

単板積層板 (LVB) の強度性能 (第1報)

—単板構成による曲げ強度性能—

森 泉 周 高 橋 利 男

The Strength Properties of Laminated Veneer Boards (LVB) ()

— Bending strength and compositions—

Shu MORIIZUMI

Toshio TAKAHASHI

This research aimed to develop a new wood-based material, that is, Laminated Veneer Boards (LVB) made up of veneers taken from small plantation-grown logs. Three types of compositions were applied to manufacturing LVB:

. The outer layer veneer was laid crosswise to the fiber direction, and the inner layer veneer was laid in parallel.

. In all the layers, the veneers were laid in parallel to the fiber direction.

. The outer layer veneer was laid in parallel, and the inner layer one was laid crosswise.

Then, bending tests were performed on boards of those three types of compositions to find out the composition most suitable for LVB. Butt joints were employed in some boards of each type of composition, for all the boards were composed of small-length veneers. Thus the effects of the butt joints on the bending strength of the boards had to be examined as well. The results are summarized as follows:

1. In Type , warps such as twists and cups were five to ten times as large as in the other types. Therefore, boards of Type were considered to be unsuitable for practical use unless another veneer was inserted crosswise to the other layers.

2. As regards bending, a good relationship was recognized between the values of the boards of Type (JIS A 1408) and the average values of small rectangular specimens.

3. With the boards of Types and including those having butt joints in-side, their MOR and MOE were more than 250 kgf/cm² and 50 tonf/cm² respectively in all the composition conditions. With the boards of Type, however, their MOR and MOE were less than 250 kgf/cm² and 50 tonf/cm² respectively in almost half of the conditions.

4. The decrease of MOE due to the butt joints was comparatively small, and the experimental values of the MOE were recognized to be in approximate agreement with the values calculated in the "equivalent notch method." The decrease of MOR due to the section defects between the butt joints and the crosswise sur-

face layer was considerable, and it was found that the section defect ratio had to be approximately 0.23 so that the MOR might become more than $250\text{kgf}/\text{cm}^2$. The experimental values of the MOR were also found to be in approximate agreement with the values calculated in the "section - modulus method."

5. It is assumed that the composition most suitable for the LVB is a 5-Ply composition whose veneers are of the same thickness, where the inner veneers are laid crosswise and the outer veneers are laid in parallel, with the butt joints placed end to end in a stepwise fashion.

中・小径間伐造林木から切削した単板を用いて新しい板材料, 単板積層板 (LVB) を開発することを目的として, 種々の単板構成の板を製造し, 曲げ性能による最適単板構成を検討した。特に短尺単板を用いるため縦つぎが存在し, 縦つぎの強度への影響を検討した。

ねじりとそりの測定結果から平行層のみの板 () では, ねじりとそり量とも大きく実用に耐えられないと判断された。平行層のみ及び中層側直交層の板 () では, すべての単板構成板で縦つぎのある板でも, $b = 250\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上 $E = 50\text{tonf}/\text{cm}^2$ 以上の値を得たが, 表層直交層の板 () では, 約半数の条件で上記の値に満たなかった。バットジョイントによるヤング係数の低下はあまり大きくなく, 等価切り欠き法による計算値と良く一致した。断面欠損 (バットジョイントと表層の直交層) による曲げ破壊係数の低下は大きく, $b = 250\text{kgf}/\text{cm}^2$ を満足するには欠損比0.23程度までである。断面係数法による計算値は実測値と一致した。想定される板の単板構成は, 平行層のバットジョイントを階段状にずらした二層の内側に直交層を配した等厚5プライが基本になると判断された。

1. はじめに

北米などの針葉樹合板, 南洋のラワン単, 合板の関税問題や円高など, 合板業界を取り巻く情勢は厳しく, しかも国内では造林木の間伐期を迎えており, 間伐材を含めた中・小径針葉樹材を原料として, 性能及びコスト面で輸入合板に匹敵するような板状材料を開発する必要がある。

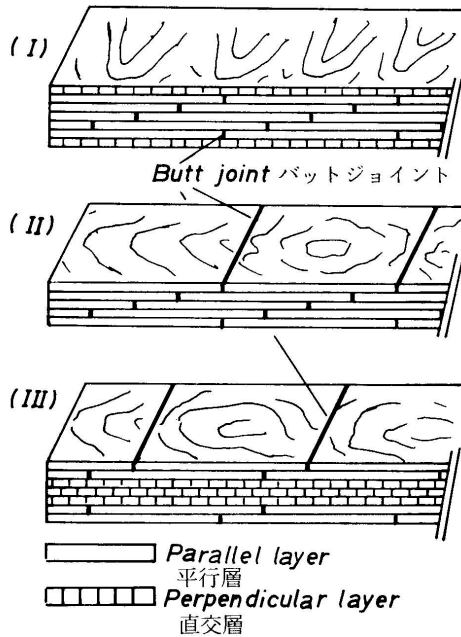
ここではその一つとして, 大熊が提案している単板積層板 (LVB) の考え方¹⁾を基本とし, 短尺単板を用いて新しい板状材料の製造及び性能試験を行った。既存の合板工場で製造可能であることを前提に, 下地材としての性能が構造用パーティクルボードを上回る目標値 (曲げ破壊係数で $250\text{kgf}/\text{cm}^2$, ヤング係数で $50\text{tonf}/\text{cm}^2$) を設定し, この目標値を超えるような板の構成条件を検討した。短尺単板を用いることにより, ジョイント部が多数存在するため, 特にそれによる曲げ強度低下の影響を検討した。なお, 本報告は第36回日本木材学会大会 (昭和61年4月, 静岡市) において発表した。

2. 供試材及び試験法

2.1 積層板の製造, 種類と単板構成

原木には, 末口径18~24cmの造林間伐カラマツ材を使用し, 単板の仕組みを除いて一般的な合板製造条件²⁾で, 板サイズ1800mm (長さ) × 450mm (幅) × 6~19mm (厚さ) のものを製造した。なお, 接着剤はフェノール樹脂を使用した。

製造した積層板の模式図を種類別に第1図に示した。板は, () 表層側に直交層を配置したもの, () 平行層のみのもの, () 中心層側に直交層を配置したものの3種とした。平行層の単板長45cmのものを基本に, バットジョイント (以下BJと記す) による縦つぎをし, 180cm長の単板層とした。BJの位置を階段状にずらして, 隣接BJとの間隙を板厚の30倍以上とし, 隣接BJが強度低Fに影響を与えない範囲とした⁴⁾。基本強度性能測定用として, 各構成板について平行層に縦つぎの無い板も製造した。第1表に板の単板構成を示した。単板の構成条件は, 表に示したような板厚, 積層板の範囲で, 単板厚を変えて組み合わせ



第1図 積層板の単板構成例
 () : 表層直交層, () : 平行層のみ
 () : 中層側直交層

Fig. 1 Examples of veneer's composition
 () : Outer layer perpendicular,
 () : Parallel layer only and
 () : inner layer perpendicular .

せ, の板で9条件, の板で8条件, の板で5条件とした。表中の()は直交層を示しており, 直交層を除いた平行層部の最外層単板厚さがB Jの深さを示している。

2.2 試験法

2.2.1 狂いの測定

製造した板について, 約1ヵ月間工場内に放置して, 板のねじれとカップを測定した。板のねじれ量は, 定板の上において対角線上で浮き上がった部分の量をたして2で割って示した。カップ量は, 測定長(振幅45cm)に対する最高矢高を板の両端部と中央部の計3箇所を測定し, 3箇所の平均値で示した。

2.2.2 曲げ試験

曲げ破壊試験は, J I S A 1408 の建築用ボードの曲げ試験に準じた3号試験体(40×50cm板)と短冊試験体の2種類を行った。前者ではスパン40cmの中央集中荷重法, 後者では幅5cmでスパン36cmの3等分点4点荷重法である。3号試験体と短冊試験はそれぞれ

第1表 単板積層板の構成
 Table 1 Composition of laminated veneer board .

種類 ^{a)} kind of specimen	板厚 board thickness (mm)	積層数 number of plies	単板構成 composition of veneer (mm)
I	10	5	(2)+2+2+2+(2) ^{b)}
	10	6	(1)+2+2+2+2+(1)
	12	6	(2)+2+2+2+2+(2)
	12	7	(1)+2+2+2+2+2+(1)
	15	7	(1)+3+2+3+2+3+(1)
	16	7	(2)+3+2+2+2+3+(2)
	17	7	(3)+2+2+3+2+2+(3)
	19	7	(2)+3+3+3+3+3+(3)
II	6	3	2+2+2
	8	4	2+2+2+2
	10	5	2+2+2+2+2
	11	5	2+2+3+2+2
	12	5	3+2+2+2+3
	12.5	5	2.5+2.5+2.5+2.5+2.5
	13	5	3+2+3+2+3
	17.5	7	2.5+2.5+2.5+2.5+2.5+2.5+2.5
III	12	5	2+2+(4)+2+2
	12	7	1+2+(2)+(2)+(2)+2+1
	14	5	2+2+(6)+2+2
	14	7	2+2+(2)+(2)+(2)+2+2
	14	7	2+2+(2)+2+(2)+2+2

a) , , 第1図参照
 b) () : 直交層, 他は平行層
 a) , , see Fig. 1.
 b) () : perpendicular layer , other parallel layer

の板から同時に採取した。B Jのある試験体では両者の試験ともB J部を中央に置いて行った。の板の短冊試験体については表層に平行と直交方向の2方向の試験をした。

2.2.3 B J及び断面欠損によるヤング係数, 曲げ破壊係数の低減の検討

B Jによる強度低下についてヤング係数では, ジョイント部を切り欠きとみなし, それによるヤング係数の低減割合を検討した。また, 曲げ破壊係数についてはの板では引張側の表層直交層も断面欠損とみなし, 成熟材部, 未成熟部単板別に, 低減を検討した。

3. 結果と考察

3.1 単板構成と板の狂い

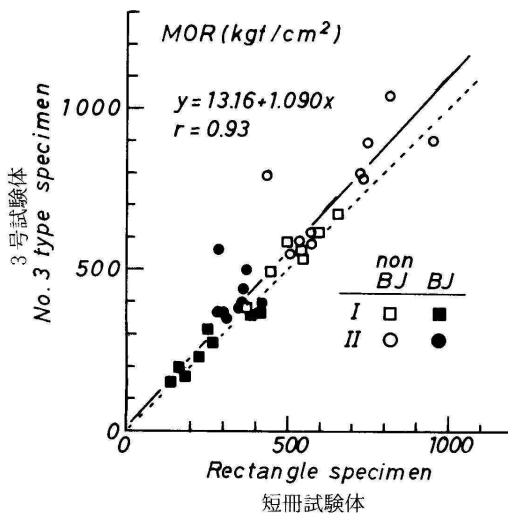
第2図に板厚とねじり量(a)及びカップ量(b)の関係を示した。の板(平行層のみ)は他の種類に

比べて5~10倍程度ねじれ量が大きく、板厚12~13mm前後で最大値を示し、それ以上の厚さでは急激に小さくなった。ねじれ量は板厚25mm程度で他の種類の板と同程度になると推定される。カップ量についてもこの板は大きく、板厚12~13mm程度まで小さくなる傾向を示しているが、それ以上の板厚では一定量のカップが残存し、他の種類の板に比べて大きい値のままであった。

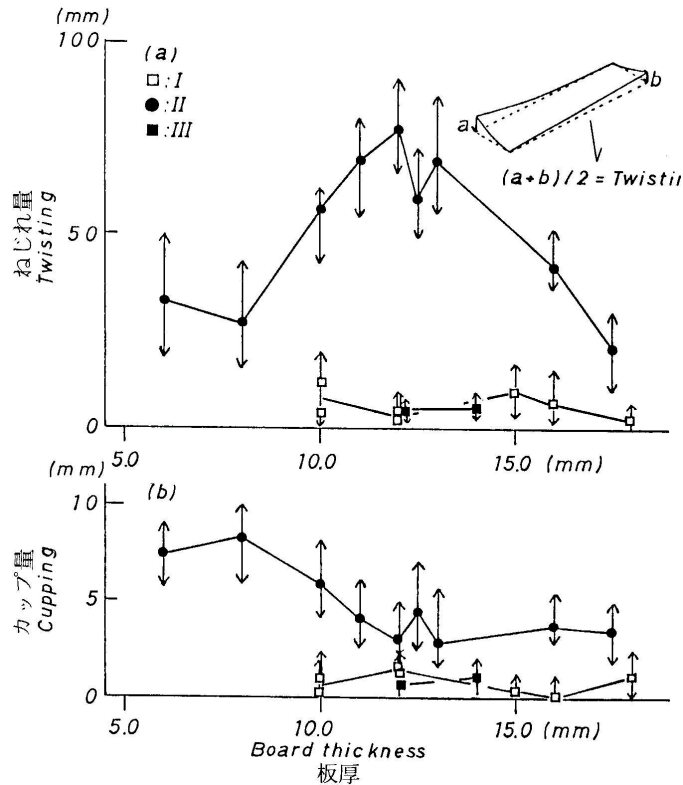
床板としての利用を想定し、枠組壁工法の標準施工に準じた床組を作ってみたが、この板では床組が浮き上がりねじれを押え込むことは不可能であった。したがって、ねじれ量とカップ量の大きさから、平行層のみの板では実用板厚の範囲での使用は不可能であると判断される。他の種類の板のねじれ量とカップ量は根太や間柱などへの打ちつけで十分に固定できる範囲にあるものと思われる。

3.2 曲げ強度性能

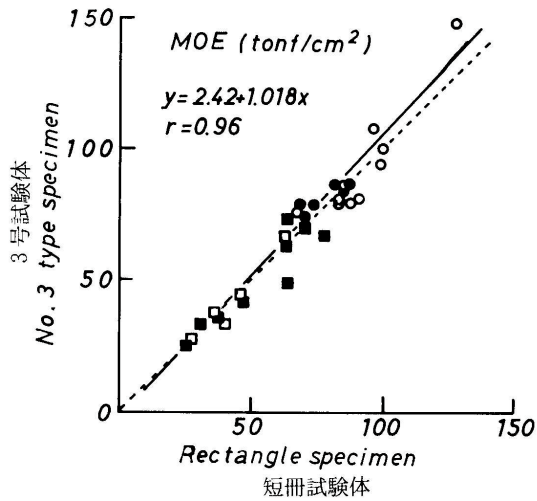
3.2.1 単板構成と曲げ強度



第3図 3号試験体と短冊試験体の曲げ破壊係数の関係
Fig. 3 Relationship between No. 3 type and rectangle specimens with MOR.



第2図 板厚とねじれ量 (a) 及びカップ量 (b) の関係
Fig. 2 Relationship between boards thickness and both twisting (a) and cupping (b).



第4図 3号試験体と短冊試験体のヤング係数の関係
記号は第3図参照
Fig. 4 Relationship between No.3 type and rectangle specimens with MOE.
Code see Fig. 3

各構成単板 (B J 板も含む) における3号試験体と短冊試験体の平均値について、曲げ破壊係数及びヤング係数の関係をそれぞれ第3、4図に示した。3号試験体と短冊試験体の強度値を比較すると曲げ破壊係数は3号試験体のほうが大きく、ヤング係数は多少大きいがいずれ程差がなかった。また3号試験体と短冊試験体の平均値の間には十分な相関関係が認められた。これに基づいて、以後のデータの解析については短冊試験体の結果を用いることにした。

板の基本性能となる無ジョイント平行層張りの強度値を第2表に示した。むき心径7cmまで切削した単板を用いているため、強度的に劣る未成熟材部単板で構成された積層板も製造された。したがって、曲げ試験の結果、引張側最外層に未成熟材部単板が張られているか成熟材部単板が張られているかにより強度値に大きな差がみられた。そこで、カラマツLVL³⁾の結果を参考に、強度値の違いにより未成熟材部単板と成熟材部単板に分けて表に示した。この傾向は3号試験体

と短冊試験体の両方で認められた。強度値は、未成熟材部単板の場合、成熟材部単板のそれに比較して、曲げ破壊係数で75%程度、ヤング係数で80%程度の値であった。

短冊試験体の場合、単板の種類によって、その破壊形態が2種類に分けられた。試験体の幅が5cmしかないため、単板に夏材部が存在した場合は純粋引張破壊の形態で、破壊がスパンに平行方向に進行した。一方、単板がほぼ春材部のみで構成された場合は脆性破壊の形態で、破壊がスパンに垂直方向に進行し、ねばりが無く比例限度直後に破壊した。前者の破壊形態をA、後者の破壊形態をBと呼ぶことにする。破壊形態別の強度をみると、B破壊のものはA破壊と比較して、曲げ破壊係数では、成熟材部及び未成熟材部単板とも75%程度の強度しかなかった。ヤング係数では、破壊形態による差異は認められなかった。なお、平行層に直交方向の曲げ強度は、成熟材部、未成熟材部単板や年輪の有無によって大差がなく、曲げ破壊係数

第2表 無ジョイント平行層張り積層板の平行方向の曲げ強度
Table 2 Bending Strength of only parallel layer board with out butt joint .

	試験体			破壊パターン別強度 (短冊)		試験体数 number of specimen
	3号 specimen No. 3	短冊 rectangle	3 / 短冊 3 / re.	bending strength of separated form (rectangle) B/A		
MOR (kgf/cm ²) 成熟材 mature wood	875	796	1.09	A ^{b)} : 722—823—1035	B/A	25
				B ^{b)} : 481—614—687	0.75	14
未成熟材 juvenile wood	579 (0.67) ^{a)}	543 (0.68)	1.07	A : 566—625—687 (0.76)	B/A	24
				B : 433—485—542 (0.79)	0.77	21
MOE (tonf/cm ²) 成熟材 mature wood	106	102	1.03	A : 81—100—135	B/A	25
				B : 87—107—142	1.08	14
未成熟材 juvenile wood	85 (0.81)	83 (0.81)	1.03	A : 68—83—91 (0.84)	B/A	24
				B : 64—79—88 (0.74)	0.95	21

直交方向曲げ強度, MOR 50kgf/cm², MOE 5.5tonf/cm²

a) 未成熟材 / 成熟材の強度比

b) A : 純粋引張破壊 B : 脆性破壊

Bending strength for direction of perpendicular .

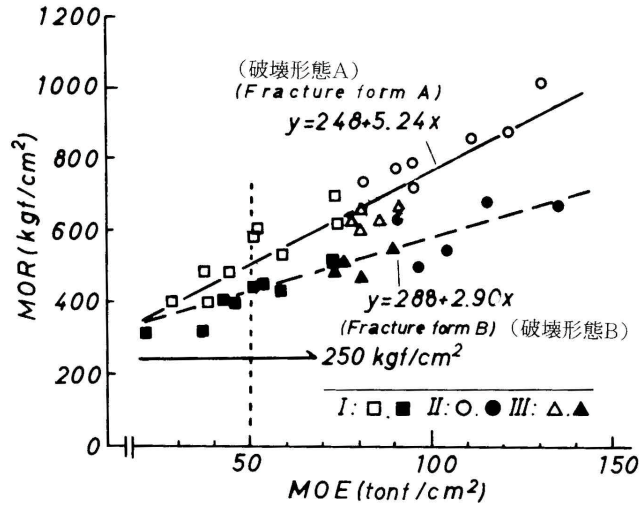
MOR 50kgf/cm², MOE 5.5tonf/cm²

a) ratio of strength (juvenile/mature)

b) A : Pure tensile fracture, B : brittle fracture

$T = 50 \text{ kgf/cm}^2$, ヤング係数 $E = 5.5 \text{ tonf/cm}^2$ 程度であった。

各単板構成の無ジョイント板における破壊形態別の曲げ破壊係数とヤング係数の関係を成熟材部, 未成熟材部単板混みで第5図に示した。四角印がの板, 丸印がの板, 三角印がの板, 白ぬき記号がA破壊, 黒ぬり記号がB破壊を示している。第2表と同様に同一ヤング係数でも破壊形態により曲げ破壊係数が明確に異なっている。ヤング係数をみるとの板の場合, 約半数の単板構成条件で目標ヤング係数 50 tonf/cm^2 に届かなかったが, 他の2種の板では十分に目標値をクリアしている。一方, 曲げ破壊係数をみるとす



第5図 破壊形態別の曲げ破壊係数とヤング係数の関係
Fig. 5 Relationship between MOR and MOE separated fracture form.

べての板構成で目標曲げ破壊係数 250 kgf/cm^2 をクリアしている。

3.2.2 BJによるヤング係数の低減の検討

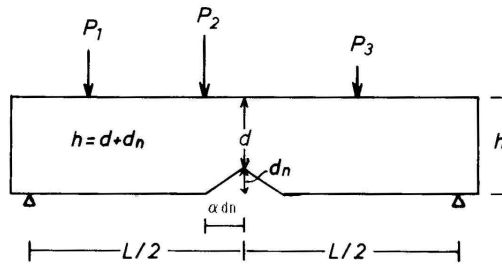
切り欠きを持つ梁について, 平井, 沢田ら⁵⁾, 見掛けの曲げ剛性の低減についてひずみエネルギー解放領域を等価の断面減少に置き換えることにより, 近似的な剛性予測法を誘導した。その方法を「等価切り欠き法」と呼んでいる。これによれば杉山の実験式⁶⁾

$$\frac{E_n}{E_o} = 1 - 0.64 \left(\frac{d_n}{h} \right) \dots\dots\dots(1)$$

- E_n : 切り欠きを持つ梁の見掛けのヤング係数
- E_o : 切り欠きの無い部分のヤング係数
- d_n : 切り欠き深さ, h : 梁せい

によるたわみ低減率と比べて, 計算値が実測値に近く, その精度も十分であると述べている。したがって, ここでは等価切り欠き法の概念を導入することにより, BJを持つ板の曲げ剛性を近似的に予測し, 実測値との適合性を検討した。

等価切り欠き法の解析については平井⁵⁾らの論文に詳細に説明されているが, 第6図に示した梁材のたわみに関して, 係数がわかれば初等梁理論にあてはめ



第6図 任意の荷重を受ける等価切り欠きを持つ梁
Fig. 6 An equivalent - notched beam under Arbitrary loads.

ることにより実際のたわみを予測することができる。エネルギー法により計算するとスパン中央に等価切り欠きを持つ梁の曲げたわみ (せん断たわみは考慮しない) は次式で与えられる⁵⁾⁶⁾。

$$\delta = 2 \left(\int_0^{a_1} \frac{MM}{EI} dx + \int_{a_1}^{a_2} \frac{MM}{EI_x} dx \right) \dots\dots\dots(2)$$

- E : 材料のヤング係数
- M : 切り欠き部の無い部分の断面2次モーメント
- x : テーパー部分の断面2次モーメント
- M : 材料に与えられた荷重が加わったときの任意点 x の曲げモーメント

M: スパン中央点に鉛直方向の単位集中力を与え
たときの 点の曲げモーメント

以下, 3種の板について, B Jによるたわみの増加を求めた。

・ の板の場合

平行層のみの板について, B Jを切り欠きと同様であると仮定すると第7図(a)のようにみなすことができる。このような切り欠きを持つ板の中央たわみは3等分点4点荷重のとき, 式(2)にaに関する積分範囲を設定すれば次式ようになる。

$$\delta = 2 \left(\int_0^{a_0} \frac{MM}{EI} dx + \int_{a_0}^{a_1} \frac{MM}{EI} dx + \int_{a_1}^{a_2} \frac{MM}{EI_x} dx \right) \dots\dots\dots(3)$$

$$a_0 = \frac{l}{3}, a_1 = \frac{l}{2} - \alpha \cdot d_n, a_2 = \frac{l}{2}$$

ここで, 係数 α をGriffithの計算で導き出された⁷⁾⁸⁾ を用いて解くと次のようになる。

$$\delta_{II} = \frac{Pl(27a^2 - l^2)}{27bh^3E_L} + \frac{\pi Pl}{bE_L} \left\{ \frac{\frac{l}{2} - \pi(h - d_n)}{(h - d_n)^2} - \frac{\frac{l}{2} - \pi(h + d_n)}{h^2} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

$$a = \frac{l}{2} - \pi d_n$$

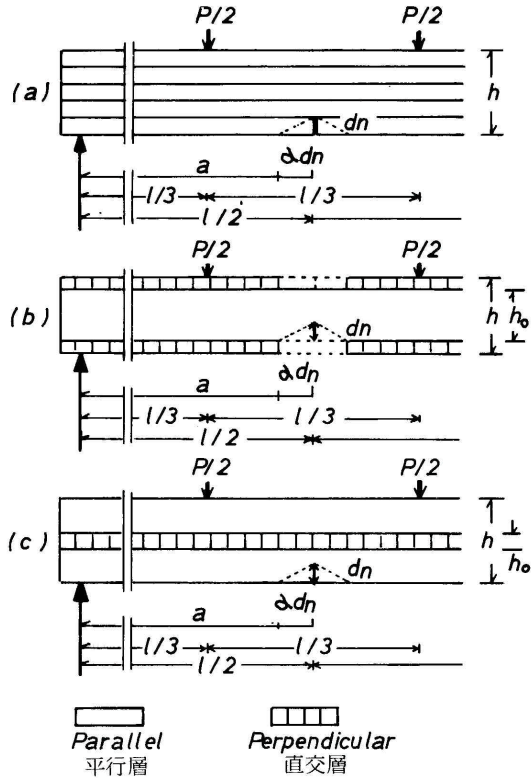
E_L: 平行方向のヤング係数, d_n: 切り込み深さ
P: 荷重, l: スパン, b: 幅, h: 梁せい

なお, 無ジョイントの場合のたわみ式は次式で与えられる。

$$\delta_{0II} = \frac{276 Pl^3}{1296 bh^3 E_L} \dots\dots\dots(5)$$

・ の板の場合

表層直交層の板についても, 第7図(b)のように平行層(コア層)の切り欠き部においては, の板と同様な三角形を考える。また, 切り込み深さd_nに対する底辺2・d_nの範囲の表層部が無いと仮定し, 式(2)に条件をあてはめれば中央たわみは次式ようになる。



第7図 各構成板における等価切り欠き条件の仮定
(a) 平行層のみ, (b) 表層直交層, (c) 中層直交層

Fig. 7 An assumed section equivalent to the notched for boards of each veneer's composition.

(a) parallel layer only, (b) outer layer perpendicular, (c) inner layer perpendicular.

$$\delta = 2 \left(\int_0^{a_0} \frac{MM}{EI} dx + \int_{a_0}^{a_1} \frac{MM}{EI} dx + \int_{a_1}^{a_2} \frac{MM}{E_L I_x} dx \right) \dots\dots\dots$$

E: の板のスパン方向ヤング係数
E_L: の板を構成している状態での単板の平行方向のヤング係数で式(3)のE_Lと同じ
ここで, の場合と同様に = として解くと

$$\delta_{I} = \frac{Pl(27a^2 - l^2)}{27bh^3E} + \frac{\pi Pl}{bE_L} \times \left\{ \frac{\frac{l}{2} - \pi(h_0 - d_n)}{(h_0 - d_n)^2} - \frac{\frac{l}{2} - \pi(h_0 + d_n)}{h_0^2} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

h : 試験体全体の梁せい

h₀ : 平行層の梁せい

となる。

無ジョイントの場合のたわみ式は次式で与えられ

$$\delta_{0I} = \frac{276 P \ell^3}{1296 b [E_L h_0^3 + E_T (h^3 - h_0^3)]} \dots\dots(8)$$

E_T : の板の垂直方向のヤング係数

・ の板の場合

中層直交層の板の場合, の板と同様に3等分点4点荷重とすると, 第7図(c)のような切り欠きを持つ板とみなされ, 式(2)に条件をあてはめれば中央たわみは次式ようになる。

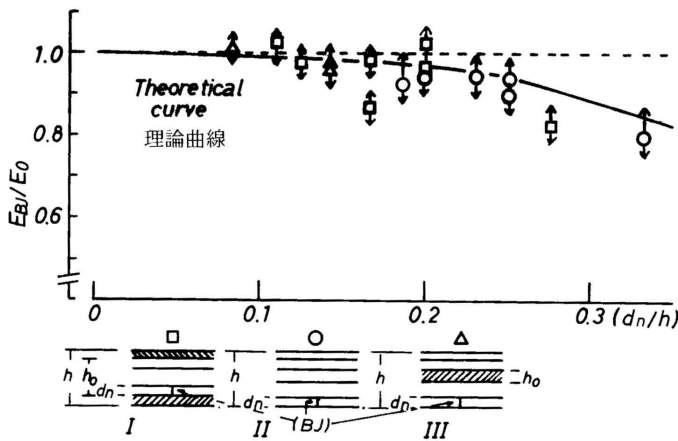
$$\delta = 2 \left(\int_0^{a_0} \frac{M\bar{M}}{EI} dx + \int_{a_0}^{a_1} \frac{M\bar{M}}{EI} dx + \int_{a_1}^{a_2} \frac{M\bar{M}}{E'I_x} dx \right) \dots\dots(9)$$

第3項は, 中立軸が移動し厳密には解くことができないが, E' は近似的に次式で表される。

$$E'I_x = \frac{E_L b \{ (h - d_n)^3 - h_0^3 \} + E_T b h_0^3}{12}$$

E_T が第2表から明らかのようにE_Lの約5~7%程度の値しかないので ET・h₀³ 0 と近似して解くと

$$\delta_{III} = \frac{P \ell (27 a^2 - \ell^2)}{27 b h^3 E} + \frac{\pi P \ell}{b E_L}$$



第8図 バットジョイントの深さによるヤング係数の低減
Fig. 8 Decrease of MOE depended depth of butt joint .

$$\times \left\{ \frac{\frac{\ell}{2} - \pi (h - d_n)}{(h - d_n)^2} - \frac{\frac{\ell}{2} - \pi (h + d_n)}{(h - h_0)^2} \right\} \dots\dots(10)$$

となる。ここでh₀が小さくなると の板と同一の式になる。

無ジョイントの場合のたわみ式は次式で与えられる。

$$\delta_{0III} = \frac{276 P \ell^3}{1296 b [E_L (h^3 - h_0^3) + E_T h_0^3]} \dots\dots(11)$$

各板の式(4)と(5),(7)と(8),(10)と(11)の関係で, 無ジョイント板に対するジョイント板のたわみの増加率から, B Jの深さによる無ジョイント板に対するヤング係数の低減率を求め, その関係を第8図に理論式として示した。3つの板の関係は一本の線で示すことができる。各単板構成条件における実測の平均値を図内に示したが, 計算値と実験値はよく一致しており, 平井, 沢田らの「等価切り欠き法」を用いることにより B Jを持つ各種の積層板のヤング係数の低減を予測できると判断された。

予測曲線の B Jによるヤング係数の低下は, B Jの深さが0.10で約1%, 0.20で約3%, 0.25で約5%, 0.30で約10%程度低下する。この低下率は非常に小さく, B Jの深さが0.25程度までであれば, 試験体間のバラツキの範囲内程度と判断される。

3.2.3 断面欠損による曲げ破壊係数の低減の検討

B Jを切り欠きとみなせば, 単板積層板の曲げの問題は切り欠きを持つ木材の梁に置きかえることができる。

切り欠きを持つ木材の梁における切り欠き寸法の曲げ耐力に与える影響について, 杉山は断面係数による実験的な解析⁹⁾, 平井らは破壊力学による解析¹⁰⁾を行っている。平井による解析には, ブロックせん断強度が必要であるが, 積層板の場合には, 木材梁のようないす型せん断に

よるブロックせん断強度の測定が難しく、それに対応するような試験法もいまだ確立されていない。したがって、ここでは、杉山の理論に基づき実験的手法による解析をした。杉山は、引張側に切り欠きを持つ梁が曲げを受ける時、梁の破壊は切り欠き隅角部の水平せん断によって起こるが、その原因は隅角部に働くせん断力と隅角部を割り裂こうとする割裂モーメントの共働きによるものと考えて、せん断力とモーメントは d/h と $(d/h)^2$ の関係で表せると考察している。ここで、 d は切り欠き部分の梁せい、 h は欠り切きのない部分の梁せいである。同時に切り欠きがある場合、切り欠きによる応力集中によって、切り欠き端付近の応力分布が変わり、その影響を受けて単なる断面係数の低減以上に曲げ破壊係数が低下すると考えられる。

以下3種の板について断面係数の関係を検討した。

・ 板の場合

平行層の板の場合の模式図を第9図(a)に示した。縦つぎが無い場合の曲げ破壊係数は

$$= \sigma_L = M / Z \dots\dots\dots (12)$$

：積層板全体の曲げ破壊係数

I_L ：積層板を構成している状態における単板の平行方向の曲げ破壊係数

で与えられるが、B J部の梁せいは

$$h_0 = h - d$$

となり、見掛けの断面係数 Z と正味の断面係数 Z_0 は

$$h_0^2 / h^2 = Z_0 / Z \dots\dots\dots (13)$$

の関係が成り立ち、応力集中などによる曲げ破壊係数の低下がなければ、正味断面係数がジョイントによる低下を示すことになる。しかし、李¹¹⁾は、正味断面係数と有効断面係数 (Z_e) の間に

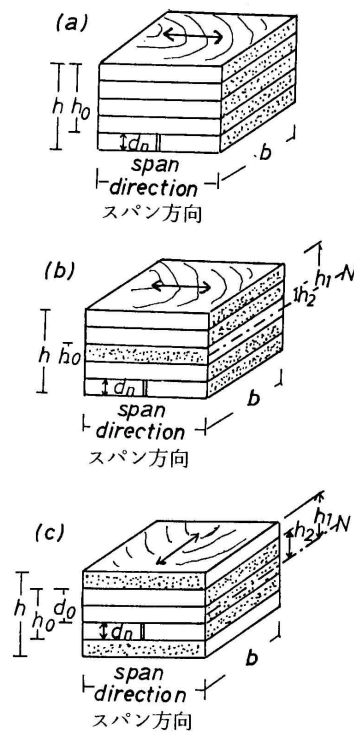
$$Z_e = \tau \cdot Z_0 = 0.75 \cdot Z_0 \dots\dots\dots (14)$$

の関係があることを実験的に認めており、切り欠きによる低減係数 τ を0.75としている。

・ 板の場合

第9図(b)の模式図中に各記号の関係を示したが、縦つぎの無い場合の曲げ破壊係数は次式で与えられる。

[林産誌月報 No.418 1986年 11月号]



第9図 各構成板における曲げ荷重時の断面の関係
(a) 平行層のみ、(b) 中層直交層、(c) 表層直交層
Fig. 9 Boards of each veneer's composition
With end-joint under bending load.
(a) parallel layer only (b) inner layer perpendicular, (c) outer layer perpendicular.

$$\sigma = \frac{\sigma_L I_J + \sigma_T \frac{h_1}{h_2} I_1}{I} \dots\dots\dots (15)$$

T ：積層板を構成している状態における単板の直交方向の曲げ破壊係数

$$I_J = \frac{b}{12} (h^3 - h_0^3), \quad I_1 = \frac{b h_0^3}{12}$$

τ は σ に比べて十分小さく、 $\tau = 0$ と近似すれば式(15)は

$$\sigma = \frac{\sigma_L \frac{h_1}{h_2} I_1 + \sigma_T I_J}{I} \dots\dots\dots (18)$$

となる。 h_0^3 が全体にしめる割合は、0.1の時で0.1%、0.2の時で1.5%、0.3の時で2.7%、0.4の時で6.4%と小さく、近似すると

$$I \dots\dots\dots (17)$$

になり、この関係から、の板と同様に考えればよいことになる。

・ の板の場合

第9図(c)の模式図のようになるが、ここで、とZの記号を次のように定める。

- σ_n: 積層板全体の曲げ破壊係数
- σ_{co}: 中層側の平行層部の曲げ破壊係数
- σ_{cn}: 縦つぎ部を持つ積層板全体の曲げ破壊係数
- σ_{cn}: 縦つぎ部を持つ中層側の平行層部の曲げ破壊係数
- σ_L, σ_T: 積層板を構成している状態における単板のそれぞれ平行方向、直交方向の曲げ破壊係数
- Z: 積層板全体の断面係数 (bh²/6)
- Z_{co}: 中層側の平行層部の断面係数 (b_o²/6)
- Z_{cn}: 縦つぎ部を持つ中層側の平行層部の正味断面係数 (bd_o²/6)

表層に直交方向の曲げ破壊係数は

$$\sigma = \frac{\sigma_L \frac{h_1}{h_2} I_1 + \sigma_T I_2}{I} \dots\dots\dots(18)$$

で与えられ、の板と同様に τ=0とおけば

$$\sigma = \sigma_L \frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{I_1}{I} \dots\dots\dots(19)$$

になる。中層の平行層部分の曲げ破壊係数を σ_{co} = σ_Lとすれば

$$\frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{I_1}{I} = (h_2/h_1)^2$$

なので、積層板全体の破壊係数は

$$\sigma = \sigma_{co} \left(\frac{Z_{co}}{Z} \right) \dots\dots\dots(20)$$

で与えられる。平行層部に縦つぎを持つ場合の破壊係数は

$$\sigma_n = \sigma_{co} \left(\frac{h_o}{h} \right)^2 = \sigma_{cn} \left(\frac{Z_{co}}{Z} \right) \dots\dots\dots(21)$$

で与えられ、平行層部に縦つぎを持つ場合と持たない場合の関係は

$$\frac{\sigma_{cn}}{\sigma_{co}} = \beta \left(\frac{d_o}{h_o} \right)^2 = \beta \frac{Z_{cn}}{Z_{co}} \dots\dots\dots(22)$$

になり、縦つぎ部を持つ積層板全体の破壊係数は

$$\sigma_n = \sigma_{co} \beta \frac{Z_{cn}}{Z} = \sigma \beta \frac{Z_{cn}}{Z_{co}} \dots\dots\dots(23)$$

で示され、係数 β は、平行層のみの関係になり、この係数 β についても李は0.75という数字を与えている¹¹⁾。

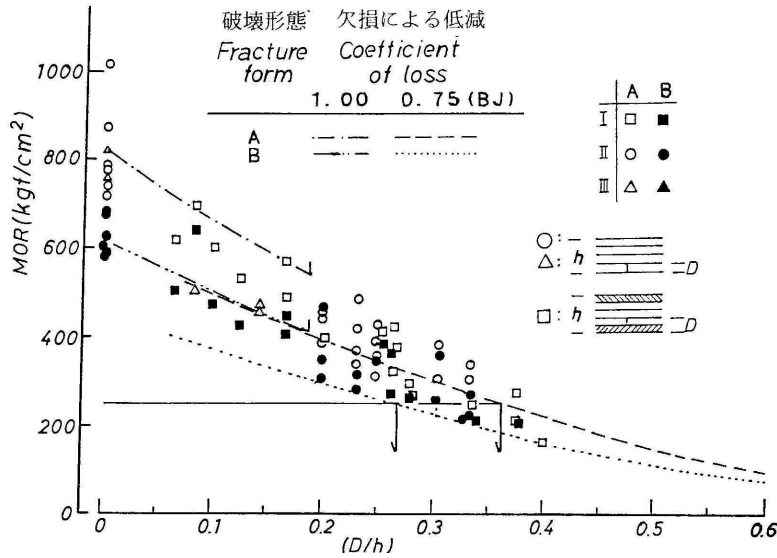
以上 ~ の単板構成で断面欠損による強度値の低減は、正味断面係数に切り欠きによる低減係数 (または) を乗じたもので示される。

切り欠き探さ、すなわち、欠損比と曲げ破壊係数の関係を検討した。強度を主に受け持つ層 (B Jがある場合は、その内側層) が成熟材部単板の場合を第10図、未成熟材部単板の場合を第11図に示した。それぞれについて破壊形態別に4種類の曲線で示した。このうち一点破線、二点破線で示した係数1.00のものは最外層に直交層があり、これに隣接する平行層にB Jがないものを表している。また、係数0.75のものは平行層の最外層にB Jを持つものを表している。すなわち板の構成別の断面の欠損の考え方を分難したものである。白ぬきの記号は破壊形態A、黒ぬきの記号は破壊形態Bのものである。実測の平均値はそれぞれ4本の曲線上にあると判断してよい。したがって、最外層に直交層を持つ板でB Jの無いものは断面係数の低減だけ考えればよく、B Jを持つ板に対しては、断面係数の低減にジョイントによる低減係数0.75を乗じること、曲げ破壊係数の予測が可能である。

曲げ破壊係数が250kgf/cm²以上になるためには、成熟材部単板の場合、A破壊で欠損比0.35以下、B破壊で0.26以下、すなわち板厚の1/4程度まで、未成熟材部単板の場合、A破壊で0.26以下、B破壊で0.20以下、板厚の1/3程度までの範囲であった。破壊形態AとBの関係について、短冊試験体では、年輪が存在しない (夏材部がなく春材部のみ) 試験体でB破壊になったが、実大の板を考えた場合、年輪が適当に分散され、その強度値はAとBの中間程度になると思われる。

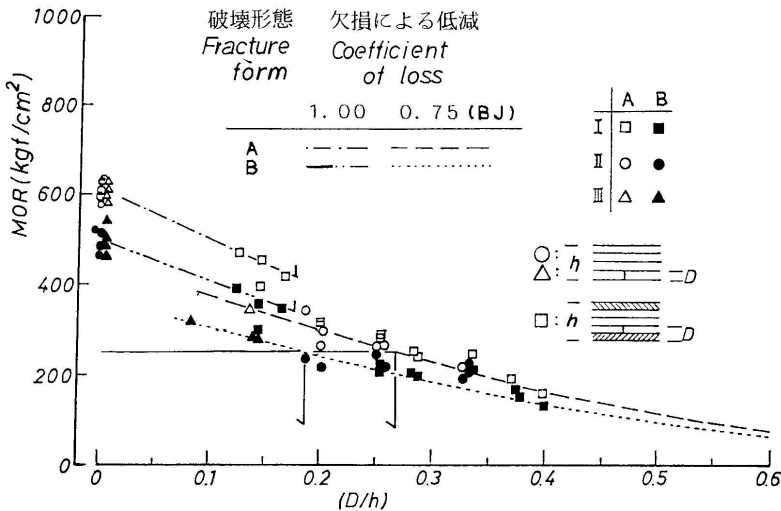
3.3 最適単板構成の検討

3.1, 3.2の結果より板の構成を検討した。3.1の結果から、平行層のみの板 () は狂いが大きく使用



第10図 成熟材部単板における曲げ破壊係数と断面欠損比 (D/h) の関係

Fig. 10 Relationship between MOR and ratio of suffer loss. (D/H) for veneer of mature wood.



第11図 未成熟材部単板における曲げ破壊係数と断面欠損比 (D/h) の関係

Fig. 11 Relationship between MOR and ratio of suffer loss. (D/H) for veneer of mature wood.

できないと考えられる。3.2の曲げ強度の関係では、BJによるヤング係数の低減は大きくはなかったが、破壊係数の低減は大きかった。したがって、曲げ性能から板の構成を考える場合、基本的には曲げ破壊係数

下地材としての性能が構造用パーティクルボードを上回る目標値 (曲げ破壊係数で250kgf/cm², ヤング係数で50tonf/cm²) を設定し、3種の積層板 () 表層に直交層を配したもの, () 平行層のみのもの,

のみに注目すればよいと判断された。

曲げ破壊係数250kgf/cm²を満足するためには、未成熟材部単板が強度を維持する層に入ったと想定するとBJ, 表層の直交層を含んだ欠損比を0.23程度 (破壊形態AとBの平均) にする必要がある。この条件を満たすには、表層に直交層が存在する場合、表層と平行層の第一層目を薄くした、非等厚7プライ構成にする必要がある。中層側に直交層を入れた場合、等厚5プライでも欠損比が0.2であり、上記の条件を満足する。

板の製造工程をできるだけ単純化することを考えれば、等厚単板のみを切削することが最も合理的である。したがって、BJを階段状にずらした二層の平行層の内側に直交層を配した等厚5プライ構成の板が基本になると判断される。

4. まとめ

間伐材を含めた中・小径針葉樹材から得られる短尺単板を用いて、既存の合板工場で製造可能な板状材料の開発を目的とした。

() 中層側に直交層を配したものを製造し、目標値を超えるような板の構成条件を検討した。短尺単板を用いることによって、ジョイント部が存在するために、それによる曲げ強度低下の影響を検討した。得られた結果を以下に示した。

1) 板の狂いの測定結果から の条件の板は、
に比べて狂いは5~10倍と大きく、いずれかの層に直交層を入れなければ使用できないと判断された。

2) 曲げ強度について、3号試験体の値と短冊試験体の平均値には十分な相関関係が認められた。成熟材部単板による板と未成熟材部単板による板の強度値に差があり、曲げ破壊係数では後者は前者の70%弱、ヤング係数では80%程度であった。短冊試験体では、純粋引張破壊と脆性破壊の2種があり、ヤング係数は同程度であったが、破壊係数は後者が前者の75%程度であった。

3) 無ジョイント板の場合、破壊係数はすべての板で目標値を超えたが、ヤング係数は の板の約半数が目標値に達しなかった。

4) バットジョイントによるヤング係数の低下は小さく、また、等価切り欠き法で計算した値とよく一致した。等価切り欠き法は、バットジョイントによるヤング係数の低下を推定するのに有効な方法であった。

5) 断面欠損(の板の場合、引張側の直交層も含む)による曲げ破壊係数の低下は大きく、未成熟材部単板の場合、欠損比0.20以下、成熟材部単板の場合、欠損比0.26以下でなければ、曲げ破壊係数250kgf/cm²に達しなかった。実測と断面係数法で計算した値はよく一致し、断面係数法は、断面欠損による曲げ破壊係数の低下を推定するのに有効な方法と認められた。

6) バットジョイントを階段状にずらした二層の平行層の内側に直交層を配した等厚5プライ構成の板が基本系になると判断された。

文 献

- 1) 大熊幹章：木工機械，No.109，12（1981）
- 2) 田口 崇，高橋利男：林産試月報，406，8（1985）
- 3) 森泉 周，真田康弘，前田典昭，小倉高規：同上，384，1（1984）
- 4) Bohlen, J. C. : Forest Prod. J. 22 (1), 10 (1972)
- 5) 平井卓郎，沢田 稔：北大演習林報告，36 (2) 387 (1979)
- 6) 杉山英男，中田和夫：日本建築学会論文報告集，200，15 (1972)
- 7) Knott, J.F. : "Fundamentals of Fracture Mechanics" Butterworth & (1973) (宮本博訳：破壊力学の基礎，培風館，1977による)
- 8) 岡村弘之：“線形破壊力学入門”培風館，(1976)
- 9) 杉山英男：日本建築学会論文報告集，201，1 (1972)
- 10) 平井卓郎，沢田 稔：北大演習林報告，37，(3) 759 (1980)
- 11) 李 銓濟：“合板 (LVB) の曲げ性能に及ぼす単板の縦つぎ部の影響”，東大修士論文 (1982)

- 試験部 合板試験科 -
(原稿受理 昭61.8.13)