積が300cm <sup>2</sup> 以上のものをいう。
中断面集成材	集成材のうち、短辺が7.5cm以上、長辺が15cm以上のものであって、大断面集成材以外のものをいう。
小断面集成材	集成材のうち、短辺が7.5cm未満又は長辺が15cm未満のものをいう。

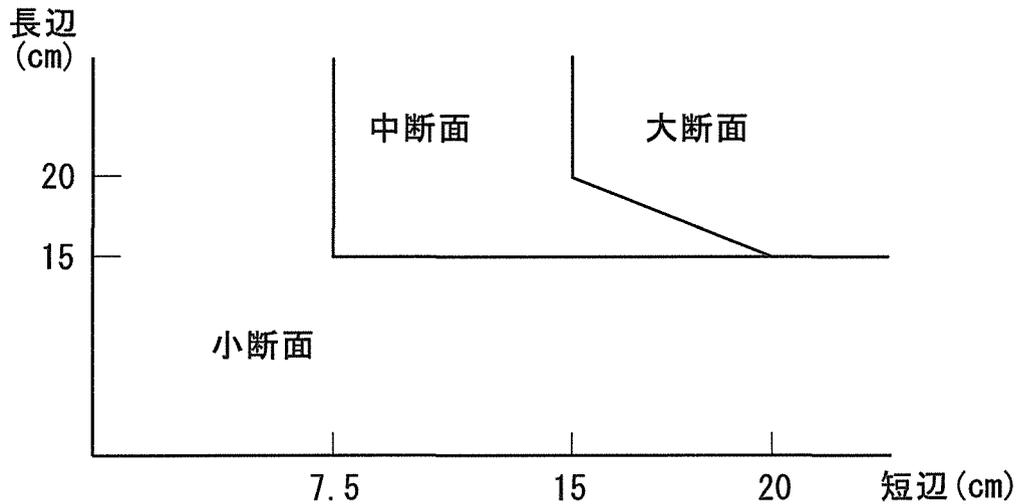


図3-6. 構造用集成材の辺長と呼称の関係

表3-8. 構造用集成材の使用環境による区分

用語	定義
使用環境 1	集成材の含水率が長期間継続的に19%を超える環境、直接外気にさらされる環境、太陽熱等により長期間継続的に高温になる環境、構造物の火災時でも高度の接着性能を要求される環境、その他の構造物の耐力部材として、接着剤の耐水性、耐候性又は耐熱性について高度な性能が要求される使用環境をいう。
使用環境 2	構造物の耐力部材として、接着剤の耐水性、耐候性又は耐熱性について通常のパフォーマンスが要求される使用環境をいう。

表3-9. 構造用集成材の使用環境と用いられる接着剤

使用環境 1	積層部	レゾルシノール系
	たて継ぎ部	レゾルシノール系 メラミン
使用環境 2 (中断面・ 小断面)	積層部	レゾルシノール系 水性高分子イソシアネート (中小断面に限る)
	たて継ぎ部	レゾルシノール系 水性高分子イソシアネート メラミン、メラミンユリア

なお、アメリカやカナダなどで、集成材（Glulam：グルーラム）と言えば、大断面構造用集成材のことを指す。この用語は元々製品名であったものが、一般名詞的に使われるようになったもので、Glued-laminated Timbers とか Glued-laminated Wood という表現が、いわば正式な用語である。

### 3.3.2 構造用集成材の製造

構造用集成材の製造工程は、一般的に原木→ラミナの製材→ラミナの乾燥→ラミナの等級区分→ラミナのたて継ぎ→積層接着→仕上げ→製品という単純な流れであらわされるが、実際には製品の種類や生産量等によって多種多様である。

ただ、製造原理は単純であっても、労働集約的な工程が多く、また製品が多品種であることが多いため、小断面の集成管柱のような単品生産以外では、高度に自動化された一貫製造システムを採用することが難しい。

工程の流れにそって、製造上重要なポイントを以下に解説する。

#### ①断面設計

集成材が曲げ荷重を受けたとき断面内に生じる曲げ応力は、図3-7に示すように、材の外側ほど大きく、内側ほど小さいため、外側の層ほど高い品質（MOEの高い）のラミナを配置しなければならない。

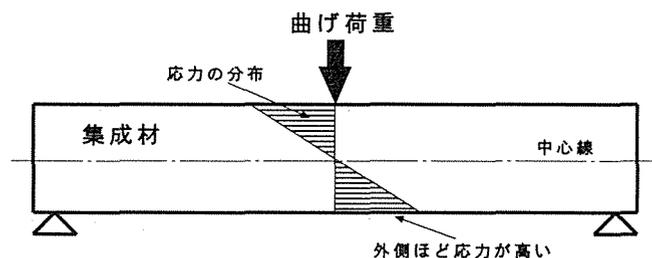


図3-7. 曲げを受けた集成材に生じる曲げ応力の分布

構造用集成材の日本農林規格では、断面構成に関する様々な規定に従った製品であれば自動的に強度保証が得られ、許容応力度も与えられるシステムになっているからである。

## ②ラミナの製材と乾燥

一般に原木から集成材用のラミナを木取りする方法は樹種によって異なるが、比較的単純で基本的には能率本位である。ただ、構造用集成材の場合には、集成材工場で製材するよりも、ラミナを購入して用いることが多い。

乾燥についても同様で、国産のスギやカラマツなどを用いる場合を除いて、乾燥されたラミナを購入して用いることが多い。

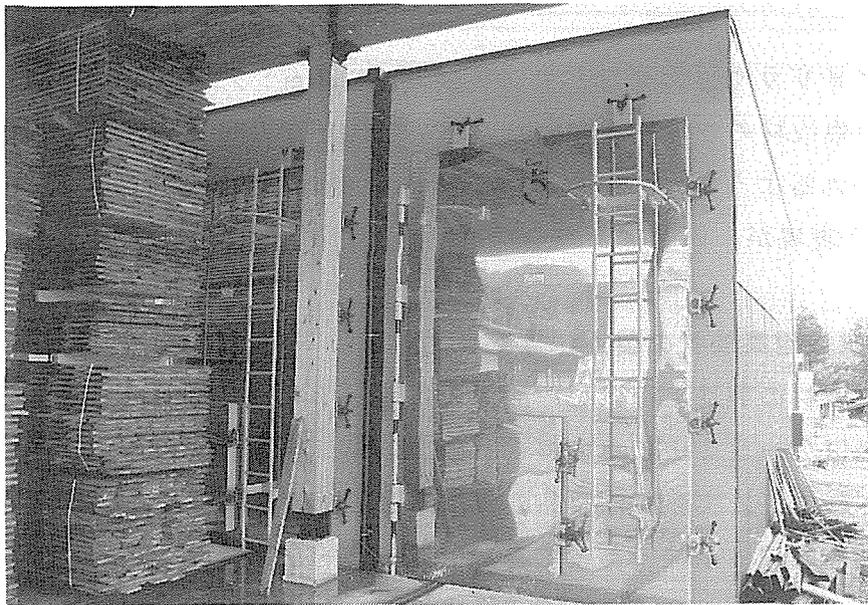


図3-8. 人工乾燥装置と乾燥されたラミナ

## ③等級区分

これまでに述べてきたように、構造用集成材の品質管理では原料ラミナの選別と区分が不可欠である。もし全く区分しないまま積層すると、製品の性能が低くなるばかりではなく、品質が安定せず、高信頼性材料としての特性を失ってしまうからである。

ラミナの等級区分方法について、構造用集成材のJASでは次の2種類に分類している（第2章参照）。

目視等級区分：節の大きさや目切れなどを目で見えて測定し、等級区分を行うもので、信頼性に欠けるため、次に示す機械等級区分へと移行しつつある。

機械等級区分：何らかの手法を用いて曲げヤング係数を自動的に測定できる等級区分機を用いて区分することを言う。JASでは機械等級区分されたラミナをさらに、

MSR ラミナ：等級区分機を用いて長さ方向に移動させながら連続して曲げヤング係数を測定したひき板と、

E-rated ラミナ：打撃法などにより、材全体のヤング係数を測定しただけのひき板とに区分している。

なお、後者は前者に比べれば厳密な測定がなされていないので、使用に当たっては節径比の制限が付加される。

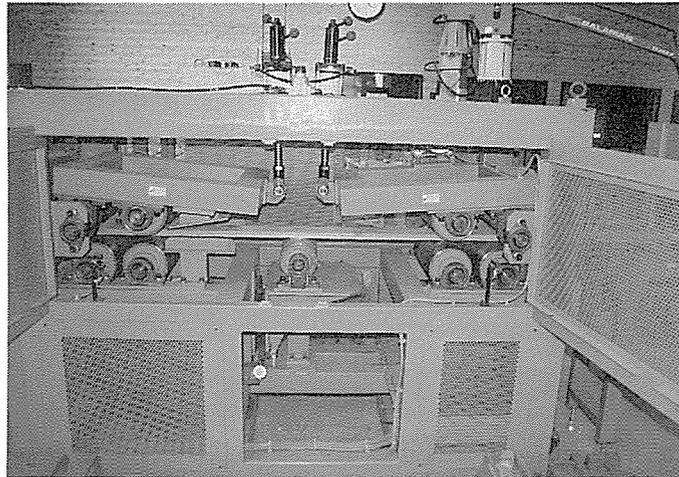


図3-9. 連続式グレーディングマシンの内部

#### ④ たて継ぎ

構造用集成材の中には、全くたて継ぎを必要としない製品もあるが、比較的長い寸法を必要とする製品では、たて継ぎが不可欠である。

第2章で説明したように、たて継ぎにはいくつかの種類があるが、構造用集成材のラミナには、作業効率、歩止り、強度性能の面からフィンガージョイントが用いられる。

フィンガージョイントの形態には水平型と垂直型があるが、強度的な信頼性が高いことや歩止りが高いため、垂直型が用いられることが多い。

フィンガージョイントの強度は一般にフィンガーが長いほど高いが、製品の歩止りは逆に低下する。わが国では、12～30mm程度のフィンガーが構造用として用いられている。

フィンガー加工では、フィンガーカッターと呼ばれる特殊な刃物で木口部分を歯形状に切削し、そこに常温硬化型の接着剤を塗布した後、フィンガー同士を組み合わせてたて方向に圧縮圧力（エンドプレッシャー）を作用させる。この工程によってフィンガー同士が互いにくさびのようになり、接着剤が未硬化であってもかなりの接合力が生じる。このため接着剤の完全な硬化を待たずに次の工程に材料を流すことができ、生産の効率化が図れる。

かつて構造用のフィンガージョイントの接着剤としては、レゾルシノール樹脂

が使われていたが、新しい構造用集成材の規格では表 3 - 9 のような接着剤が使用環境によって使い分けられている。

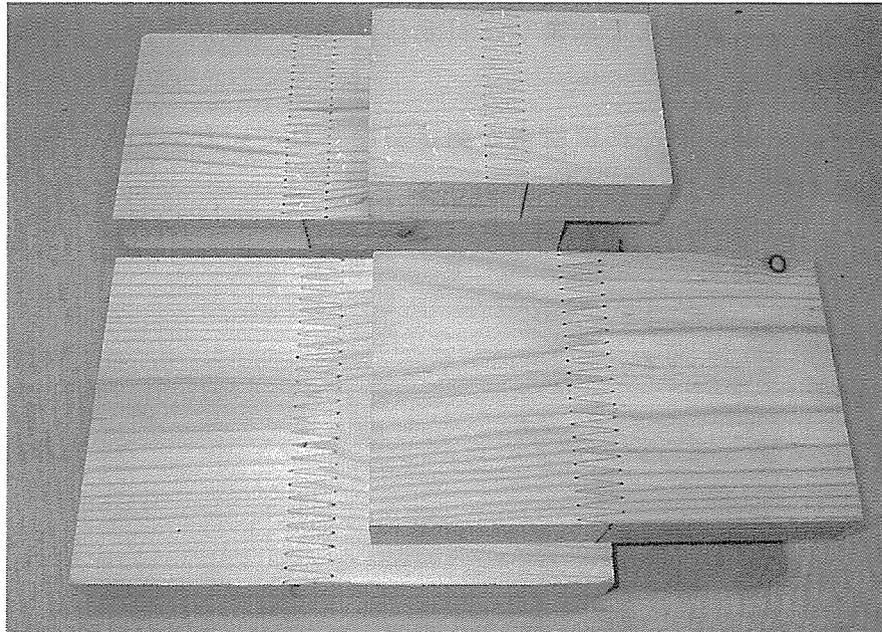


図3-10. たて継ぎラミナのFJ部分(フィンガー形状が微妙に異なることがわかる)

#### ⑤プルーフローディング

これまでに述べてきたように、ラミナの等級区分を行ない、最適なフィンガージョイントの製造条件を求めて加工を行ったとしても、たて継ぎ木材が十分な信頼性を示すかどうかは保証出来ない。なぜなら、木材製品の品質管理において一般的に行われている抜き取りの検査では、不良品の出る確率を0にすることは出来ないからである。

木材については強度等級区分を行なうことによってかなりの信頼性の向上が計れるものの、接着に関しては信頼性の保証がなされていないわけである。すなわち、すべてのラミナについて、完全に接着しているかどうかを非破壊的に調べられない限り、信頼性の保証は十分とはいえないわけである。

この問題の解決のためには、保証荷重を全製品について作用させ規定値以下の製品を排除するプルーフローディングが必要であろう。

たて継ぎラミナのプルーフローディングについては、作用させる保証荷重の大きさ、種類(引張か曲げか)、時期、および保証荷重による損傷の程度などが明確にならないまま、個別対応的に現場に応用されているのが現状であるが、いずれにせよ、接着剤の塗布量不足、ドライアウトといった製造工程上の初歩的ミス完全に防ぐことができ、構造信頼性を向上させることができるという意味で、

プルーフローディングの持つ意味は非常に大きい。

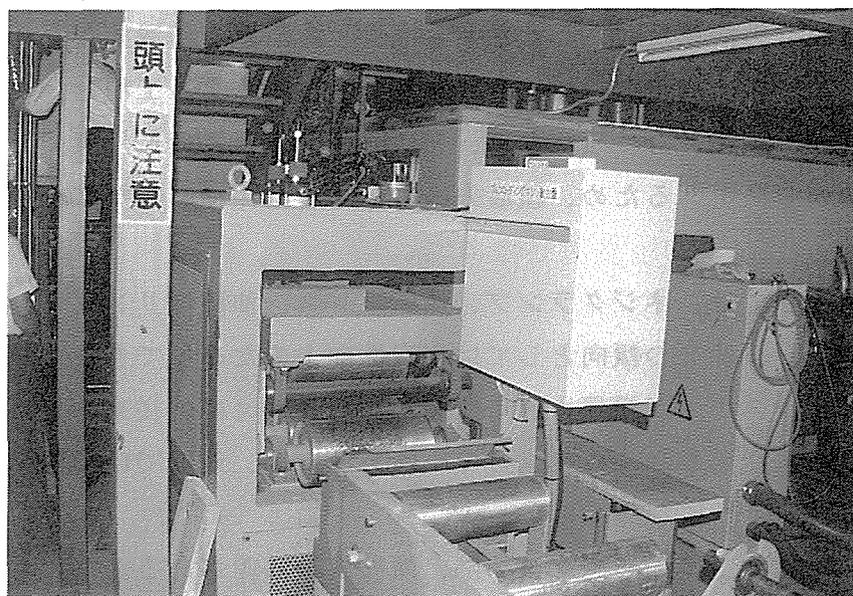


図3-11. 曲げ型のプルフローダー

#### ⑥幅はぎ接着

長さ方向の接合をたて継ぎと呼ぶのに対し、幅方向の接合を幅はぎと呼ぶ。現在のところ、構造用集成材の製造には、この加工はほとんど用いられていない。しかしながら、幅はぎは小中径木を原料とする場合に、歩止り向上に最も有効な手段であるため、特に国産針葉樹を用いた構造用集成材の加工方法として今後採用される可能性が高い。

造作用では、側圧をかけながら上下面から高周波を印加する方法とロータリーコンポーザーと呼ばれる4面回転プレスを用いる方法が主流である。どちらも硬化までの時間が短く、生産効率の良いことが特徴である。

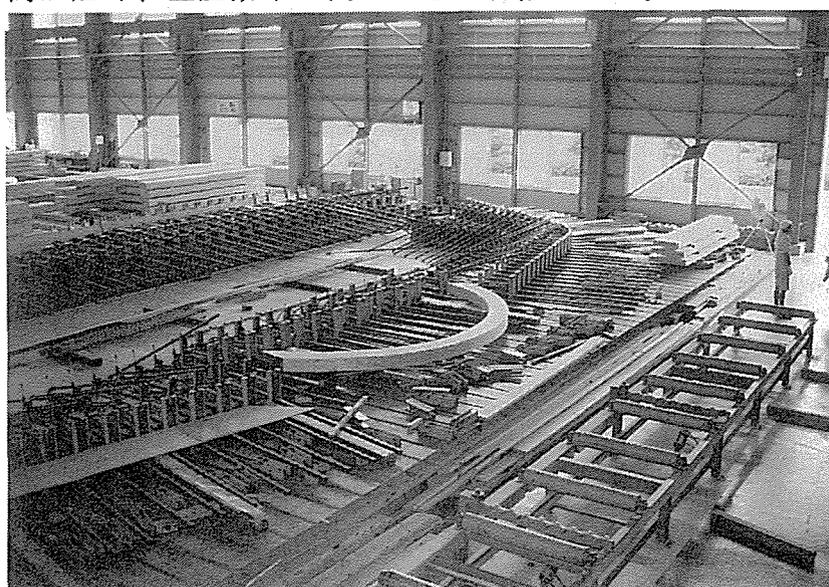


図3-12. わん曲集成材の治具

### ⑦積層接着

ラミナを厚さ方向に重ね合わせながら接着することを積層接着と呼ぶ。積層接着の工程としては、接着剤の塗布されたラミナを圧縮する工程と、硬化するまで圧力を保持する工程に分けられるが、先に述べたように構造用集成材といっても様々な種類の製品があるため、積層方法も製品の種類に応じた様々な方式が採用されている。

圧縮方法としては、ネジクランプ、油圧プレス、油圧シリンダプレス、連続プレス等があるが、最近の傾向としては生産性向上のためにできるだけ人手のかからない自動化システムが採用される傾向にある。例えば、従来ネジクランプが一般的であった大断面のわん曲集成材の圧縮方法にも、最近では油圧シリンダプレスが用いられるようになってきた。

硬化方法には、空気加熱、熱板加熱、高周波加熱等があるが、できるだけ生産性を上げるために、硬化時間の短い接着剤や加熱方法が選ばれる傾向にある。

### ⑧仕上げ

積層接着が終了した後、プレーナーやモルダーなどで表面が仕上げられる。構造用集成材では、造作用集成材ほど表面性が重要視されないため、微細なきずや汚れを防ぐための包装が行われることは少ない。

大断面構造用集成材では製品が大きいため、整形加工には大型のモルダーやランニングプレーナーなどが必要である。最近では、これに接合金物用のスリット加工や穴あけ加工も同時に行えるようにした大型のNC加工機が用いられる場合がある。

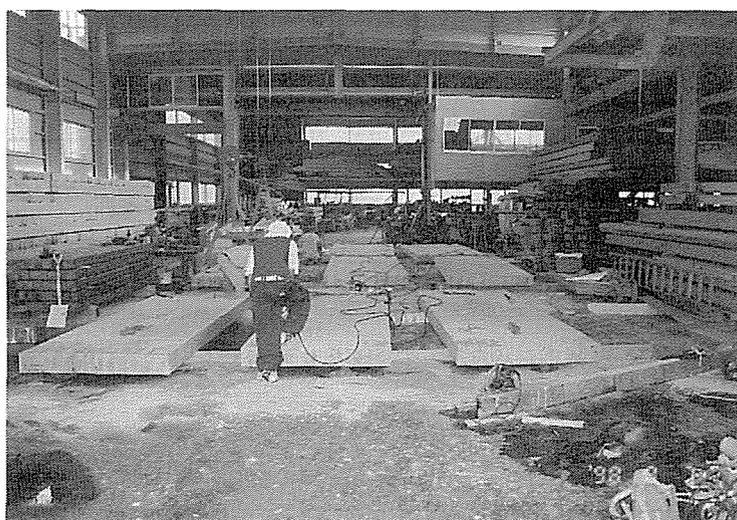


図3-13. 大断面構造用集成材の仕上げ

### 3. 3. 3 構造用集成材の性能

構造用集成材に関する許容応力度を以下に示す。

表3-10. 構造用集成材の樹種群

樹種群	樹 種 名
A	アビトン (これらと同等の強度を有する樹種を含む。) ベイマツ、サザンパイン、ダフリカカラマツ、ミズナラ、
B	ブナ、ケヤキ、カバ、イタヤカエデ (これらと同等の強度 を有する樹種を含む。)
C	アカマツ、カラマツ、ヒノキ、ヒバ、ベイヒ (これらと同 等の強度を有する樹種を含む。)
D	ツガ、ベイツガ、ラジアタパイン、アラスカイエローシダ ー、シオジ、タモ、ニレ (これらと同等の強度を有する樹 種を含む。)
E	モミ、ベイモミ、エゾマツ、トドマツ、ベニマツ、スプル ース、ロジボールパイン、ポンテローサパイン、オウシ ユウアカマツ、ラワン (これらと同等の強度を有する樹種 を含む。)
F	スギ、ベイスギ (これらと同等の強度を有する樹種を含 む。)

表3-11. 対称異等級構成集成材の圧縮、引張り及び曲げの許容応力度

強度等級	長期応力に対する許容応力度 (単位1平方センチメートルにつきキ ログラム)			短期応力に対する許容応力度 (単位1平方センチメートル につきキログラム)		
	圧 縮	引 張 り	曲 げ (それぞ れの材 の厚さ の方向 (単位セ ンチメ ートル) が対 応す 構造 の規格 表3に 応じて 掲げた 数値と す。)	圧 縮	引 張 り	曲 げ
E170-F495	125	110	165	長期 応力 に対 する 圧縮 、引 張 り 又 は 曲 げ の 許 容 応 力 の そ れ ぞ れ の 数 値 の 2 倍 と す。		
E150-F435	110	95	145			
E135-F375	100	85	125			
E120-F330	85	75	110			
E105-F300	75	65	100			
E95 -F270	70	60	90			
E85 -F255	65	55	85			
E75 -F240	60	50	80			
E65 -F225	55	45	75			
この表において、強度等級は、構造用集成材規格の別記3(6)ウ表1の強度等級を 表すものとする。以下表2及び表3において同様とする。						

表3-12. 非対称異等級構成集成材の圧縮、引張り及び曲げの許容応力度

強度等級	長期応力に対する許容応力度 (単位1平方 センチメ ートルに つきキ ログラ ム)			短期応力に対する許容 応力 度 (単位1平方 センチ メー トルに つきキ ログラ ム)		
	圧 縮	引 張 り	曲 げ (それぞ れの材 の厚さ の方向 (単位セ ンチメ ートル) が対 応す 構造 の規格 表3に 応じて 掲げた 数値と す。)	圧 縮	引 張 り	曲 げ
			正の曲げ			正の 曲げ
			負の曲げ			負の 曲げ
E160-F480	120	105	160	115	長期 応 力 対 する 引 張 り 又 は 曲 げ の 許 容 応 力 の 2 倍 と す。	
E140-F420	105	90	140	95		
E125-F360	95	80	120	85		
E110-F315	80	70	105	80		
E100-F285	75	60	95	75		
E90 -F255	70	60	85	70		
E80 -F240	60	50	80	65		
E70 -F225	55	45	75	60		
E60 -F210	50	45	70	55		
この表において、正の曲げは引張り側、負の曲げは引張り側最外層に引張り力が生じる場合、引張り側最外層に圧縮力が生じる場合の曲げを、それぞれ表すものとする。						

表 3-13. 同一等級構成集成材の圧縮、引張り及び曲げの許容応力度

ひ 板 積 数	強 度 等 級	長期応力に対する許容応力度 (単位 1 平方センチメートルに つきキログラム)			短期応力に対する許 容応力度 (単位 1 平 方センチメートルに つきキログラム)		
		圧縮	引張り	曲げ (それぞれの数値 に、集成材の厚 さの方向の辺長 (単位センチメー トル) が対応す る構造用集成材 規格の別記 3(6) ウ表 3 の左欄の 区分に応じて、 同表右欄に掲げ る数値を乗じた ものとする。)	圧縮	引張り	曲げ
4 毎 以上	E190-F615	165	145	205	長期応力に対する圧縮、引張り又は曲げの許容応力度のそれぞれの数値の 2 倍とする。		
	E170-F540	150	130	180			
	E150-F465	130	115	155			
	E135-F405	110	95	135			
	E120-F375	100	85	125			
	E105-F345	95	80	115			
	E95 -F315	85	75	105			
	E85 -F300	80	70	100			
	E75 -F270	75	65	90			
E65 -F255	70	60	85				
3 枚	E190-F555	150	145	185			
	E170-F495	135	130	165			
	E150-F435	120	115	145			
	E135-F375	100	95	125			
	E120-F330	90	85	110			
	E105-F300	85	80	100			
	E95 -F285	80	75	95			
	E85 -F270	75	70	90			
	E75 -F255	65	65	85			
E65 -F240	60	60	80				
2 枚	E190-F510	150	145	170			
	E170-F450	135	130	150			
	E150-F390	120	115	130			
	E135-F345	100	95	115			
	E120-F300	90	85	100			
	E105-F285	85	80	95			
	E95 -F270	80	75	90			
	E85 -F255	75	70	85			
	E75 -F240	65	65	80			
E65 -F225	60	60	75				

表 3-14. めりこみの許容応力度

めりこみ応力の生じる部分のひき板の樹種	長期応力に対する許容めりこみ(単位: 1平方センチメートルにつき)	短期応力に対する許容めりこみ(単位: 1平方センチメートルにつき)
いたやかえで、かば、ぶな、みず なら、けやき、アビトン、たも、し おじ及びにれる又はこれらと等 の品質を有するもの	35	長期応力に対する許容めりこみの2倍とする。
あらかまつ、サザンパイン、ベ ら及びラワンはこれらと等 の品質を有するもの	30	
ひのき、ひば、からまつ及びべ いひ又はこれらと等 の品質を有するもの	25	
つが、アラスカイエローシダー、 べに、まつ、ラジアタパイン、い つが、もみ、とどまつ、えぞまつ、 べい、もみ、スプルーン、ス、ロ ール、パイン、ポーンデロ、一 ン、おしゅ、うあかまつ、す び、いすぎ又はこれらと等 の品質を有するもの	20	

表 3-15. せん断の許容応力度

せん断の応力の生じる部分のひき板の樹種	長期せん断の許容応力度(単位: 1平方センチメートルにつき)	短期せん断の許容応力度(単位: 1平方センチメートルにつき)
いたやかえで、かば、ぶな、みず なら、けやき、アビトン、たも、し おじ及びにれる又はこれらと等 の品質を有するもの	16	長期せん断の許容応力度の2倍とする。
たも、おじ及びにれる又はこれら と等 の品質を有するもの	14	
ひのき、ひば、からまつ、あ つか、らまつ、サザンパイン、 ます、ろつ、は、ま、及び す、ら、ま、は、ま、及び す、ら、ま、は、ま、及び	12	
つが、アラスカイエローシダー、 べに、まつ、ラジアタパイン、い つが、もみ、とどまつ、えぞまつ、 べい、もみ、スプルーン、ス、ロ ール、パイン、ポーンデロ、一 ン、おしゅ、うあかまつ、す び、いすぎ又はこれらと等 の品質を有するもの	11	
もみ、とどまつ、えぞまつ、べ い、もみ、スプルーン、ス、ロ ール、パイン、ポーンデロ、一 ン、おしゅ、うあかまつ、す び、いすぎ又はこれらと等 の品質を有するもの	10	
すぎの品質を有するもの	9	

表3-16. 寸法調整係数

異等級構成集成材に係る試料集成材、試験片又はモデル試験体の厚さ方向の辺長 (cm)		係数
10超	10以下	1.13
15超	15以下	1.08
20超	20以下	1.05
25超	25以下	1.02
30超	30以下	1.00
45超	45以下	0.96
60超	60以下	0.93
75超	75以下	0.91
90超	90以下	0.89
105超	105以下	0.87
120超	120以下	0.86
135超	135以下	0.85
150超	150以下	0.84
165超	165以下	0.83
180超	180以下	0.82
		0.80

同一等級構成集成材に係る試料集成材、試験片又はモデル試験体の厚さ方向の辺長 (cm)		係数
10超	10以下	1.00
15超	15以下	0.96
20超	20以下	0.93
25超	25以下	0.90
30超	30以下	0.89
		0.85

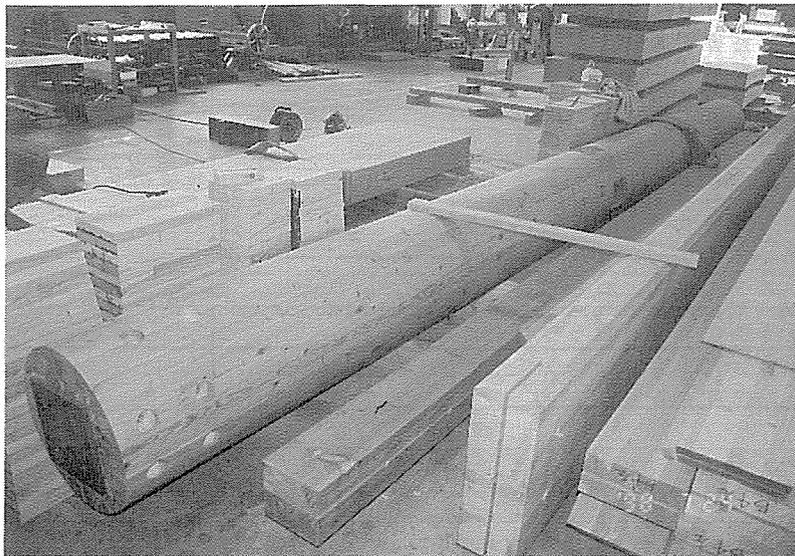


図3-14. 円柱形の大断面集成材

構造用集成材は単なる製材では得られないような様々な特長を持っている。

①寸法が自由である。

集成材ではラミナを接着積層してゆくので、原理的には製品の寸法に制限がない。当然、原材料の寸法にも制限が少ない、例えば、4mの製品が要求されるとき、製材品では原材料として4m以上の長さの丸太が必要となるが、集成材では

4 m以下の丸太、例えば長さ1 mの丸太からでも十分に4 mの製品を生産し得る。また、製品の幅や高さなどの断面についても同様のことがいえる。

②形状・デザインが比較的自由である。

集成材の原材料であるラミナは厚さが薄く、比較的容易に曲げることができるので、わん曲した製品を製造することができる。わん曲集成材のアーチのように2次元的な曲線をもったものばかりではなく、螺旋階段のように3次元的な製品を製造することも可能である。

③乾燥製品である。

原材料であるラミナは製造工程の中で十分に乾燥されるので、製品となった集成材は、水分の移動による木材特有のトラブル、すなわち乾燥による割れや寸法のくるい等の発生が少ない。

④木材の良さが損なわれていない。

加工性の良さ、比強度の高さ、調湿性、熱伝導率の低さ、吸湿性の高さ、耐薬品性といった木材の持つ特性はそのまま継承されているばかりでなく、化粧ばりによって、美観をさらに向上させることが可能である。



図3-15. スギの化粧単板を表面に貼った構造用化粧柱

⑤欠点が除去あるいは分散されている。

腐れ、割れ、大きな節等の欠点は製造工程において除去される。また、小さな節等の許容できる欠点は製品内部に分散される。従って、製材品のように欠点が一部分に集中することがない。

⑥強度性能が高い。

集成材は③、⑤で述べたような理由から、割れが入らないこと、また欠点が分散されることに加え、積層数が増せば増すほど製品のバラツキが減少する「積層効果（2章）」が顕著になるため、品質が均一化して信頼性が向上する。

⑦薬品処理が容易である。

接着工程以前にラミナに薬品処理をすれば、材料の深部にまで薬剤を浸透させることができるので、高い防腐性能、耐火性能などが付与される。もちろん、薬品処理が施されなければ、その性能は単なる木材と変わらない。

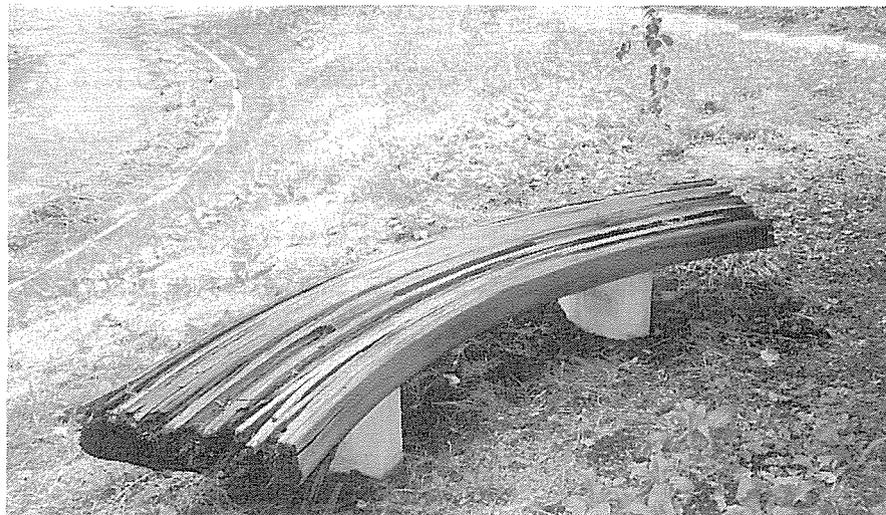


図3-16. 防腐処理が施されなかったために腐朽してしまったベンチ

⑧耐火性能が非常に高い。

木材は大断面であれば、表面は焦げても炭化の速度が遅い（1分間におよそ0.6mm）ため、内部の材質には変化が生じないという特性がある。また木材は鉄骨のように高熱になると急に軟化してしまうことがないので、炭化が進行して断面が荷重に耐えきれなくなるまで、急に崩壊するというようなことがない。したがって、大断面集成材を用いた建築物では、耐火性が非常に高いばかりでなく、安全に避難出来る時間も長い。

もちろん、火災に強いといっても、それは大断面集成材だけに限ったことであり、断面の小さな集成材は、普通の製材品と同じように燃えることを忘れてはならない。

#### 3.3.4 構造用集成材の利用

集成材に関する技術は20世紀初頭にドイツ人により特許が取得された後、世界中に広まったとされている。わが国では1951年に森林記念館のアーチにわん曲集成材が用いられたのが最初である。

その後、1950年代後半から1960年代にかけては、わん曲集成材を用いた体育館などの大断面木造建築が計1000棟程度建てられたが、建築基準法による規制の強化や安価な鉄骨造の普及により、1960年をピークに衰退を余儀なくされた。

ところがこれと時を同じくして木材需要の増加が顕著となり、良質な製材品が不足したため、集成材をコアにして表面に化粧単板を貼った、いわゆる化粧柱が大量に普及する事になった。

その後、手すり、テーブルトップなどに用いられる造作用の広葉樹集成材も普及し、集成材全体の生産量は順調に増加し続けたが、1980年代初頭には住宅建設の大幅な落込みにより、生産量が前年度比で減少となる事態も生じた。しかしながらその後は、住宅生産の回復と大断面木造建築の復権により、年々生産量が増加し続けてきた。

特に第1章で詳しく述べたように、大断面構造用集成材のJASが登場した1980年代中期以降、集成材全体の生産量は飛躍的にのびてきた。とりわけ最近では住宅用の集成管柱や梁材に用いられる中断面構造用集成材の生産量増加が顕著である。これに加えて、海外からの輸入量も激増しており、1996年度には集成材全体の生産量と輸入量の総計が100万 $m^3$ を突破した。

1998年度には日本経済が深刻な不況に見舞われたこともあって、前年度比10%程度の需要低下が見られたが、1999年後半から品確法への対応のために、製材から集成材に切り替える動きが顕著になり、需要が回復してきている。

現在、構造用集成材は、住宅用の管柱から大規模木造建築や木橋に使われる大断面わん曲集成材に至るまで、非常に広範囲に用いられている。特に先にも述べたように、乾燥された製品であることがクレームを嫌う住宅関係への需要拡大に大きく寄与している。とりわけ、近年発展が著しい金物工法住宅では、構造用の金物を使う関係上、乾燥されたEWを使うことが不可欠であるため、構造用集成材はごく当たり前の材料として用いられるようになっている。

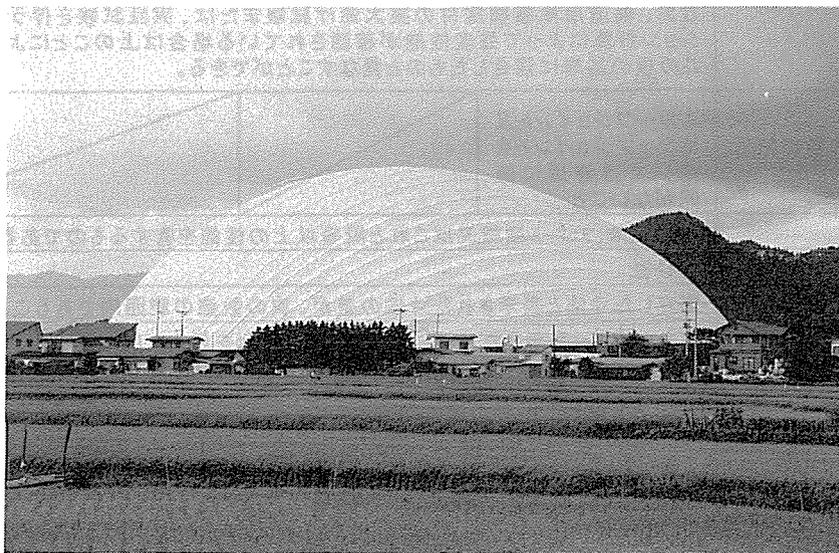


図3-17. 世界最大級の木造建築物である大館樹海ドーム

### 3.4 構造用LVL

#### 3.4.1 構造用LVLの種類

日本農林規格（JAS）では、構造用単板積層材とは「ロータリーレース又はスライサー等により切削した単板を主としてその繊維方向を互いにほぼ平行にして（最外層に隣接する直交単板を用いた場合にあっては、これを除き、その繊維方向を互いにほぼ並行にして）積層接着した一般材であって、主として構造物の耐力部材として用いられるものをいう。」としている。

構造用LVLの種類は、構造用集成材に比べると非常に単純である。JASでは、積層数や隣接するたて継ぎ部分の位置などによって、特級、1級、2級の3種類に、さらに、曲げヤング係数とせん断性能によって幾つかの等級に区分しているだけである。構造用集成材のような樹種群、断面の大きさ、エレメントの構成などによる製品区分は採用されていない。

表3-17. 構造用単板積層材のJAS規格の概要

事 項	品 質 の 基 準		
	特 級	1 級	2 級
厚 さ	25mm以上		
含 水 率	14%以下		
単板の積層数	12層以上	9層以上	6層以上
隣接する単板の長さ方向の接着部の間隔	隣接する単板において、それぞれの単板の接着部が単板の厚さ(厚さの異なる単板で構成されている場合には、最も厚い単板の厚さ、以下同じ)の30倍以上離れていること。なお、構造用単板積層材の実大曲げ試験または、実証試験を伴うシミュレーション計算によって強度性能が確認されている場合は上のことによらずともこの項の基準に適合したものと見なすことができる。		
同一の横断面の単板の長さ方向の接着部の間隔	直交単板を除き、6層以上離れていること	直交単板を除き、4層以上離れていること	直交単板を除き、2層以上離れていること
	なお、構造用単板積層材の実大曲げ試験または、実証試験を伴うシミュレーション計算によって強度性能が確認されている場合は上のことによらずともこの項の基準に適合したものと見なすことができる。		
単板の長さ方向の接着部の品質	スカーフジョイント又はラップジョイントを用いて接着部に隙間がないこと		
材 料	接着剤は、フェノール樹脂又はこれと同等以上の性能を有するものであること		
反り又はねじれ	極軽微		
寸 法	測定した寸法と表示された寸法の差が、次の数値の範囲内であること		
	厚さ	0～表示された寸法の7% (ただし3mmを超えないこと)	
	幅	-1.5mm～1.5mm	
	長さ	0mm以上	

また、構造用LVLでは構造用集成材で採用されているような、使用環境と接着剤の区分も採用されていない。なお、このほかの分類として、通直とわん曲、縦使いと平使いといった区分がある。

### 3.4.2 構造用LVLの製造

構造用LVLの製造工程は、材料や製品の種類、生産量などによって多様であるが、一般的には、原木→ベニアの製造→ベニアの乾燥→ベニアの等級区分→ベニアの積層接着→仕上げ→製品という流れとなる。ただし、乾燥されたベニアを購入したところから、製造ラインが始まる工場も多い。

LVLのできるまで

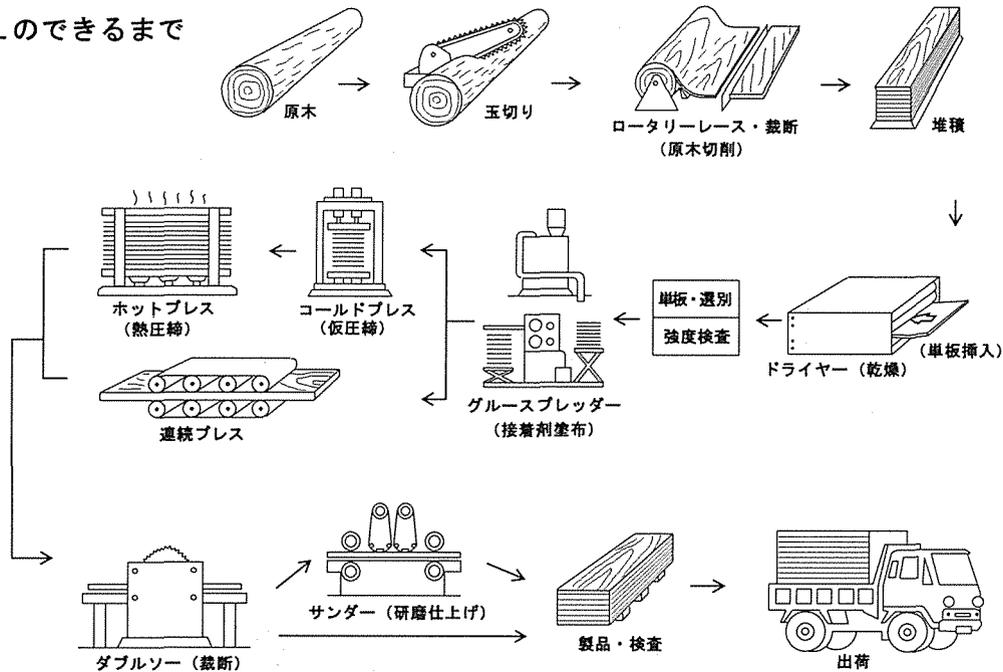


図3-18. LVLの製造工程(全国LVL協会刊LVLの手引きより一部抜粋)

構造用LVLの場合、使用される樹種としては針葉樹がほとんどである。輸入製品ではベイマツ、サザンパイン、ベイツガ、ラジアタパイン、ホワイトスプルースなどが、国産品ではベイマツやカラマツなどが使われる。

構造用LVLの製造工程では、構造用集成材に比べて比較的高度な装置化が可能である。また乾燥が容易で歩止りが高いベニアがエレメントとして用いられるので、原料から製品になるまでの時間が短く、生産性が高い。当然のことながら、製品としての歩止りも集成材のそれよりはるかに高い。

LVLにおける原木からベニアの乾燥までの製造工程は合板とほぼ同じである。積層接着の工程では合板が互いにベニアを直交させるのに対し、LVLではベニアの方向を軸方向にそろえて平行に積層する。この時、ベニアのたて継ぎ部分が規定通りに分散するようにすることが重要である。

ベニアのたて継ぎには、バットジョイント、スカーフジョイント、ラップジョイント、ベベルドジョイントが用いられる。LVLの場合、集成材とは異なり、バットジョイントを用いても強度的には大きな問題とならない。ただし、わが国では化粧的な意味でバットジョイントが好まれない傾向にある。

### 3.4.3 構造用LVLの性能

構造用LVLの特長は以下に示すとおりであるが、それらの多くは、構造用集成材と共通したものである。

#### ①寸法の自由度が高い。

LVLでは単板を圧縮して製造するので、プレスの大きさなどにより製品の厚さ方向や幅方向には制限がある。しかし、その製品を集成材におけるラミナのように入れて二次接着すれば、原理的にはいくら長大な寸法の製品でも生産し得る。

#### ②形状・デザインの自由度が高い。

上の場合と同様、一次製品をラミナのようになん曲させて接着すれば、なん曲集成材の場合と同様に、様々な形状の製品を製造することができる。



図3-19. 構造用LVLを用いた木橋の斜材

#### ③乾燥製品である。

ベニアは製造工程中に十分に乾燥されるので、製品となったLVLは、水分の移動による木材特有のトラブル、すなわち乾燥による割れや寸法の狂い等の発生が少ない。

#### ④欠点が除去あるいは分散されている。

腐れ、割れ、大きな節、髓芯などの欠点は単板の製造工程や等級区分の工程において除去される。また、小さな節等の許容できる欠点は積層接着により製品内部に分散される。

#### ⑤強度性能が高い。

LVLは上で述べたような理由から、割れが入らないことや欠点が分散されることに加え、第2章で述べたような積層効果により、品質が均一化して強度の下限値が高くなる。一般に小断面では、LVLの方が集成材より積層数が多くなる

ので、構造信頼性は高くなる。

LVLの各特性の変動係数を、非常に大まかに5%刻みに示すと、容積密度(5%以内)、MOE(10%以内)、曲げ強度(10～15%)、引張強度(10～20%)、せん断強度(10%以内)、圧縮強度(10%以内)である。

⑥生産性が高い。

LVLでは、単板を用いるため製品の歩留まりが高いこと、原料から製品になるまでの時間が短いこと、高度な装置化が可能であることなど、集成材に比べて生産性が高い。

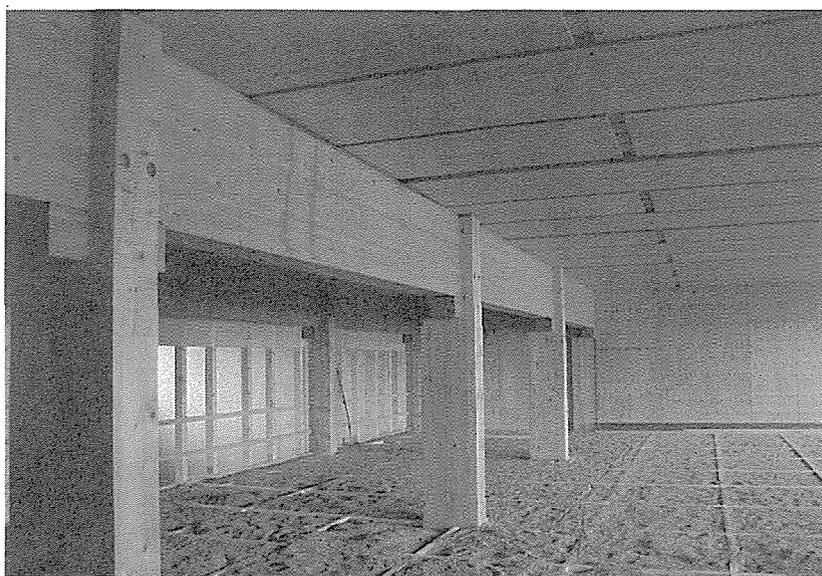


図3-20. 校舎の内部(梁は構造用集成材、正面の壁はクロスバンド挿入型のLVL)

⑦薬品処理が容易である。

ベニアに薬品処理をすれば、材料の深部にまで薬剤を浸透させることができるので、高い防腐性能、耐火性能等が付与される。この特性についても、LVLの方が集成材よりも有利である。

⑧用途に応じた強度の製品を製造できる。

ベニアを等級区分し、それを系統的に組み合わせることにより、用途に応じた強度区分の製品を製造することができる。ただ、LVLでは積層数が多く、また縦使いされることが多いので、集成材のようにきめ細かく等級区分する必要はない。一般に、2～3種類くらいに区分するだけで十分である。

⑨木材の良さが損なわれていない。

加工性の良さ、比強度の高さ、調湿性、熱伝導率の低さ、吸湿性の高さ、耐薬品性といった木材の持つ特性はそのまま継承されている。構造用ではほとんど行われませんが、表面に化粧単板を積層することによって、美観をさらに向上させることも可能である。

一方、LVLの短所としては、次のような点が挙げられる。

- ① LVLはベニアを原料とするので、ベニアを生産するとき生じる裏割れに由来する性能低下（釘打ちによる割れ、せん断強度の低下など）と加工性の低下（欠けの発生、かんながけが効きにくいことなど）は、避けることが難しい。
- ② LVLは接着層が多いので、切削加工では刃物が痛みやすい。
- ③ 単板はラミナに比べて幅方向の寸法安定性が劣るので、LVLの積層数が少ない場合、狂いが生じることがある。
- ④ LVLだけに限った話ではないが、自動化や装置化が進むほど設備投資が必要となる。

構造用LVLの許容応力度を表3-18に示す。

表3-18. 構造用LVLの許容応力度

曲げヤング係数区分	等級	長期応力に対する許容応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )			短期応力に対する許容応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		圧縮	引張り	曲げ	圧縮	引張り	曲げ
180E	特級	155	120	195	長期応力に対する圧縮、引張りまたは曲げのそれぞれの材質の2倍とする。		
	1級	150	100	170			
	2級	140	85	140			
160E	特級	140	105	175			
	1級	135	90	150			
	2級	125	75	125			
140E	特級	120	90	155			
	1級	120	80	130			
	2級	110	65	110			
120E	特級	105	80	130			
	1級	100	65	110			
	2級	95	55	95			
100E	特級	85	65	110			
	1級	85	55	95			
	2級	80	45	80			
80E	特級	70	50	85			
	1級	65	45	75			
	2級	65	40	65			

注) 曲げヤング係数区分および等級は構造用単板積層材規格の定めるところによる。

水平せん断性能	長期応力に対する許容応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	短期応力に対する許容応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
65V - 55H	13	長期応力に対するせん断材質の2倍とする。
60V - 51H	12	
55V - 47H	11	
50V - 43H	10	
45V - 38H	9	
40V - 34H	8	
35V - 30H	7	

注) 水平せん断性能は構造用単板積層材規格の定めるところによる。

V: 縦使い H: 平使い

なお、1999年のJAS規格改正により125E、110E、90E、70E、60Eの等級が新たに追加されたが、その許容応力度については、今のところ建設省から値が示されていない。

#### 3.4.4 構造用LVLの利用

構造用LVLは先に述べたような欠点を考慮さえすれば、基本的には構造用集成材と同じような使い方ができると考えてよい。

用途としては、大断面木質構造では母屋、床梁、屋根梁など、住宅関係では、柱、梁、まぐさ、根太などがあげられる。特殊な用途としては足場板やIビームのフランジ（次節を参照）などがある。なお、北米では需要の多くがIビームのフランジ用である。

いずれにしても、構造用LVLは構造用集成材に比べ、引張強度の高さと品質の均一性がメリットであり、この利点を生かしたような用途に用いるのが本筋であろう。

構造用LVLの耐火性能については、北米では大断面集成材と同等であると評価されているが、わが国では、今のところ実験データが少ないため、高い評価を得るに至っていない。

耐久性に関しては、先にも述べたように裏割れのために幅方向の寸法安定性がラミナより劣る。したがって、屋内使用のような条件下では問題ないが、雨風や直射日光に暴露されるような条件では劣化しやすい。

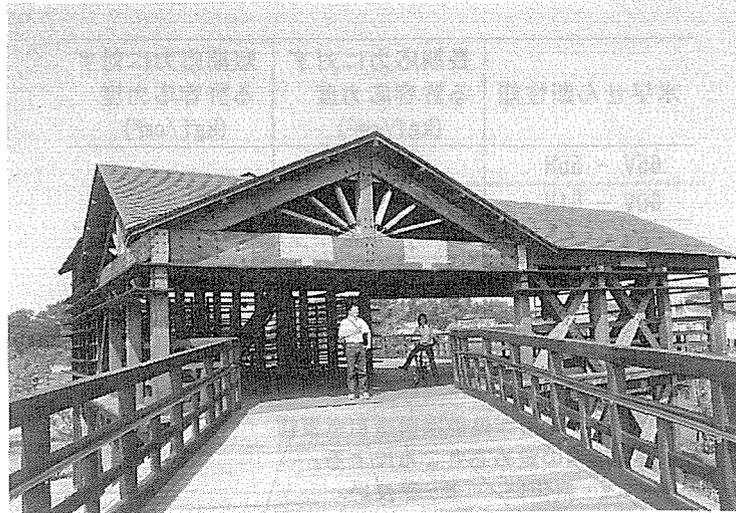


図3-21. 構造用LVLを用いた東屋(木橋への登り口)



図3-22. 二次接着された後、端部の加工を施され出荷を待つ構造用LVL



図3-23. 大断面構造用LVLを多用したレストラン

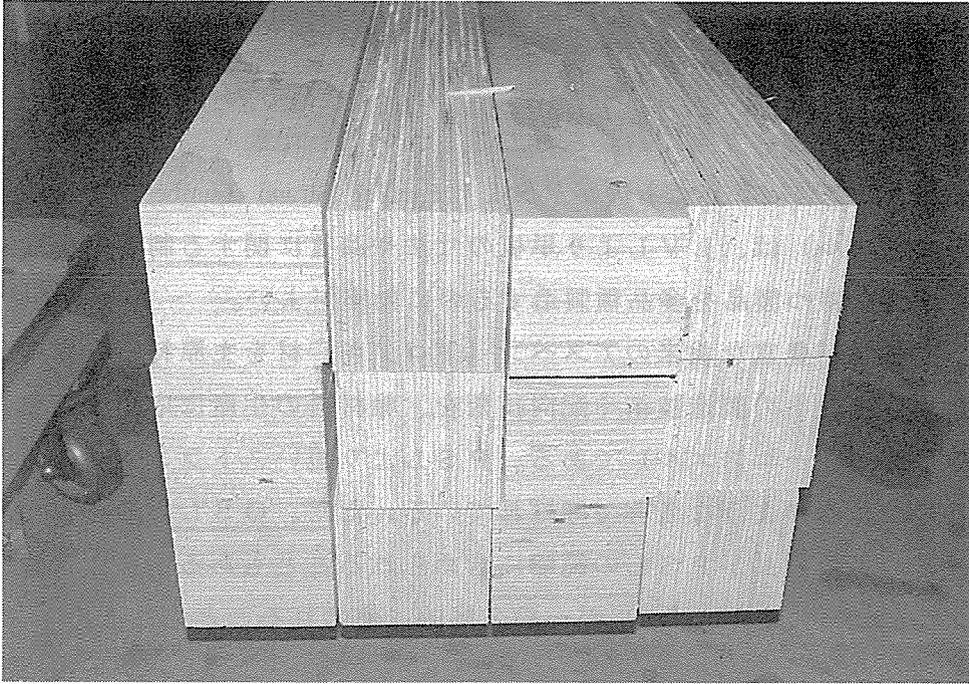


図3-24. 在来工法用の柱に用いられる構造用LVL

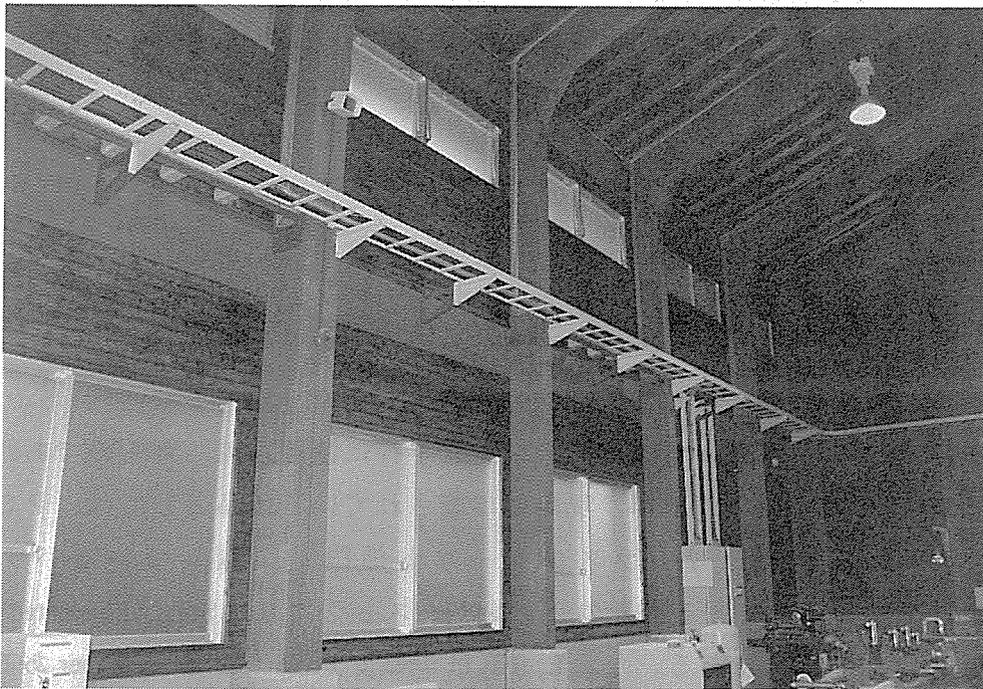


図3-25. 工場の構造部材に用いられた通直LVL

### 3.5 PSLとOSL

#### 3.5.1 種類

針葉樹の単板を長さ方向に割裂させてストランドを作製し、これを軸方向に平行（Parallel）に積層接着したものがPSL（Parallel Strand Lumber）である。PSL（ピーエスエル）は、LVLより単板の寸法や品質に関する制限が少なく、また任意の断面を持つ製品を多品種製造するのに効率がよい。

一方、蓄積量が豊富な北米のアスペン（ドロノキ）材を主原料とし、OSBで培われたエレメントの製造技術や配向技術を、軸材料の生産に応用して生まれたものがOSL（オーエスエル）である。PSLより短いストランドが軸方向に配向されるので、このような名称で呼ばれている。ただ、OSLの名称は一般的ではなく、この種の製品がPSLの範疇に含められることもある。また、商品名のLSL（Laminated Strand Lumber）が一般名詞的に使われることもある。

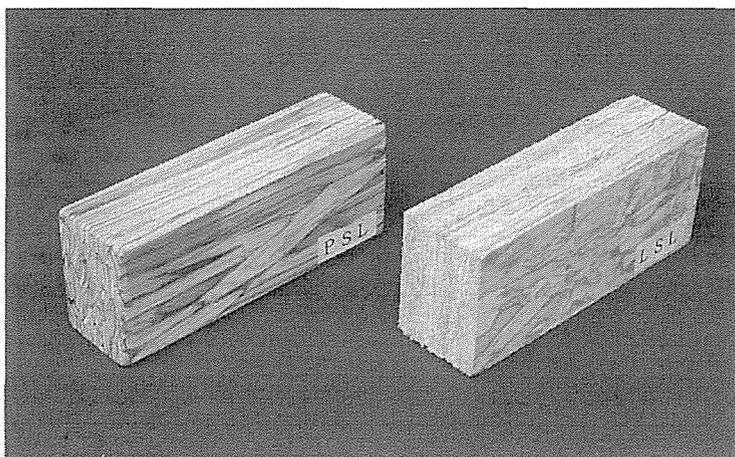


図3-26. PSL(左)とLSL(右)の小試片

原理的には、ストランド状のエレメントを平行に積層接着したものであれば、PSLやOSLの範疇に入るが、現実に市販されている製品としては、PSLであるウエアハウザー社のトラスジョイント部門が製造しているパララム（Pallalam）と、OSLである同社のティンバーストランドLSL（Laminated Strand Lumber）の2種類だけである。なおLSLはかつてLong Strand LumberあるいはPSL300という商品名で市販されていた時期がある。

これら2種類の製品については、それぞれ2～3の等級区分（MOEによる区分）があるだけで、それ以外の区分はない。

なお、同種の製品として、森林総合研究所で開発されたSST（割裂細片積層材：Superposed Strand Timber）がある。この製品はスギ製材の背板等の廃材を原料としたものであり、原材を直接割裂してエレメントを作製することが特徴である。その後エレメントを平行に積層接着するところは前2者と同様である。SSTは

国内ですでに生産が開始されているが、現在のところ許容応力度は与えられていない。

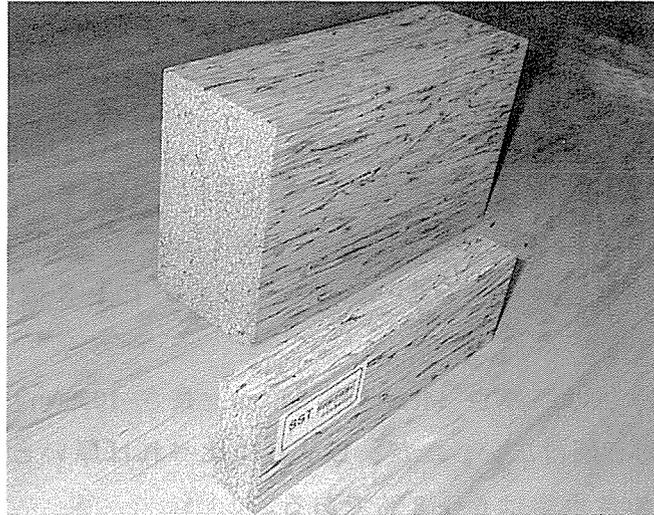


図3-27. SSTのサンプル

### 3.5.2 PSLとOSLの製造

両者の製造原理の比較を、図3-28に示す。一般的に、OSLではエレメントの平行の度合い（配向度）がPSLより低い。またPSLのエレメントである単板はOSLのストランドより厚く、製品の木口面には短い隙間が所々にできる。

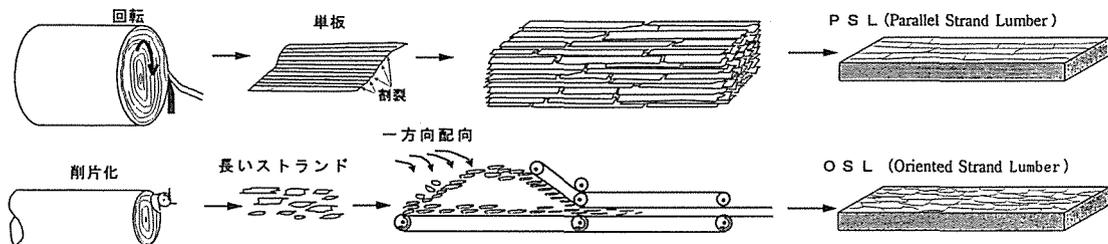


図3-28. PSLとOSLの製造原理の比較

なお、近年北米ではLVL、PSL、OSLの総称として、SCL（構造用複合軸材料：Structural Composite Lumber）という用語が用いられるようになってきた。

PSLの工程では、乾燥されたベイマツあるいはサザンパインの単板（厚さ：2～3mm、長さ：600～2500mm）を繊維に並行に裁断してストランド（幅12～16mm）とする。これによって大きな欠点や目切れが除去される。ついで、これにフェノール樹脂接着剤を塗布し、連続的に積層接着（マイクロ波加熱）する。これにより、LVLのようにたてつき部分が幅方向に一直線上に並ぶことはなくなる。

工程を終了したときの製品寸法は幅28cm、高さ（厚さ）43cm、長さ2000cmであるが、出荷する前にはこれをさらに所定の寸法に裁断して用いる。一般にLVLでは製品厚さが4cm前後であるから、それに比べれば非常に厚いといえよう。

もちろん、これ以上の断面を必要とする場合には、2次接着が行われる。

一方OSLの工程では、ポプラやアスペン材からディスクフレイカーを用いて厚さ0.7mm、幅25mm、長さ30cm程度のストランドを採り、これを乾燥した後、ポリウレタン樹脂をスプレーする。ついでこれを大型の蒸気噴射プレスを用いて高速接着する。

OSLでは、エレメントを製造するのにPSLのような単板製造工程が必要ない。したがって、小径木でも、短小材でも、曲がり材でも、原料とすることが可能である。当然、原材料からの歩止りについては、SCL3種の中で最も高い値を示す。

この製品の最大寸法は、厚さ14cm、幅240cm、長さ1050cmであり、PSLに比べ、厚さは薄い、幅は広い。ただ、LVLに比べれば厚いといえよう。なお、最終段階での製品の含水率は6～8%である。

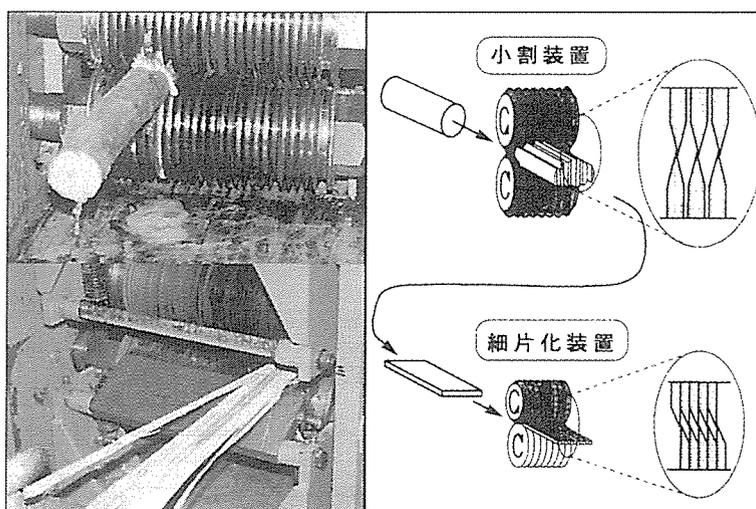


図3-29. SSTに用いられるストランドの割裂装置(森林総合研究所のパフレットより)

なお、SSTに用いられるエレメントの割裂装置(ロールプレスカッター)を図3-29に示す。

### 3.5.3 PSLとOSLの性能

PSLでは節が除去され、目切れやたてつき部が無いので、強度特性のバラツキが小さく、製品としての構造信頼性が非常に高い。この原理については第2章のEW化技術で述べたとおりである。

PSLの耐水性や耐久性については、フェノール樹脂接着剤が用いられているので、構造用集成材やLVLと同等であると考えられる。水分の変化に対しては製材品よりもねじれやそりなどの狂いが生じにくい。ただ、構造用集成材に比較すれば厚さ方向(積層方向)の寸法安定性が劣る。

パララムではエレメントの間にわずかな空隙があるので、集成材に比べて薬品注入による防腐処理などが容易であり、またその効果が高い。

PSLの欠点は、LVLと同じく接着層が多いので、切削加工における刃物を傷つけやすいこと、また、製材や集成材より比重が高くて重いことなどである。パララムの許容応力度を表3-19に示す。

表3-19. パララムの許容応力度

等級	曲げ	繊維方向への		繊維直角方向への	水平せん断	短期許容 応力度	ヤング係数
		引張	圧縮	圧縮			
2.1E	165	130	140	30	12	長期許容 応力度の 2倍	150×10 <sup>3</sup>
2.0E	155	120	140	30	12		145×10 <sup>3</sup>

注)これらの値は厚さ300mmで設定されたもの。その他の厚さでは、寸法調整係数(300/d)<sup>1/9</sup>を乗じること。ここで d: 厚さ。

一方、OSLの強度特性もPSLと同様に、積層効果、欠点除去、配向などにより、非常に信頼性が高い。

OSLの耐水性や耐久性については、フェノール樹脂接着剤より劣るものの、比較的耐水性の高いポリウレタン樹脂が用いられているので、構造用集成材の使用環境区分の2程度の環境条件(2.3節)であれば、特に問題はないと思われる。

OSLの欠点は、厚さ方向の寸法安定性がPSLやLVLより劣ること、また低質な広葉樹が原料であるため、強度特性の平均値がPSLのように高くはないことなどである。もちろん、逆に製品の価格はSCL3種の中で最も安価である。

表3-20. LSLの許容応力度

等級	曲げ	繊維方向への		繊維直角方向への	水平せん断	短期許容 応力度	ヤング係数
		引張	圧縮	圧縮			
90E	95°	60	60	43	13	長期許容 応力度の 2倍	90×10 <sup>3</sup>
100E	110°	75	75	43	13		100×10 <sup>3</sup>
110E	130°	90	95	43	13		110×10 <sup>3</sup>

注)これらの値は厚さ300mmで設定されたもの。その他の厚さでは、寸法調整係数(300/d)<sup>0.093</sup>を乗じること。

ここで d: 厚さ。なお、寸法調整係数の値はPSLとは異なるので要注意。

### 3.5.4 PSLとOSLの利用

PSLの用途は、通直な大断面構造用集成材や構造用LVLと同様に長大な構造用部材であるが、前2者に比べれば、断面寸法が自由に変えられることが特徴

であるため、断面の小さな梁、柱、まぐさとしての使用にも適している。PSLを主要構造部材に用いた大断面木質構造は、すでにいくつか完成しており、住宅用の構造用材として採用しているプレハブメーカーもある。

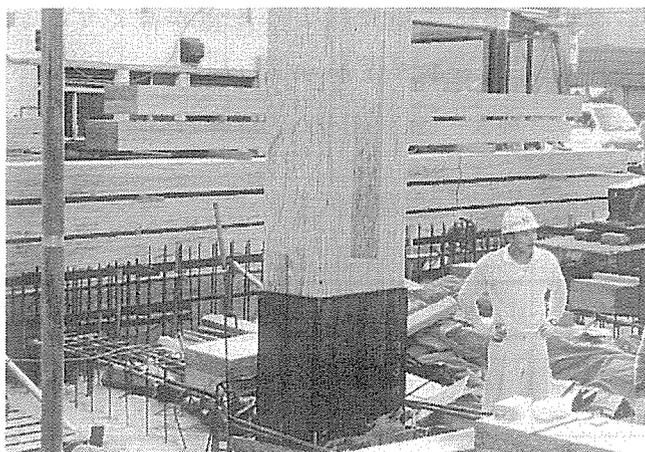


図3-30. PSLを用いた商店建築の柱

OSLについては、構造用材として採用されるようになって日が浅いため、枠組壁構法用の端根太や側根太が主たる用途であったが、最近では屋根トラスや主要構造材に、在来軸組の部材と同じ形態にプレカットしたLSLを用いる合理化システム住宅も登場してきた。

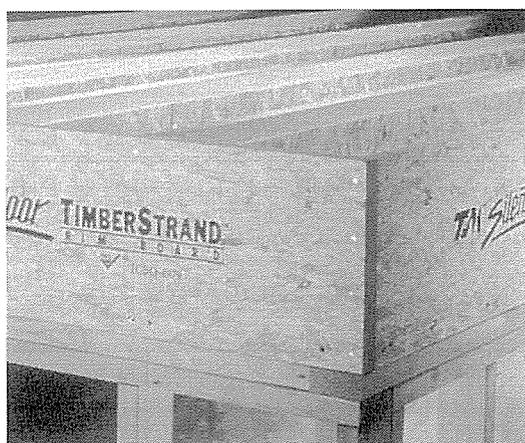


図3-31. OSLの端根太

なお、両者とも、現在のところは外構材としての利用は考えられていない。PSLはLVLと同様に防腐薬剤の注入処理が容易であるため、今後研究の進展によっては利用されることになるかもしれないが、寸法安定性の問題は残る。また、OSLは使用されている接着剤の種類から考えて、一般的な外構用途には不向きである。

### 3.6 Iビーム(I-Beam)

#### 3.6.1 Iビームの種類

上下に引張・圧縮強度の高い部材を配置し、中央部分にせん断強度の高い部材を配置した複合部材がIビーム（アイビーム）である。言うまでもなく、この名前はその断面の形状に由来する（図3-32）。Iビームでは梁の上下に引張・圧縮強度の高いLVLまたはMSR製材（たて継ぎされることが多い）が、中央部にはせん断強度の高い合板またはOSBが配置される。

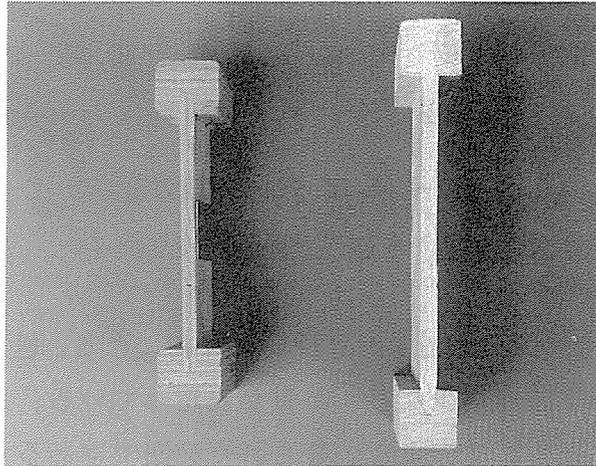


図3-32. Iビームの断面

一般的な矩形断面の梁とIビームに生じる曲げ応力分布を示したものが図3-33である。Iビームの上下の軸材（フランジ）の応力分担が大きく、腹部の面材（ウェブ）は応力分担が小さいことがわかる。このように、Iビームのフランジは強度的な負担が大きいだけに、より高い信頼性をもったものでなければならない。

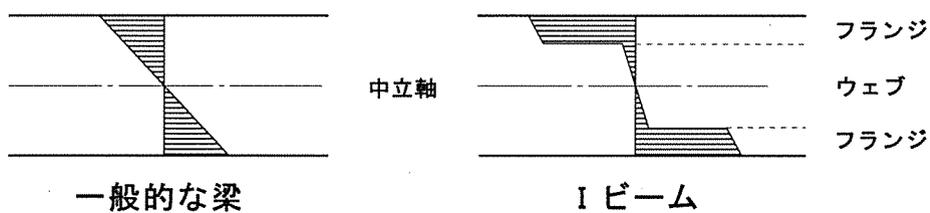


図3-33. 矩形断面の梁とIビームに生じる曲げ応力の比較

北米では十数社がIビームを生産しているが、わが国で市販されているのは、今のところウエアハウザー社のトラスジョイント部門が販売しているTJI（商品名）だけである。この製品は、建築基準法第38条の認定を受けており、許容モーメントやせん断強度はこの中で設定されている。なお現在のところ、わが国でこの種の製品は生産されていない。

### 3.6.2 Iビームの製造

Iビームの製造といっても極めて簡単で、フランジとウェブを接着によって一体化するだけである。まず、フランジに溝のような切り込みを入れ、耐水性の高いレゾルシノール樹脂接着剤を塗布した後、ウェブを差し込んで接着するのが一般的である。

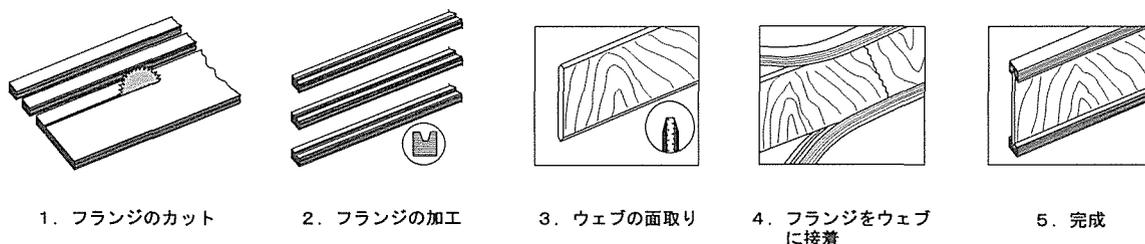


図3-34. Iビームの製造方法

### 3.6.3 Iビームの性能

Iビームの特徴として、長尺である、材料が節約できる、軽くて作業性が良い、乾燥材が使われるので狂いが少ない、品質が安定している、力学的な特性が明確であることなどがあげられる。また、許された範囲ではあるが、ウェブに孔を空けることができるので、配管などが容易である（図3-35）。

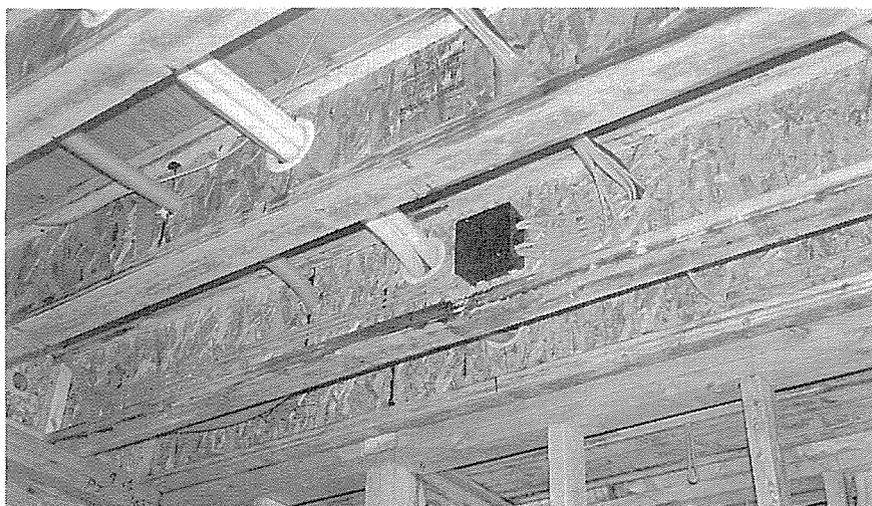


図3-35. Iビームと配管(フランジに配管の穴をあけることができる)

Iビームは高度にエンジニアード化されているので、それだけにいっそう使用に際して注意すべき点が多い。

まず、先ほどから述べてきたように、フランジの応力分担が大きいので、圧縮側であっても切り欠きや切り込みを入れることは厳禁である。また、ウェブの孔は許された範囲のものでなければならない。

Iビームでは縦方向の剛性に比べて横方向の剛性が小さいため、運搬や保存に

あたっては、縦積みにして、無理な力がかからないようにしなければならない。施工にあたっても適当な間隔で振れ止め等を設けて横方向の剛性を補強してやる必要がある。

#### 3.6.4 Iビームの利用

北米では長尺のディメンションランバー（2×6～12インチ）などの代替品として床梁などにこの材料が多用されている。わが国でも、大断面木造のたる木や母屋、住宅の床梁などに用いられている。

Iビームを使用する上で最も大切なことは、定められた施工仕様に従うことである。長尺梁としての性能を発揮するためには、正しい施工・作業方法が不可欠であり、取り扱いについてはメーカーの指導を受け、現場ではマニュアルに従って施工するようにしなければならない。

なお、Iビームには、ユーザーの要求に応えられるように様々な寸法、等級の製品があるので、スパン表などを参考にしながら適宜製品を選択すればよい。



図3-36. 床梁のLVLとIビームとの取り合わせ



図3-37. 在来工法の根太に用いられたIビーム

### 3.7 OSB

#### 3.7.1 OSBの種類

OSB(Oriented Strand Board:配向性ストランドボード)は、2.6の「配向」ですでに触れたとおり、構成要素であるストランドの繊維方向の向きをそろえ、なおかつそれを直交に積層して製造した木質ボードである

わが国においてOSBの性能を規定する規格は、歴史的な経緯から2つ存在する。旧来から存在したJISA 5908「パーティクルボード」は、1986年の改正により、ウェファーボード、OSBも包含するようになった。

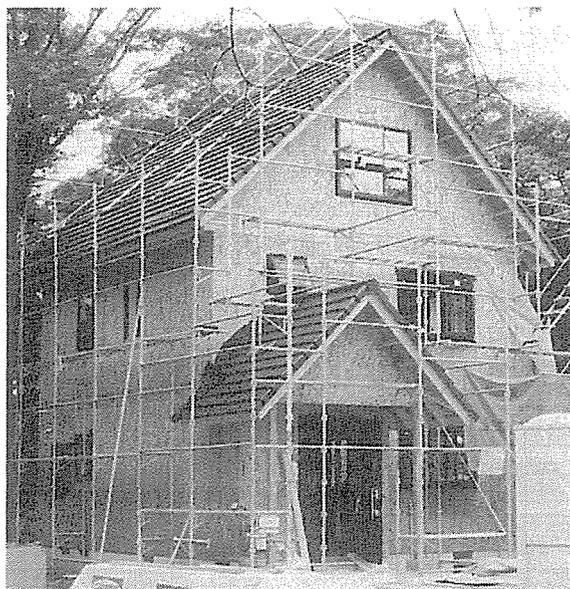


図3-38. 壁にOSBを多用した住宅

一方これとは別に、JASで「構造用パネルの日本農林規格」が1987年に制定された。これは、JISが造作用を主とした仕様規格であるため、様々な種類の構造用面材料を規定することが困難であったからである。このJAS規格では製造方法に関する規定項目がなく、試験項目に合格すれば、原料や製造法に関係なく構造用パネルとして格付けが可能な形となっている。これは北米における構造用パネルの性能規格の考え方を、わが国に導入したためである。その結果として、この規格は、建築基準法の性能規定化を先取りしたような形となっているのが特徴である。

なお、わが国では一般に「パネル」というと枠材に合板を貼り付けたようなものを想像するが、欧米では面材料のことをいう。ここでいう「構造用パネル」とは、建築物の構造部材として使用される面材料をさし、合板と木質ボード類の両者を含むものである。

表3-21に構造用パネルのJAS(制定:1987年、改正:1991年)の概略を示す。

表3-21. 構造用パネルのJASの概略

規定項目	内容
適用の範囲	構造用パネル
区分	1級、2級、3級、4級(強度性能試験による)
接着の程度	接着性能試験で保証
含水率	含水率試験により平均含水率が13%以下
吸水性	吸水厚さ膨張率試験で保証
寸法	厚さ、幅及び長さの許容誤差、対角線の長さの差を規定 表面、裏面、側面一仕上げが良好なこと そり、ねじれ一軽微であること 辺の曲がり一最大矢高1mm以下
強度性能試験	常態曲げ試験 - 3点曲げ試験(長さ方向、幅方向の2種):等級ごとに曲げ強さ、曲げヤング係数の基準値を規定 湿潤曲げ試験 - 水平から5°傾けて設置し72時間散水後3点曲げ試験(長さ方向、幅方向の2種):級ごとに曲げ強さ、曲げヤング係数の基準値を規定 釘接合せん断試験 - CN50釘の最大耐力が70kgf以上 釘引き抜き試験 - 最大引き抜き耐力が9kgf以上
接着性能試験	常態はく離試験 - はく離強さ3kgf以上 煮沸はく離試験 - 2時間煮沸後はく離が生じないこと(単板を積層したものは1接着層あたりはく離長が1/3以下)
吸水性能試験	水平から5°傾けて設置し72時間散水後の厚さ膨張率が24%以下

この規格の対象となる木質材料は、構造用合板、ウェファーボード、OSB、構造用パーティクルボード、コンプライ(パーティクルボードの表裏面に単板を貼ったもの)であるが、現在のところ、構造用合板にはそれ専用のJASがあり、その他の製品はわが国では使用されていないので、実質的にこの規格の対象はOSBだけである。

区分の項からも明らかなように、OSBは常態と湿潤時における曲げ性能によって4つの等級(1級から4級)に区分される。ただしこの場合の基準値は床下地や屋根下地に用いた際の許容スパンを想定し、その際の要求性能から定められている。

OSBの種類としては、上のような強度性能の区分の他に、いくつかの区分がある。まず、樹種は北米のアスペン(ヤナギ科の広葉樹)を用いたものが一般的であるが、南部のサザンパイン(針葉樹)を用いたものも製造されるようになってきた。北米では、その他にも雑多な広葉樹が使われているようである。

ストランドの構成方法としては、心層を直交方向に配向した3層構造となって

いるものが多いが、各層を交互に配向した5層構造のものもある。

### 3.7.2 OSBの製造

OSBの名称の由来であるストランドは、原木丸太からフレーカーとよばれる機械を用いて製造される。フレーカーにはディスクタイプとリングタイプがあるが、一般的には後者の方が良質のストランドを得ることが出来る。

得られたストランドはドラム式の乾燥機で乾燥された後、接着剤が塗布され、2.6の「配向」のところで説明したようなオリエンターでマットフォーミングされる。次にこのマットは多段のホットプレスで熱圧され、最終的に出来たボードは裁断されて製品となる。

なお、製造に用いられる接着剤は、かつて粉末のフェノール樹脂が使われることが多かったが、最近では、液体フェノール樹脂や、粉末と液体の併用、あるいはイソシアネート系樹脂も使用されるようになってきた。製品によっては、配向層ごとに異なる接着剤が使われる場合もある。

### 3.7.3 OSBの性能

OSBでは、配向の効果が顕著にあらわれるため、曲げに関しては構造用合板に近い強度性能を示す。したがって、住宅用の床や壁の下地材としては十分な強度性能を持つといえよう。ただ、はく離抵抗力は一般的なパーティクルボードと同様である。これは集成材のように連続した接着層が形成されずに、接着が点状に分散しているためである。

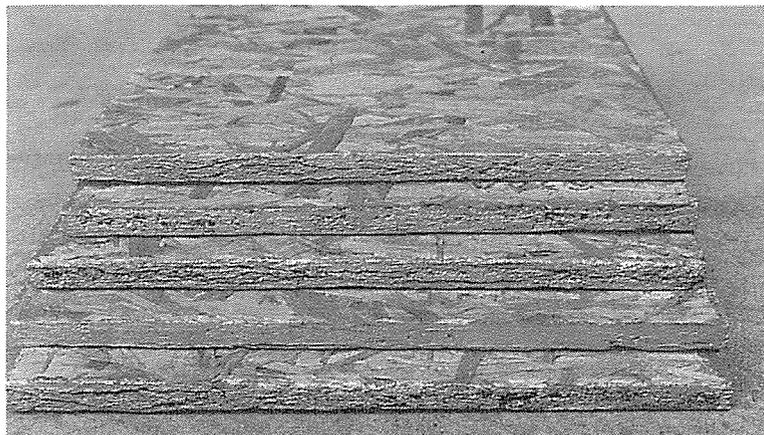


図3-39. 1年間の屋外暴露によりスプリングバックが生じたOSB

OSBの性能で最も問題となるのは、厚さ膨潤率の高さである。一般に、木質ボード類は大きな熱圧変形を受けているため、吸水または吸湿による含水率変化によって、厚さ方向のスプリングバックが生じる。エレメントの大きなOSBでは特にこの変形回復が大きく、MDFの2倍程度の厚さ膨潤率を示す。

### 3.7.4 OSBの利用

OSBは基本的に壁や床や屋根の下地材として用いられている。また、発泡ウレタン板をサンドイッチするためのスキン材としても用いられる（図3-40）。先に説明したようにIビームのウェブにも用いられているが、このOSBは一般的なものより接着剤の添加率が多い種類のものである。わが国では、このほかに梱包用材に多用されている。

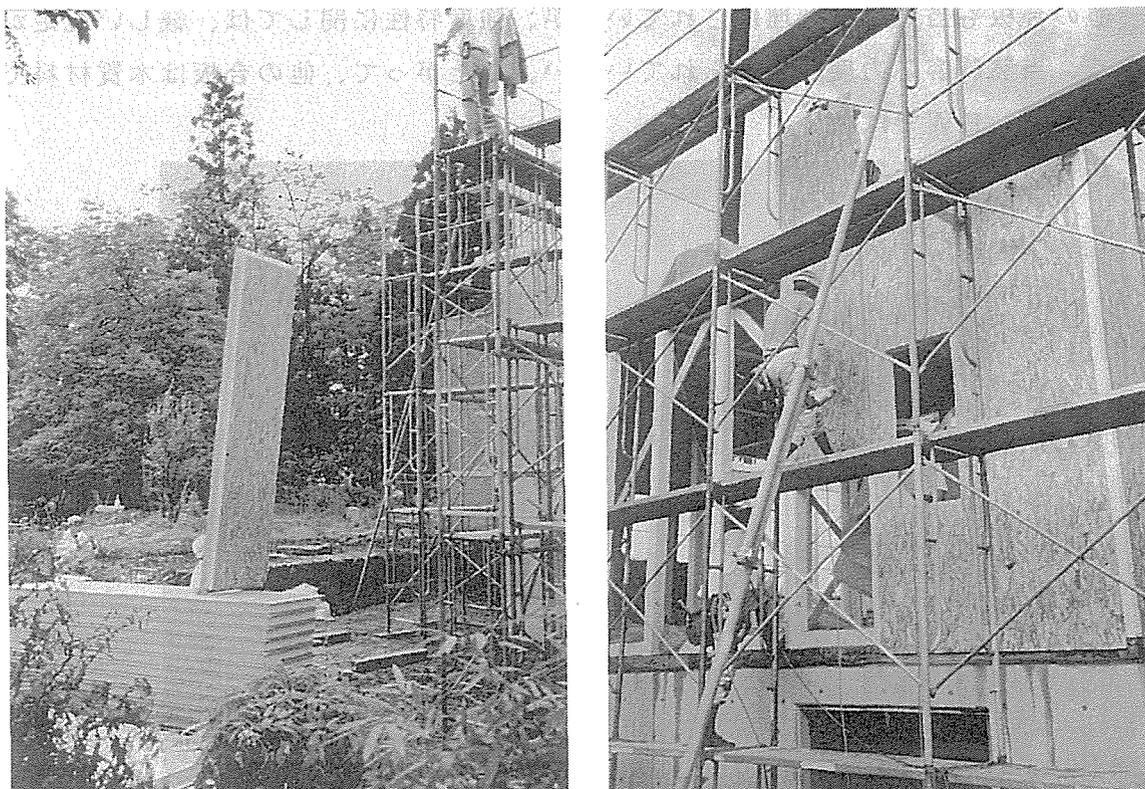


図3-40. OSBを用いたサンドイッチパネルとその施工  
写真提供(大鹿振興株式会社)

### 3.8 構造用合板

#### 3.8.1 構造用合板の種類

合板は最も古くからある木質材料であり、様々な用途に用いられてきた。またその種類も多く、JASで規定されているものだけでも9種類を数える。

構造用合板は数ある合板の中でも、建物の構造部材として用いられるものであり、他の合板に比べて、強度特性に関する品質管理・評価・保証が厳しく、許容応力度も与えられている。すなわち、構造用合板はEW製品である。

他の合板も当然品質管理はされているが、強度特性に関しては、厳しい規定がなく、当然許容応力度も与えられていない。したがって、他の合板は木質材料ではあるが、EWではない。

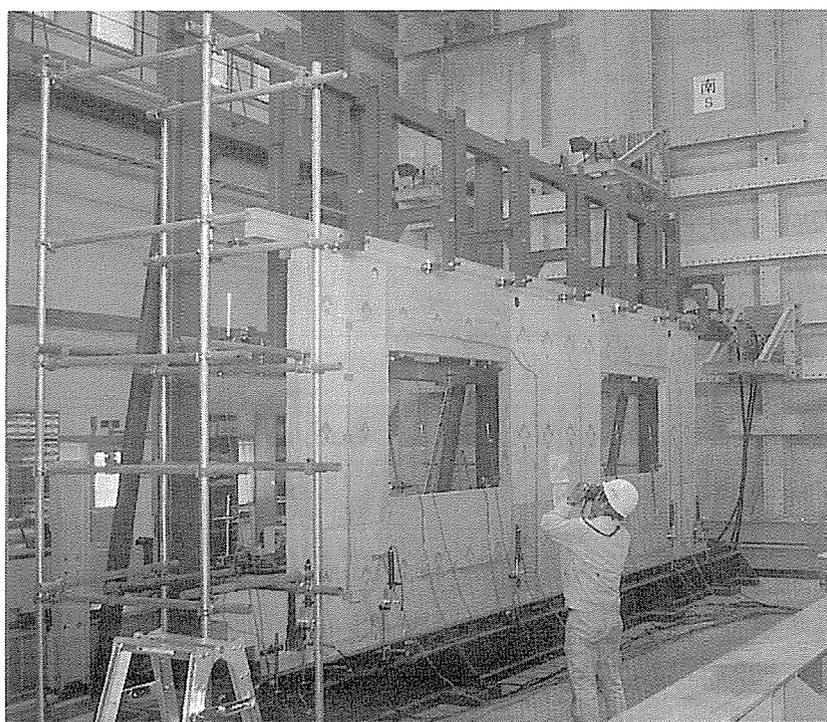


図3-41. 構造用合板を用いたプレハブパネルの水平せん断試験(森林総合研究所)

JASでは構造用合板を「普通合板のうち建築物の構造耐力上主要な部分に使用する合板」と定義している。ここで普通合板とは「合板の表面にオーバーレイ、プリント、塗装等の加工を施さない合板」の意味である。

さらに構造用合板のJASでは構造用合板を、1級と2級とに分類している。1級は主として構造計算を必要とする木質構造における使用を対象としており、曲げ強さ、曲げヤング係数、面内せん断強さの規定がある。一方、2級は主として耐力壁、屋根下地、床等の下張りとしての使用を対象としており、強度の規定は曲げヤング係数のみである。

### 3.8.2 構造用合板の製造

構造用合板の製造工程は、一般的な合板の製造方法と同様である。原木の玉切り→単板切削→乾燥→調板→接着剤塗布→冷圧→熱圧→裁断→仕上げといった一連の流れは、他の合板と全く同じである。ただ、特にフェノール樹脂接着剤を用いる特類では、熱圧温度を高く設定する必要があること、厚物では当然熱圧時間が長くなること、パンクを避けるために単板含水率を低く設定することなど、など様々な製造上のノウハウが異なるだけである。

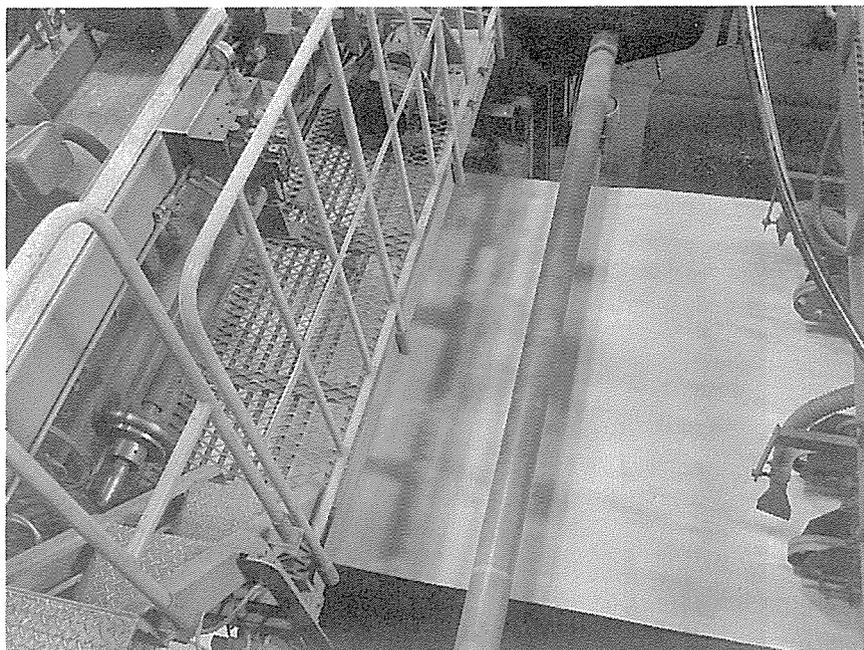


図3-42. 超高速でピーリングされる針葉樹単板

製造のシステムとしては構造用LVLの図3-18とほとんど同じである。異なるところは軸材料のLVLでは熱圧工程で連続式が多いのに対して、合板では多段プレスが使われることである。

### 3.8.3 構造用合板の性能

一般的に構造用合板の性能は木質ボード類に比べて非常に高い。特に次のような点で、性能が優れている。

- ①エレメント（単板）が繊維方向に連続しているため、たて継ぎ部分がない。したがって強度性能が非常に高い。
- ②接着層が面を形成するため、点接着である木質ボード類よりも、強度的に有利である。同様に、水分による劣化を受けにくく、耐水性が高い。
- ③圧縮時に必要な圧力が比較的低下するため、製造後のスプリングバック（ハネ戻し）が少ない。また、製品の比重が低くて、軽い。

④隣り合う単板の繊維方向が直交しており、水分変化による変形を互いに拘束するため、面内での寸法安定性が高い。

OSBが、構造用合板の代替品として需要を伸ばしてきたが、上のような点で性能の差は歴然としている。ただ、コストパフォーマンスという点では、OSBのほうが有利である。

#### 3.8.4 構造用合板の利用

構造用合板は、枠組壁工法住宅の耐力壁や床・屋根の下地用面材料として多く用いられてきたが、これはOSBと全面的に競合する利用法でもある。したがって、OSBでは性能的に不十分なところ、例えば外装用途やダイアフラムなどを中心とした利用法に重点がおかれることになるであろう。

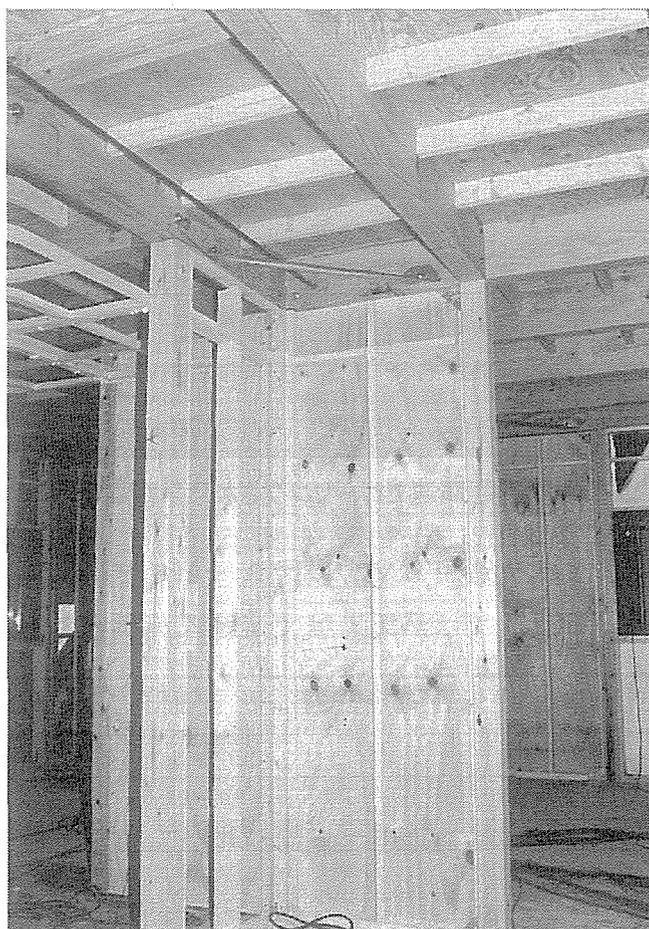


図3-43. 在来軸組工法の2階床や間仕切りに使われた構造用合板

### 3.9 その他のEW

ここまでに紹介した製品以外にも、EWの範疇に入る製品がいくつかある。

本節では、これらについて簡単に説明するが、ここで紹介するもの以外にも新しい製品が出現する可能性は高い。また、わが国のPBやMDFのように、現在のところEWとしての資格に欠けるとしても、今後EW化される可能性をもった材料もいくつか存在する。

#### ①メタルガセットトラス

この製品は、主に2×4サイズのディメンジョンランバーをトラスに組み、その節点をメタルプレートコネクタ（メタルガセット、ネイルプレート）で接合したもので、1960年代から北米で広く用いられるようになった。

この金物は生け花に用いられる剣山のような形態をしており（図3-44）、木材同士を突きつけた上から圧入して接合部を構成する。

一般に枠組壁工法住宅やプレハブ住宅の屋根トラスや床トラスに用いられるが、正式な名称より商品名であるギャングネイルの方が一般に通じやすい。

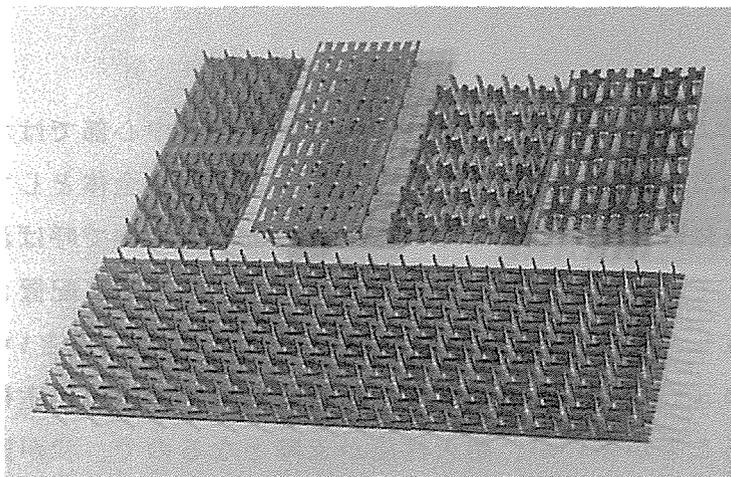


図3-44. メタルプレートコネクタ

この製品の種類としては、屋根用のトラスと床に用いる平行弦トラスとがある。いずれであっても製造工程が非常に単純で安価なため、北米やニュージーランドなどでは、合板釘打ちガセットなどの競合相手を完全に駆逐してしまった。特に1970年代後半から出現した床用の平行弦トラスは2×10や2×12といった大寸法のディメンジョンランバーの代替品として北米では大量に用いられている。当然、3.6で説明したIビームとは競合関係にある。

北米ではDIY店などでも、これらの製品が市販されている。わが国では、関東ギャングネイルトラス社が一般のビルダー向けにこの製品を販売している。ま

た、いくつかの住宅メーカーでは、輸入あるいは独自に開発したコネクターを用いて、クローズドな形態でこの種の製品を生産している。



図3-45. メタルガセットによる平行弦床トラス

## ②ボックスビーム

ボックスビームは、Iビームのように腹材が軸材の中心部ではなく両面に接着されたものである。断面の形態から明らかなように、梁全体として一つの箱（ボックス）のようになっているところから、このような名称で呼ばれている。強度発現の原理としてはIビームの節で説明したように、上下に配置された軸材が引張と圧縮に抵抗し、腹部に配置された合板がせん断に抵抗するというものである。

この製品はニュージーランドなどの木構造先進国では大規模木構造の長尺梁として用いられることが多いが、耐火性能が支障となるので、我が国ではこの種の用途には使われない。また、一般住宅用の屋根梁や床梁として住宅金融公庫の仕様書に掲載されているが、現実にはほとんど流通していない。

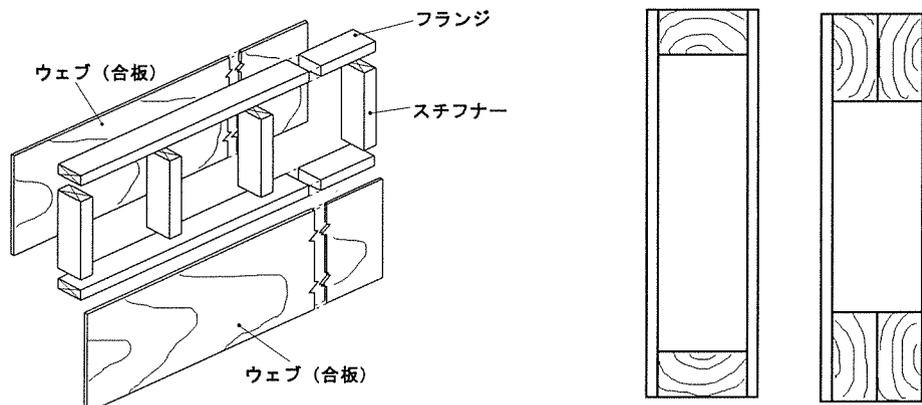


図3-46. ボックスビームとその断面

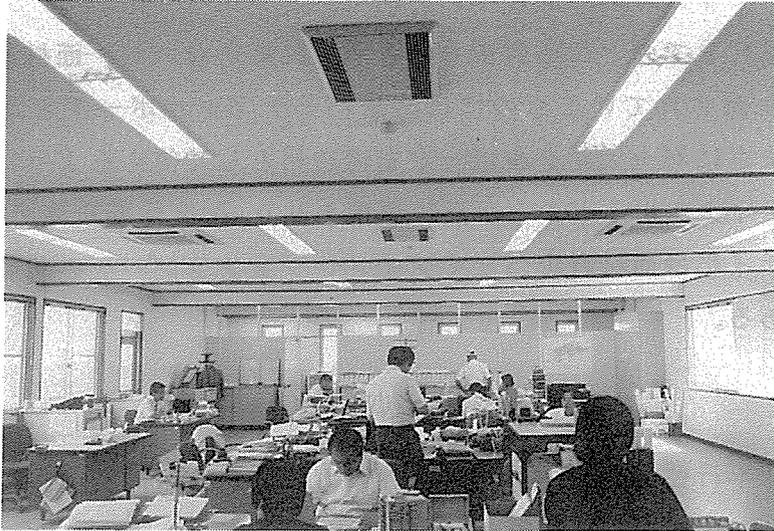


図3-47. 事務所に使われたボックスビーム

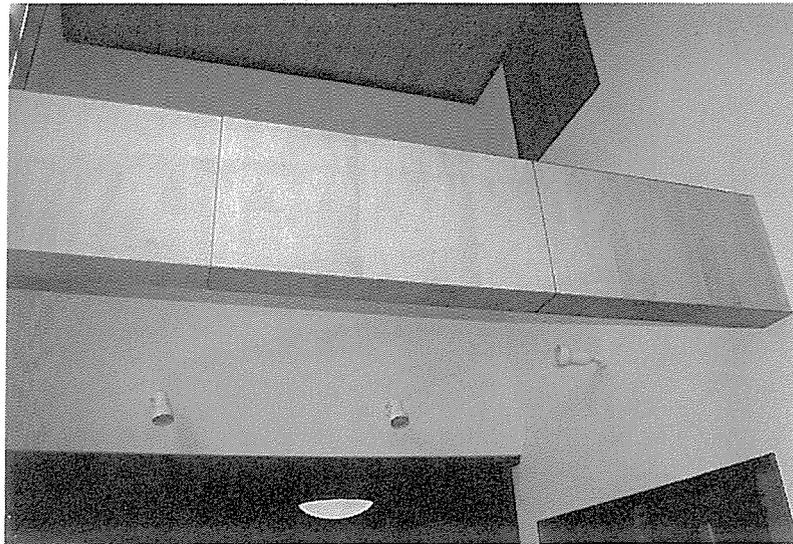


図3-48. 一般住宅に使われたボックスビーム

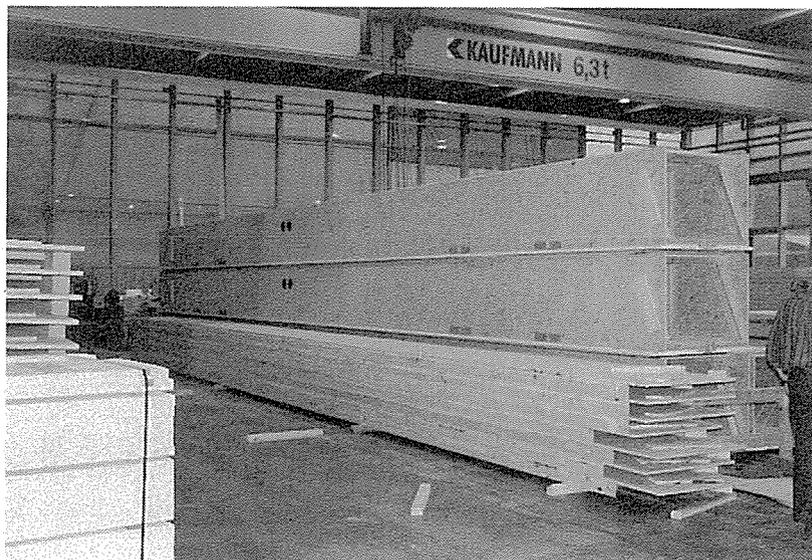


図3-49. 大型のボックスビーム(オーストリア)

### ③ 構造用パーティクルボードとコンプライ

わが国では今までのところ製造も輸入もされていないが、面材料のEW製品として北米で生産されているものに構造用パーティクルボードとコンプライがある。前者はまさにパーティクルボードを構造用として使えるようにしたもので、後者はパーティクルボードの上下面に単板を貼り、強度性能を高めたものである。なおコンプライには面材料ではなくデイメンジョンランバーの代替品を目的とした軸材料もある。

### ④ 複合梁

I 梁や平行弦ガセットトラス以外にもこれらのEW製品以外にもラチス梁のような製品が色々と開発されている。



図3-50. ラチス梁

## IV. EW製品の現状と今後

ここまで、EWに関する基礎知識、EW化技術の色々、各製品の特徴と利用法などについて述べてきた。本章では、EW製品を取り巻く現状と今後の課題について述べる。

### 4.1 EWと金物工法

#### 4.1.1 金物工法出現の背景

EW製品に関連した近年の大きな話題として、金物工法と呼ばれる在来軸組工法住宅の改良型が、建築戸数を伸ばしてきたことがあげられる。

この工法は、日本的な工法であり、「軸組住宅工法の一つで、特殊な構造用接合金物により継手・仕口を構成する工法」である。後に説明するように、この工法では主要構造部材にEWを用いるのが一般的である。

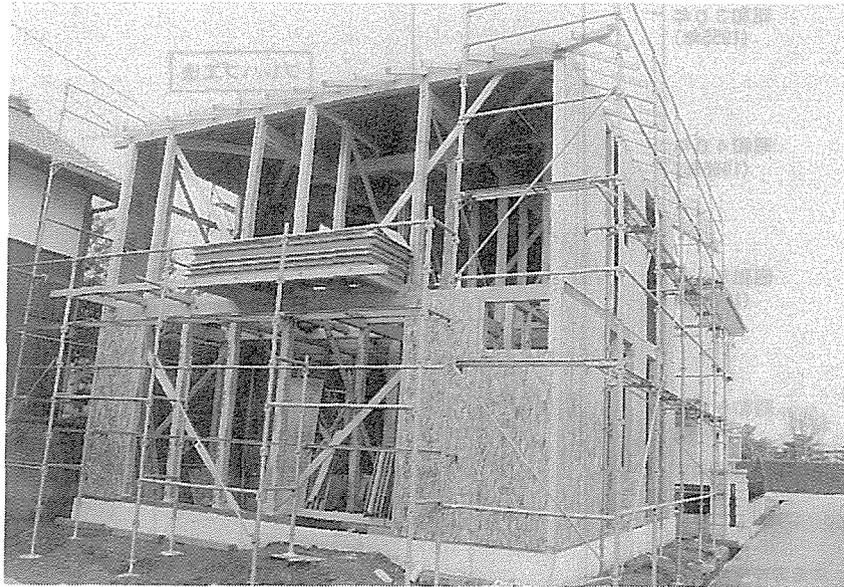


図4-1. 金物工法住宅

さて、EWと金物工法との関係を解説する前に、まずわが国の木造住宅が戦後どのように変化し、またそれと歩調を合わせる形で木質建材がどのように使われてきたのかについて、簡単にまとめておく。

戦後しばらくの間、わが国の木造住宅といえば、伝統的な軸組工法が大勢を占めていた。もちろん、伝統的といっても歴史的、地域的背景によって様々であったが、ごく大まかにいえば、土塗り壁と柱・貫による貫構造が工法の中核であった。現代から見れば当然のことであるが、当時の住宅の最大の特徴は、合板などの木質材料の類がほとんど使用されていなかったことである。

昭和30年代に入ると、外壁にモルタルが多用されるようになり、貫構造に筋

かいが付加されたような折衷型の軸組工法が、在来工法の主流となっていった。また、昭和 30 年代の後半には木質のパネルを接合して構造体とする木質プレハブ構造が出現し、軸組工法だけであったわが国の木造住宅に新しい構造の形式が加わった。内装用に薄い合板が多用されるようになったのもこのころからである。

昭和 40 年代に入ると、在来工法は高度経済成長の波に乗って、量的な拡大のみならず、電動工具や新建材の普及と相まってますますその生産性を向上させていった。この時点で、在来工法は伝統的な軸組工法とは相当異質なものに変貌していたといえよう。

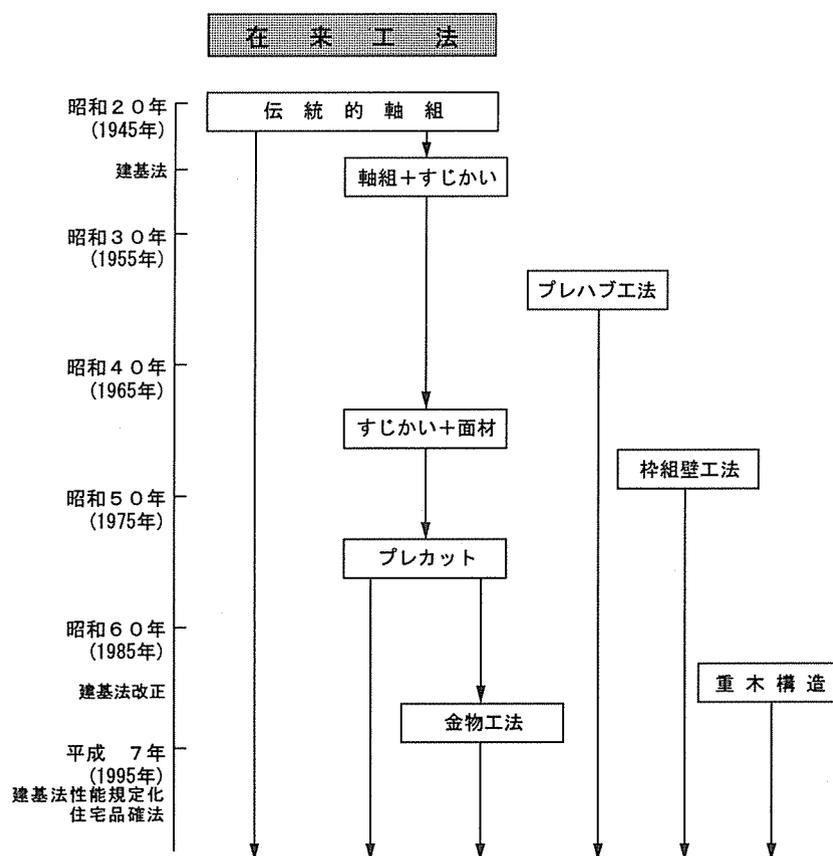


図4-2. わが国の住宅工法の変遷(戦後)

昭和 40 後半には北米から枠組壁工法が導入され、軸組工法とは構造的にも性能的にも生産システムのにも相当異質な木造住宅が登場することになった。

その後、石油ショックを経て昭和 50 年代に入ると、在来工法は筋かい、木質材料、補強接合金物を多用した現代的な軸組に変化していった。昭和 50 年の半ばになると、プレカットの普及が始まり、労働者不足とあいまって軸組の生産合理化がさらに進むようになった。このような機械化への流れが現在も継続されていることは周知の通りである。

昭和 60 年代に入ると、建築基準法の改定を経て、わが国でも大規模な大断面木造建築物が次々に建設されるようになった。これと前後して、EWが市場に登

場するようになり、また構造用接合金物を用いた架構技術なども一般化し始めた。

平成に入ると、大断面木造建築物の中でも木造三階建て共同住宅などに注目が集まり、実際に建設数も大きな伸びを示すようになった。この住宅の特徴としては、外力に対する安全性が科学的に評価された「エンジニアードウッドストラクチャー」であったことがあげられる。

このような時代の流れの中で登場してきたのが金物工法である。金物工法出現の背景は、次の3項目に要約される。

① 在来工法合理化への要求が高まっていたこと

労働力不足を補い、部材管理の合理化をはかるために、在来工法にプレカットが導入されたが、手加工を機械加工に置き換えただけのプレカットでは合理化に限界があり、また架構の強度性能の向上に対応ができなかった。

② EWがすでに出現していたこと

金物工法では、様々な理由から構造用集成材や構造用LVL等のEWが必要であるが、後述するように、金物工法の認定が開始された1980年代の終わり頃には、すでに様々なEWがわが国で生産・市販されるようになっていた。

③ 新しい工法や材料に対する慣れが生じていた

現場の大工・工務店が、構造材を機械でプレカットすること、金物を使用すること、EWを使用することなどに対して慣れはじめており、新しいシステムの導入に対する心理的な抵抗が薄らいでいた。

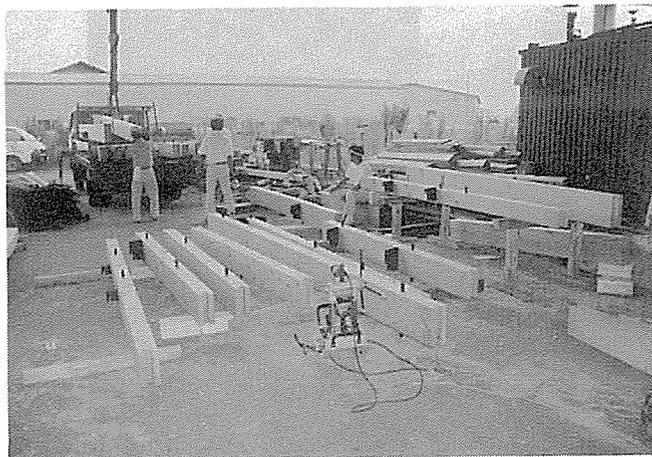


図4-3. 金物の取り付けと搬送

以上が金物工法登場の直接的な背景であるが、これら以外にも、構造用合板が耐力壁として在来工法に多用されたり、大断面の軸組が枠組壁工法の中に併用されたりするなど、各種工法の融合が徐々に広まりつつあったことも、金物工法への抵抗感を和らげる要因になったといえよう。

### 4.1.3 EW採用の理由

金物工法において主要構造部材にEWが採用されている理由として、次の2つが考えられる。

#### ①含水率が管理されていること。

金物工法では、軸材の含水率が管理されていなければならない。もし飽水状態のような生材が使われるなら、仕口の切削加工時に精度が出ないばかりか、施工後の乾燥によって材が収縮し、いわゆる瑕疵が生じやすい。特に、金物工法の接合部は継続的に荷重が作用する状況下にあることが多く、このような使用条件下で材の含水率が低下していくと、単純な変形だけではなく加圧収縮による異常な変形が生じ易い。

この点、木質材料系のEWでは基本的に材は乾燥され、含水率はコントロールされている。したがって、施工後に大幅な気象条件が変化するような場合は別にして、一般的に寸法変化が生じにくい。これが、金物工法でEWが好まれる最も大きな要因である。

#### ②強度性能が保証されていること。

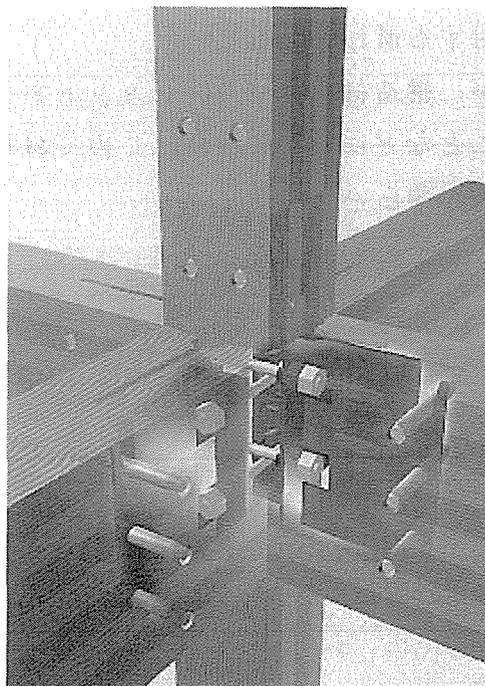


図4-4. 典型的な梁受け金物(写真提供:NCN)

金物工法では、他の工法との差別化のために、構造計算が行われることも多い。この場合、EWは強度性能が保証されているので、当然の事ながら、一般的な構造計算には十分対応できる。もちろん、一般的な製材品であっても、一応の許容応力度は与えられているが、強度的な信頼性が低いので、それなりのリスクを背負わなければならない。

#### 4.1.2 金物工法の現状と今後

本邦初の金物工法による建築物は、山形市の（株）シェルターが1974年に自社社屋に用いたものとされている。ただ、金物工法が一般に注目されるようになったのは、1989年に始まった日本住宅・木材技術センターの合理化システム認定事業において、いくつかの金物工法システムが登場してからである。

それ以降10数年を経た2000年の現在、何種類の金物工法がわが国に存在しているのかは明確ではない。ある調査によれば30数種類の金物工法システムが存在するが、いずれのシステムも実際に生産を続けているのかは定かではない。

日本住宅・木材技術センターによれば、合理化システム認定事業の第10次認定（1999年）において、金物工法を採用しているシステムは78件であるが、これには同一の金物を用いているものが複数カウントされているため、金物の種類としては10数社とのことである。もちろん、金物工法の中には合理化システム認定事業とは別に、（旧）建築基準法の第38条認定を受けたシステムもある。いずれにしても、現在のところ金物工法の種類としては10数種類であると判断される。

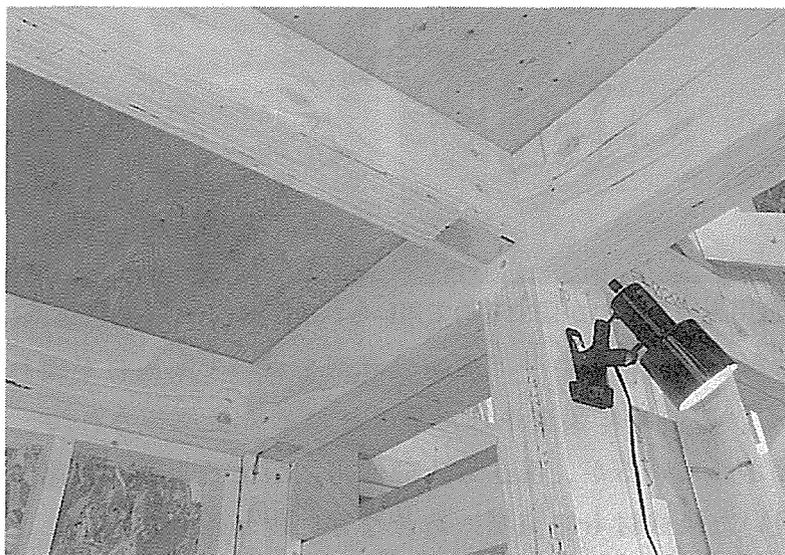


図4-5. 金物工法住宅の内部

金物工法の供給戸数については、金物工法そのものの定義がないため、統計量は推測の域を出ない。しかしながら、平成10年度の合理化システム認定住宅の戸数が年間約3万戸であり、全認定システム数114のうち、金物工法に分類されるものが7割程度ある事から考えると、非常に大ざっぱな数字ではあるが、金物工法の供給戸数は日本全体で2～3万戸程度ではないかと思われる。

金物工法はその生産面における合理性から、今後も住宅生産工法としてさらに重要な位置を占めるものと予想される。

## 4.2 EWの耐久性と信頼性

EWに関して、よく受ける質問に「この製品は一体どれくらい保ちますか?」「100年くらい大丈夫ですか?」という難問がある。正直なところ、EWの耐久性をどう評価するのかは、理論的な方法論が確立されていないままである。とりあえず、これまでの実績から判断して大丈夫であろうという仮定の下で使用されているのが実態である。

構造用集成材の場合、アメリカに現存する最も古い実物が、1934年建立の体育館である。したがって、現在のところ判明している集成材の実績は最長で66年ということになる。ただし、これに用いられた接着剤は耐水性の低い天然のニカワである。現在用いられているような合成高分子系のレゾルシノール樹脂接着剤が集成材等に使われだしたのが第二次世界大戦中の1943年である。したがって、どれくらいの実物が残存しているかは定かではないが、レゾルシノールの実績は高々57年ということになる。



図4-6. 構造用集成材がわが国で初めて用いられた構造物(森林記念館:昭和26年完成)

わが国では耐水性の低いユリア樹脂接着剤を用いて集成材が使われ始めたのが1953年である。この時に製造された集成材はその後解体されて、現在森林総合研究所に保管されているが、現在も十分に使用に耐えるような状態である。レゾルシノールを用いた集成材も掃海艇の竜骨などに使われていたが、これは廃棄されてしまっているので、実績としては構造用集成材のJASが出現した昭和40年代以降ということになる。したがって、せいぜい40年の実績といったところであろう。

以上が構造用集成材の耐久性に関する実績ではあるが、いずれにしても、これらは、ある環境条件の中での結果であり、より厳しい雨ざらしのような暴露条件の中では、これほどの耐久性は期待できない。また、これは構造用集成材についてのみの実績であって、他のEWでは果たして同等なのかといったことは不明である。

はじめに述べたように、EWの耐久性については、理論的な評価方法が確立してお

らず、厳密な考察は不可能であるが、本節ではその基本的な考え方と現状での問題点などを整理してみることにしたい。ただし、ここでは腐朽菌やシロアリなどによる生物劣化については検討の対象としない。

#### 4.2.1 木材の風化と老化

木材は直接光や風雨にさらされると、表面が黒く変色する（図4-7）とともに、柔らかい早材部からいわゆる「やせ」が生じ始める。この現象が「風化」である。

風化は、吸湿と乾燥の繰返しによって木材の細胞が破壊されるとともに、光によってリグニンが分解され、さらに分解された物質が雨風によって脱落することによって生じる。風化のみによる劣化の速度は生物劣化に比べて緩やかなもの（100年で3～6ミリの厚さ減少）ではあるが、割れが生じる（図4-8）ことによって、生物劣化を誘引してしまうことも多い。



図4-7. 屋外暴露によるOSB表面の変色。左が暴露前、右が暴露1年後。

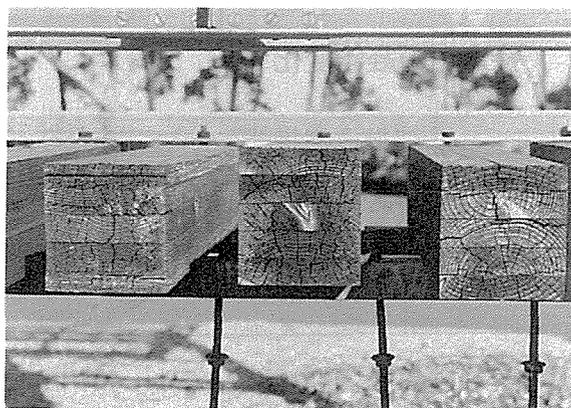


図4-8. 屋外暴露による集成材の割れ(左から、LVLを外層に用いた複合スギ集成材、スギ集成材、カラムツを外層に用いた複合スギ集成材)。暴露5年後。

風化のように光や風雨に暴露される状態でなくても、木材を通常の大気中に放置しておくだけで、非常に緩やかな劣化が生じる。これが「老化」である。とは

いえその速度は非常に遅いので、木造住宅の場合などでは、ほとんど考慮する必要はない。

このように木材そのものの風化や老化は、腐朽菌やシロアリによる生物劣化に比べて微細なものであるが、接着を利用した木質材料では両者の関係が逆転する。すなわち、生物劣化より物理化学的劣化が、材料の寿命を支配するのである。

#### 4.2.3 接着の耐久性

木材を一旦エレメントに分解し、それを接着によって再構成したものが木質材料であるから、接着は木質材料にとっていわば生命線であり、接着層の劣化や破壊は材料としての機能喪失を意味する。

接着の劣化に対する性質が「接着耐久性」である。一般に接着の耐久性は木材のそれとは対称的である。すなわち、生物劣化に対しては比較的抵抗力が大きく、逆に風化や老化に対しては抵抗力が小さい。とはいえ、接着の耐久性は接着剤の種類によって大きな差がある。例えば、耐水性の小さなユリア樹脂接着剤を用いた普通合板を屋外に暴露しておく、3年程度でほとんど接着強度が無くなってしまふのに対し、フェノール樹脂接着剤を用いた場合では初期強度の80%以上の強度が残存している。構造用の場合、接着の劣化より木材そのものの風化と割れ、およびそれに誘発される生物劣化の方が問題になる。

もちろん、これは屋外暴露下での話であって、屋内の一般的な環境下での使用であれば、ユリア樹脂接着剤といえども接着の劣化が問題になるようなことは少ないと考えられる。レゾルシノール樹脂接着剤のような耐久性の高い構造用接着剤であればなおさらである（図4-9）。

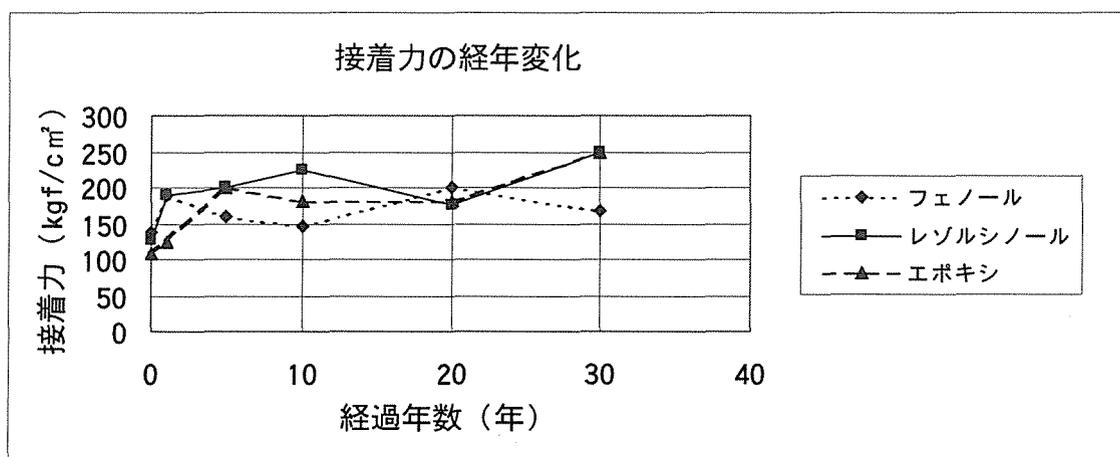


図4-9. 室内環境下での構造用接着剤の経年による強度の変化。30年経過した後も変化なし。

沖津俊直ら: 第32回接着学会年次大会講演要旨集、1994年

図4-10は昭和37年に完成した新潟県新発田市産業会館（旧新発田市立厚生年金体育館）である。この建築に用いられている湾曲集成材には、ユリア樹脂接着剤が使われている。しかし、建設後38年を経た今も、直射日光に曝される部材の一部に接着剥離が数多く観察されるものの、集成材全体としては健全な状態にある。剥離部分を定期的に補修してゆけば、社会的な耐用年数が尽きるまで、十分に使用することができるであろう。

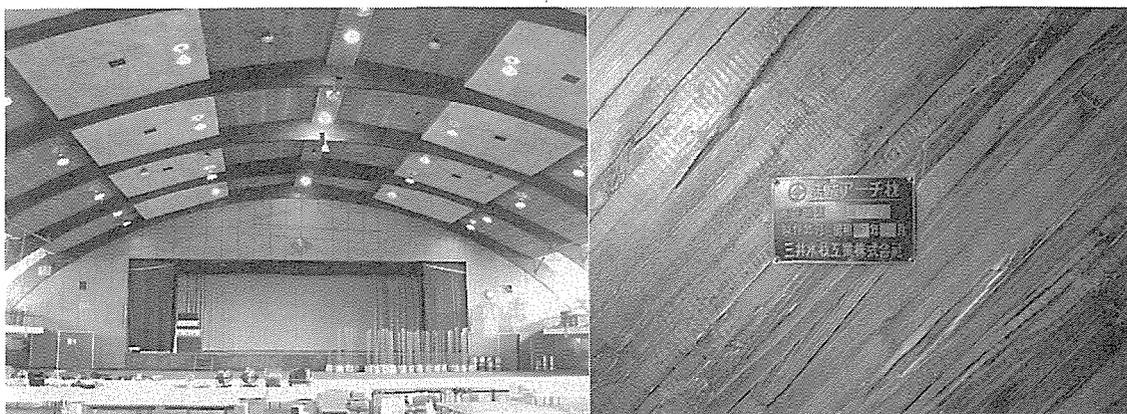


図 4-10. 新発田市産業会館の内部と湾曲集成材の接着層の剥離

要するに、屋外暴露や乾湿が繰り返されるような過酷な使用環境でなければ、接着耐久性は大きな問題にならないといえよう。現在構造用木質材料に多用されているフェノールやレゾルシノール樹脂接着剤であれば、少なくとも木造住宅の耐用年数（議論はあるが、30年程度か？）は簡単にクリアできるはずである。

もちろん過信は禁物であり、使用側としては使用環境に留意すること、製造側においては、接着工程の徹底的な品質管理を計ることが要求されるのは当然である。

#### 4.2.4 信頼性・構造信頼性・保全性・安全性・耐久性

これまで本書では、信頼性や耐久性という用語を定義することもなく使用してきたが、用語の使い方で混乱を生じさせる恐れもあるので、ここで整理しておきたい。

まず、信頼性という用語は、一般には非常に広い意味に用いられているが、後述する信頼性工学では、比較的厳密な定義の下で用いられている。例えば、JISZ8115 信頼性用語では、信頼性とは「アイテムが与えられた条件で規定の期間中要求された機能を果たす性質」であると定義されている。同様に、信頼度とは「アイテムが与えられた条件で規定の期間中要求された機能を果たす確率」である。また、アイテムとは「信頼性の対象となるシステム（系）、サブシステム、

機器、装置、構成品、部品、素子、要素などの総称またはいずれか」である。なお、信頼性も信頼度も英語では Reliability（リライアビリティ）である。

構造信頼性に関する定義は現在のところ存在しないが、上の定義に従えば「構造信頼性とは、構造部材や構造物が与えられた条件で規定の期間中要求された機能を果たす確率あるいは性質」ということになる。これを現実的なアイテムに即して理解するなら、例えば 50 年間使用する目的で作った建築物がその期間内に地震や強風等によって破壊したり、あるいは変形が大きくなって使えなくなる確率やメカニズムということになる。

一方、アイテムが故障または劣化したとき、これを発見し、修復させ、正常に維持できる能力を保全性と言う。JISZ8115 信頼性用語では、アイテムを仕様及び運用可能状態に維持し、または故障、欠点などを回復するためのすべての処置及び活動を保全、さらにアイテムの保全が与えられた条件において、規定の期間に終了できる性質を保全性と定義している。また、上の定義にある「性質」という用語を確率に置き換えたものが保全度である。なお、信頼性と保全性を総合して広義の信頼性と呼ぶこともある。

さらに、信頼性とよく似た概念に安全性がある。これは人命や資産などが損なわれないようにする事を意図するもので、本来、信頼性とは異なった概念であるが、次節に述べるように構造信頼性の分野では、信頼性・保全性と密接な関係にある。

いずれにしても、信頼性の分野では、ここに述べたような用語が一般的な意味よりも、より厳格な意味で使われていることに注意する必要がある。

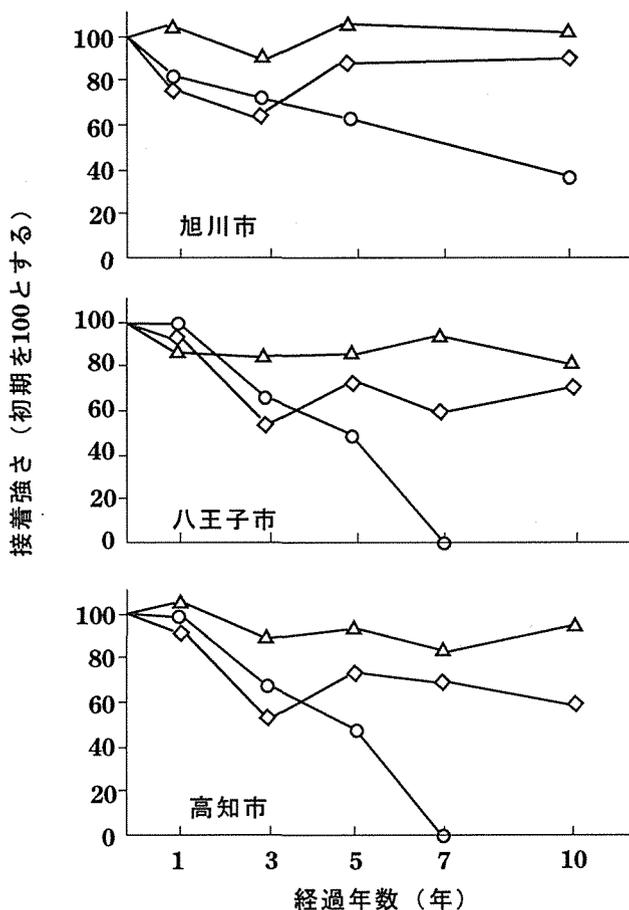
耐久性という用語も、対象となるアイテムによって色々な意味で用いられ、信頼性のような確たる定義がないようである。その理由としては、信頼性ほど厳密な定義を必要としないためと考えられるが、ここでは建築学会にならって、耐久性とは「劣化に対する抵抗性」とでも考えておきたい。

一般に、耐久性という用語には機能劣化の確率という概念が直接には含まれていない。この点が信頼性との大きな相違点である。耐久性は信頼性のいわば部分集合をなす重要な概念ではあるが、信頼性そのものを意味するものではない。したがって、アイテムの耐久性が明確になったとしても、その信頼性が直ちに明確になるわけではない。

以下、典型的な耐久性試験の結果を例にとりて、両者の差異を考えてみたい。

図 4-11 は、農林省林業試験場（現森林総合研究所）の菅野らがおよそ 25 年前に開始し、10 年間の屋外暴露の後に終了したエゾマツ集成材の耐久性試験の結果である。この図は集成材の接着耐久性の貴重なデータとして研究論文や総

説にしばしば引用されているので、ご存じの方も多いであろう。



○ : 無処理 ◇ : CCA処理 △ : クレオソート処理

図4-11. エゾマツ集成材の耐久性試験結果

この図から読み取れる重要な知見は、①接着強度（ブロックせん断強度）は全体的な傾向として、経時的に低減すること、②八王子や高知では、無処理の集成材の接着強度が7年でゼロとなることの2点である。

この2点は耐久性の研究結果としては重要な知見ではある。しかしながら、製品の機能を利用する需要者の立場からみると、この結果から得られる情報量は少ない。例えば、次のような疑問に対して、適切な答えを得ることは困難である。

①無処理やCCA処理の試験片では、接着強度の平均値が3年で50～70%程度に低下しているが、これは接着として十分な機能を果たしているといえるのか？ 言い換えれば、集成材としての機能は満足なものであるのか？

②各プロットは16接着層の平均値であるが、そのデータはどの程度のバラツキを持っているのか？

③全体的にみれば、接着強度は経時的に減少するが途中で増加しているもの

があるのはなぜか？ また、それが試験体（木材）のバラツキによるものであるとするなら、どの程度の確率で、このような特性の反転が生じるのか？

この例から明らかなように、木材関係で従来から行われてきた耐久性試験では「機能劣化の定性的な評価」は行えても、「機能劣化の定量的な評価」は行い難いのである。正直なところ、我々はこのような問いに対して、従来「木材は生物材料で、特性にバラツキがあるし、様々な環境条件によって値が異なるので、答えられないのは致し方がない。」というエクスキューズに終始してきた。しかしながら、いつまでもそのような弁解が通用しないことは、ここで改めて強調する必要もないであろう。

この問いに答えるためには、1プロットあたりのデータ量（試験片や測定の数）を増やせばよいが、闇雲にデータ量を増やすだけでは、試験に要する時間と労力に見合っただけの情報量を得ることが難しい。このようなときに強力な武器となるのが信頼性工学におけるデータ処理技法である。

さて、上のような問いに対して、何らかの答えを見いだそうと試みた結果が図4-12である。これは森林総合研究所集成加工研究室で現在も継続中の集成材の暴露試験（信頼性評価を目的とした）の結果の一部である。ブロックせん断強度のデータ数は一条件につき48個（初期試験では約400個）である。図4-11に比べて情報の絶対量が断然多くなり、前述の質問に対してより精度の高い答えを出せることがお分かりいただけるであろう。

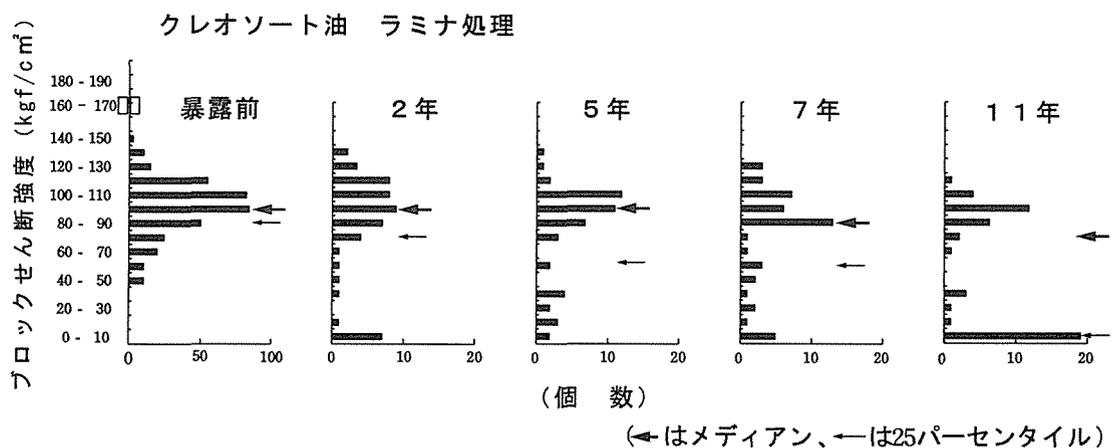


図 4-12. エゾマツ集成材の耐久性

#### 4.2.5 アイテムの劣化

アイテムの劣化を信頼性の観点から見てみると、図4-13のようになる。この図の縦軸は確率密度、横軸はアイテムの機能（例えば材料・構造の強さや剛性

など)である。図中の分布は機能 (R) の確率密度曲線である。

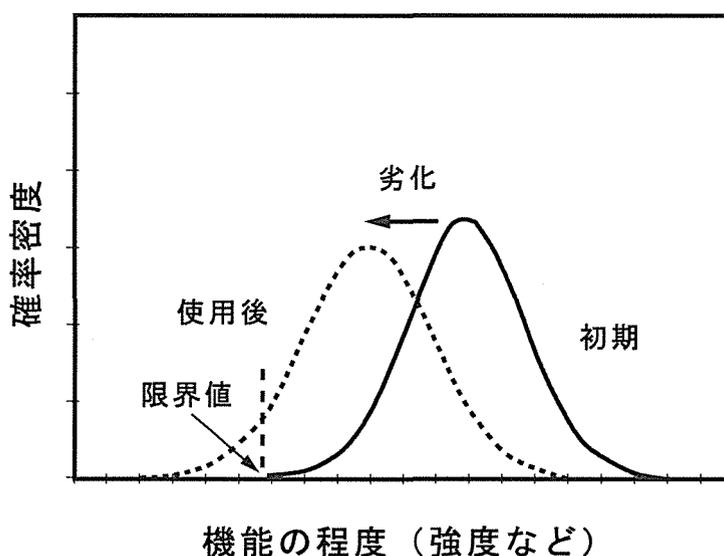


図4-13. アイテムの劣化

この図が示す意味とは、材料・構造の機能の分布は時間の経過とともに左に移動し、ある値 (限界値) より機能が下回ったときに初めて故障が生じる (破壊や大変形など) ということである。

したがって、限界値より左の部分の面積が大きいほど信頼性が低く、逆に小さいほど信頼性は高いことになる。劣化とはRの分布が時間の経過とともに左方向に移動することを意味するわけであるから、劣化が進めば進むほど信頼度 (限界値より右の部分の面積) は低下する。また、材料・構造の信頼度は分布の形や左方向への移動速度などに影響を受けることになる。

このことからわかるように、信頼性を議論するためには、従来のような平均値の変化だけを対象とした耐久性のデータだけでは不十分であり、分布の形 (特に左側) やその変化の傾向を知ることが重要になる。また、限界値をどこに設定するのか、あるいは機能劣化がどの程度になったときに、故障や機能停止と見なすのかを予め設定しておく必要がある。

#### 4.2.6 EWの耐久性と品質管理に関するトラブル

近年、EW特に構造用集成材が様々な部材として採用されることが多くなったが、使用量が激増するとともに、ちょっとしたトラブルが増えてきたように思われる。それはあまりにも宣伝が効きすぎて「集成材神話」とでも言うべきものが生まれてしまったことに由来するものである。

集成材は製材に比べれば確かに品質が安定してはいるが、鉄やプラスチックほど均質なものではない。確率的に下限値以下の強度を示すものもあるし、接着

不良の製品が品質管理の網の目をすり抜けて工場から出荷されてしまうこともゼロではない。

図4-14（町田初男氏撮影）はその一例で、某スキー場のロッジの梁に使われた集成材である。製造段階での接着不良による大きな剥離（黒い線の部分）がいくつか生じているのがわかる。

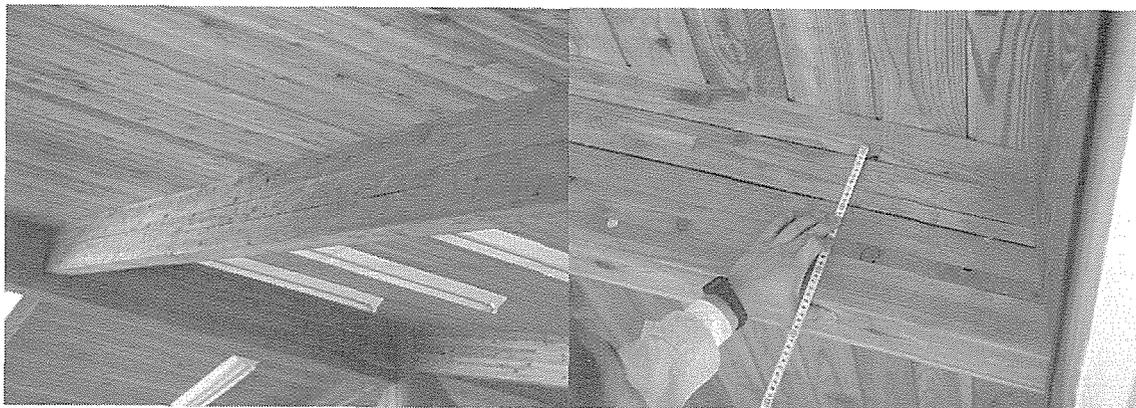


図4-14. 接着不良によるはく離

また、EWといっても木材製品であることに変わりはないので、極端な湿度の変化によって膨潤収縮することもある。当然のことながら、何らかの防腐処理をしない限り、耐久性は製材のそれと同じである。割れについても「入りにくい」のであって、絶対に「入らない」わけではない。さらに接着製品の特性として、接着層に沿った切り込みがある場合、衝撃荷重を受けるとクラックが入りやすい。在来工法では様々な仕口継手加工を施すので接着層に沿った切り込みが生じやすく、たまたま現場でカケヤのようなもので思い切り殴られたりすると、節のような部分から「はく離」が生じる可能性がある。

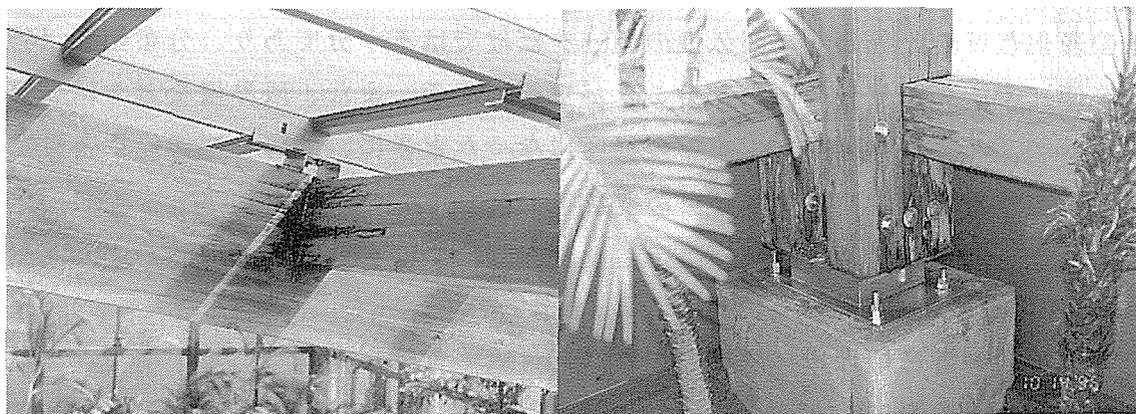


図4-15. 腐朽を生じた浴室の梁(左)と柱の脚部(右)

今一つの問題点は、非常識としか表現しようのない使われ方が散見されるようになってきたことである。先にも述べたように、何らかの処理を施さない限りEWの耐久性は原料となる木材を越えることはないにもかかわらず、何か特別な材

料であるかのように誤解されている例が増加してきたように思われる。

図4-15（日高富男氏撮影）は温泉の浴室、それもガラス張りの温室のような高温高湿状態の中で使われて腐朽を生じた例である。このような例は、信頼性以前の問題であるともいえるが、氷山の一角であるかもしれない。集成材の需要が住宅や商店建築にも拡大している現在、相当数の集成材が非常識な状況下で使用されているのではないかと危惧される。

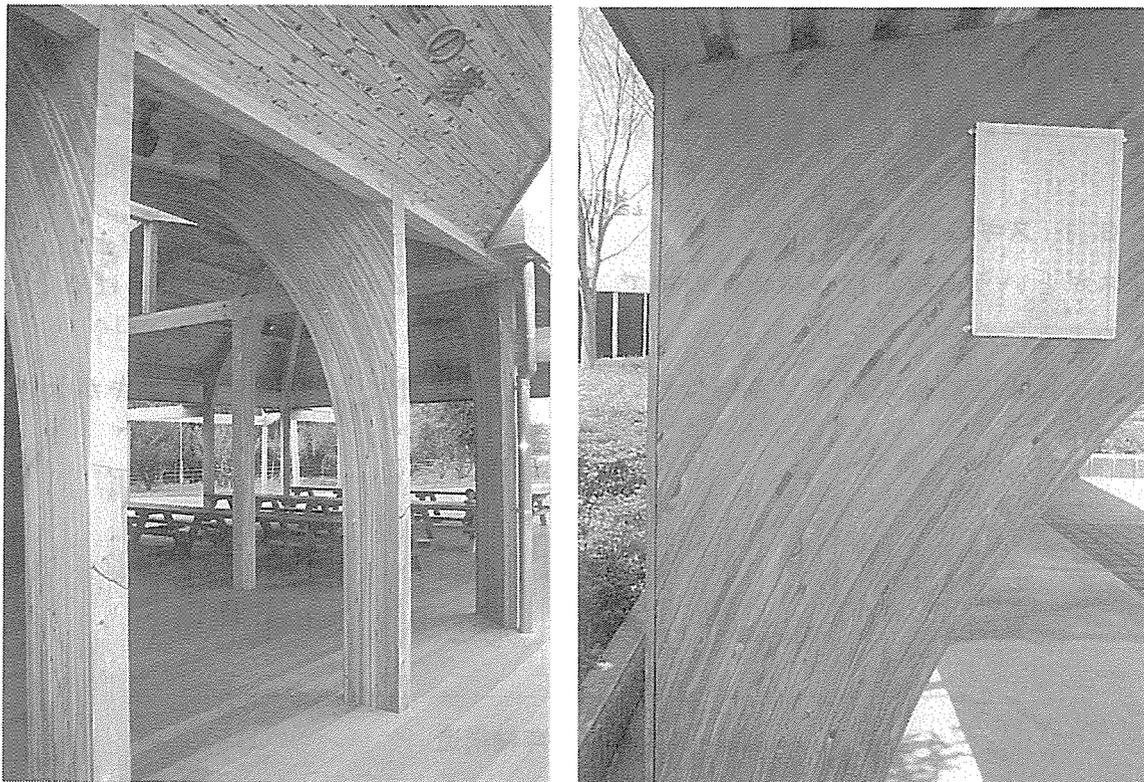


図 4-16. 木口面が直接雨風にさらされるので耐久性に乏しい施工例(左)と木口面に捨て貼りが施されているので耐久性が高い施工例(右)の比較

最後に、大断面集成材のように体積が大きなEWの場合、劣化してきたからといって簡単に取り替えることができないという問題もある。また、Engineered された主要構造部材であるがゆえに、劣化部分を除去して簡単に埋め木しておくというような修理が、強度的な考慮なしに行えないことも問題であろう。

今後増加すると予想されるこのような劣化や剥離をどう補修するのか、現在のところ、集成材業界でもあまり検討されていないようであるが、近い将来、大きな問題となるのは確実であろう。

### 4.3 EWおよび木質材料の原料としてのスギ材

わが国の森林資源が充実して来たことを背景に、国産材（特にスギ）をEWに転換するための、様々な試みが行われてきた。純粹に技術的に見れば、スギをEWに転換させることに大きな問題はない。ただ、スギをEWに加工した製品が他樹種を用いた製品（特に外材を原料とするもの）に対して、コスト的に競争力を持ちうるかどうか最大の問題である。

本節ではスギの特性と利用・加工上の問題点を解説した後、スギを一般的な木質材料に加工するための問題点と事業の可能性について検討する。ただし、事業化する際の詳細なコスト計算などは取り扱わない。

#### 4.3.1 スギの特性と問題点

スギという樹種が持つ諸特性の中で、木質材料の製造に関連したものあげると、次のようになる。

①品種による特性のバラツキが大きい。また樹幹内部でも特性のバラツキが大きい。

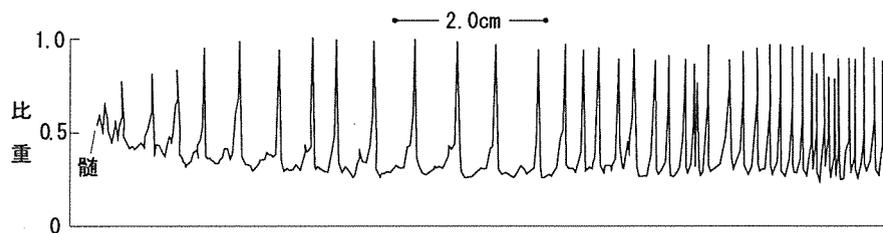


図4-17. スギの年輪構造

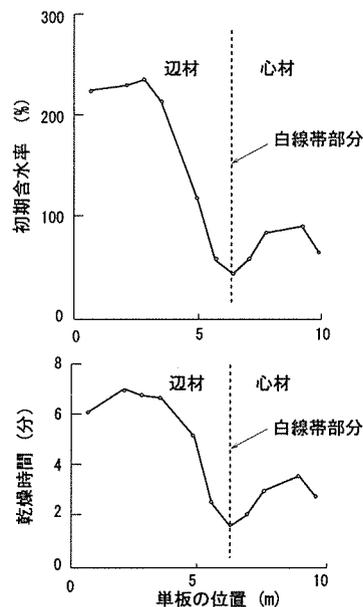


図4-18. 水戸産スギ中径材の初期含水率と乾燥に要した時間の関係  
単板厚さ:3mm、乾燥温度:180°C、ネット式

- ②早晚材の特性の差が大きい。晩材部の硬さは早材部の4倍以上にもなる（図4-17）。
- ③生材含水率の絶対値が高い。200%以上になることも多い（図4-18）。
- ④黒心が出ることがある。この部分は乾燥が困難で、色調が悪い。
- ⑤他の構造用針葉樹に比べ、ヤング係数が低い。このため、一般に強度性能が低い。また、強度のバラツキも大きい。
- ⑥未成熟材のヤング係数が低い。成熟部との差が大きい。
- ⑦辺心材の特性（含水率、色、乾燥特性など）が大きく異なる（図4-18）。
- ⑧材質がやわらかいため、接合金具を用いる場合に、めり込みが大きい。
- ⑨小節が多い。

このような、スギ特有の問題点の他に、原木収集の段階で大きな問題がある。それは国産材に共通する問題点でもあるが、「定常的に原木が収集できるか否か」という点である。



図4-19. LVL用のスギ原木

木質材料の製造に適した原木が、適正な価格で、適正な量で、なおかつ定常的に集荷できるかどうかは、工場が成立するかどうかの最も基本的な問題である。工場近辺からの集荷が困難になり、遠隔地に原材料を求めることになれば、それだけで製造コストは上昇する。

さらに原木段階で問題となるのは、EWの場合、あまりにMOEの低い原木は使えないという点である。例えば、強度性能が重要視される構造用LVLでは、性能が樹種ではなくMOEによって区分される。また、構造用集成材の場合には、極端に低いMOEのラミナは製造に使えない。したがって、立木段階、山土場、あるいは原木市場における原木の強度等級区分が望ましい。ただ、このような区分は、現在のところ、実験室的には可能であるが、実用的なシステムの構築には

かなりの費用が必要である。もちろん、この工程を省略することもできるが、MOEの低い原木が混じる可能性の高い地域では、その後の工程における品質管理がより困難となる。

#### 4.3.2 スギ製材品のEW化

正角や平角といった断面の製材品をEW化するには、少なくとも次の5つの条件が整っていなければならない。

- ①含水率がコントロールされていること、
- ②MOEが何らかの形で測定されていること、
- ③欠点が視覚的に許容出来る範囲であること、
- ④MOEとMORの統計的な関係が得られていること、
- ⑤性能が表示されていること

基本的にこれらの条件がそろって、初めてEWと呼べるものになるのであって、単なる乾燥材ではEWにならないのは当然であるし、単にMOEを測定しただけのものでは、強度性能を保証することができない。また、いくらMOEが高くても大きな欠点を含んでいれば強度が得られないし、表示がなければユーザーが使えない。もちろん、単なる乾燥材やMOEを測定しただけのものであっても、ズブ生のような材に比べれば多少信頼性が高いと言えるが、集成材のような積層効果による信頼性向上を期待できない以上、それだけでは全く不十分である。

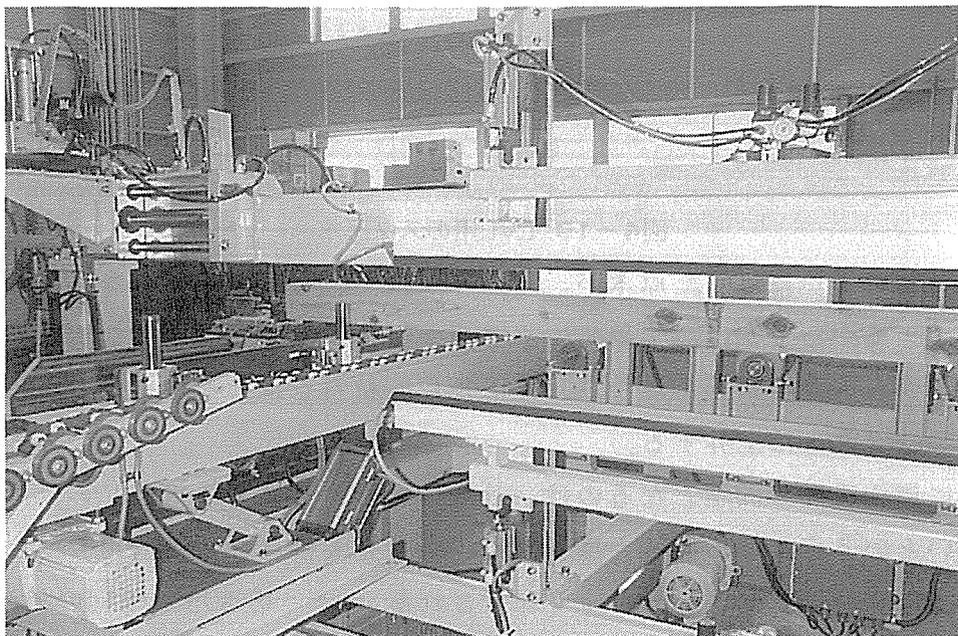


図4-20. 打撃法によるグレーディングマシン(含水率計付属)

これら5条件のうち、スギ製材品のEW化に際して最も問題となるのは、①の

含水率である。先に述べたように、大きな断面をもつスギを気乾状態にまで乾燥するのは、現在の人工乾燥技術ではなかなか困難である。なぜ困難であるかについては「特性」のところで示したとおりである。

②から⑤については現状の技術で十分対応可能であり、さらに高度な測定機械の開発なども進められている。特に製材品の強度や含水率を表示するためのグレーディングマシンと含水率計などの機械開発は、このところ急激に進みはじめている。実際に新たに開発されたこれらの機械を用いて、強度・含水率が表示された製品を出荷する工場もようやく増加しつつある。



図4-21. 性能表示されたスギ正角材

E:ヤング係数( $\text{ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ )、D:含水率(%)

④の統計的データについては、各地の公立研究機関や大学で実施された製材品の実大強度のデータが森林総合研究所に集積され、実用的なデータベースがようやく構築された。現在までのところスギのデータが圧倒的に多いが、他の樹種についても順次データが蓄積されつつある。

表4-1. 「製材品の強度データに関するデータベース」の集積データ数(2000年3月末現在)

樹種	曲げ強度	縦圧縮強度	縦引張り強度	合計
アカマツ	821			821
カラマツ	1,136	219	376	1,732
エゾマツ	248	66		314
トドマツ	251	60		311
ヒノキ	1,086	99	98	1,283
ヒバ	867			867
スギ	6,612	777	1,025	8,414
ベイマツ	660			660
ベイツガ	207			207
シベリア産エゾマツ	496			496
合計	12,385	1,221	1,499	13,105

管理運営：森林総合研究所木材利用部材料性能研究室

#### 4.3.3 スギを原料とした木質材料の製品化

スギを木質材料に加工する事業の現状と可能性について製品ごとに述べる。ただし、ここでの考察は2000年4月現在のものであり、社会状況の変化によって、近い将来大きく変わりうる可能性もある。

まず、非構造用の「たて継ぎ材」については、寸法の不足する端材や「はね材」などを安くかつ安定的に集荷することができれば、初期投資も少なく、また耐久性の高い土台や間柱としての需要も見込めるので、事業が成立する可能性は高いといえよう。実際にこのような生産を行っている工場もいくつかある。ただし、主製品の端材を利用するというのであれば、副生産的なものとならざるを得ず、生産規模は大きなものとはなりえない。

スギの「構造用たて継ぎ材」については今のところJAS規格もなく、全く製品化はされていないようである。これは先に述べたように、正角や平角といった断面の大きな材を断面に沿ってむらなく人工乾燥する技術が確立されていないためである。もちろん、たて継ぎの技術そのものは確立されているので、この問題が解決されれば技術的には可能であるが、集成材ほどの構造信頼性を得られないので、商品性は低くならざるを得ない。

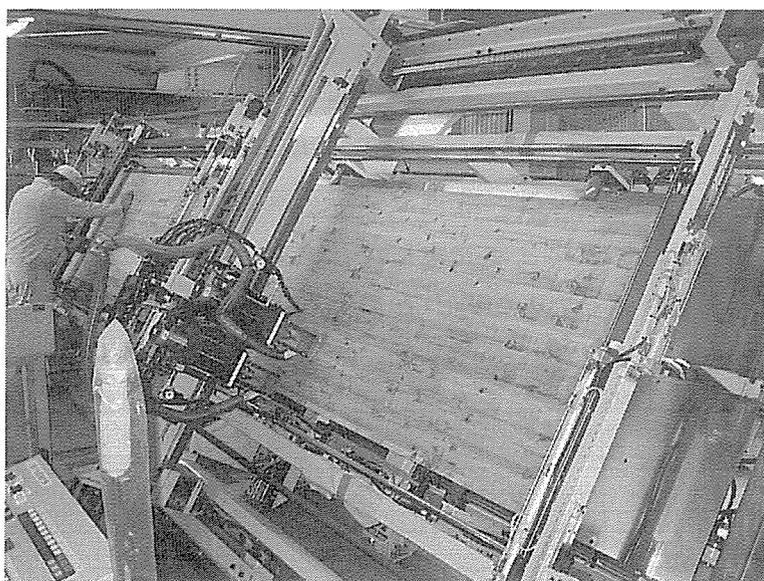
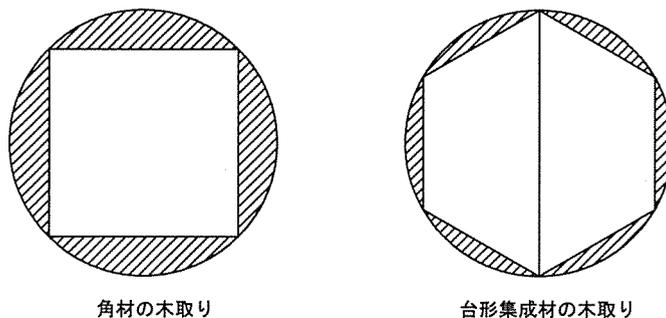


図4-22. スギの幅はぎ板と自動節穴補修装置

スギの「造作用集成材」については、商品化は商品の性能次第であるといえよう。一般的な幅はぎ板などの製品については、何か売り物になるような特徴が出せないと、他商品との競合が激しい。例えば、曲げ易いというスギの特性を利用した新しい湾曲部材や、難燃性や抗菌性を持ったスギ内装材などが開発されれば、事業化も可能であろう。

スギの小径・間伐材などを有効利用するために10数年前に開発された集成材

が台形集成材である。原理としては、小径材から角材を採ると捨てる部分が多くなるため、断面を台形にして、歩止りを良くしようというものである。原木の断面を単純に円と仮定し、鋸の厚さを無視すれば、角材の場合歩止りが約 60 %、台形材の場合約 78 %となり、18 %もの歩止り向上がはかれることになる。これはまた、廃棄物を減少させることが出来るということをも意味している。実際の現場では、このような単純計算は成立しないが、いずれにしても、スギ小径材の有効利用という意味では優れたアイデアである。



角材の木取り

台形集成材の木取り

図4-23. 角材と台形集成材の木取りの比較(斜線が不要な部分)

製造工程を図4-24に示す。まず小径木を半割にし、それを台形に加工した後、幅はぎしてブロック状にする。それをたて継ぎ・積層し、最終的には積層されたブロックをさらに挽き割って様々な製品に加工する。このような台形集成材は他製品との競合、価格の低迷などに苦しみながらも、実際に日本全国のいくつかの工場生産されている。

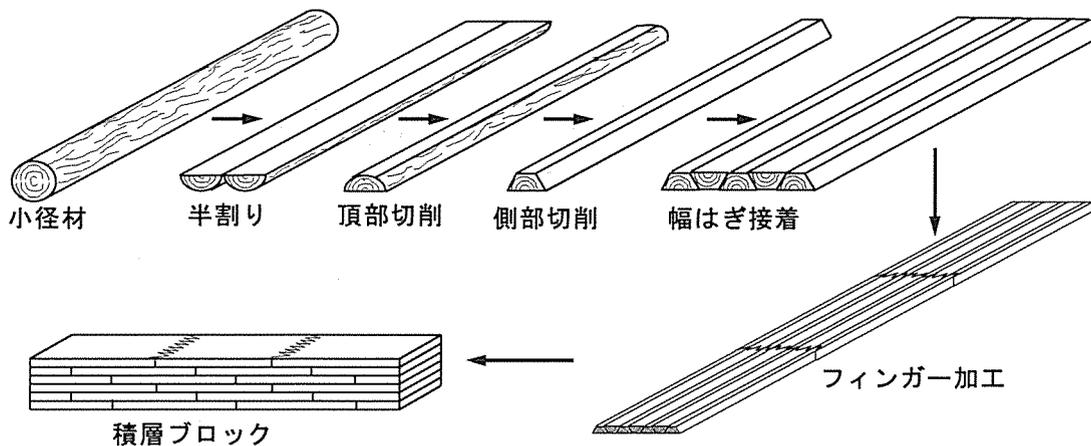


図4-24. 台形集成材の製造方法

近年「幅はぎ材の自動生産システム」が静岡県の木工機械メーカーで開発され、それを応用したスギ3層クロスパネルなども商品化されている。このような原木

から製品まで一貫した生産システムの導入も考慮すべきであろう。

スギの「集成管柱」のような「小断面構造用集成材」、「集成平角」のような「中断

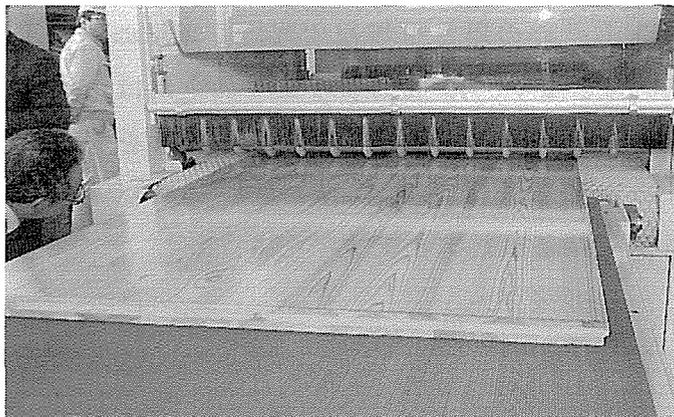


図 4-25. 天然系の塗料によって美しく仕上げられたスギ3層クロスパネル



図4-26. スギ幅はぎ板を多用した室内



図4-27. スギ難燃内装材を用いた村議会内部

面構造用集成材」などについては、欧州産スプルーエスやベイマツの輸入品などに比べて价格的・性能的な優位性が少ない。わずかに耐久性の高さを利用した集成土台などが考えられるのみである。ただし、これらの製品については、川上から川下まで一貫した住宅産業を形成し、地域産材という特性を営業に活かしながら、製品をその流れに乗せる（スギによる集成材のコスト増を吸収する）のであれば、事業が成立する可能性はある。このような例は、いくつかの県ですでに試みられている。また、国産材使用を売り物にした大手住宅メーカーの下請けのような事業形態であれば、事業化の可能性は高い。

スギを内層のラミナに使い、表層のラミナにLVLや他樹種（特にカラマツ材）



図4-28. スギ中断面集成材を梁に用いた「スギの家」

を用いることによって曲げに関する性能を向上させる方法が実用化に向けて研究段階にある。いくつかの技術的な課題は残されているものの、この方法の実用化の可能性は高い。また、この複合化の考え方をさらに進めて、FRP強化や鋼板併用なども試みられている。ただし、FRPによる複合化の場合、製造コストが大きな問題となる。



図4-29. 外層にベイマツ、内層にスギを用いた複合集成材

なお、従来この種の製品はJASには含まれないため、商品化はかなり困難であったが、建築基準法の性能規定化により、今後はより容易になるものと思われる。

同種の構造用製品、例えば「変形断面集成材」や「接着重ね梁」、さらには「ラチス梁」などについては、製造技術的に大きな問題はないものの、コスト／性能面を考えると、商品性は低い。スギの場合、加工の度をあげるほど価格競争力が低下するとよく言われるが、これらはその典型例である。

スギの「大断面構造用集成材」については、強度やヤング係数が低い分だけ、断面をより大きく設定する必要があるため、コスト的に不利となる場合が多いが、地域活性化などの政策の一環として使われることが多いので、コスト高になる分を吸収できることが多い。

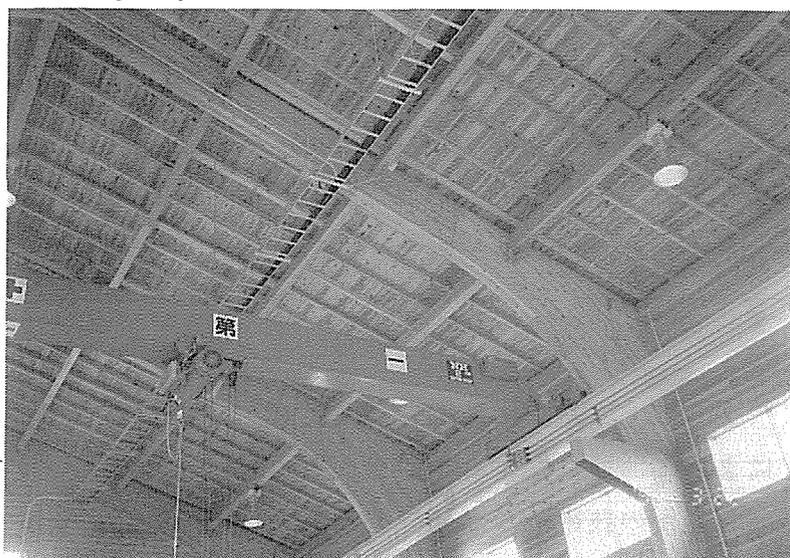


図4-30. スギの大断面構造用集成材を用いた工場

いずれにしても、スギの集成材については、思い切って付加価値の高いものにするか、強度的な弱点を何らかの形で吸収できるようなシステムになっていないと、外材あるいは他の材料との競争力がないといえよう。

スギの「合板」については、製造技術的にいくつか問題がある。合板ではLVLよりも長い単板が必要であるから、柔軟で中小径の原木から200cm程度の長さの単板を安くかつ効率よく製造できるかどうか、最大の課題となる。その他の問題、例えば乾燥や調板については、スギLVLでの実績から考えれば、十分解決可能である。ただ、現在のように簡単に安く北洋材が入手できるような状況であれば、競争力はないと考えた方がよい。もちろん、現在のような状況が永続す

るとは考えられないので、長期的に見れば、また対象を限られた地域に限定すれば、何らかの展開が開ける可能性も残されてはいる。



図4-31. 二次接着されて大断面になったスギ構造用LVL

スギの「LVL」、特に造作用・建具用・家具用については、事業化の可能性は高い。ただし、安価な原料が得られるかどうか、またそれが定常的に得られるかどうか大きな問題である。わが国の既存の工場でも、この種の原料集荷に関連した問題が多いようである。

スギの「構造用LVL」については、造作用以上に問題が多い。特に単板のグレーディングとたて継ぎが難しいので、何らかの工夫が必要である。例えば、単板をまずラミナ程度の厚さに積層し、それを集成材のラミナと同じようにフィンガージョイントして2次接着する方法などが考案されている。

「PSL」や「OSL」については、現在の北米で採用されている生産システムは大量生産を前提としており、多額の設備投資が必要なため、これをそのままスギのPSL化に導入することは困難である。また、北米などとは異なり、原材料を定常的に確保することも容易ではない。

これらの類似品として森林総合研究所で開発された「SST」の生産がようやく開始されたが、EW材としての利用開発や強度評価はこれからの課題である。この技術を応用して、セメントとの複合などが考えられているが、現在のところ商品化されていない。

スギの「OSB」については、国産材を使って針葉樹のOSBを作る技術は研究されているので、アスペンなどの広葉樹にはない表面性や化粧性を商品力にすることは可能である。また、より小型のストランドを用いたファインOSBの技術も国内で開発されている。ただ、PSLやOSLと同様に、事業化には多額の設備投資が必要なことと、原料の定量的・定常的確保の困難さがネックとなってい

る。

スギを原料とした「パーティクルボード」や「ファイバーボード(特にMDF)」については、技術的に大きな問題はない。ただ、残廃材の処理先としてはともかく、現状では限りなくタダに近い原料費でないとボードの製造そのものが成立しないような状況になっているので、たとえ導入できたとしても、川上側に十分な資金が還元されるような状況にはならないであろう。

以上、スギを原材料とした木質材料について考察してきたことをまとめると、技術的には大きな問題はないが、他の材料との競合があるため、何か特徴を持った付加価値の高い製品、あるいは川上から川下まで一貫した流れの中で生産できる製品が必要であるということになる。

#### 4.4 EWと品確法

1999年（平成11年）6月に公布された「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）」の3本柱のうち、10年間の瑕疵保証と紛争処理体制の整備については、2000年（平成12年）4月より施行されることになっている。住宅性能表示制度については、現時点では確定されたものとなっていないので、技術的な議論はできないが、品確法の背景、目的、骨子などについては、すでに明確になっているので、ここではEWに関連したいくつかの項目について検討することにした。

##### 4.4.1 瑕疵保証関連

瑕疵保証に関連する問題として、まず国産材のMSR製材の含水率に関する問題があげられる。一昔前に比べれば比較的大きな断面を持つ針葉樹製材の人工乾燥技術は格段の進歩を遂げたと言えるが、スギについては、4.3で述べたように、材質に関連した様々な問題があるため、ローコストで乾燥させる技術が未だに確立していない。このため、人工乾燥された製品といっても、産地によってさらには工場によっても技術の差があり、その性能が一定していない。

【構造耐力上主要な部分】木造（在来軸組工法）の例

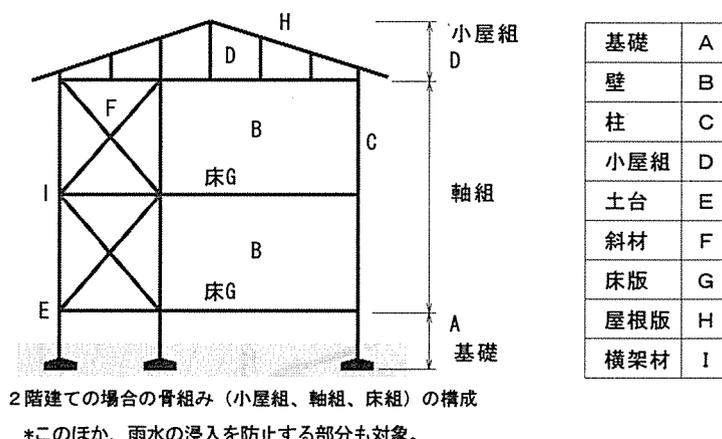


図4-32. 新築住宅の瑕疵担保責任を10年間義務づけるイメージ

品確法の瑕疵保証の対象となるのは構造耐力上主要な部分、すなわち、「基礎、基礎杭、壁、柱、小屋組、土台、筋違い等の斜材、床版、屋根版、梁・桁等の横架材で、住宅の荷重や地震動などによる外力に耐える部分、および雨水の浸入を防止する部分」であるから、MSR製材品であれば強度的には問題がないにしても、含水率の管理が的確に行われていなければ、思わぬトラブルが生じるおそれがある。

また、法的には問題がなくとも、軽度のたわみ、軽度の傾斜、床鳴り、建具の開閉不良、振動など、どちらかといえば軽度のクレームも、これまで以上に増えることが予想されるので、製材品の含水率管理は極めて重要になる。

もちろん、上記のようなトラブルの原因の多くは設計・施工サイドの材料特性に対する不理解や誤解によるものであるから、木材を取り扱う上で不可欠である「木材の水分と収縮との知識」を、設計・施工サイドに対して周知させておく必要がある。以下に要点を列記しておく。

- ①生材が空气中で乾燥してゆくとき、含水率 25%（繊維飽和点という）までは、収縮しない。また強度性能も変化しない。
- ②その後放置しておくとも、木材は収縮しながら 10～15%程度の含水率（気乾含水率）に落ち着く。このときに強度性能も向上する。
- ③収縮の程度は板目方向が柀目方向の 2 倍程度である（異方性）。
- ④木材に継続荷重が作用すると、時間の経過とともに変形が増加してゆく（クリープ現象）。
- ⑤材が乾燥するときに、大きな継続荷重が作用していると、異常に大きな収縮がおきる（加圧収縮現象）

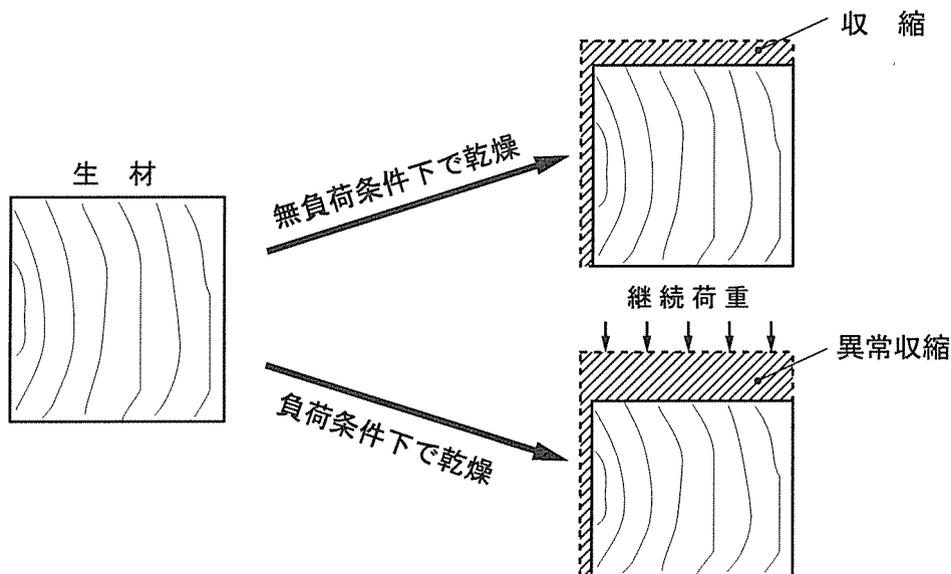


図4-33. 木材の加圧収縮現象による異常収縮

このような技術的な問題以外にも、スギの人工乾燥材については、製品の供給体制に関する問題が未解決のままである。品確法制定以前にも、木材供給側が人工乾燥材を普及させるチャンスは、これまでに何度かあった。例えば、構造用製材の新 J A S が制定された時は最大のチャンスであったといえよう。しかし、変化に対応しにくい製材業界の体質が出てしまい、積極的な取り組みはなされな

った。

このため、過去の反省の上に立って、ここ数年日本全国で人工乾燥材生産に向けて官民あげでの取り組み（特に低コスト化）が行われるようになってきてはいるが、生産・供給システムの充実の度合いには地域差があって、現実問題として乾燥材の入手が困難な地方も多い。また先に述べたように、乾燥に必要なコストも、低いとは言い難い。乾燥の程度によって様々ではあるが、今のところ1立方メートルあたり1万円から2万円程度必要である。

いずれにしても、スギMSR製材のみならず、単なるスギ人工乾燥材については、より高度な乾燥技術の開発と生産・流通体制の整備が望まれる。それがなければ、すべて木質材料系のEW軸材に市場を奪われてしまいかねない恐れもある。

#### 4.4.2 性能表示関連

品確法の施行にあたって、とりあえず懸念されるのは製材の分野である。ただ、強度については、表4-1のところで少し触れたように、全国のデータが森林総合研究所に集積され、実用的なデータベースがようやく構築された。もちろん、データがそろってきたからといって、上で述べたように乾燥や強度の表示が出来るような製品の生産体制とその供給体制が十分構築されているわけではない。

製材以外のEW製品の関係では、カタログ的データがそれなりに整備されているので、性能表示の項目で採用されることになる評価基準と評価方法が比較的簡易なものであれば、取りたてて対応すべきことはない。ただ、少し高度な性能データを要求されるとなると、問題は多い。

例えば、製品の実大データの蓄積は最も求められることのひとつではあるが、JAS規格は実大データが必要な性能規格ではないため、研究の目的以外の実大データはこれまでほとんど蓄積されていない。また、接合部の強度データ、特に荷重-変形関係は統一的な試験がなされてこなかったため、いまだ信頼のおけるデータベースが構築されていない。これらについては、住宅品確法の施行には間に合わないとしても、できるだけ早急に整備しておく必要がある。

上の議論は、構造性能に関するものであるが、耐久性能や耐火性能あるいはVOC（ホルムアルデヒド）関連についても同様のことが言える。建築学会の様々な設計基準に掲載されているようなカタログ的データだけを使用するだけの評価法であれば、とりたてて何かを用意する必要はない。

#### 4.4.3 限界状態設計法（リミットステートデザイン：LSD）

聞き慣れない用語かもしれないが、限界状態設計法（リミットステートデザイ

ン：LSD)とは、荷重や材料強度のバラツキを考慮に入れて構造設計を行う信頼性設計法の一つで、破壊や使用不能になる限界の状態を構造計算の基準とするものである。設計思想的には、現行の許容応力設計法とかなり異なったものであるが、単なる計算手順についてみれば、現行の許容応力設計法と大差ないので、実務的な作業がそれほど難しくなるわけではない。

現在欧米諸国では、すでに許容応力設計法からこの設計法への移行がおこなわれ、終了しつつある。わが国でも建築学会を中心に限界状態設計法への移行が検討されている。木質構造についても、すでに設計指針案は提案されており、1999年暮れには建築学会と木材学会の合同シンポジウムが開催され、170名もの参加者が集まった。

なぜ、このような限界状態設計法が品確法と関係するかというと、この新設計法の最大の利点が、性能と信頼性の明確な構造物が設計できるという点にあるからである。残念なことに現行の許容応力設計法では、構造物が法的にOKであるかどうかは判定できるだけで、どれくらい安全であるか、いかにするとどれくらい構造性能があるのかといったランク付けには適さないのである。さらに限界状態設計法には、バラツキが少なく、強度性能の明確な材料ほど優遇されるという利点もある。つまり、材料の提供者にとっては、努力すればするだけその結果が報われるのである。

今回の品確法の施行には間に合わないが、限界状態設計法はそう遠くない将来に、品確法の特別評価方法認定、あるいは何らかの形で構造設計の一手法として取り入れられることになるであろう。

#### 4.5 木質構造研究の進展

本書の中で何回か触れてきたように、EWは木質構造の発展と歩調を合わせて進化してきた。したがって、EWの今後を考えるには、木質構造の動向を知っておく必要がある。

本節では、戦後から今日に至るまでの木質構造研究の経緯をふりかえり、現在の隆盛に至った背景を探るとともに、今後の方向性について解説してみた。

「研究」に対象を絞った理由は、ここ数年というものの、木質構造の研究が非常に盛んになってきているからである。このトピックスは、木材・木造住宅関連の業界紙・誌では取り上げられてはいないが、阪神淡路大震災以降大きく変わってきたこととしては、建築基準法の性能規定化や品確法に次ぐものである。

##### 4.5.1 戦後における木質構造研究の流れ

まず、戦後における木質構造研究の流れについて述べる。図4-34は、大規模木構造（木質構造）、木造住宅、伝統建築それぞれの研究状態（線が太いほど研究が盛んである）と年代との関係を示したものである。

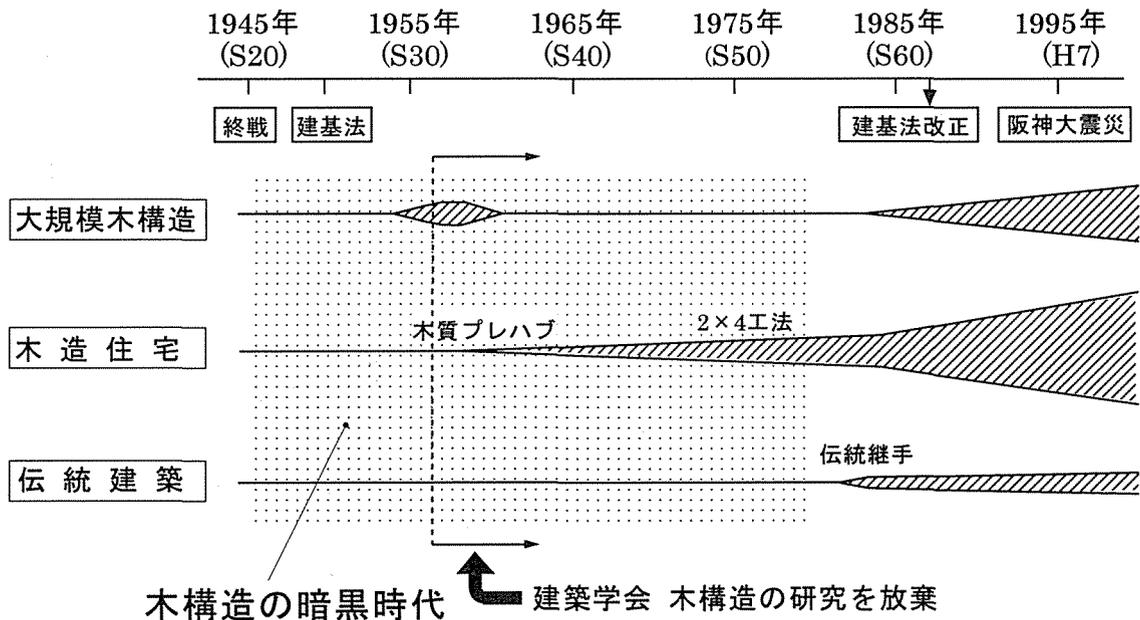


図4-34. 戦後における木質構造研究の流れ

言うまでもないことではあるが、戦後しばらくの間は木質構造の研究など、行われるわけがなかった。空襲によって焼け野原となった市街地を見て、木造建築に拒絶反応を示した研究者が多かったのも当然のことであつたらう。

戦後の大混乱も少しおさまりかけた昭和25年、建築基準法が制定され、木質構造に関しても最低限の基準は整備された。しかしながら、木造に対する研究ニーズはごく小規模なものを除いて、ほとんど存在しなかった。それどころか、逆

に建築界全体が木造排除・禁止の方向に進んでしまったのである。このため、昭和 30 年代に流行の兆しが見られた大規模木造建築も、木造に対する規制の強化によって、つかの間のあだ花で終わってしまった。

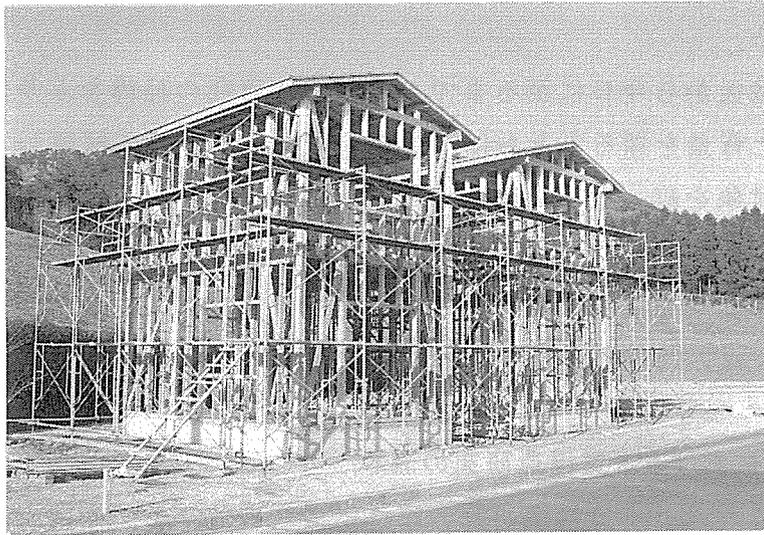


図4-35. 軸組架構の実大強度試験、金物工法(奥)と在来工法(手前)の比較  
(鹿児島県工業技術センター)

このような建築界の木造建築に対する冷視・軽視の姿勢は、その後昭和 50 年代後半まで延々と続いた。この期間がいわゆる「木質構造の暗黒時代」である。

もちろん、木造住宅に限っていえば、30 年代に木質プレハブ住宅の導入、40 年代後半に枠組壁構法住宅の導入があり、それなりの研究が行われたが、建築全体の流れから見れば散発的なものでしかなかった。また、本命の在来軸組構法に関しては、大工さん任せの状態が続き、構造学的な研究が本格的に開始されたのは昭和 50 年代の後半であった。

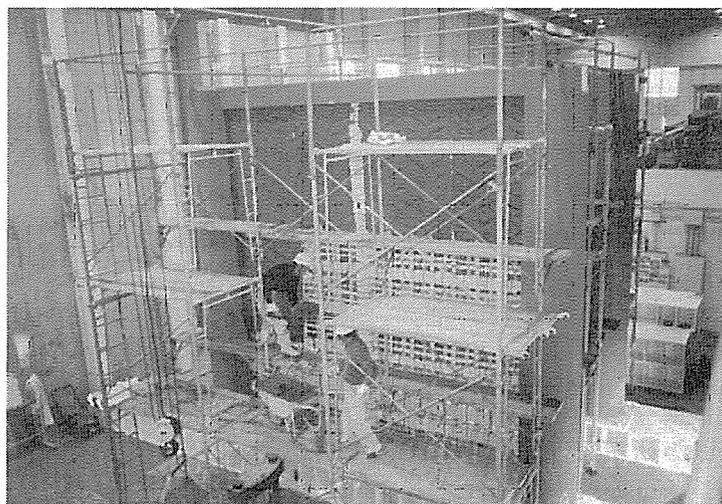


図4-36. 伝統架構による土塗り壁の実大実験(森林総合研究所接合研究室)

なお、旧来の社寺建築に見られるような伝統構法に至っては、全く省みられることもなく、捨てて置かれたままであった。この種の構造について構造力学的な研究が開始されたのは、伝統継手の研究を除けば、せいぜいここ 10 年のことである。

このように、木造建築に関する構造力学的研究は、戦後すぐから昭和 50 年代後半に至るまで、惨憺たる状況であった。素人目には、日本中の大学に建築学科があるのだから、大勢の研究者が木造建築について研究してきただろうと思いがちであるが、実際のところ、大学の先生で木質構造を専門にしている人などほとんど存在しなかったのである。

もっと衝撃的なことを言えば、阪神淡路大震災が起きたとき、関西地区には木質構造を専門に研究している研究者が一人もいなかったのである。このことが、あの地震における在来工法住宅の大被害の遠因になっていると考えているのは筆者だけではないであろう。

#### 4.5.2 ここ10年の木質構造研究の流れ

ここ 10 年における木質構造と E W 製品の動向については、第 1 章に述べたとおりである。簡単に言うと、まず「大規模木造建築の規制緩和」という施策があり、それに向けての材料開発、規格の整備、構法の開発などが相次いだということになる。

当然のことながら、研究もそれと歩調を合わせた形で、大きく進展してきたわけであるが、ここで特に注目すべき点は、阪神淡路大震災以降、研究が減少するのではなく、以前にも増して盛んになってきたことである。

これを顕著に示す一つの事実が、建築学会の木造関係の研究発表件数である。1999 年に広島で開かれた学会大会には何と 150 件もの研究が発表された。ちなみに、1998 年も 150 件、1997 年は 119 件、1996 年は 106 件、1995 年は 70 件であった。

このように建築学界における木造回帰の現象が、ここ数年、より顕著になってきた理由としては、次のようなことが考えられる。

まず基本的に、建築界が長年放置してきた課題が、今なおたくさん残されていることがあげられる。研究が進んでいわば手垢の付いたような状態になっている R C 構造や鋼構造に比べれば、暗黒時代の影響で研究が進んでいない木質構造が、研究者や実務者にとって新鮮に映るのは、至極当然のことであろう。

次には、やはり阪神淡路大震災の影響が大きいと考えられる。建築の専門家であれば、あれほどの大被害を生じた在来工法に何らかの関心を持たないはずがな

いのである。当然様々な問題点、言い換えれば研究テーマに彼らは気づいたはずである。「これは何とかしなくては」と考える力がこのような結果となっているのであろう。

#### 4.5.3 木質構造研究の担い手

ここまで木質構造研究の流れについて述べてきたが、それを誰がどのような形で行っているのかについては触れてこなかった。ここでは、木質構造研究を担っている団体について簡単に紹介する。

まず、筆頭にあげるべきは「木材学会」である。この学会は全国の林産系の大学、公設研究機関の研究者、企業の研究者・技術者が中心となった組織である。ただ、本学会は木材に関するすべての研究者（例えば紙パルプ関係など）も参加しているので、木質建材や木造建築に関する研究者はその一部にしか過ぎない。とはいえ、木質構造の暗黒時代にも継続的に研究を続けてきたのは、本学会の研究者であり、研究の蓄積も非常に大きい。また、学会大会では木質建材・木質構造関係だけに限っても、百数十件もの研究発表が行われている。ちなみに、建築学会同様、本学会における研究発表の件数も増加の一途をたどっている。

木材学会と表裏一体の関係にあるのが、「日本木材加工技術協会」である。学術面よりも実際的な面を重視した研究については、こちらで発表されることも多い。もちろん、両者とも、木質建材に重点を置いた研究が多い。

次が「建築学会」である。こちらは建築全般を対象とした学会組織で、大学や研究所の研究者のみならず、建築士を始めとする実務担当者なども含んでおり、会員だけでも2万人を越える大団体である。この学会では先にも述べたように、木造にかかわりをもつ会員が、このところ激増している。なお、木材学会の木質構造関係の会員はほとんどが建築学会にも属しているため、大会の発表内容は木材学会のそれとだぶっているものが多い。

これらの会員のうち、関東地区の研究者、住宅メーカー、木質建材メーカーの技術者を中心に活動を続けてきたのが「木質構造研究会」である。本研究会は事務局が東大農学部の木質材料研究室にあり、木質構造の第一人者である杉山英男名誉教授が在籍中に設立されたものである。設立以降、講演会の開催、会誌の発行、海外研究交流の援助といった活動を続けてきたが、1997年から技術発表会を開催するようになり、研究技術団体的な色彩がより一層強まっている。

建築学会と木材学会の中間的な性格を持つものが、昭和61年に設立された「木造建築研究フォーラム」である。この団体は東大建築学科の坂本功研究室が中心になって運営されているもので、木造建築に興味を持つ設計者、研究者が中心メン

パーとなっている。この団体の目的は研究発表の場を設けることではなく、研究者と実務者の交流を深めることに重点が置かれている。なお、木造建築の文化的側面や伝統建築にこだわりを持つ人が多いのもこの団体の特色である。

木造建築に関する研究と行政との間に立って、様々な業務を行っているのが、本「(財)日本住宅・木材技術センター」である。本団体は技術試験所を有しているばかりでなく、様々な調査・技術開発事業などによって、実質的な研究のサポートを行っている。また、木造住宅合理化システム認定事業や新世代木造住宅供給システム認定事業を行っているのも本団体である。

これらの団体以外にも、大手ゼネコンや大手住宅メーカーなどでは、独自の研究が行われている。もちろん、中小でも現場に密着した研究が行われているが、何らかの形で大学や研究所と共同で進められることが多い。

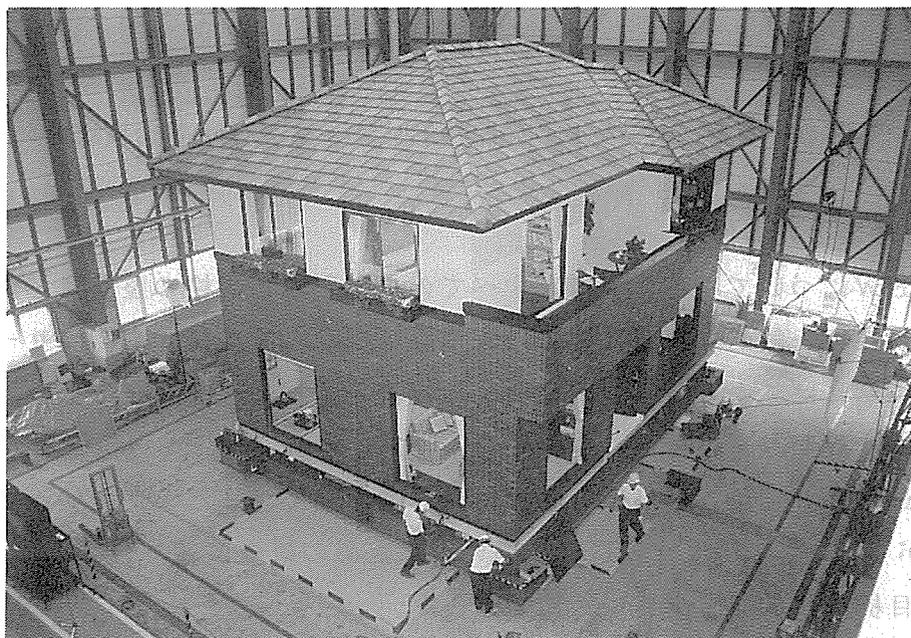


図4-37. 在来軸組工法住宅の実大耐震実験

(加震台の上に建てた住宅に兵庫県南部地震の地震波を与えて耐震性を検証する)

上で述べたような各団体の活動が活発化していること以外に、ここ数年木造建築に関する本が数多く出版されるようになってきている。これも、木質構造の裾野が広がってきたことの証拠であろう。

これらのことは、木材工業関係者にとって大変喜ばしいことであるが、これを一過性のブームにさせないためには、木材工業側からのより強い働きかけが必要である。

妙なたとえであるが、現在の状況はたくさんの客があれをやりたい、これをやってみたいと店先で騒いでいるようなものである。これを放っておいてはいけない。彼らの発している重要なサインを見逃さないようにして、彼らの望む情報を

出来るだけたくさん提供し、彼らをご最良さんにしなければならない。もちろん、これまで通りの古くさい商品を、これまで通りの古くさいやり方で勧めてみても、彼らは目もくれないであろう。なぜなら、彼らは新しい商品あるいは古くても手垢の付いていない商品を探しているからである。

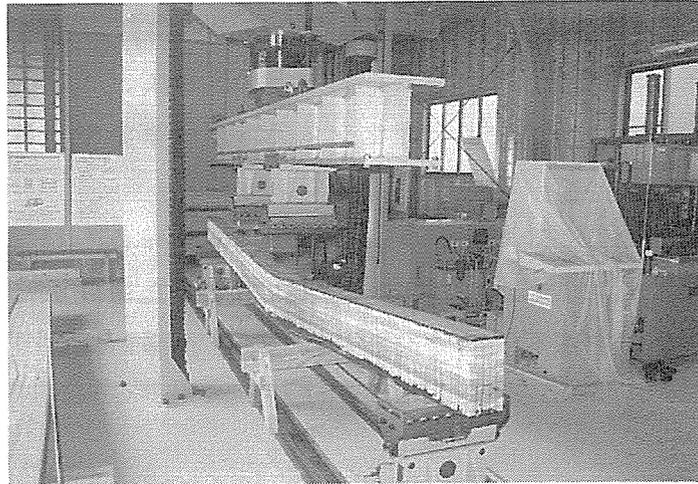


図4-38. 外層にCFRP(炭素繊維強化樹脂)を貼り付けた複合集成材

#### 4.5.4 今後の方向性

まず、EWについてみると、ほぼすべてのEW製品が規格の整備などによって出揃った現在、一般的な規格にのらないような製品の開発研究や、より一層のEW化技術、例えば、より簡易で精密な非破壊検査機器や性能評価モデルの開発といった方向で研究が進められることになるであろう。

木質構造については、わが国の水準は世界的に見て、まだまだ発展途上国である。したがって、基本的には先進国に追いつくための研究が進むと考えればよい。具体的な目標は先進国である米・加であろう。

ただ、単純に米加のような方向に研究が進むとは限らない。なぜなら、わが国には住生活と密接に結びつきたいわゆる「木の文化」があり、これを無視するわけにはいかないからである。

例えば、西洋的な合理主義にもとづく木質構造の接合については、原理的にもうすべて開発されつくした感があるが、わが国の伝統継手に見られるめり込み抵抗と摩擦力を考慮したような接合には、まだまだ学ぶところが大きい。

同様に、柔構造のメカニズムの解明などはわが国独自の大きな研究テーマになるであろう。ご存じのように五重の塔のような構造は非常に地震に強い。未だかつて地震で破壊した木造の塔はないのである。ただ、そのメカニズムがまだよく分かっていない。つまり、地震に強いことは歴史が証明しているのだが、どんなふうにして塔の構造が地震力を吸収しているのか、それが数式で表せないのでは

る。数式で表せなければ、その原理を一般に敷衍することが出来ない。非常に難しいはなしではあるが、このあたりのメカニズムが解明されれば、新しい高耐震性の木質構造の実現も夢ではない。

いずれにしても、10年程度のオーダーで考える限り、今後の木質建材と木造住宅は必ずや「より明確な性能を持ったもの」、「より科学されたもの」になるであろう。

ただ、それでは木質建材と木造住宅のエンジニアード化だけに、すべての努力を向けていけばいいのかというと、そんな単純なものではないであろう。なぜなら、木質建材と木造住宅は現在最も社会的な要請の強い、地球環境保全性、資源循環性、地域共生性といった特性を有しており、これからしばらくの間はそちらにも努力を傾注する必要があると思われるからである。

実際のところ、一般消費者の中には「木を伐って木材を利用すること＝すべて自然破壊」というような論理を振りかざし、上記のような特性に全く気づいていない人が、まだまだ多い。木質建材と木造住宅の啓蒙を計るためにも、LCA（ライフサイクルアセスメント）をはじめとする、一般消費者が十分納得できるような客観的なデータの蓄積が今後ますます必要となるであろう。

さすがに木造に興味を示す建築関係者の中で上のような論理を語る人はもはや存在しないであろう。ここ数年の建築学会大会で、E W製品と木造建築の発表会場に集まる人の多くは、何も木造を鉄骨やRCと同等の性能を持ったものに変えようとしているわけではない。ましてや木造住宅の大量生産・大量消費といった工業化を指向しているわけでもない。彼らが木造に興味を示しているのは、木造が先に述べたような特性について、他の構造よりも抜きん出た性能を有しているからである。

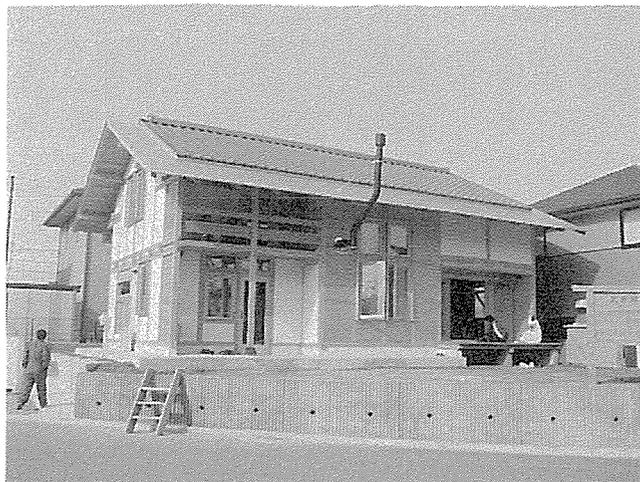


図4-39. 地域産材を用い、合成樹脂系の建築材料を排除して作られた在来構法住宅  
(筑波大学 芸術学系 安藤邦廣教授設計)

「上手に木を植え、上手に木を伐り、そしてそれを上手に使うことが、地域社会のコミュニティを取り戻し、ひいては地球環境の保全につながる」ことを、彼らは十分認識しているのである。

地域における林業と木造住宅とを結びつけた地域限定型住宅が試みられていること、長い間省みられることのなかった伝統木造の研究や構造解析が進められていること、行きすぎたエネルギー依存指向への反省から、健康住宅への指向が強まっていること、丸太材を利用した新しい構造が建築されるようになってきたこと、町屋とそのコミュニティの再生などが試みられていることなどは、木材供給側、さらには林業側に向けての彼らからの強いメッセージである。

先にも述べたように、木材供給側から見ればいわばお客さんがこのような課題に真剣に取り組むはじめてしてくれているのである。これを放っておくわけには行かない。彼らと連携しあい、地域において川上から川下までのパイプを通直なものにすることが、不況に打ちひしがれた木材産業を活気づけ、ひいてはわが国の将来を明るくする道のように思えてならないのである。

## おわりに

筆者がEWの専門書「高信頼性木質建材エンジニアードウッド」を日刊木材新聞社から上梓したのは1998年の3月のことであった。それまでにも、木質材料に関する類書は数多く出版されてはいたものの、EWの技術的背景である「構造信頼性」という概念を通して構造用木材・木質材料を解説しているという点で、この書は他の類書に例を見ないものであった。

ただ、この書の編集方針として、「構造信頼性」という目新しい概念を構成の中心に据えていたため、木材・木質材料に関する基礎的な知識をお持ちでない方にとっては、いささか難しいと感じられる部分が多かったようである。

そこで、本書では「構造信頼性」については出来るだけ触れずに、図や写真などを多用しながら、各製品の特性、製造法、利用法などについて、出来るだけ易しく解説することを試みた。また、前書ではほとんど触れることが出来なかった国産材（特にスギ）のEW化と耐久性に関する解説、さらにはこのところ話題にのぼることの多い金物工法や品確法との関係などについて、多くのページを割くことにした。

本書がEWになじみの薄い方々にとって入門書的作用を果たすことが出来れば幸いである。

さて最後になったが、本書をとりまとめるにあたっては、森林総合研究所木材利用部接合研究室の軽部正彦主任研究官ならびに原田真樹研究員にご協力いただいた。また、前書同様、本書の随所に掲載されている図やイラストの作成は、小林恭子氏に協力をお願いした。ここに深く感謝の意を表しておきたい。

2000年3月

森林総合研究所木材利用部

林 知行