

合板の強さについて (I)

高 見 勇⁽¹⁾

1. ま え が き

構造物の強度部材として合板を使う場合に、果たしてこの合板にどれくらいの強さを分担させたらいだろうか、あるいは、与えられた外力に対してどんな厚さの、どんな単板構成のものがもっとも有効なのであろうか、ということがまず考えられる。にもかかわらず、従来の木造建築で使っている板ものに代わって、この合板を使ってもその内容はほとんど変わっていない状態で設計されている。なぜそうであるかといえば、合板利用への、その決め手になるものがないために、その場その場の解釈で適当に使われていかなければならないからである。

合板はなんといっても木質系板材料中では、もっとも価値が高く、また木材の改良法としても合理的なものであるといえよう。しかし、このような合板の規格には、まだ構造材料として使用する場合の強度的な表示法がなく、その利用きわめて非合理的な取扱いをうけていることはまことにいかにいわざるを得ない。

合理的な規格品として取り扱われるにはいろいろの対策があると思われるが、その中の必要条件の一つとして、まず合板の許容応力度の決定をあげねばならない。つまり強さを決める計算のすじみちを確立することである。

米国ではこういう点を早くから解決しており、わが国でも非常に参考になるところが多い。多くの委員会において基礎試験から、合板の設計基準と製造基準をきびしく決め、これにもとづいて作られている。したがって、合板を使う側は安心して信頼できるし、また作る側も責任をもって作るから、そこにはじめて製品にたいする正当な評価が生じ、期待される材料として発展したものと思われる。

わが国でも最近合板の強さに対する関心はしだいに高くなり、合板の強度試験について多くのデータがようやく蓄積されてきた。したがって、できるだけ早くこうしたデータを利用して、わが国における合板の許容応力度をきめ、早急に実施することが望まれている。

今回おこなったこの合板の強さに関する試験は、木材部内の“外装用合板に関する研究班（主査 中村章材質改良科長）”でとりあげた試験研究中の一部であって、著者がその一部を分担して実施したものである。

合板の許容応力度を決める場合に必要なことの一つとして、素材としての単板の樹種、弾性常数および強度（あるいは基本応力度）が合板の弾性常数および強度（あるいは許容応力度）にどんな関係で結びついているかを知り、最終的には合板構成の素材としての単板の単位応力（許容応力度）をきめることである、とする見方が考えられる。

この研究をおこなうにあたり、終始ご指導とご便宜をいただいた坂口勝美林業試験場長、上村 武木材部長および加納 孟材料科長に深く謝意を表するとともに、研究の実施にあたってご懇切なご指導とご援

(1) 木材部材料科強度研究室・主任研究官

助をいただいた北大農学部沢田 稔教授，外装用合板に関する研究班の方々，山井良三郎強度研究室長および強度研究室員の方々に心から感謝します。なお実験には終始援助願った二平合板K.K.の土師絃一郎君に心からお礼を申し上げます。

2. 合板の強さ

一般に材料の強さを判断するには，そのみかたはいろいろあるけれども，主要なものはつぎの3つによって見定めることができる。ただ合板は直交異方性材料を直交に組み合わせているので，多少複雑なものになっている。

1. 弾性（剛性）
2. 強度（最大強さ，許容応力度）
3. 座屈

このうち3番目の座屈の応力とか強度は，合板そのものだけで決定される場合よりも，合板を含めて構成される枠組材とか接木材等の構造材の配分の仕方によって決まってくる場合が多い。したがってこの場合は，むしろ後者の方が重要であるために今回は取り扱わず，1および2についてのみ考えてみることにした。

まず合板の断面内で，単純応力状態である引張，圧縮およびパネル剪断の弾性，強度および変形状態を考察し，さらに，これらの組合せ応力状態として働く曲げおよびプレート剪断の弾性および強度を考察する。

さらに合板のポアソン比についても考えてみる。

木材では繊維方向のヤング係数や強さは，横方向（接線方向）のそれらの約20倍くらい大きい。だから合板の断面で，この横方向のヤング係数や強さを無視し，0とみて形のみ有すると仮定して合板の強さを近似的に計算する方法がとられている。この方法はかなり有効で，簡単であるために今後この方法によって計算されるようになるかもしれない。そこで，今回はこの計算法によるものを近似計算法としてもちい，またそうでない計算法，つまり横方向のヤング係数や強さを考慮に入れた計算法を精密計算法としてもちいた。そして両者の計算法を区別するために，すべての記号に対し，近似計算法でもとめるものには'をつけて区別することにした。

また素材（単板を含む）と合板に対する記号をつぎのように分けてもちいた。

素材の場合には，荷重方向（主応力方向とか軸応力方向にもなる）に対して，

L ：繊維方向

T ： // と直交する接線方向

$LT-45^\circ$ ： L T 面で L 方向に 45° の方向

と記号し，合板の場合は荷重方向に対し，すべて合板の表板単板の繊維方向を基準にしてみるから，

0° ：繊維方向と平行

90° ： // 直交

45° ： // 45° 方向

の記号をもちいる。

なおつぎにのべる §2.1 と §2.2 の中でもちいる各種計算式の記号についても，ここでまとめて示す。

記号

§ 2.1 のもの

i, j : 合板断面内の任意の直交組単板で、表板単板の繊維方向と同じ方向をもつ単板を i 単板とし、直角方向のものを j 単板とする。

n : 単板の層数、つまり n プライの意。

I, J : 合板断面で i 方向の単板をすべて集めたものを I 、同じく j 方向についてすべて集めたものを J とする。

$$\sum_{i=1,3,5\dots}^n i = I, \quad \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} i = J$$

i_L, i_T : i 単板の繊維方向と接線方向 j_L, j_T : j 単板の繊維方向と接線方向

I_L, I_T : I 単板の繊維方向と接線方向 J_L, J_T : J 単板の繊維方向と接線方向

t_i, t_j : i 単板および j 単板の厚さ (cm) t_I, t_J : I 単板および J 単板の厚さ (cm)

t : 合板の厚さ (cm)

E_{iL}, E_{iT} : i 単板の繊維方向および接線方向のヤング係数 (kg/cm²)

E_{iL}, E_{iT} : I 単板の繊維方向および接線方向のヤング係数 (kg/cm²)

E_{jL}, E_{jT} : j 単板の繊維方向および接線方向のヤング係数 (kg/cm²)

E_{jL}, E_{jT} : J 単板の繊維方向および接線方向のヤング係数 (kg/cm²)

E_L, E_T : 素材の繊維方向および接線方向のヤング係数 (kg/cm²)

$E_{0^\circ}, E_{90^\circ}$: 表板単板の繊維方向に平行および直交方向の合板のヤング係数 (kg/cm²)

σ_{iL}, σ_{iT} : i 単板の繊維方向および接線方向の応力 (kg/cm²)

σ_{jL}, σ_{jT} : j 単板の繊維方向および接線方向の応力 (kg/cm²)

σ_{iL}, σ_{iT} : I 単板の繊維方向および接線方向の応力 (kg/cm²)

σ_{jL}, σ_{jT} : J 単板の繊維方向および接線方向の応力 (kg/cm²)

$\sigma_{0^\circ}, \sigma_{90^\circ}$: 表板単板の繊維方向に平行および直交方向の合板の軸応力 (kg/cm²)

§ 2.2 のもの (§ 2.1 と重複するものは避ける)

h_i, h_j : 中立軸より、 i および j 単板の最外縁までの距離 (高さ) (cm)

h_1, h_2 : 中立軸より表板単板および第 2 層目単板の最外縁までの距離 (高さ) (cm)

h : 合板の厚さ (高さ) (cm)

I_i, I_j : 中立軸に関する i 単板および j 単板の断面二次モーメント (cm⁴)

I_I, I_J : 中立軸に関する I 単板および J 単板の断面二次モーメント (cm⁴)

I : 中立軸に関する合板の全断面二次モーメント (cm⁴)

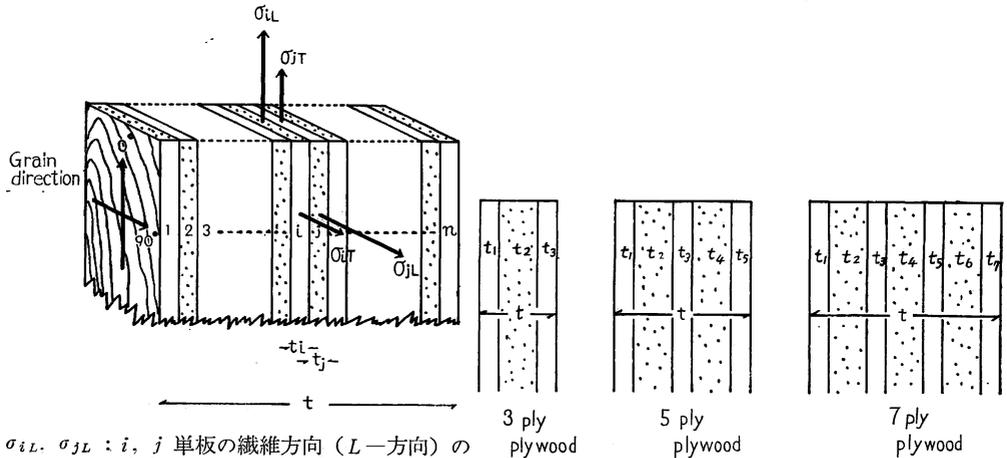
$E_{b0^\circ}, E_{b90^\circ}$: 表板単板の繊維方向に対して平行および直交方向にスパン長さを有する合板の曲げヤング係数 (kg/cm²)

$(EI)_{0^\circ}, (EI)_{90^\circ}$: 表板単板の繊維方向に対して平行および直交方向にスパン長さを有する合板の曲げ剛性係数 (kg·cm²)

$\sigma_{biL}, \sigma_{biT}$: i 単板 (素材) の繊維方向および接線方向の曲げ応力 (kg/cm²)

σ_{bL}, σ_{bT} : 素材の繊維方向および接線方向の曲げ応力

$\sigma_{b0^\circ}, \sigma_{b90^\circ}$: 表板単板の繊維方向に平行および直交方向にスパン長さを有する合板の曲げ応力 (kg/cm²)



σ_{iL}, σ_{jL} : i, j 単板の繊維方向 (L -方向) の応力
 σ_{iT}, σ_{jT} : i, j 単板の接線方向 (T -方向) の応力
 t_i, t_j : i, j 単板の厚み
 t : 合板の厚み
 σ_{jL}, σ_{iL} : Stress of longitudinal direction (L) in the i, j veneer.
 σ_{iT}, σ_{jT} : Stress of tangential direction (T) in the i, j veneer.
 t_i, t_j : Thickness of the i, j veneer.
 t : Thickness of n -ply plywood.

$t_1 \dots t_7$: 1 …… 7 層目の単板厚み
 t : 合板の厚み
 $t_1 \dots t_7$: Thickness of veneer on the 1st …… 7th ply, severally.
 t : Thickness of plywood.

Fig. 2 3, 5, 7 プライ合板の単板構成
 Construction of veneers on the 3, 5 and 7 ply plywood.

Fig. 1 n プライ合板内の i, j 単板に生ずる単純応力分布図
 Distribution of stress in the i and j veneers of n -ply plywood.

2.1. 合板の圧縮と引張

圧縮も引張もどちらも単純応力状態の内容で取り扱われるものであるから、同じ条件で考察する。方向だけが異なるから、圧縮応力には-、引張応力には+の符号をつけて区別すればよいが、この項ではどちらにも符号をつけずに同一取り扱いをする。

Fig. 1 に n プライ、直交単板で構成する合板の応力状態を示したが、いま表板単板の弾性軸と座標直交軸とを一致させて解析するとつぎのような計算がおこなえる。

2.1.1. 精密計算法

$$\sum_{i=1,3,5\dots}^{i=n} \sigma_{iL} t_i + \sum_{j=2,4,6\dots}^{j=n-1} \sigma_{jT} t_j = \sigma_0 t \quad \dots\dots\dots(2.1.1.1)$$

$$\sum_{i=1,3,5\dots}^{i=n} \sigma_{iT} t_i + \sum_{j=2,4,6\dots}^{j=n-1} \sigma_{jL} t_j = \sigma_{90} t$$

$$\sum_{i=1,3,5\dots}^{i=n} E_{iL} t_i + \sum_{j=2,4,6\dots}^{j=n-1} E_{jT} t_j = E_0 t \quad \dots\dots\dots(2.1.1.2)$$

$$\sum_{i=1,3,5\dots}^{i=n} E_{iT} t_i + \sum_{j=2,4,6\dots}^{j=n-1} E_{jL} t_j = E_{90} t$$

そこで同樹種による単板で構成された合板であると、 $[I = \sum t_i, J = \sum t_j]$ の 2 プライ合板に等価表示できるからつぎのように書き換えられる。

$$\begin{aligned} \sigma_{IL}t_I + \sigma_{JR}t_J &= \sigma_{0^\circ}t & \dots\dots\dots(2.1.1.1)' \\ \sigma_{IR}t_I + \sigma_{JL}t_J &= \sigma_{90^\circ}t \\ E_{IL}t_I + E_{JL}t_J &= E_{0^\circ}t \\ E_{IR}t_I + E_{JL}t_J &= E_{90^\circ}t \end{aligned}$$

あるいは,

$$\begin{aligned} E_Lt_I + E_Rt_J &= E_{0^\circ}t & \dots\dots\dots(2.1.1.2)' \\ E_Rt_I + E_Lt_J &= E_{90^\circ}t \end{aligned}$$

となる。

2.1.2. 近似計算法

$$\begin{aligned} \sum_{i=1,3,5\dots}^{i=n} \sigma_{iL}t_i &= \sigma'_{0^\circ}t & \dots\dots\dots(2.1.2.1) \\ \sum_{j=2,4,6\dots}^{j=n-1} \sigma_{jL}t_j &= \sigma'_{90^\circ}t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1,3,5\dots}^{i=n} E_{iL}t_i &= E'_{0^\circ}t & \dots\dots\dots(2.1.2.2) \\ \sum_{j=2,4,6\dots}^{j=n-1} E_{jL}t_j &= E'_{90^\circ}t \end{aligned}$$

同樹種単板で構成された合板であると,

$$\begin{aligned} \sigma_{iL}t_i &= \sigma'_{0^\circ}t & \dots\dots\dots(2.1.2.1)' \\ \sigma_{jL}t_j &= \sigma'_{90^\circ}t \\ E_{iL}t_i &= E'_{0^\circ}t \\ E_{jL}t_j &= E'_{90^\circ}t \end{aligned}$$

あるいは,

$$\begin{aligned} E_Lt_I &= E'_{0^\circ}t & \dots\dots\dots(2.1.2.2)' \\ E_Lt_J &= E'_{90^\circ}t \end{aligned}$$

となる。

以上の各式から単板 (素材) と合板のヤング係数ならびに強度の間にはつぎのような相互関係を導くことができる。

$$\begin{aligned} E_{0^\circ} + E_{90^\circ} &= E_{iL} + E_{iR} = E'_{0^\circ} + E'_{90^\circ} & \dots\dots\dots(2.1.2.3) \\ \sigma_{0^\circ} + \sigma_{90^\circ} &= \sigma_{iL} + \sigma_{iR} = \sigma'_{0^\circ} + \sigma'_{90^\circ} \end{aligned}$$

2.1.3. 計算例 (Fig. 2 による)

i. 3 プライ合板の場合

i.i. 精密計算法

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{0^\circ} &= \sigma_{iL} \frac{(t_1+t_3)}{t} + \sigma_{iR} \frac{t_2}{t} \\ \sigma_{90^\circ} &= \sigma_{iR} \frac{(t_1+t_3)}{t} + \sigma_{iL} \frac{t_2}{t} \\ E_{0^\circ} &= E_{iL} \frac{(t_1+t_3)}{t} + E_{iR} \frac{t_2}{t} \\ E_{90^\circ} &= E_{iR} \frac{(t_1+t_3)}{t} + E_{iL} \frac{t_2}{t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.1.3.i.i)$$

i.ii. 近似計算法

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_{0^\circ} &= \sigma_{IL} \frac{(t_1+t_3)}{t} \\ \sigma'_{90^\circ} &= \sigma_{IL} \frac{t_2}{t} \\ E'_{0^\circ} &= E_{IL} \frac{(t_1+t_3)}{t} \\ E'_{90^\circ} &= E_{IL} \frac{t_2}{t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.1.3.i.ii)$$

ii. 5 プライ合板の場合

ii.i. 精密計算法

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{0^\circ} &= \sigma_{IL} \frac{(t_1+t_3+t_5)}{t} + \sigma_{IT} \frac{(t_2+t_4)}{t} \\ \sigma_{90^\circ} &= \sigma_{IT} \frac{(t_1+t_3+t_5)}{t} + \sigma_{IL} \frac{(t_2+t_4)}{t} \\ E_{0^\circ} &= E_{IL} \frac{(t_1+t_3+t_5)}{t} + E_{IT} \frac{(t_2+t_4)}{t} \\ E_{90^\circ} &= E_{IT} \frac{(t_1+t_3+t_5)}{t} + E_{IL} \frac{(t_2+t_4)}{t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.1.3.ii.i)$$

ii.ii. 近似計算法

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_{0^\circ} &= \sigma_{IL} \frac{(t_1+t_3+t_5)}{t} \\ \sigma'_{90^\circ} &= \sigma_{IL} \frac{(t_2+t_4)}{t} \\ E'_{0^\circ} &= E_{IL} \frac{(t_1+t_3+t_5)}{t} \\ E'_{90^\circ} &= E_{IL} \frac{(t_2+t_4)}{t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.1.3.ii.ii)$$

iii. 7 プライ合板の場合

iii.i. 精密計算法

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{0^\circ} &= \sigma_{IL} \frac{(t_1+t_3+t_5+t_7)}{t} + \sigma_{IT} \frac{(t_2+t_4+t_6)}{t} \\ \sigma_{90^\circ} &= \sigma_{IT} \frac{(t_1+t_3+t_5+t_7)}{t} + \sigma_{IL} \frac{(t_2+t_4+t_6)}{t} \\ E_{0^\circ} &= E_{IL} \frac{(t_1+t_3+t_5+t_7)}{t} + E_{IT} \frac{(t_2+t_4+t_6)}{t} \\ E_{90^\circ} &= E_{IT} \frac{(t_1+t_3+t_5+t_7)}{t} + E_{IL} \frac{(t_2+t_4+t_6)}{t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.1.3.iii.i)$$

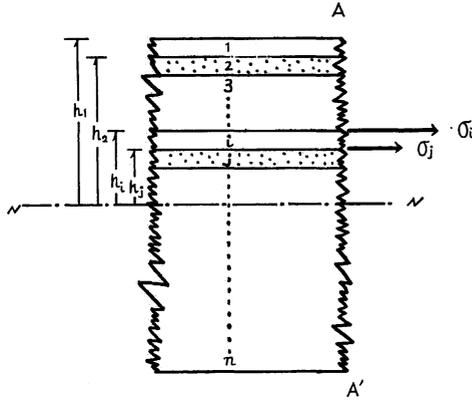
iii.ii. 近似計算法

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_{0^\circ} &= \sigma_{IL} \frac{(t_1+t_3+t_5+t_7)}{t} \\ \sigma'_{90^\circ} &= \sigma_{IL} \frac{(t_2+t_4+t_6)}{t} \\ E'_{0^\circ} &= E_{IL} \frac{(t_1+t_3+t_5+t_7)}{t} \\ E'_{90^\circ} &= E_{IL} \frac{(t_2+t_4+t_6)}{t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.1.3.iii.ii)$$

以上計算例を示したが、これをグラフによって簡単に求める資料⁸⁾がある。

2.2. 合板の曲げ

一般に曲げにおける内部応力は、曲げモーメントを受ける任意断面内で、中立軸を境にして上部は圧縮



σ_i : i 単板内に生ずる曲げ応力
 (i 単板の繊維方向 \parallel スパン方向)
 σ_j : j 単板内に生ずる曲げ応力
 (j 単板の繊維方向 \parallel スパン方向)
 h_r : 中立軸から r 層単板の最外縁までの距離

Fig. 3 n プライ合板の AA' 断面で i, j 単板に生ずる曲げ応力

Bending stress of longitudinal direction of veneer on the i th or j th ply of n -ply plywood.

応力, そして下部は引張応力の一次比例分布をし, 剪断応力は二次比例分布をしている。合板においても接着層が不連続になっているとして解いているが, 上述の理論も十分成立するし, 破壊係数の定義にも支障はない。ただ剪断応力も含めての解析となると, 合板特有のローリング剪断がはいつてきて多少難解になるようにも思われるので, 今回はこれを除いて考察した。

Fig. 3 に示した合板の断面内で, ある 1 組の直交単板 i, j の単板に生ずる応力をもとめ, さらに同樹種単板で構成する合板での, I, J の等価的単板の考え方に展開し, 表板単板の繊維方向が曲げのスパン長さ方向に平行および垂直な場合の曲げヤング係数ならびに強度をもとめて, 単板 (素材) と合板の相互関連性について考えてみる。

2.2.1. 精密計算法

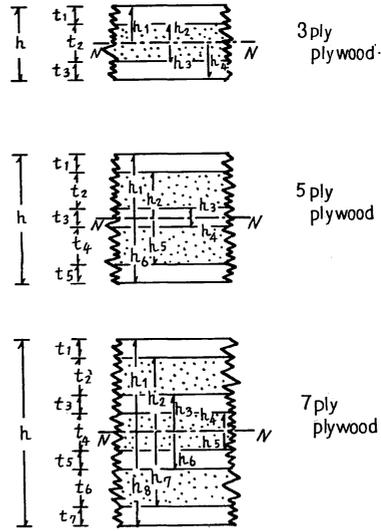
i 単板の繊維方向に平行 (0°) な場合には $E_i = E_L, E_j = E_R$ となるから,

$$\sigma_i = \frac{M}{\sum_{i=1,3,5,\dots}^n E_i L I_i + \sum_{j=2,4,6,\dots}^{n-1} E_j T I_j} E_i h_i \dots \dots \dots (2.2.1.1)$$

ここで M は外力モーメントで, つぎの式も成立する。

$$\sum_{i=1,3,5,\dots}^n E_i L I_i + \sum_{j=2,4,6,\dots}^{n-1} E_j T I_j = E_{b0} I \dots \dots \dots (2.2.1.1)'$$

i 単板の繊維方向に直角 (90°) な場合には, j 単板の繊維方向が 0° となるから, $E_j = E_L, E_i = E_R$ と



t_1, t_2, \dots, t_7 : 1...7 層目の単板厚み
 h_r : 中立軸よりその単板の最外縁までの距離
 h : 合板の厚み
 t_1, t_2, \dots, t_7 : Thickness of veneer on the 1st, 2nd, ..., 7th ply, severally.
 h_r : Distance from the NN line to the extreme fiber of the veneer.
 h : Thickness of plywood.

Fig. 4 3, 5, 7 プライ合板の単板構成
 Construction of veneers on the 3, 5 and 7 ply plywood.

なる。したがって、

$$\sigma_j = \frac{M}{\sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} E_{j=L} I_j + \sum_{i=1,3,5\dots}^n E_{i=T} I_i} E_j h_j \dots\dots\dots(2.2.1.2)$$

となって、さらにつぎの式も成立する。

$$\sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} E_{j=L} I_j + \sum_{i=1,3,5\dots}^n E_{i=T} I_i = E_{b90^\circ} I \dots\dots\dots(2.2.1.2)'$$

ここで注意したいのは、この E_{b0° 、 E_{b90° は先項の E_{0° 、 E_{90° とは全く異なったものであるということである。

いま曲げ強度として σ_{biL} 、 σ_{bit} をもつ単板で合板を構成した場合、そして対称的に単板が構成されていると、この曲げ強度は合板になっても変わりはないのであるから、最外層の単板が、合板の曲げ過程中この強さに達したとき、この合板の破壊が生ずることになる。そこで曲げの破壊係数の定義をもちいてつぎの式を導く。

$$\left. \begin{aligned} 0^\circ \text{ の場合: } & \sigma_{biL} = \frac{M}{E_{b0^\circ} I} E_{iL} h_1 \\ 90^\circ \text{ の場合: } & \sigma_{bjL} = \frac{M}{E_{b90^\circ} I} E_{jL} h_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.1.3)$$

そして合板が同樹種単板で構成されると、

$$\left. \begin{aligned} E_{b0^\circ} I &= E_{iL} \sum_{i=1,3,5\dots}^n I_i + E_{iT} \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} I_j \\ E_{b90^\circ} I &= E_{iT} \sum_{i=1,3,5\dots}^n I_i + E_{iL} \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} I_j \\ I &= \sum_{i=1,3,5\dots}^n I_i + \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} I_j = I_I + I_J \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.1.3)'$$

に書き換えられるから、(2.2.1.3) 式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} 0^\circ \text{ の場合: } & \sigma_{bL} = \frac{M}{(EI)_{0^\circ}} E_{iL} h_1 \\ 90^\circ \text{ の場合: } & \sigma_{bL} = \frac{M}{(EI)_{90^\circ}} E_{iL} h_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.1.3)''$$

式中

$$\begin{aligned} (EI)_{0^\circ} &= E_{iL} I_I + E_{iT} I_J \\ (EI)_{90^\circ} &= E_{iT} I_I + E_{iL} I_J \end{aligned}$$

ここで 90° の場合にも σ_{bL} をもちいたのは、 h_2 のところの単板がこの合板の破壊の主導権をもっているからである。この場合 h_1 のところの表板単板の応力はかなり小さくおよそ $1/20$ くらいである。また歪は h_2 のところの単板より h_1/h_2 倍大きいのが、この程度では別に問題はなく、 h_2 のところの歪が何といても支配的である。このような判断から同記号を使ったのである。

いま合板の破壊強度をつかって、(2.2.1.3) 式とともに等しくおくと、

$$\left. \begin{aligned} 0^\circ : & M = \frac{\sigma_{bL}(EI)_{0^\circ}}{E_{iL} \cdot h_1} = \frac{\sigma_{b0^\circ} I}{h_1} \\ 90^\circ : & M = \frac{\sigma_{bL}(EI)_{90^\circ}}{E_{iL} \cdot h_2} = \frac{\sigma_{b90^\circ} I}{h_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.1.4)$$

となるから、さらにつぎの式が導かれる。

Table 1. 木材の引張による E_T/E_L と σ_T/σ_L の値
The value E_T/E_L and σ_T/σ_L on tension test of woods

Species	E (YOUNG's modulus) $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$			σ_t kg/cm^2		
	L	T	T/L	L	T	T/L
Sugi	64	2.8	0.043	565	26	0.046
Yezomatsu	110	3.8	0.034	1105	36	0.033
Akamatsu	139	6.7	0.049	1340	38	0.028
			0.042			0.036
Buna	107	6.2	0.058	1103	88	0.086
Mizunara	120	9.6	0.080	1371	105	0.077
Keyaki	92	10.8	0.118	1212	126	0.104
Ichiigashi	162	8.8	0.054	1670	79	0.047
			0.078			0.077
Apitong	200	5.6	0.028	1667	52	0.031
Kruin	191	5.2	0.027	1516	62	0.041
Lauan	121	4.4	0.036	1116	47	0.042
Lauan Q plywood*	130	3.1	0.024	746	25	0.034
			0.029			0.037
Mean			0.050			0.050

L : Longitudinal direction, T : Tangential direction

* See to Fig. 14.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{b0^\circ} &= \sigma_{bL} \left(\frac{I_I}{I} + \frac{I_J}{I} \frac{E_{IT}}{E_{IL}} \right) \\ \sigma_{b90^\circ} &= \frac{h_1}{h_2} \sigma_{bL} \left(\frac{E_{IT}}{E_{IL}} \cdot \frac{I_I}{I} + \frac{I_J}{I} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.1.5)$$

この式から E_{IT}/E_{IL} を消すために、つぎのことを考えてみる。

Table 1⁵⁾ に木材の引張におけるヤング係数の比 E_{IT}/E_{IL} と破壊強度の比 σ_{IT}/σ_{IL} の各樹種による値を示したが、この表によると明らかに、

$$\frac{E_{IT}}{E_{IL}} \div \frac{\sigma_{IT}}{\sigma_{IL}}$$

なることを示している。

さらに建築その他における木構造の設計基準では一般に曲げ強さと引張強さを同じ値で取り扱っている。実際には、木材では塑性域引張破損による場合には $r \approx 3.0$ にみられるから、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{3r-1}{r+1} \cdot \sigma_c = 2\sigma_c \\ \sigma_b &= \frac{2}{3}\sigma_t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.1.6)$$

により引張の約 70% 弱が曲げとなるが、許容応力度を論ずる場合にはほとんど等価の評価をしてもよいと考えられる。また応力とヤング係数の関係は、90°合板では $\frac{E_T}{E_L} = \frac{\sigma_T}{\sigma_L} \times \frac{h_2}{h_1}$ となるから、したがって (2.2.1.5) 式はつぎのように書き換えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{b0^\circ} &= \sigma_{bL} \frac{I_I}{I} + \sigma_{bT} \frac{I_J}{I} \\ \sigma_{b90^\circ} &= \sigma_{bL} \frac{h_1}{h_2} \frac{I_J}{I} + \sigma_{bT} \frac{I_I}{I} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.1.7)$$

2.2.2. 近似計算法

この計算法は前項で $E_{IT}=0, \sigma_T=0$ としたものであるから,

$$\left. \begin{aligned} 0^\circ \text{の場合:} \quad \sigma'_i &= \frac{M}{\sum_{i=1,3,5\dots}^n E_{i=L} I_i} E_i h_i \\ & \sum_{i=1,3,5\dots}^n E_{i=L} I_i = E'_{b0^\circ} I \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} 90^\circ \text{の場合:} \quad \sigma'_j &= \frac{M}{\sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} E_{j=L} I_j} E_j h_j \\ & \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} E_{j=L} I_j = E'_{b90^\circ} I \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.2.2)$$

$$\left. \begin{aligned} 0^\circ \text{の場合:} \quad \sigma_{b i L} &= \frac{M}{E'_{b0^\circ} I} E_{i L} h_1 \\ 90^\circ \text{の場合:} \quad \sigma_{b j L} &= \frac{M}{E'_{b90^\circ} I} E_{j L} h_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.2.3)$$

同樹種単板で構成された合板であると,

$$\left. \begin{aligned} E'_{b0^\circ} I &= E_{IL} \sum_{i=1,3,5\dots}^n I_i \\ E'_{b90^\circ} I &= E_{IL} \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} I_j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.2.3)'$$

となるから (2.2.2.3) 式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} 0^\circ: \quad \sigma_{bL} &= \frac{M}{(EI)'_{0^\circ}} E_{IL} h_1 \\ 90^\circ: \quad \sigma_{bL} &= \frac{M}{(EI)'_{90^\circ}} E_{IL} h_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.2.3)''$$

$$\left. \begin{aligned} (EI)'_{0^\circ} &= E_{IL} I_I \\ (EI)'_{90^\circ} &= E_{IL} I_J \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.2.3)'''$$

σ_{b0° および σ_{b90° に対応するものを $\sigma'_{b0^\circ}, \sigma'_{b90^\circ}$ とすると,

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{\sigma_{bL}(EI)'_{0^\circ}}{E_{IL} h_1} = \frac{\sigma'_{b0^\circ} I}{h_1} \\ M &= \frac{\sigma_{bL}(EI)'_{90^\circ}}{E_{IL} h_2} = \frac{\sigma'_{b90^\circ} I}{h_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.2.4)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} \sigma'_{b0^\circ} &= \sigma_{bL} \frac{I_I}{I} \\ \sigma'_{b90^\circ} &= \sigma_{bL} \frac{h_1}{h_2} \frac{I_J}{I} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.2.5)$$

また以上の各式から単板のヤング係数と合板のそれとの間には次の関係が導かれる。

$$E_{b0^\circ} + E_{b90^\circ} = E_{IL} + E_{IT} \doteq E'_{b0^\circ} + E'_{b90^\circ} \dots\dots\dots(2.2.2.6)$$

2.2.3. 計 算 例 (Fig. 4 による)

i. 3 プライ合板の場合

i.i. 精密計算法

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_{b0^\circ} &= \sigma_{bL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_4 - h^3_3}{4} + \sigma_{bT} \frac{h^3_2 + h^3_3}{4} \\
 \sigma_{b90^\circ} &= \frac{h_1}{h_2} \sigma_{bL} \frac{h^3_2 + h^3_3}{4} + \sigma_{bT} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_4 - h^3_3}{4} \\
 E_{b0^\circ} &= E_{IL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_4 - h^3_3}{4} + E_{IT} \frac{h^3_2 + h^3_3}{4} \\
 E_{b90^\circ} &= E_{IL} \frac{h^3_2 + h^3_3}{4} + E_{IT} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_4 - h^3_3}{4}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.2.3.i.i)$$

i.ii. 近似計算法

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma'_{b0^\circ} &= \sigma_{bL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_4 - h^3_3}{4} \\
 \sigma'_{b90^\circ} &= \frac{h_1}{h_2} \sigma_{bL} \frac{h^3_2 + h^3_3}{4} \\
 E'_{b0^\circ} &= E_{IL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_4 - h^3_3}{4} \\
 E'_{b90^\circ} &= E_{IL} \frac{h^3_2 + h^3_3}{4}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.3.i.ii)$$

ii. 5 プライ合板の場合

ii.i. 精密計算法

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_{b0^\circ} &= \sigma_{bL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 + h^3_4 + h^3_6 - h^3_5}{4} + \sigma_{bT} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_5 - h^3_4}{4} \\
 \sigma_{b90^\circ} &= \frac{h_1}{h_2} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_5 - h^3_4}{4} + \sigma_{bT} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 + h^3_4 + h^3_6 - h^3_5}{4} \\
 E_{b0^\circ} &= E_{IL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 + h^3_4 + h^3_6 - h^3_5}{4} + E_{IT} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_5 - h^3_4}{4} \\
 E_{b90^\circ} &= E_{IL} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_5 - h^3_4}{4} + E_{IT} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 + h^3_4 + h^3_6 - h^3_5}{4}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.2.3.ii.i)$$

ii.ii. 近似計算法

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma'_{b0^\circ} &= \sigma_{bL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 + h^3_4 + h^3_6 - h^3_5}{4} \\
 \sigma'_{b90^\circ} &= \frac{h_1}{h_2} \sigma_{bL} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_5 - h^3_4}{4}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2.3.ii.ii)$$

$$\left. \begin{aligned} E'_{b00} &= E_{IL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 + h^3_4 + h^3_6 - h^3_5}{\frac{h^3}{4}} \\ E'_{b90} &= E_{IL} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_5 - h^3_4}{\frac{h^3}{4}} \end{aligned} \right\}$$

iii. 7 プライ合板の場合

iii.i. 精密計算法

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{b00} &= \sigma_{bL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 - h^3_4 + h^3_6 - h^3_5 + h^3_8 - h^3_7}{\frac{h^3}{4}} + \sigma_{bT} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_4 + h^3_5 + h^3_7 - h^3_6}{\frac{h^3}{4}} \\ \sigma_{b90} &= \frac{h_1}{h_2} \sigma_{bL} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_4 + h^3_5 + h^3_7 - h^3_6}{\frac{h^3}{4}} + \sigma_{bT} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 - h^3_4 + h^3_6 - h^3_5 + h^3_8 - h^3_7}{\frac{h^3}{4}} \\ E_{b00} &= E_{IL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 - h^3_4 + h^3_6 - h^3_5 + h^3_8 - h^3_7}{\frac{h^3}{4}} + E_{IT} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_4 + h^3_5 + h^3_7 - h^3_6}{\frac{h^3}{4}} \\ E_{b90} &= E_{IL} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_4 + h^3_5 + h^3_7 - h^3_6}{\frac{h^3}{4}} + E_{IT} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 - h^3_4 + h^3_6 - h^3_5 + h^3_8 - h^3_7}{\frac{h^3}{4}} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \dots\dots \\ (2.2.3.) \\ \text{iii.i} \end{array}$$

iii.ii. 近似計算法

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_{b00} &= \sigma_{bL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 - h^3_4 + h^3_6 - h^3_5 + h^3_8 - h^3_7}{\frac{h^3}{4}} \\ \sigma'_{b90} &= \frac{h_1}{h_2} \sigma_{bL} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_4 + h^3_5 + h^3_7 - h^3_6}{\frac{h^3}{4}} \\ E'_{b00} &= E_{IL} \frac{h^3_1 - h^3_2 + h^3_3 - h^3_4 + h^3_6 - h^3_5 + h^3_8 - h^3_7}{\frac{h^3}{4}} \\ E'_{b90} &= E_{IL} \frac{h^3_2 - h^3_3 + h^3_4 + h^3_5 + h^3_7 - h^3_6}{\frac{h^3}{4}} \end{aligned} \right\} (2.2.3.iii.ii)$$

以上このような理論解については文献²⁾³⁾が詳しく取り扱っている。

2.3. 合板の剪断

剪断応力による変形状態については、直交異方性材料としての木材では、いわゆる *LT*, *LR* および *RT* 面についてそれぞれ考えなければならない。合板ではこれらの各面がどのような位置におかれているかという、平板板としての表面は *LT* 面、そして他の2面は *LR* 面と *RT* 面が交互に現われている。そこで前者を *LT* 面そのままに表現し、後者を ***LRT*** 面として仮称する。

いま剪断力から合板の利用の仕方について考えてみると2とおりのある。その1つはパネル板として使うものである。建築での壁板や梁に使うウェブ板がそうである。他のもう1つはプレート板として使うものである。床板とか屋根板、また箱の底板もそうである。もっとわかりやすい表現をするならば、板を立てて使うのが前者で、寝せて使うのが後者であるとのみかたでよいと思う。

そこでこの2とおりの合板の使い方に対して、剪断状態がどんな様子ではいつているかを調べてみると、パネル合板には *LT* 面での剪断が働くことになる。よくいわれている横剪断とか、水平剪断とか、

あるいは水平垂直剪断というのはこれをさしていると考えられる。それに対してプレート合板には、もっとも剪断に弱い RT 面のはいる LRT 面の断面に曲げモーメントを受けるので、この面特有のローリング剪断を発生させる。合板における接着力試験も同じ意味のものといえる。

ではこの両者に対する試験はどうかというと、前者にはパネル剪断試験が適用され、後者にはプレート剪断試験が適用される。ただしローリング剪断のみ考えるのなら、スパン長さをきわめて短くした曲げ試験とか、あるいはブロック剪断においても判断は下せると思う。いずれにしてもこうした現象に対しての研究報告はごく少ないため、詳しいことはあまりわからないが、以上の考えかたによってこれから考えてみる。

パネル剪断試験では、剪断応力は断面内一様に分布する単純応力状態であるのに対し、プレート剪断試験では、厚みに対し中立軸から一次比例分布をする。そして歪測定は、前者においては面内での直交対角線上でもとめ、後者では振れによる相対撓み量差からもとめる。非常に簡単な考察ではあるがこの両試験についてはすでに報告⁶⁾した。

2.3.1. 合板のパネル剪断

パネル剪断は前述したように直接剪断とも解され、平面応力状態として取り扱われる。いま2つの座標系 $O-xy$ と $O-x'y'$ が O を中心として θ なる角度で傾いているとき (Fig. 5), 両座標間の応力関係は一般に、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_{x'} \cos^2 \theta + \sigma_{y'} \sin^2 \theta + 2\tau_{x'y'} \sin \theta \cdot \cos \theta \\ \sigma_y &= \sigma_{x'} \sin^2 \theta + \sigma_{y'} \cos^2 \theta - 2\tau_{x'y'} \cos \theta \cdot \sin \theta \\ \tau_{xy} &= (\sigma_{y'} - \sigma_{x'}) \sin \theta \cdot \cos \theta + \tau_{x'y'} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1)$$

となり、 $\theta = -45^\circ$ では、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{1}{2}(\sigma_{x'} + \sigma_{y'}) - \tau_{x'y'} \\ \sigma_y &= \frac{1}{2}(\sigma_{x'} + \sigma_{y'}) + \tau_{x'y'} \\ \tau_{xy} &= (\sigma_{x'} - \sigma_{y'}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.2)$$

となる。ここで $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{x'}, \sigma_{y'}$ はそれぞれ x, y, x', y' 軸の軸応力で、 $\tau_{xy}, \tau_{x'y'}$ はそれぞれ xy 面、 $x'y'$ 面の剪断応力である。

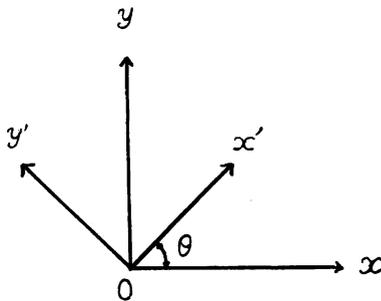


Fig. 5 x, y 座標と x', y' 座標の関係
(x', y') axes inclined to the orthotropic
(x, y) axes.

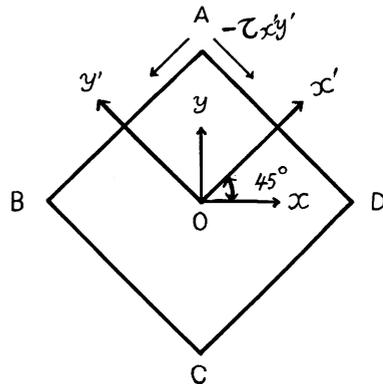


Fig. 6 パネル剪断応力 $-\tau_{x'y'}$ を与えるときの試験材の座標のとりかた
Choice of axes for panel shear test specimen that shear stress $-\tau_{x'y'}$ is distributed by load of compression.

つぎに Fig. 6 に示すようなパネル剪断試験の応力状態, つまり $-\tau_{x'y'}$ のみを与え, $\sigma_x'=\sigma_y'=0$ になる状態にすると, (2.3.1.2) 式から,

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \tau_{x'y'} \\ \sigma_y &= -\tau_{x'y'} \quad \therefore \quad -\sigma_y = \tau_{x'y'} \\ \tau_{xy} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.3)$$

が得られる。つまり Fig. 6 での正方形 ABCD の 2 点 A と C で圧縮のかたちでのパネル剪断応力 $-\tau_{x'y'}$ を与えると, O 点を中心 (原点) とした x 軸に $\tau_{x'y'}$ と同じ大きさの引張応力 (σ_x) が働き, 同じく y 軸上に同じ大きさの圧縮応力 (σ_y) が同時に働く内容に等しい, ということである。もちろん, この場合測定しようとする剪断剛性係数は $O-x'y'$ 座標軸を対象とすることによってもとめられる。

つぎに応力と同様歪の状態について考えてみると, パネル剪断で $-\tau_{x'y'}$ を与えることは, σ_x を x 軸上に引張, σ_y を y 軸上に圧縮のかたちで与えることに等しいのであるから, 一般に応力と歪の関係がつぎの平面歪状態式のかたちで与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= S_{11}\sigma_x + S_{12}\sigma_y \\ \epsilon_y &= S_{21}\sigma_x + S_{22}\sigma_y \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.4)$$

ここで ϵ_x, ϵ_y はそれぞれ x, y 軸上での歪で, $S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}$ はそれぞれ弾性常数 (後述) を示す。そしてここでは $\tau_{xy}=0$ となっているから, 当然 γ_{xy} (xy 平面での剪断歪) もないわけである。

さて今度は前の Fig. 5 にもどって, (xy) および ($x'y'$) の両座標間での歪状態での相互関係を, 応力のときと同じ方法によってもとめてみると, 一般式としてつぎのように示すことができる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{x'} &= \epsilon_x \cos^2 \theta + \epsilon_y \sin^2 \theta + \gamma_{xy} \sin \theta \cdot \cos \theta \\ \epsilon_{y'} &= \epsilon_x \sin^2 \theta + \epsilon_y \cos^2 \theta - \gamma_{xy} \cos \theta \cdot \sin \theta \\ \gamma_{x'y'} &= (\epsilon_y - \epsilon_x) \sin 2\theta + \gamma_{xy} \cos 2\theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.5)$$

そして $\theta=45^\circ$ の場合には当然,

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{x'} &= \frac{1}{2}(\epsilon_x + \epsilon_y) + \frac{1}{2}\gamma_{xy} \\ \epsilon_{y'} &= \frac{1}{2}(\epsilon_x + \epsilon_y) - \frac{1}{2}\gamma_{xy} \\ \gamma_{x'y'} &= \epsilon_y - \epsilon_x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.6)$$

となる。そこで $-\tau_{x'y'}$ を与えたのであるから, それによって生ずる変形, つまり剪断変形も一になることから,

$$-\gamma_{x'y'} = \epsilon_x - \epsilon_y \quad \dots\dots\dots(2.3.1.7)$$

によって示すと, (2.3.1.2) 式から,

$$-\tau_{x'y'} = \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \quad \dots\dots\dots(2.3.1.8)$$

となり, したがって ABCD 板の剪断剛性係数 G は,

$$G = \frac{-\tau_{x'y'}}{-\gamma_{x'y'}} = \frac{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)}{\epsilon_x - \epsilon_y} \quad \dots\dots\dots(2.3.1.9)$$

によってもとめうる。

また剪断最大応力, つまり剪断破壊強度 τ は (2.3.1.3) 式から容易にもとめられる。

$$\tau_{x'y'} = \sigma_x = -\sigma_y$$

したがって、材料が異方性の場合は、 x 方向かあるいは y 方向のどちらかの軸破壊応力の小さな方によって決められることになる。

合板の場合は、ことにこのことは大切で 45° 合板にはきわめて有効な働きをしている。

つぎに G, τ の定義についてふれておくと、まず素材の場合には、Fig. 6 において表面の繊維方向が、 x' 軸か y' 軸のどちらかに平行な場合は G_{LT}, τ_{LT} によって表わし、 x 軸か y 軸に平行な場合には $G_{LT-45^\circ}, \tau_{LT-45^\circ}$ によって示す。この場合は剪断応力は繊維方向と AB, AD において 45° にかかる。そして、 x および y 方向の弾性係数 E_x および E_y が $E_x > E_y$ となって、しかも x 方向に引張応力が働く剪断現象を順剪断 (Normal-shear)、逆に圧縮応力が働くような剪断現象を逆剪断 (Inverse-shear) と名づけて区別する。そして前者には Nor. 後者には Inv. の略字の小文字を添字として記すことにする。

つぎに合板の場合は、表板単板についての繊維方向を基準にして、素材の場合と全く同じような表現方法をもちいることにする。

つまり $G_{LT-45^\circ}, \tau_{LT-45^\circ}$ に対し合板の場合はただ単に $G_{45^\circ}, \tau_{45^\circ}$ と記し、 G_{LT}, τ_{LT} に対しては、 $G_{0^\circ, 90^\circ}, \tau_{0^\circ, 90^\circ}$ と記して区別する。また Nor., Inv. についても同じ記号を添字としてもちいる。

つぎに n プライ合板について、各単板の構成と合板との間に、剪断がどのようなかたちでつながっているのか、もう少し詳しく調べてみる。

合板のパネル剪断をおこなうのに、その試験には 3 種類のものあげられる。

1. $G_{0^\circ, 90^\circ}, \tau_{0^\circ, 90^\circ}$ 測定
2. $G_{45^\circ}, \tau_{45^\circ}$ を順剪断で測定する場合
3. $G_{45^\circ}, \tau_{45^\circ}$ を逆剪断で測定する場合

1 はどんな単板構成のものでも、 x, y 軸方向の E_x, E_y がともに E_{LT-45° の値なので、いわゆる等方性体とみてよく、 ϵ_x と ϵ_y の差はまず著しく出ない。角度の異なり (45° と 135°) からいわゆる Pure constant を採用する。

2 および 3 は単板構成によって ϵ_x と ϵ_y の差がかなり出るので、わけて考察しなければならない。 G の場合は多少の差があっても、相対的な値ではまず差がないとみられるが、 τ の場合は、ことに座屈を考慮するようなものには注意を要する。そこで、主として 2 および 3 の 45° 合板の場合について詳しく考えてみる。($0^\circ, 90^\circ$) 合板については後の考察の項で述べる。

2.3.1.1. 精密計算法

Fig. 7 に示す正方形の n プライ合板の中か

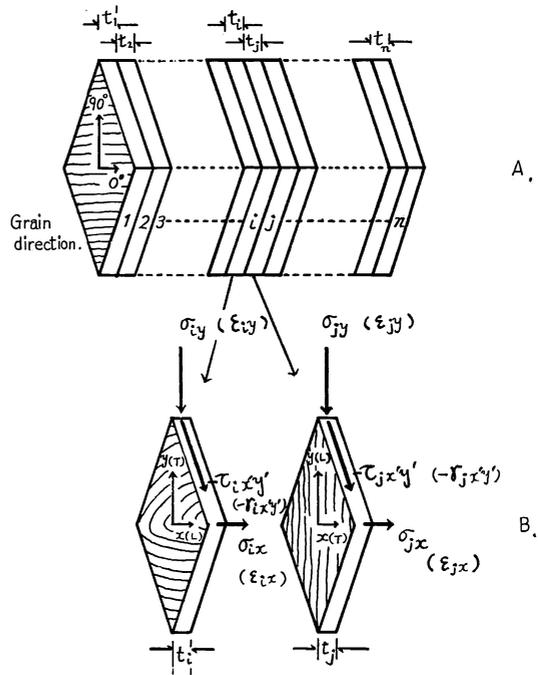


Fig. 7 A : n プライ合板のパネル剪断試験における単板構成
 B : 合板中任意の i, j の直交単板内における応力 (歪) 分布
 A : Construction of veneers of n -ply plywood on the panel shear test.
 B : Distribution of stress (strain) in the i and j veneers of n -ply plywood by the panel shear test.

ら、任意の組単板として i, j の 1 組をとり出し、まずこの両単板内に生ずる応力ならびに歪の平面状態について考えてみる。

i 単板では、応力-歪の関係が次式で得られる。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{ix} &= S_{i11}\sigma_{ix} + S_{i12}\sigma_{iy} \\ \varepsilon_{iy} &= S_{i21}\sigma_{ix} + S_{i22}\sigma_{iy} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.1)$$

同じく j 単板では、

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{jx} &= S_{j11}\sigma_{jx} + S_{j12}\sigma_{jy} \\ \varepsilon_{jy} &= S_{j21}\sigma_{jx} + S_{j22}\sigma_{jy} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.2)$$

となる。ここで ε, σ はそれぞれ歪、応力で、 S_{i00}, S_{j00} はそれぞれ i, j 単板の弾性常数であり、どちらも同じ樹種であると当然つぎの関係が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} S_{i11} &= S_{j22} = \frac{1}{E_L} \\ S_{i12} &= S_{i21} = S_{j12} = S_{j21} = -\frac{\nu_{LT}}{E_L} = -\frac{\nu_{TL}}{E_T} \\ S_{i22} &= S_{j11} = \frac{1}{E_T} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.3)$$

(ν : ポアソン比)

そこでパネル剪断による、剪断応力 $-\tau$ のみを与えると、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ix} &= \tau t_x' y' = -\sigma_{iy} \\ \sigma_{jx} &= \tau t_j' y' = -\sigma_{jy} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.4)$$

となる。

いま、合板が同樹種単板で構成される場合は合板厚さは次の関係

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1,3,5\dots}^n t_i &= t_I, \quad \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} t_j = t_J \\ t_I + t_J &= t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.5)$$

から、さらに

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1,3,5\dots}^n \sigma_{ix} t_i &= \sigma_{Ix} t_I, \quad \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} \sigma_{jx} t_j = \sigma_{Jx} t_J \\ \sum_{i=1,3,5\dots}^n \sigma_{iy} t_i &= \sigma_{Iy} t_I, \quad \sum_{j=2,4,6\dots}^{n-1} \sigma_{jy} t_j = \sigma_{Jy} t_J \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.6)$$

に書き換えることができる。

これは (2.3.1.1.1) および (2.3.1.1.2) の両式の i, j をそのまま I, J に置き換えたもののちょうど 2 プライ合板としての解析に等価であるといえる。

そこで合板にパネル剪断を与える。つまり合板に対してつぎの式が成り立つ。

$$\tau_x' y' = \sigma_x = -\sigma_y$$

すると I, J の 2 層合板では、それぞれ内部応力に分解され、同じようなつぎの式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{Ix} t_I + \sigma_{Jx} t_J &= \sigma_x t \\ \sigma_{Iy} t_I + \sigma_{Jy} t_J &= \sigma_y t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.7)$$

また平面歪状態でも同じ解析ができるから、 I, J 単板の接着によって

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \varepsilon_{Ix} = S_{I11}\sigma_{Ix} + S_{I12}\sigma_{Iy} = \varepsilon_{Jx} = S_{J11}\sigma_{Jx} + S_{J12}\sigma_{Jy} \\ \varepsilon_y &= \varepsilon_{Iy} = S_{I21}\sigma_{Ix} + S_{I22}\sigma_{Iy} = \varepsilon_{Jy} = S_{J21}\sigma_{Jx} + S_{J22}\sigma_{Jy} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.8)$$

の平衡条件式が出される。また (2.3.1.1.3) 式と同じく S_{I00} と S_{J00} の弾性常数間にも

$$\left. \begin{aligned} S_{I11} &= S_{J22} & S_{I22} &= S_{J11} \\ S_{I12} &= S_{I21} & S_{J12} &= S_{J22} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.9)$$

の関係がある。(2.3.1.1.7) 式から σ_{Jy} および σ_{Jx} をもとめて (2.3.1.1.8) 式に代入し、さらに計算すると

$$\begin{aligned} \sigma_{Jx} &= \frac{\sigma_x t - \sigma_{Ix} t_I}{t_J} \\ \sigma_{Jy} &= \frac{\sigma_y t - \sigma_{Iy} t_I}{t_J} \\ \therefore \left. \begin{aligned} (S_{I11} + \frac{t_I}{t_J} S_{I22}) \sigma_{Ix} + (S_{I12} + \frac{t_I}{t_J} S_{I21}) \sigma_{Iy} &= \frac{t}{t_J} (S_{I22} \sigma_x + S_{I21} \sigma_y) \\ (S_{I21} + \frac{t_I}{t_J} S_{I21}) \sigma_{Ix} + (S_{I22} + \frac{t_I}{t_J} S_{I11}) \sigma_{Iy} &= \frac{t}{t_J} (S_{I12} \sigma_x + S_{I11} \sigma_y) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.10) \end{aligned}$$

となる。上式をさらに、

$$\left. \begin{aligned} A_{11} \sigma_{Ix} + B_{11} \sigma_{Iy} &= C_{11} \sigma_x \\ B_{11} \sigma_{Ix} + A_{22} \sigma_{Iy} &= C_{22} \sigma_x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.1.10)'$$

とすれば、

$$\begin{aligned} A_{11} &= (S_{I11} t_J + S_{I22} t_I) \\ B_{11} &= (S_{I12} t_J + S_{I21} t_I) \\ A_{22} &= (S_{I22} t_J + S_{I11} t_I) \\ C_{11} &= t(S_{I22} - S_{I11}) \\ C_{22} &= t(S_{I21} - S_{I11}) \end{aligned}$$

とすることができるから (2.3.1.1.10)' 式からそれぞれ σ_{Ix} , σ_{Iy} をもとめると、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{Ix} &= \frac{\begin{vmatrix} C_{11} & B_{11} \\ C_{22} & A_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_{11} & B_{11} \\ B_{11} & A_{22} \end{vmatrix}} = \frac{C_{11} A_{22} - B_{11} C_{22}}{A_{11} A_{22} - B_{11}^2} \tau_x' y' \\ \sigma_{Iy} &= \frac{\begin{vmatrix} A_{11} & C_{11} \\ B_{11} & C_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_{11} & B_{11} \\ B_{11} & A_{22} \end{vmatrix}} = \frac{A_{11} C_{22} - B_{11} C_{11}}{A_{11} A_{22} - B_{11}^2} \tau_x' y' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3.1.1.11)$$

となる。そこでこれらを (2.3.1.7) 式の剪断歪を求めるために、(2.3.1.1.8) 式に代入すると、

$$-\gamma_x' y' = \varepsilon_x - \varepsilon_y = (S_{I11} - S_{I21}) \sigma_{Ix} + (S_{I12} - S_{I22}) \sigma_{Iy} \dots\dots(2.3.1.1.12)$$

となり、これに (2.3.1.1.11) 式を入れると、

$$-\gamma_x' y' = \left[(S_{I11} - S_{I21}) \frac{C_{11} A_{22} - B_{11} C_{22}}{A_{11} A_{22} - B_{11}^2} + (S_{I12} - S_{I22}) \frac{A_{11} C_{22} - B_{11} C_{11}}{A_{11} A_{22} - B_{11}^2} \right] \tau_x' y' \dots\dots(2.3.1.1.13)$$

となる。そこでパネル剪断応力として合板に $-\tau_x' y'$ を与えるから、したがって剪断剛性係数 G は次式によって与えられる。

$$G = \frac{-\tau_x' y'}{-\gamma_x' y'} = \frac{A_{11} A_{22} - B_{11}^2}{(S_{I11} - S_{I21})(C_{11} A_{22} - B_{11} C_{22}) + (S_{I12} - S_{I22})(A_{11} C_{22} - B_{11} C_{11})} \dots\dots\dots(2.3.1.1.14)$$

この式をもっと簡単に計算できるように、分けて計算すると、

$$\begin{aligned}
 A_{11}A_{22} - B_{11}^2 &= (S_{I_{11}}t_J + S_{I_{22}}t_I)(S_{I_{22}}t_J + S_{I_{11}}t_I) - (S_{I_{12}}t_J + S_{I_{21}}t_I)^2 \\
 &= S_{I_{11}}S_{I_{22}}t_J^2 + S_{I_{11}}^2t_I t_J + S_{I_{22}}^2t_I t_J + S_{I_{11}}S_{I_{22}}t_I^2 - S_{I_{12}}^2(t_I + t_J)^2 \\
 &= S_{I_{11}}S_{I_{22}}t^2 - 2S_{I_{11}}S_{I_{22}}t_I t_J + (S_{I_{11}}^2 + S_{I_{22}}^2)t_I t_J - S_{I_{12}}^2t^2 \\
 &= (S_{I_{11}}S_{I_{22}} - S_{I_{12}}^2)t^2 + (S_{I_{11}} - S_{I_{22}})^2t_I t_J \\
 C_{11}A_{22} - B_{11}C_{22} &= t(S_{I_{22}} - S_{I_{21}})(S_{I_{22}}t_J + S_{I_{11}}t_I) - t(S_{I_{12}} - S_{I_{11}})(S_{I_{12}}t_J + S_{I_{21}}t_I) \\
 &= t(S_{I_{22}}^2t_J + S_{I_{11}}S_{I_{22}}t_I - S_{I_{22}}S_{I_{21}}t_J - S_{I_{11}}S_{I_{21}}t_I - S_{I_{12}}^2t + S_{I_{11}}S_{I_{12}}t) \\
 \therefore (S_{I_{11}} - S_{I_{21}})(C_{11}A_{22} - B_{11}C_{22}) \\
 &= t(S_{I_{11}}S_{I_{22}}^2t_J + S_{I_{11}}^2S_{I_{22}}t_I - S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{21}}t_J + S_{I_{11}}^2S_{I_{12}}t_J - S_{I_{11}}S_{I_{12}}t^2 \\
 &\quad - S_{I_{22}}^2S_{I_{21}}t_J - S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{21}}t_I + S_{I_{22}}S_{I_{21}}^2t_J - S_{I_{11}}S_{I_{12}}^2t_J + S_{I_{12}}^3t) \dots\dots\dots\alpha \\
 A_{11}C_{22} - B_{11}C_{11} &= t(S_{I_{12}} - S_{I_{11}})(S_{I_{11}}t_J + S_{I_{22}}t_I) - t(S_{I_{22}} - S_{I_{12}})(S_{I_{12}}t_J + S_{I_{21}}t_I) \\
 &= t(S_{I_{11}}S_{I_{12}}t_J + S_{I_{22}}S_{I_{12}}t_I - S_{I_{12}}^2t_J - S_{I_{11}}S_{I_{22}}t_I - S_{I_{22}}S_{I_{12}}t + S_{I_{12}}^2t) \\
 \therefore (S_{I_{12}} - S_{I_{22}})(A_{11}C_{22} - B_{11}C_{11}) \\
 &= t(S_{I_{11}}S_{I_{12}}^2t_J - S_{I_{22}}S_{I_{12}}^2t_J - S_{I_{11}}^2S_{I_{12}}t_J - S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{12}}t_I + S_{I_{11}}^3t \\
 &\quad - S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{12}}t_J + S_{I_{22}}^2S_{I_{12}}t_J + S_{I_{11}}^2S_{I_{22}}t_J + S_{I_{11}}S_{I_{22}}^2t_I - S_{I_{22}}S_{I_{12}}^2t) \dots\dots\dots\beta \\
 \alpha + \beta &= t(S_{I_{11}}S_{I_{22}}^2t_J + S_{I_{11}}S_{I_{22}}^2t_I - 2S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{21}}t - S_{I_{11}}S_{I_{12}}^2t \\
 &\quad + S_{I_{11}}^2S_{I_{22}}t_J + S_{I_{11}}S_{I_{22}}^2t_I - S_{I_{22}}S_{I_{12}}^2t + 2S_{I_{12}}^3t) \\
 &= t^2[-2S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{21}} + S_{I_{11}}S_{I_{22}}(S_{I_{11}} + S_{I_{22}}) - S_{I_{12}}^2(S_{I_{11}} + S_{I_{22}} - 2S_{I_{12}})]
 \end{aligned}$$

となる。

したがって、(2.3.1.1.14) 式はつぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{\tau_x y'}{\gamma_x y'} = \frac{(S_{I_{11}}S_{I_{22}} - S_{I_{12}}^2)t^2 + (S_{I_{11}} - S_{I_{22}})^2t_I t_J}{t^2[S_{I_{11}}S_{I_{22}}(S_{I_{11}} + S_{I_{22}}) - 2S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{21}} - S_{I_{12}}^2(S_{I_{11}} + S_{I_{22}} - 2S_{I_{12}})]} \\
 &= C_1 + C_2 \frac{t_I t_J}{t^2} \dots\dots\dots(2.3.1.14)'
 \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \frac{S_{I_{11}}S_{I_{22}} - S_{I_{12}}^2}{S_{I_{11}}S_{I_{22}}(S_{I_{11}} + S_{I_{22}}) - 2S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{21}} - S_{I_{12}}^2(S_{I_{11}} + S_{I_{22}} - 2S_{I_{12}})} \\
 C_2 &= \frac{(S_{I_{11}} - S_{I_{22}})^2}{S_{I_{11}}S_{I_{22}}(S_{I_{11}} + S_{I_{22}}) - 2S_{I_{11}}S_{I_{22}}S_{I_{21}} - S_{I_{12}}^2(S_{I_{11}} + S_{I_{22}} - 2S_{I_{12}})} \cdot \frac{t_I t_J}{t^2}
 \end{aligned}$$

そこでこれらの式に (2.3.1.1.9) 式の関係

$$S_{I_{11}} = \frac{1}{E_{IL}}, \quad S_{I_{21}} = S_{I_{12}} = -\frac{\nu_{ILT}}{E_{IL}} = -\frac{\nu_{ITL}}{E_{IT}}, \quad S_{I_{22}} = \frac{1}{E_{IT}},$$

を代入すると、

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \frac{\frac{1}{E_{IL}E_{IT}}(1 - \nu_{ILT}\nu_{ITL})}{\frac{E_{IL} + E_{IT}}{E_{IL}^2E_{IT}^2} + \frac{2\nu_{ILT}}{E_{IL}^2E_{IT}} - \frac{\nu_{ILT}\nu_{ITL}}{E_{IL}^2E_{IT}^2}(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \\
 &= \frac{(1 - \nu_{ILT}\nu_{ITL})E_{IL}E_{IT}}{(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT}) - \nu_{ILT}\nu_{ITL}(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \\
 &= \frac{E_{IL}E_{IT}}{E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT}} \\
 C_2 &= \frac{\frac{(E_{IL} - E_{IT})^2}{E_{IL}^2E_{IT}^2}}{\frac{E_{IL} + E_{IT}}{E_{IL}^2E_{IT}^2} + \frac{2\nu_{ILT}}{E_{IL}^2E_{IT}} - \frac{\nu_{ILT}\nu_{ITL}}{E_{IL}^2E_{IT}^2}(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \cdot \frac{t_I t_J}{t^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(E_{IL} - E_{IT})^2}{(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT}) - \nu_{ILT}\nu_{ITL}(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \cdot \frac{t_{IT}J}{t^2} \\
 &= \frac{(E_{IT} - E_{IT})^2}{(1 - \nu_{ILT} \cdot \nu_{ITL})(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \cdot \frac{t_{IT}J}{t^2}
 \end{aligned}$$

となる。したがって最終的にGは、

$$G = \frac{E_{IL}E_{IT}}{E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT}} + \frac{(E_{IL} - E_{IT})^2}{(1 - \nu_{ILT}\nu_{ITL})(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \cdot \frac{t_{IT}J}{t^2} \dots\dots(2.3.1.1.16)$$

となる。これがもとめる合板の G_5 である。つぎに歪についてはどうかということであるが、Fig. 7 にもどって ε_x と ε_y を応力でもとめた方法と同じ要領でもとめてみる。

平面歪状態として (2.3.1.1.8) 式が与えられたので、これから ε_x と ε_y を同樹種単板で構成した合板について計算する。

(2.3.1.1.11) 式を使って、

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{Ix} &= \varepsilon_x = S_{I11}\sigma_{Ix} + S_{I12}\sigma_{Iy} \\
 &= \left[S_{I11} \frac{C_{11}A_{22} - B_{11}C_{22}}{A_{11}A_{22} - B_{11}^2} + S_{I12} \frac{A_{11}C_{22} - B_{11}C_{11}}{A_{11}A_{22} - B_{11}^2} \right] \tau_x y' \\
 \varepsilon_{Iy} &= \varepsilon_y = S_{I21}\sigma_{Ix} + S_{I22}\sigma_{Iy} \\
 &= \left[S_{I21} \frac{C_{11}A_{22} - B_{11}C_{22}}{A_{11}A_{22} - B_{11}^2} + S_{I22} \frac{A_{11}C_{22} - B_{11}C_{11}}{A_{11}A_{22} - B_{11}^2} \right] \tau_x y'
 \end{aligned}$$

となるから、 x 、 y 両軸上での歪比 δ は、

$$\delta = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = \frac{S_{I21}(C_{11}A_{22} - B_{11}C_{22}) + S_{I22}(A_{11}C_{22} - B_{11}C_{11})}{S_{I11}(C_{11}A_{22} - B_{11}C_{22}) + S_{I12}(A_{11}C_{22} - B_{11}C_{11})} \dots\dots(2.3.1.1.17)$$

となる。

さらに前の計算式をもちいてもっと計算すると、

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{S_{I21}[t(S_{I22} - S_{I21})(S_{I22}tJ + S_{I11}tI) - t^2S_{I12}(S_{I12} - S_{I11})]}{S_{I11}[t(S_{I22} - S_{I21})(S_{I22}tJ + S_{I11}tI) - t^2S_{I12}(S_{I12} - S_{I11})]} \\
 &\quad + \frac{S_{I22}[t(S_{I12} - S_{I11})(S_{I11}tJ + S_{I22}tI) - t^2S_{I12}(S_{I22} - S_{I12})]}{S_{I12}[t(S_{I12} - S_{I11})(S_{I11}tJ + S_{I22}tI) - t^2S_{I12}(S_{I22} - S_{I12})]} \\
 &= \frac{S_{I21}S_{I22}^2tJ + S_{I11}S_{I22}S_{I21}tI - S_{I22}S_{I21}^2tJ + S_{I11}S_{I22}^2tJ - S_{I12}^3t}{S_{I11}S_{I22}^2tJ + S_{I11}^2S_{I22}tI - S_{I11}S_{I22}S_{I12}tJ + S_{I12}^2S_{I12}tJ - S_{I11}S_{I22}^2tJ} \\
 &\quad + \frac{S_{I11}S_{I12}S_{I22}tJ - S_{I22}^2S_{I12}tJ - S_{I12}^2S_{I22}tJ - S_{I11}S_{I22}^2tJ + S_{I22}S_{I12}^2t}{S_{I11}S_{I22}^2tJ - S_{I22}S_{I12}^2tJ - S_{I12}^2S_{I12}tJ - S_{I11}S_{I22}S_{I12}tI + S_{I12}^3t} \\
 &= \frac{S_{I11}S_{I22}S_{I12}t + S_{I22}S_{I12}^2tI + S_{I11}S_{I22}^2tJ - S_{I12}^3t - S_{I11}S_{I22}tJ - S_{I11}S_{I22}^2tI}{-S_{I11}S_{I22}S_{I12}t - S_{I22}S_{I12}^2tJ - S_{I11}S_{I22}^2tI + S_{I12}^3t + S_{I11}S_{I22}tI + S_{I11}S_{I22}^2tJ} \\
 &= \frac{S_{I12}t(S_{I11}S_{I22} - S_{I12}^2) + S_{I12}^2(S_{I22}tI + S_{I11}tJ) - S_{I11}S_{I22}(S_{I22}tI + S_{I11}tJ)}{-S_{I12}t(S_{I11}S_{I22} - S_{I12}^2) - S_{I12}^2(S_{I11}tI + S_{I22}tJ) + S_{I11}S_{I22}(S_{I11}tI + S_{I22}tJ)} \\
 &= \frac{S_{I12}t(S_{I11}S_{I22} - S_{I12}^2) - (S_{I22}tI + S_{I11}tJ)(S_{I11}S_{I22} - S_{I12}^2)}{-S_{I12}t(S_{I11}S_{I22} - S_{I12}^2) + (S_{I11}tI + S_{I22}tJ)(S_{I11}S_{I22} - S_{I12}^2)} \\
 &= \frac{S_{I12}t - (S_{I22}tI + S_{I11}tJ)}{-S_{I12}t + (S_{I11}tI + S_{I22}tJ)} \\
 &= \frac{tJ(S_{I11} - S_{I22}) - t(S_{I11} - S_{I12})}{tJ(S_{I11} - S_{I22}) + t(S_{I22} - S_{I12})} \dots\dots\dots(2.3.1.1.17)'
 \end{aligned}$$

となる。

さらに (2.3.1.1.15) 式を代入すると、

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{t_I \left(\frac{1}{E_{IL}} - \frac{1}{E_{IT}} \right) - t \left(\frac{1}{E_{IL}} - \frac{\nu_{ILT}}{E_{IL}} \right)}{t_I \left(\frac{1}{E_{IL}} - \frac{1}{E_{IT}} \right) + t \left(\frac{1}{E_{IT}} - \frac{\nu_{ITL}}{E_{IT}} \right)} \\ &= \frac{t_I (E_{IT} - E_{IL}) - t E_{IT} (1 - \nu_{ILT})}{t_I (E_{IT} - E_{IL}) + t E_{IL} (1 - \nu_{ITL})} \\ &= \frac{\frac{t_I}{t} \left(\frac{E_{IT}}{E_{IL}} - 1 \right) - \frac{E_{IT}}{E_{IL}} (1 - \nu_{ILT})}{\frac{t_I}{t} \left(\frac{E_{IT}}{E_{IL}} - 1 \right) + \left(1 - \frac{E_{IT}}{E_{IL}} \nu_{ITL} \right)} \dots\dots\dots (2.3.1.1.17)' \end{aligned}$$

となる。

ただし ϵ_y は圧縮歪であるため - の符号をとり、したがって (2.3.1.1.17)' 式は絶対値をとらなければならぬ。

2.3.1.2. 近似計算法

この計算法では単板の T 方向の E_T および σ_T を 0 とみること。それにポアソン比はおおよそ

$$\nu_{ILT} \doteq 0.5, \nu_{ITL} = 0.02 \dots\dots\dots (\text{Table 8 Q 合板から})$$

とみて計算をする。そこで (2.3.1.1.14)' および (2.3.1.1.16) の各式は、

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{E_{IL}}{\frac{E_{IL}}{E_{IT}} + 1 + 2\nu_{ILT}} \div \frac{E_{IL}}{\frac{E_{IL}}{E_{IT}} + 1 + 1} \div \frac{E_{IL}}{\frac{E_{IL}}{E_{IT}}} \quad \left(\frac{E_{IL}}{E_{IT}} \doteq 20 \text{ とみる} \right) \\ &= E_{IT} \\ C_2 &= \frac{(E_{IL} - E_{IT})^2}{(1 - \nu_{ILT}\nu_{ITL})(E_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \div \frac{(E_{IL} - E_{IT})^2}{E_{IL} + E_{IT}} \div \frac{E_{IL}^2}{E_{IL}} = E_{IT} \end{aligned}$$

となるから、したがって合板の G'_{45° は、

$$G'_{45^\circ} \doteq E_{IT} + E_{IL} \frac{t_I t_J}{t^2} \div E_{IT} \frac{t_I t_J}{t^2} \dots\dots\dots (2.3.1.2.18)$$

となる。

また両軸での歪比 δ' は (2.3.1.1.17)' より、

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{\frac{t_I}{t} \left(\frac{E_{IT}}{E_{IL}} - 1 \right) - \frac{E_{IT}}{E_{IL}} (1 - \nu_{ILT})}{\frac{t_I}{t} \left(\frac{E_{IT}}{E_{IL}} - 1 \right) + \left(1 - \frac{E_{IT}}{E_{IL}} \nu_{ITL} \right)} \\ &= \frac{-\frac{t_I}{t}}{-\frac{t_I}{t} + 1} = \frac{-t_I}{-t_I + t} = \frac{t_I}{t_J} = \left| \frac{t_I}{t_J} \right| \dots\dots\dots (2.3.1.2.19) \end{aligned}$$

となる。

2.3.2. 合板のプレート剪断

合板のプレート剪断についての解析はほとんどなく、わが国でも非常に少ない。最近では著者がラワン合板について取り扱ったものを報告⁶⁾したが、合板と単板構成法によって両者間のプレート剪断強さが、どんな仕組みになっているかを詳しく研究する必要がある。米国ではこの試験法を ASTM に設けて実施しているようであるが、それには 2 つの制限がつけられている。

1. 試験体は正方形板で辺の長さは、厚みの 25~40 倍の中のものであること。
2. 両対角線上での EI (曲げ剛性) が等しくなっていること。

である。

ただこの装置では境界条件から、剪断破壊応力をもとめることができない。また剪断剛性試験についても、正確なデータをうるには、微小変形理論の適用できるところの範囲ではなからうかと思われる。

しかしながら、パネル剪断と比較検討することによって、つまり引張と圧縮によって曲げをみると同様に、パネル剪断に関連させて捩りをともなうプレート剪断の場合の G および τ について、さらに検討を加える必要がある。

したがって、ここでは詳細な説明を省略して前報告⁶⁾と同様につきの式によって実験値をもとめるにとどめた。

$$G = \frac{3}{2} \frac{r^2}{h^3} \frac{p}{\omega} \dots\dots\dots(2.3.2.1)$$

ここで h は合板厚み (cm), p は荷重 (kg), ω は相対的撓み量 (cm), そして r は撓み測定をするときの対角線上、中央の点からの距離 (cm) である。

2.4. 合板のポアソン比

合板のポアソン比についての詳しい報告⁹⁾を著者が以前出しているので、ここではごく簡単に述べる。

単板がすべて同樹種な場合の合板のポアソン比 $\nu_{0^\circ, 90^\circ}$ (あるいは $\nu_{90^\circ, 0^\circ}$) は、単板のポアソン比を ν_{ILT} , ν_{ITL} とし、弾性係数を E_{IL} , E_{IT} とすればつぎの式で与えられる。

$$\nu_{0^\circ, 90^\circ} = \nu_{ILT} \frac{1}{X + Y - XY} \dots\dots\dots(2.4.1)$$

ここで $X = t_I/t$, $Y = E_{IL}/E_{IT}$ とする。また $\nu_{90^\circ, 0^\circ}$ は、

$$\nu_{90^\circ, 0^\circ} = \nu_{ITL} \frac{1}{1 - X + XY} = \nu_{ITL} \frac{1}{X + \frac{1}{Y} - \frac{X}{Y}} \dots\dots\dots(2.4.2)$$

でもとめられる。

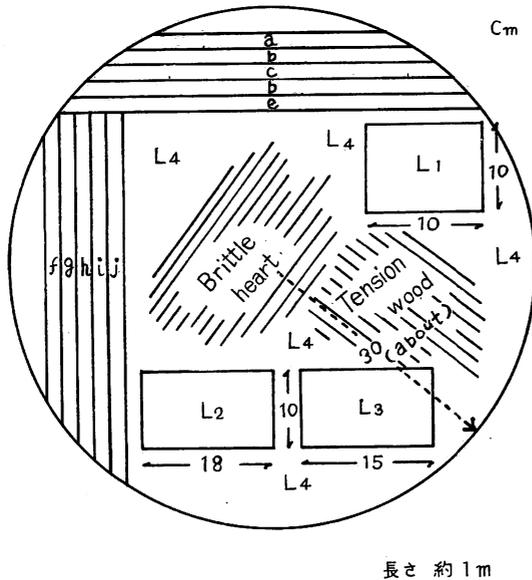
3. 試験材および試験合板

木材部では昭和40年度から外装用合板に関する研究を計画し、まず最初にラワン材による合板の製造およびその材質試験をおこなった。

ラワン材はフィリピンのリヤング地区産出のレッド ラワン (*Shorea negrosensis*) を使うことにして、その原木丸太を市場から購入し、木材部加工、乾燥および接着研究室の協力のもとに合板製造試験計画を作成し、それにもとづいて種々の合板を作った。強度試験用合板もその中の一部である。さらにこの原木の中から素材試験材をえらび、この試験材から木取った各強度試験片の材質値をもって、合板用単板の材質固有値に対応させることにした。また製造合板も Fig. 14 にしめすように **P合板** (単板の繊維方向を交互に直交させて接着したもの) と **Q合板** (単板の繊維方向を平行にして接着したもの) を作って、素材と合板の間を結ぶ強度差について検討することにした。合板の製造試験その他の各種材質試験等については、各担当者より別に報告がある予定なのでそれを参照してもらうことにして、ここでは省略する。

3.1. ラワン材 (素材試験用)

長さ4mのラワン原木から、30cm ずつの玉切丸太を数個とって、それを強度試験用合板の単板切削丸太とした。その際、中央部約100cmの玉切丸太 (径 ≈ 30 cm) もその中からあわせて木取って、これを



- L₁: 縦方向の各種強度試験片の木取材
(ただし欠点のないところを無作為に木取したもの)
- L₂: 縦方向の各種強度試験片の木取材
- L₃: 横および45°方向の各種強度試験片の木取材
- L₄: ポアソン比およびブロック剪断試験片の木取材
- a, b, ……j: パネルおよびプレート剪断試験片の木取材

Fig. 8 ラワン原木丸太より各種強度試験片の木取位置を示す木口断面図
A method used in cutting planks and blocks for the several strength tests from Lauan log, and system used in marking them for tests.

素材試験用とした。

そこで Fig. 8 に示すような木口断面で、まず板材として厚さ 2cm の a, b, c, d, e と f, g, h, i, j の 2 グループを鋸断し、さらに角材として同図寸法の L₁, L₂, L₃ を木取り、残ったものから中心部の Brittle heart やその他 Tension wood 等の欠点と思われるところや、辺材部を取り除き、L₄ を木取った。

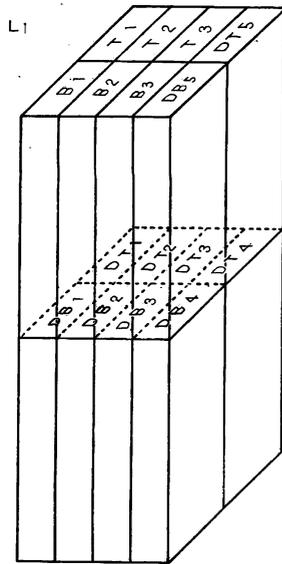
製材木取り後ただちにこの試験材を棧木積みし約 6 か月間天然乾燥(室内)を行なった。このようにして木取った板材の 1/2 と、Fig. 9, 11 にしめしたように角材をそれぞれ長軸方向に等分し、いずれも一方を引きつづき 3 か月間天然乾燥を継続し、他の一方は人工乾燥を行なった。

人工乾燥はできるだけ合板用単板の乾燥と同じ条件になるように乾燥研究室で行なった。

以下各試験片の木取り方法について述べるが、試験片の種類、記号ならびに数についてはまとめて Table 2 に示す。また試験片の大きさ、寸法については Table 6 に示す。

L₁ この試験材からは縦方向(繊維方向)のみの引張および曲げ試験片をとった。Fig. 9 に示すように中央で 2 等分し合計 16 本の小試片角材にわけ、そのうち 10 本を人工乾燥、6 本を天然乾燥し、どちらも乾燥終了後 Fig. 10 の示す寸法の試験片に仕上げた。さらに曲げ試験の終了後に両端から 5cm 長さの圧縮試験片をとった。

L₂ この試験材からは横方向(接線方向)と 45° 方向(繊維方向に対して)の引張、圧縮および曲げ試験片を Fig. 11 のように木取った。L₁ 材と同様中央で 2 分し、その一方を人工乾燥に、他の一方を天然乾燥し、ともに乾燥終了後 Fig. 12 のような寸法の各試験片に仕上げた。曲げ試験片は上部下部の 2 本が同じ位置でとれたので、下部のものには ' をつけて区別した。各試験片の木取りに際しては荷重をかける際の軸応力(内部応力)ができる限り接線方向、あるいは LT-45° 方向になるように特に注意を払った。



- B : 曲げ試験片
- T : 引張試験片
- D : 人工乾燥
- B : Bending-test specimen
- T : Tension-test specimen
- D : Air dried-test specimen

Fig. 9 L₁ ブロックから繊維方向のみの引張および曲げ試験片の木取法

Cutting method of test specimens from Lauan L₁ block for determining bending and tension strength parallel to the grain.

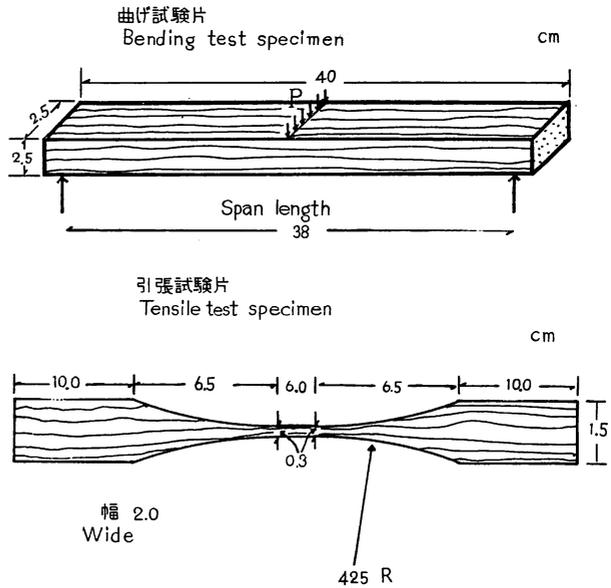


Fig. 10 ラワン材の繊維方向の曲げおよび引張試験片
Test specimens of bending and tension parallel to grain of the wood.

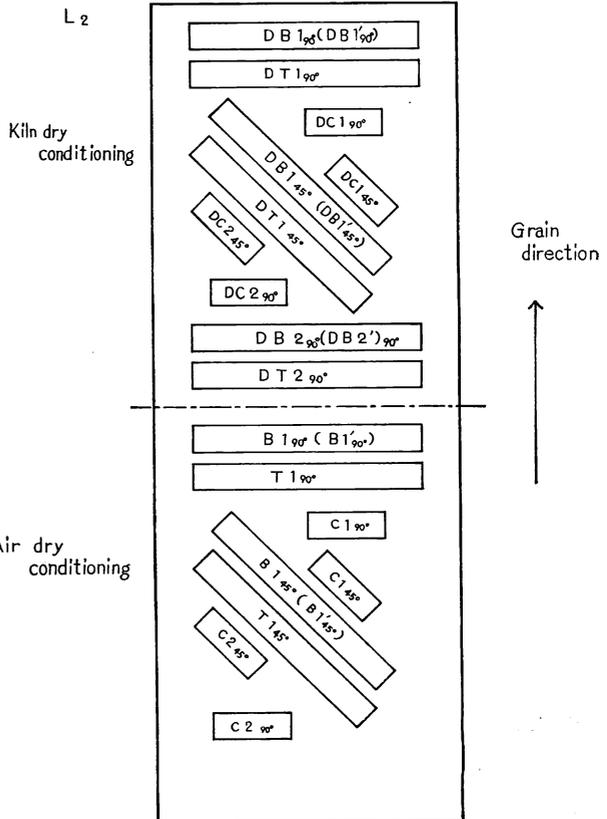
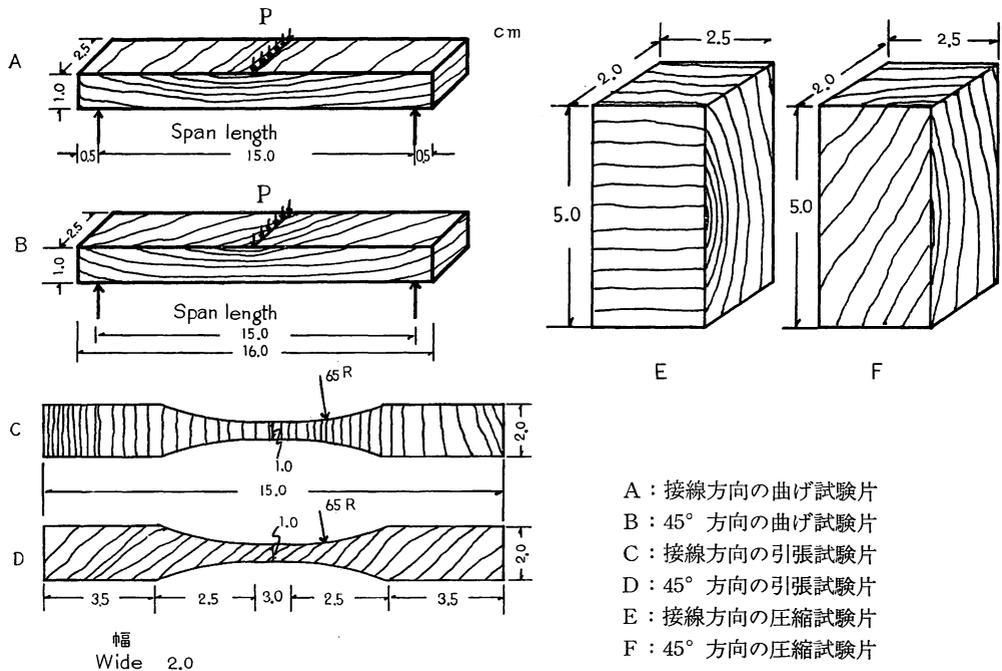


Fig. 11 L₂ ブロックから接線方向および45°方向の引張、圧縮、曲げ試験片の木取法

Cutting method of test specimens from Lauan L₂ block for determining bending, tensile and compressive strength perpendicular or 45° direction to the grain.



A : 接線方向の曲げ試験片
 B : 45° 方向の曲げ試験片
 C : 接線方向の引張試験片
 D : 45° 方向の引張試験片
 E : 接線方向の圧縮試験片
 F : 45° 方向の圧縮試験片

- A : Bending test specimen perpendicular to grain.
- B : Bending test specimen 45° direction to grain.
- C : Tensile test specimen perpendicular to grain.
- D : Tensile test specimen 45° direction to grain.
- E : Compressive test specimen perpendicular to grain.
- F : Compressive test specimen 45° direction to grain.

Fig. 12 ラワン材の接線方向ならびに繊維方向に対して 45° 方向の曲げ、引張および圧縮試験片
 Test specimens of bending, tension and compression of wood.

L3 この試験材からは圧縮荷重による、ポアソン比 (ν_{LT} および ν_{TL}) 測定用試験片を木取った。まず 5 × 5 cm 断面のものをもって、その中央で2分し、一方を天然乾燥、他の一方を人工乾燥し、ともに乾燥終了後に Fig. 12 E のような圧縮試験片 (同じ寸法) に仕上げた。

L4 前述したようにいちばん最後に残った試験材で、これから縦方向 (繊維方向) のみの引張り、曲げおよび圧縮の試験片を各 10 本ずつ木取って天然乾燥をおこない、終了後 Fig. 10 と同じ寸法に仕上げた。そして L1 試験材からとったものと区別するために、試験片 No. に ' をつけて区別した。

板 材 板材としての木取は Fig. 8 に示したように、まず a, b, c, d, e の 5 枚を板厚 2cm で製材挽きし、つぎに 90° 回転して f, g, h, i, j の 5 枚を同様木取った。これらの板材は一部辺材がはいっているが、幅はだいたい 30~45cm であった。これらの試験板材は木取後木口割れや反り等が生じないよう、とくに注意した。その中の b, c, g, i の 4 枚は人工乾燥をおこない、他のものはそのまま天然乾燥をつづけた。乾燥終了後、すべての板材を厚さ 1cm に鉋仕上げし、Fig. 13 に示したような pqrs の正方形、つまりプレート試験板 (LT) に木取った。このプレート試験板でプレート剪断剛性試験を終了後さらに p'q'r's' の同じ正方形のプレート試験板 (LT-45°) を木取って、プレート剪断剛性試験をおこなった。そして最後に十字型のパネル剪断試験片を木取った。

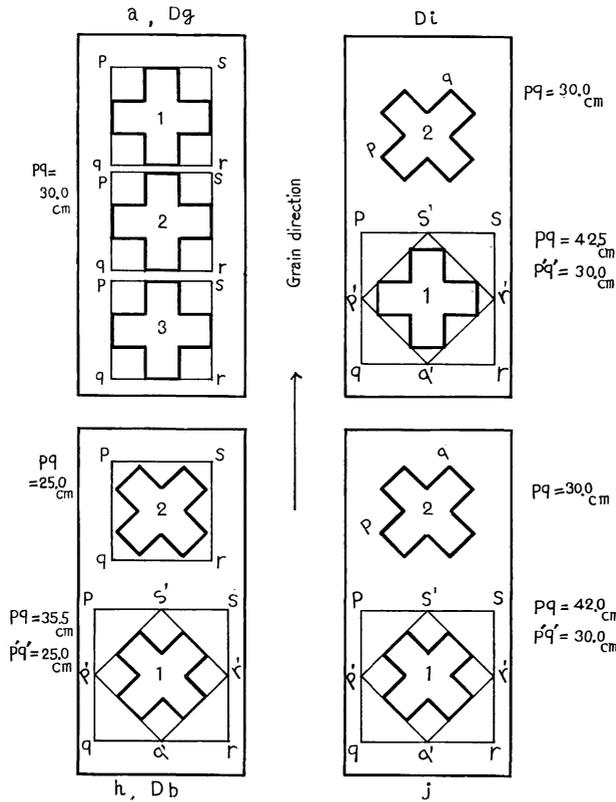


Fig. 13 ラワン板材からパネルおよびプレート剪断試験片 [(LT), (LT-45°)] 木取法
 Cutting method of test specimens from Lauan for determining plate and panel shear strength (LT or LT-45°) (Normal and Inverse).

挽板の枚数および大きさに制限があったので、特につぎの2点に注意して木取りした。

1. 最後に残る十字型パネル剪断試験片の中央部 $10 \times 10 \text{ cm}$ ができるだけ LT 面あるいは LT-45° 面になること。

2. 横方向 (T 方向, 接線方向) が非常に弱いので, ちょっとした曲げにでも割れがはりやすいのでできるだけ注意してはならないようにした。

このようにして木取った各試験片を Table 3 に示すように, 各試験別に配分した。なお試験板材 d, Dc は別に Fig. 13 に示さなかったが, 全く同じ方向で木取った。

3.2. ラワン合板

強度試験用合板の製造条件⁴⁾について概略を述べると,

1. 合板の大きさ: $30 \times 30 \text{ cm}$ (各プライのものとも)
2. 接着剤: フェノール樹脂 (日本ライヒホルド K.K. 製で TD-683-HV)
3. 単板含水率: Kett で約 8% 前後
4. 単板平均裏割れ率: 各単板 (1.0~4.0 mm 厚み) とも 30~45%
5. 単板の曲げ強さ: (T 方向での Free constant で)

$$E_b = 3.7 \sim 5.4 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{b.\max} = 54 \sim 72 \text{ kg/cm}^2$$

の程度であった。

Table 2. 試験片記号・番号
Sign and No. of test specimen of Lauan wood

Block No.	Method of test	Number of test specimen			Sign and No. of specimen
		L	LT-45°	T	
L ₁	C	3	—	—	C1L, C2L, C3L
	DC	5	—	—	DC1L, DC2L, DC3L...
	T	3	—	—	T1L, T2L, T3L
	DT	3	—	—	DT1L, DT2L, DT3L
	B	3	—	—	B1L, B2L, B3L
	DB	5	—	—	DB1L, DB2L...
	DBC*				DB1C, DB
L ₂	C	—	4	4	C1 _{45°} , C2 _{45°} ..., C1T, C2T...
	DC	—	4	4	DC1 _{45°} , DC2 _{45°} ..., DC1T, DC2T...
	T	—	2	2	T1 _{45°} , T2 _{45°} , T1T, T2T
	DT	—	2	4	DT1 _{45°} , DT2 _{45°} , DT1T, DT2T...
	B	—	4	4	B1 _{45°} , B1' _{45°} , B2 _{45°} , B2' _{45°} , B1T, B1'T, B2T, B2'T
	DB	—	4	8	DB1 _{45°} , DB1' _{45°} , DB2 _{45°} , DB2' _{45°} , DB1T, DB1'T, DB2T, DB2'T
L ₃	C.P.R	5	—	5	C.P.R1L, C.P.R2L..., C.P.R1T, C.P.R2T...
	D.C.P.R	5	—	5	D.C.P.R1, D.C.P.R2L..., D.C.P.R1T, D.C.P.R2T...
L ₄	C'	10	—	—	C'1L, C'2L, ...
	T'	10	—	—	T'1L, T'2L...
	B'	10	—	—	B'1L, B'2L...

C(C') : Compression

T(T') : Tension

B(B') : Bending

D : Dried

C.P.R : Measurement of POISSON'S ratio by compressive test.

*DBC : Compressive test specimen cutted from bending test specimens.

L : Longitudinal direction.

T : Tangential direction.

LT-45° : 45° direction to the grain.

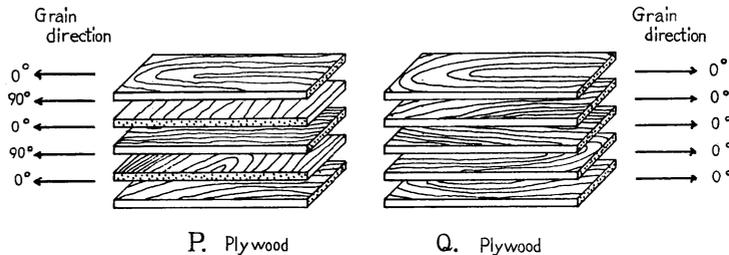


Fig. 14 合板の種類
Kinds of plywood.

Table 3. ラワン材剪断試験片の種類別
Kind of shear test for specimen of Lauan wood

Test specimen	Plate shear test				Panel shear test		
	No.	(LT)	(45°)		(LT)	(45°)	
			Nor.	Inv.		Nor.	Inv.
a	1	○	—	—	×	—	—
	2	○	—	—	×	—	—
	3	○	—	—	×	—	—
b	1	—	○	○	—	—	—
h	1	○	○	○	—	×	—
	2	○	—	—	—	×	—
i	1	○	○	○	—	—	×
	2	—	—	—	—	—	×
Db	1	○	○	○	—	×	—
	2	○	—	—	—	—	×
Dc	1	○	○	○	—	—	×
Dg	1	○	—	—	×	—	—
	2	○	—	—	×	—	—
	3	○	—	—	×	—	—
Di	1	○	○	○	×	—	—
	2	—	—	—	—	×	—

○ : Stiffness test of torsion (non destruction)

× : Destructive test of shear

Nor. : Normal shear

Inv. : Inverse shear

強度試験用合板の種類およびその単板構成については Table 4 に示した。P合板もQ合板も、ともに4種類ずつで、Table 4 の *2 の上段数値が製造計画の単板厚みであったが、実際に作られた合板の単板厚みは同じ表の *3 の下段数値となった。どの種類の合板もP合板を25枚、Q合板を8枚作り、それぞれ任意に番号を1から25(Q合板では8)まで付した。こうして番号を決めた合板を、どの強度試験にもちいるかをきめた一覧表を Table 5 の1, 2, 3, 4に示した。

つぎに各強度試験に対する合板の試験片木取方法であるが、内容は素材試験片の場合とまったく同じである。まず各強度試験別の試験片木取法を11P, 11Q, 12P, 12Qの各合板では Fig. 15 の1のように、15Pと15Qの合板では Fig. 15 の2のように、そして18Pと18Qの合板では Fig. 15 の3のようにそれぞれ木取った。圧縮試験片として11mmと12mmの合板では厚みが薄いために、試験片番号のC₁とC₂をさらに尿素樹脂の常温硬化によって再接着し、これを圧縮試験片にした。残りのC₃とC₄を同じように再接着し、これをポアソン比測定用の圧縮試験片とした。15mmと18mm合板では圧縮試験片にC₁とC₃をもちい、ポアソン比のそれにはC₂をもちいた。

引張試験は11Q, 12Qおよび15QのQ合板のみからとって、P合板からはどれからもとらなかった。

Fig. 15.1 11P, 11Q, 12P, 12Q
合板から各強度試験片の
木取図

Methods of cutting specimens
from a plywood (11P, 11Q,
12P, 12Q) for determining
YOUNG's moduli, strength and
POISSON's ratio (Parallel or
perpendicular to the grain of
face veneer).

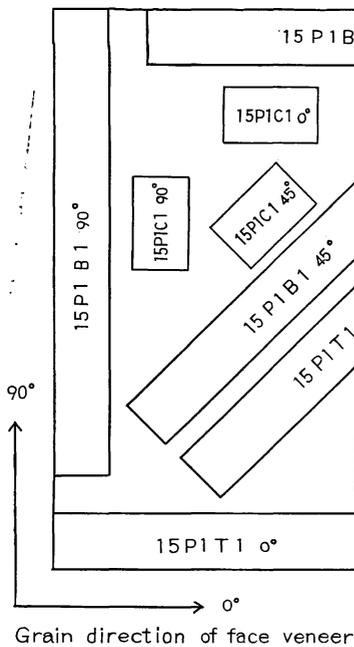
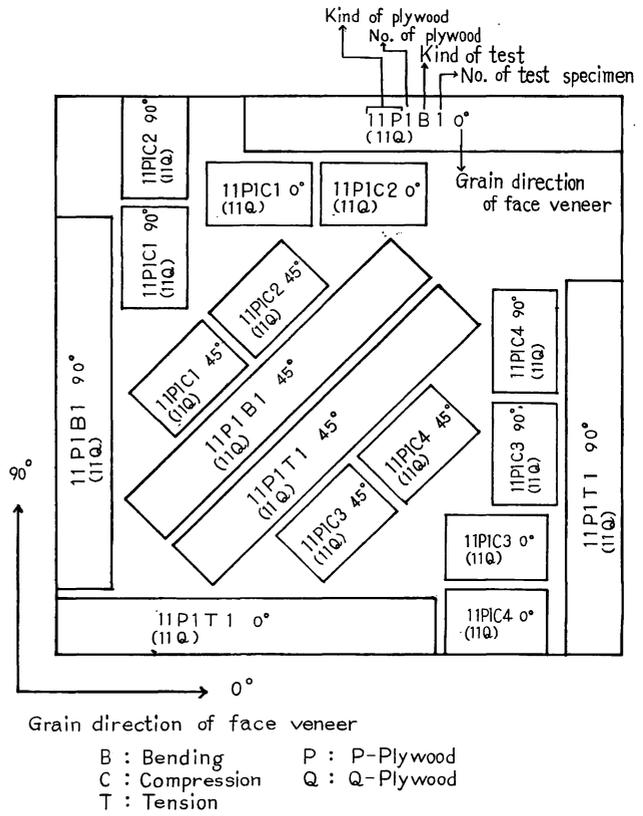


Fig. 15.2 15P, 15Q合板から各強度
試験片の木取図

Methods of cutting specimens
from a plywood (15P, 15Q) for
determining YOUNG's moduli,
strength and POISSON's ratio
(Parallel or perpendicular to the
grain of face veneer).

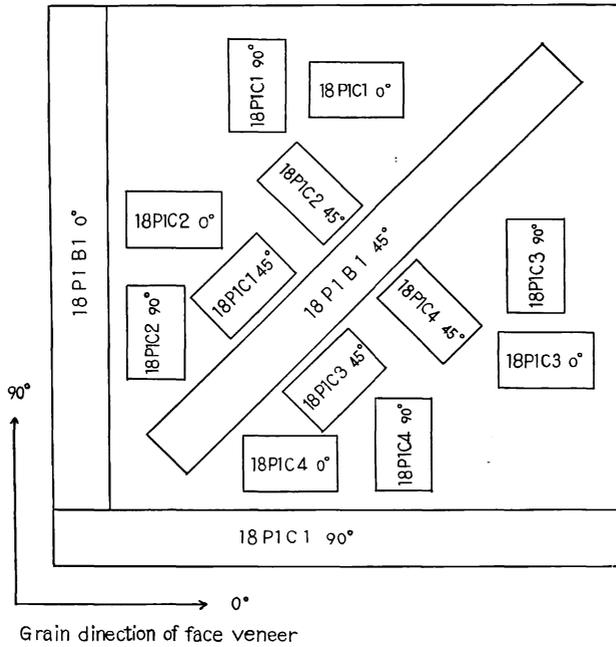


Fig. 15.3 18P, 18Q合板から各強度試験片の木取図

Methods of cutting specimens from a plywood (18P, 18Q), for determining YOUNG's moduli, strength and POISSON's ratio (Parallel or perpendicular to the grain of face veneer).

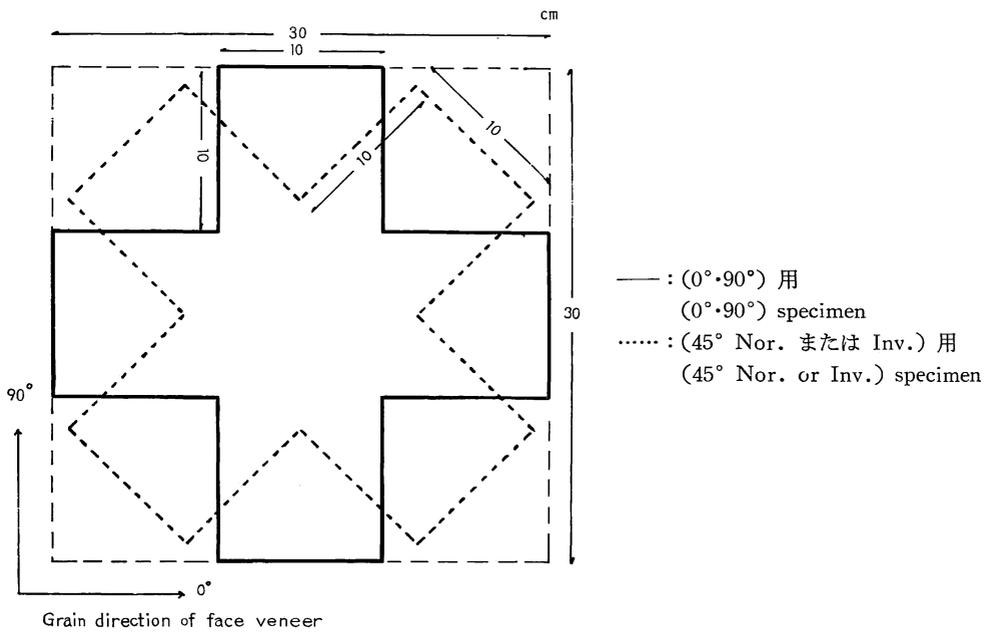


Fig. 16 P合板からパネル剪断試験片の木取図

Methods of cutting specimens from a plywood for determining moduli of rigidity and strength of panel shear parallel or 45° direction to the grain of face veneer.

Table 4. 合板 (PおよびQ) の単板構成と寸法
Veneer construction and dimension of P- and Q-plywood.

P-plywood										
Kind of plywood	Number of plies	Construction (Veneer thickness in mm)							Thickness of plywood	
		1st ply	2nd ply	3rd ply	4th ply	5th ply	6th ply	7th ply		
		*1 0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°		
11P	5	*2	1	3	3	3	1	—	—	11
		*3	0.95	2.85	2.80	2.80	0.95	—	—	10.35
			2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	—	—	12.5
12P	5		2.45	2.40	2.40	2.40	2.40	—	—	12.05
			2.5	4.0	2.5	4.0	2.5	—	—	15.5
15P	5		2.45	3.85	2.40	3.75	2.40	—	—	14.85
			2.5	3.0	2.5	3.0	2.5	3.0	2.5	19
18P	7		2.45	2.80	2.40	2.80	2.35	2.80	2.40	18.00
Q-plywood										
Kind of plywood	Number of plies	Construction (Veneer thickness in mm)							Thickness of plywood	
		1st ply	2nd ply	3rd ply	4th ply	5th ply	6th ply	7th ply		
		*1 0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°		
11Q	5	*2	1	3	3	3	1	—	—	11
		*3	0.95	2.80	2.75	2.80	1.00	—	—	11.30
			2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	—	—	12.5
12Q	5		2.45	2.40	2.35	2.40	2.40	—	—	12.00
			2.5	4.0	2.5	4.0	2.5	—	—	15.5
15Q	5		2.35	3.70	2.40	3.70	2.30	—	—	14.45
			2.5	3.0	2.5	3.0	2.5	3.0	2.5	19
18Q	7		2.40	2.75	2.40	2.85	2.45	2.85	2.40	18.10

*1 表板単板の繊維方向に対する各単板の繊維方向の角度

*2 合板製造計画による単板の厚み

*3 仕上り合板の単板厚み

*1 Grain angle of veneer to grain direction of face veneer.

*2 Veneer thickness of design.

*3 Finished veneer thickness.

Table 5-1. 11Pおよび11Q合板の番号, 厚さ, 比重および強度試験の種類
 No., thickness, specific-gravity and kind of test for 11P and 11Q plywood.

Test specimen				Kinds of test					
Kind of plywood	No.	Thickness cm	Specific gravity	Bending	Compression	Tension	Shear		POISSON'S ratio
							Panel	Plate	
11P	1	1.040	0.558	○	○			○	○
	2	1.045	0.523	○	○			○	
	3	1.035	0.530	○	○			○	○
	4	1.040	0.538	○	○			○	
	5	1.035	0.554	○	○			○	○
	6	1.040	0.554	○	○			○	
	7	1.040	0.537				○ (0°.90°)	○	
	8	1.035	0.543				○ (0°.90°)	○	
	9	1.035	0.524				○ (0°.90°)	○	
	10	1.040	0.541				○(45° Nor.)	○	
	11	1.035	0.511						
	12	1.035	0.550				○(45° Inv.)	○	
	13	1.040	0.540				○(45° Nor.)	○	
	14	1.035	0.527				○(45° Inv.)	○	
	15	1.035	0.529						
	16	1.035	0.560						
	17	1.045	0.543						
	18	1.045	0.539						
	19	1.030	0.547						
	20	1.035	0.544						
	21	1.030	0.534						
	22	1.045	0.540						
	23	1.035	0.545						
	24	1.040	0.532						
	25	1.050	0.564						
M	1.038	0.540							
11Q	1	1.045	0.514	○	○	○		○	○
	2	1.040	0.525	○	○	○		○	○
	3	1.025	0.527	○	○	○		○	○
	4	1.025	0.531				○ (0°.90°)	○	
	5	1.040	0.566					○	
	6	0.990	0.532				○(45° Inv.)		
	7	1.005	0.529				○(45° Nor.)		
	8	1.000	0.540				○(45° Inv.)		
	M	1.021	0.533						

○ : Tested

Table 5-2. 12Pおよび12Q合板の番号, 厚さ, 比重および強度試験の種類
No., thickness, specific-gravity and kind of test for 12P and 12Q plywood.

Test specimen				Kinds of test					
Kind of plywood	No.	Thickness cm	Specific gravity	Bending	Compression	Tension	Shear		POISSON'S ratio
							Panel	Plate	
12P	1	1.200	0.515	○	○			○	○
	2	1.195	0.522						
	3	1.200	0.532	○	○			○	
	4	1.200	0.510	○	○			○	
	5	1.200	0.513	○	○			○	○
	6	1.210	0.524	○	○			○	
	7	1.200	0.551						
	8	1.200	0.513				○ (0°.90°)	○	
	9	1.210	0.526				○ (0°.90°)	○	
	10	1.190	0.542				○ (0°.90°)	○	
	11	1.210	0.529						
	12	1.200	0.506						
	13	1.195	0.518						
	14	1.200	0.541	○	○			○	○
	15	1.195	0.534						
	16	1.200	0.533						
	17	1.200	0.529				○(45°Nor.)	○	
	18	1.215	0.507				○(45°Nor.)	○	
	19	1.200	0.520						
	20	1.210	0.534						
	21	1.200	0.525						
	22	1.205	0.520				○(45° Inv.)	○	
	23	1.200	0.541						
	24	1.205	0.530				○(45° Inv.)	○	
	25	1.200	0.537						
M	1.201	0.522							
12Q	1	1.195	0.510	○	○	○		○	○
	2	1.195	0.526	○	○	○		○	○
	3	1.195	0.535	○	○	○		○	○
	4	1.195	0.508				○ (0°.90°)	○	
	5	1.200	0.505				○ (0°.90°)	○	
	6	1.180	0.515				○(45°Nor.)		
	7	1.190	0.528				○(45° Inv.)		
	8	1.180	0.509				○(45° Inv.)		
	M	1.191	0.517						

○ : Tested

Table 5-3. 15Pおよび15Q合板の番号, 厚さ, 比重および強度試験の種類
No., thickness, specific-gravity and kind of test for 15P and 15Q plywood.

Kind of plywood	Test specimen			Kinds of test					
	No.	Thickness cm	Specific gravity	Bending	Compression	Tension	Shear		POISSON'S ratio
							Panel	Plate	
15P	1	1.485	0.490						
	2	1.475	0.493	○	○				○
	3	1.475	0.500						
	4	1.480	0.483	○	○				
	5	1.475	0.482						
	6	1.485	0.502						
	7	1.475	0.480	○	○				
	8	1.460	0.508	○	○				○
	9	1.465	0.516						
	10	1.485	0.498						
	11	1.480	0.505	○	○			○(45° Nor.)	
	12	1.480	0.471	○	○				○
	13	1.475	0.499					○(45° Nor.)	
	14	1.480	0.498						
	15	1.475	0.499					○ (0°.90°)	
	16	1.470	0.486						
	17	1.485	0.500					○ (0°.90°)	
	18	1.460	0.493					○ (0°.90°)	
	19	1.470	0.505						
	20	1.480	0.484					○(45° Inv.)	
	21	1.475	0.498						
	22	1.470	0.492						
	23	1.475	0.514					○(45° Inv.)	
	24	1.480	0.494						
	25	1.470	0.502						
M	1.475	0.496							
15Q	1	1.445	0.521	○	○	○			○
	2	1.455	0.538	○	○	○			○
	3	1.435	0.528	○	○	○			○
	4	1.475	0.512					○ (0°.90°)	
	5	1.445	0.518					○ (0°.90°)	
	6	1.440	0.511					○(45° Nor.)	
	7	1.435	0.505					○(45° Inv.)	
	8	1.450	0.509					○(45° Inv.)	
	M	1.448	0.518						

○ : Tested

Table 5-4. 18Pおよび18Q合板の番号, 厚さ, 比重および強度試験の種類
No., thickness, specific-gravity and kind of test for 18P and 18Q plywood.

Test specimen				Kinds of test					
Kind of plywood	No.	Thickness cm	Specific gravity	Bending	Compression	Tension	Shear		POISSON'S ratio
							Panel	Plate	
18P	1	1.805	0.524	○	○				○
	2	1.805	0.532	○	○				
	3	1.845	0.534						
	4	1.800	0.535	○	○				○
	5	1.815	0.530	○	○				
	6	1.800	0.548	○	○				
	7	1.815	0.545	○	○				○
	8	1.805	0.522				○ (0°.90°)		
	9	1.815	0.525				○ (0°.90°)		
	10	1.810	0.524				○ (0°.90°)		
	11	1.815	0.531						
	12	1.800	0.554				○(45° Inv.)		
	13	1.805	0.524						
	14	1.825	0.539						
	15	1.820	0.548						
	16	1.815	0.541				○(45° Inv.)		
	17	1.795	0.549						
	18	1.815	0.534						
	19	1.810	0.530				○(45° Nor.)		
	20	1.795	0.536				○(45° Nor.)		
	21	1.820	0.542						
	22	1.805	0.548						
	23	1.830	0.529						
	24	1.805	0.540						
	25	1.820	0.529						
M	1.811	0.536							
18Q	1	1.790	0.537	○	○				○
	2	1.805	0.532	○	○				○
	3	1.805	0.523	○	○				○
	4	1.805	0.522				○ (0°.90°)		
	5	1.810	0.545				○ (0°.90°)		
	6	1.760	0.533				○(45° Inv.)		
	7	1.790	0.541				○(45° Nor.)		
	8	1.800	0.525						
	M	1.796	0.532						

○ : Tested

Table 6. 強度試験別の各試験片の寸法および歪測定法
Dimension of test-specimen and methods of strain measurement
on the several test of strength.

I. 圧縮試験 (鏡式歪測定) Compression test (Mirror type)

Test specimen		Dimension			Gage length cm
Kind of specimen	Grain angle to load direction of compression	Height (load direction) cm	Width cm	Thickness cm	
C, BC	<i>L</i>	5.0	2.5	2.5	2.5
	<i>LT-45°</i>	5.0	2.5	2.0	2.5
	<i>T</i>	5.0	2.5	2.0	2.5
DC, DBC	<i>L</i>	5.0	2.5	2.5	2.5
	<i>LT-45°</i>	5.0	2.5	2.0	2.5
	<i>T</i>	5.0	2.5	2.0	2.5
<i>C'</i>	<i>L</i>	5.0	2.5	2.5	2.5
11Q, 11P	0°	5.0	3.0	2.1*	2.5
	45°	5.0	3.0	2.1*	2.5
	90°	5.0	3.0	2.1*	2.5
12Q, 12P	0°	5.0	3.0	2.4*	2.5
	45°	5.0	3.0	2.4*	2.5
	90°	5.0	3.0	2.4*	2.5
15Q, 15P	0°	5.0	3.0	1.5	2.5
	45°	5.0	3.0	1.5	2.5
	90°	5.0	3.0	1.5	2.5
18Q, 18P	0°	5.0	3.0	1.8	2.5
	45°	5.0	3.0	1.8	2.5
	90°	5.0	3.0	1.8	2.5

* Glued together 2 same specimens.

II. 引張試験 (鏡式歪測定) Tension test (Mirror type)

Test specimen		Sectional area of central portion		Length cm	Gage length cm
Kind of specimen	Grain angle to load direction of tension	Width cm	Thickness cm		
T, DT	<i>L</i>	2.0	0.3	39.0	2.0
	<i>LT-45°</i>	2.0	1.0	15.0	2.0
	<i>T</i>	2.0	1.0	15.0	2.0
<i>T'</i>	<i>L</i>	2.0	0.3	39.0	2.0
11Q	0°	1.0	0.4	20.0	2.0
	45°	1.0	1.0	15.0	2.0
	90°	1.0	1.0	15.0	2.0
12Q	0°	1.0	0.4	20.0	2.0
	45°	1.0	1.0	15.0	2.0
	90°	1.0	1.0	15.0	2.0

Ⅲ. 曲げ試験 (中央集中荷重) Bending test (Center load)

Test specimen		Dimension			Span length	$\frac{\text{Span length}}{\text{Height}}$
Kind of specimen	Grain angle to span direction of bending	Length cm	Width cm	Height* ¹ cm		
B, DB	<i>L</i>	40.0	2.5	2.5	38.0	15
	<i>LT-45°</i>	16.0	2.5	1.0	15.0	15
	<i>T</i>	16.0	2.5	1.0	15.0	15
B'	<i>L</i>	40.0	2.5	2.5	38.0	15
11Q, 11P	0°	20.0	3.0	1.1	16.0	15
	45°	20.0	3.0	1.1	16.0	15
	90°	20.0	3.0	1.1	16.0	15
12Q, 12P	0°	20.0	3.0	1.2	18.0	15
	45°	20.0	3.0	1.2	18.0	15
	90°	20.0	3.0	1.2	18.0	15
15Q, 15P	0°	25.0	3.0	1.5	23.0	15
	45°	25.0	3.0	1.5	23.0	15
	90°	25.0	3.0	1.5	23.0	15
18Q, 18P	0°	30.0	3.0	1.8	28.0	15
	45°	30.0	3.0	1.8	28.0	15
	90°	26.7	3.0	1.8	25.0	15

*¹ In the case of P or Q plywood, height is thickness of plywood severally.

Ⅳ. 圧縮試験によるポアソン比測定 (ストレインゲージ式歪測定)

Measurement of POISSON's ratio by compression (Strain gage type)

Test specimen		Dimension		
Kind of specimen	Grain angle to load direction of compression	Height (load direction) cm	Width cm	Thickness cm
CP.R	<i>L</i>	5.0	3.0	1.8
DCP.R	<i>T</i>	5.0	3.0	1.8
11Q	0°	5.0	3.0	2.1*
11P	90°	5.0	3.0	2.1*
12Q	0°	5.0	3.0	2.4*
12P	90°	5.0	3.0	2.4*
15Q	0°	5.0	3.0	1.5
15P	90°	5.0	3.0	1.5
18Q	0°	5.0	3.0	1.8
18P	90°	5.0	3.0	1.8

* Glued together 2 same specimens.

なお合板の試験規格がないので、すべて素材の JIS 試験規格に準じてとった。それを Table 6 にまとめて示す。引張試験の 0° 方向のものは長さ 20cm で、荷重面積は $4\text{mm} \times$ 合板厚さとした。

プレート剪断試験片は厚みの関係から 11mm と 12mm の合板にのみおこない、すべて $30 \times 30\text{cm}$ に仕上げておこなった。

パネル剪断試験片は、このプレート剪断剛性試験の終了後に Fig. 16 に示す十字型試験片に木取った。実線は ($0^\circ \cdot 90^\circ$) 用で、点線は (45°Inv.) あるいは (45°Nor.) 用のものである。

こうして十字型に仕上げた後さらに補強用当板を、十字凸出部の両面に接着した。この当板は ($0^\circ \cdot 90^\circ$) 用のものには薄いものでもよいが、(45°) 用のものにはかなり厚いものを接着した。大きさは凸出部と同じ $10 \times 10\text{cm}$ のもので、レゾルシノール樹脂の常温硬化で接着した。その後 3 個ずつのボルト穴をあけ、パネル剪断試験片に仕上げた。Photo. 6 の 1 にその 1 部を示す。

4. 試験方法およびその結果

今回おこなった試験の種類は圧縮、引張、曲げの各試験と圧縮荷重によるポアソン比測定試験、それにプレート剪断剛性試験とパネル剪断試験の計 6 種である。

試験内容はすべて JIS ならびに ASTM の試験規格にもとづいて、一部は多少異なるところもあるがいずれもその規格に準じたとみなせる範囲内でおこなった。そしてすべての試験を木材部強度研究室所属の恒温恒湿室内 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, $75 \pm 5\%$) でおこなった。使用試験機はオルゼン型の 1 トンと 5 トン容量の材料試験機およびアムスラー型 10 トン容量の材料試験機を使い、歪 (変形量) の測定には精度 10^{-2}mm のダイヤルゲージおよび精度 10^{-6} の電気的ストレインゲージと 10^{-3}mm の鏡式歪計をもちいた。ストレインゲージによる測定の計器類はすべて新興通信 K. K. 製のものを使用した。Photo. 1.1 にオルゼン型 5 トン容量の材料試験機および DS6-R 型動歪測定器の装置を示す。以下各試験別について述べる。

i. 圧縮試験

圧縮試験は Photo. 1.2 にその方法を示すが A は ASTM 型圧縮装置で、歪測定は鏡式を使った。試験片がラワン材のものでは L , T および $LT-45^\circ$ 方向のものヤング係数と L 方向の圧縮強度をもとめた。ラワン合板では P 合板、Q 合板とも 0° , 90° および 45° 方向のヤング係数と圧縮強度をもとめた。もとめた測定結果を Table 7 にラワン材、Table 8 に Q 合板、そして Table 9 に P 合板をそれぞれまとめて示した。Photo. 1.3 に圧縮による破壊の状況を示す (ラワン材および Q 合板の L 方向)。

ii. 引張試験

引張試験は Photo. 2.1 および 2.2 にその方法を示すが、前者は L 方向 (縦引張) で後者は T および $LT-45^\circ$ 方向のものである。ラワン材では L , T および $LT-45^\circ$ 方向のヤング係数と引張強度をもとめ、ラワン合板では Q 合板の 0° , 90° および 45° 方向のヤング係数と引張強度をもとめた。歪測定は鏡式を使った。

測定結果はラワン材は Table 7 に、Q 合板は Table 8 にそれぞれまとめて示した。Photo. 2.3 にラワン材と Q 合板の各方向別の引張破壊状態を示す。

iii. 曲げ試験

曲げ試験は Photo. 3.1 にその方向を示すが、全部中央集中荷重によっておこない、中央の撓みを精度 10^{-2} のダイヤルゲージによって測定した。また Span-ratio (スパン長さ/厚み) は全部 15 倍にして、ス

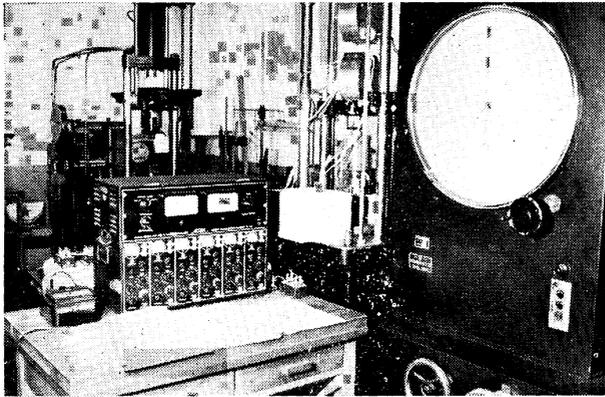


Photo. 1.1 5トン容量オルゼン型材料試験機および DS6-R 型動歪測定用電気歪計
Apparatus of Orzen type Test-machine of 5 ton capacity and DS6-R type motive strain meter.

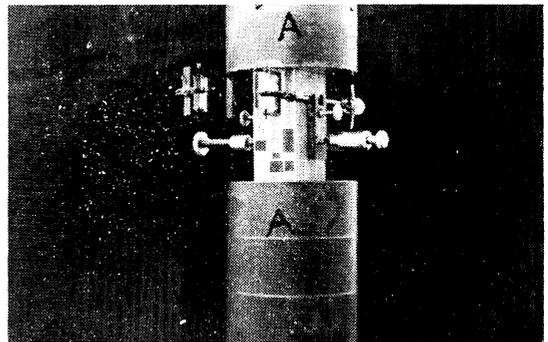
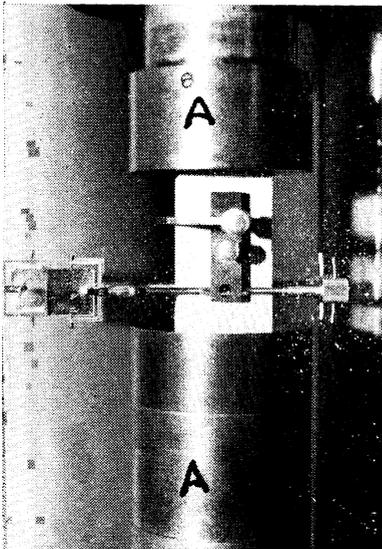


Photo. 1.2 ASTM 型圧縮装置による圧縮試験方法および鏡式歪測定法
ASTM type apparatus for compressive test and mirror type strain meter.

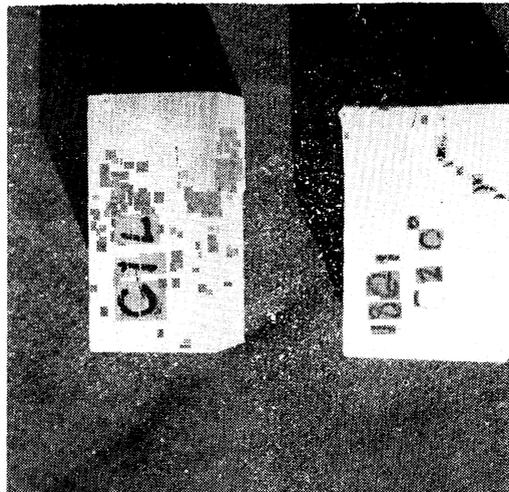


Photo. 1.3 ラワンおよびQ合板の縦圧縮試験による破壊
Specimen of failure by compressive test of Lauan wood and Q-plywood.

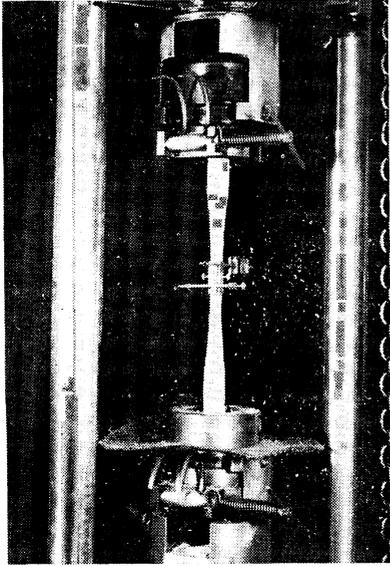


Photo. 2.1 縦引張試験方法および鏡式歪測定法

Apparatus for tension test of longitudinal direction and mirror type strain meter.

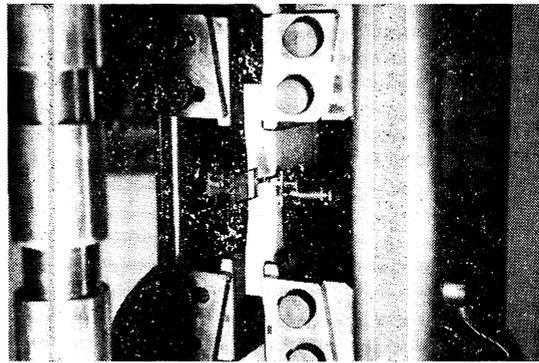
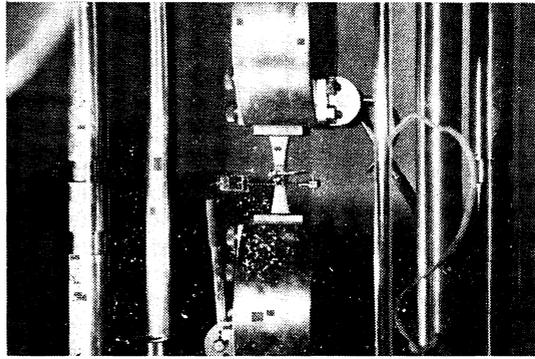
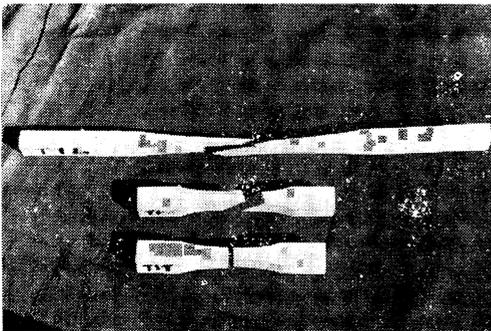
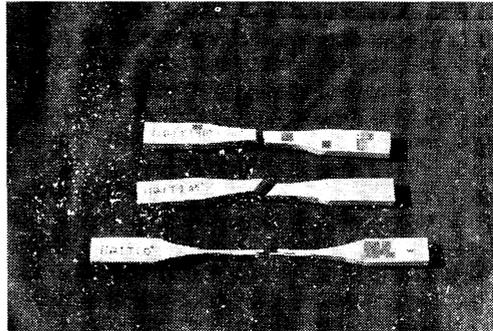


Photo. 2.2 横 (T) および $LT-45^\circ$ 方向の引張試験および鏡式歪測定法

Apparatus for tension test of tangential and $LT-45^\circ$ direction to grain and mirror type strain meter.



A



B

Photo. 2.3 ラワン材 (A) と Q 合板 (B) の引張試験による破壊状況
Failure by tension test of Lauan wood (A) and Q-plywood (B).

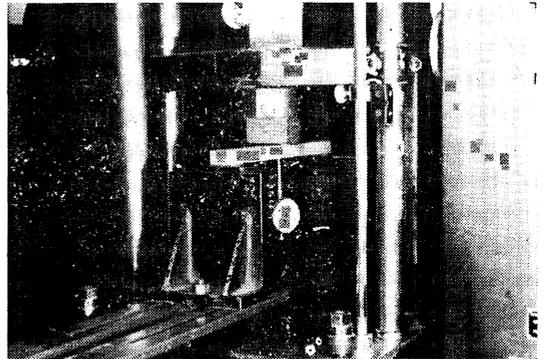
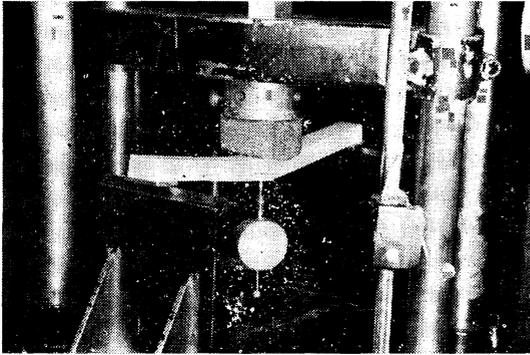


Photo. 3.1 中央集中荷重による曲げ試験
Bending test of small beam under center loading.

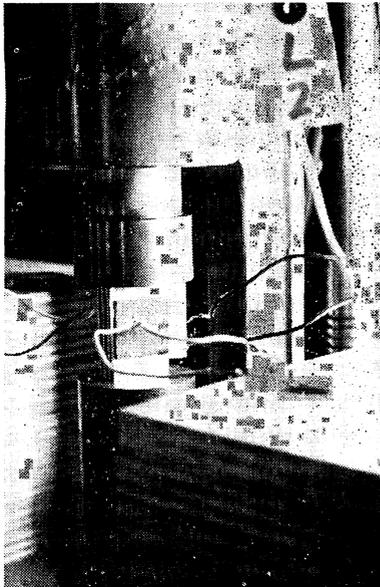


Photo. 4.1 ストレーンゲージ法によって測定するポアソン比
Method of strain gage type used to determine POISSON'S ratio.

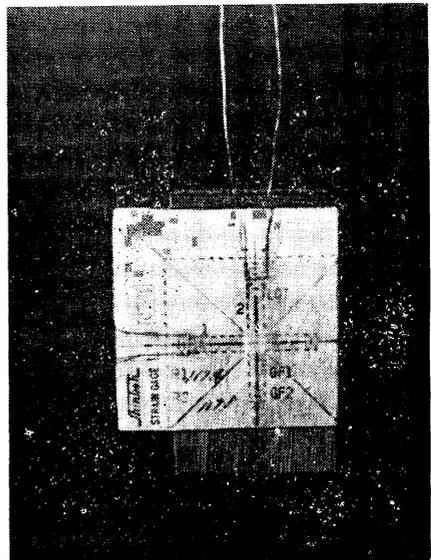


Photo. 4.2 ポアソン比測定用試験片
Test specimen for strain gage method.

パン長さに若干の余長を加えて試験片の長さとした。ラワン材ではスパン方向に対して L , T および $LT-45^\circ$ 方向の曲げ剛性試験によるヤング係数と破壊試験による曲げ強度をもとめ、ラワン合板では P 合板、Q 合板とも同じく 0° , 90° および 45° 方向のヤング係数と曲げ強度をもとめた。ただラワン材と Q 合板の T (90°), $LT-45^\circ$ (45°) 方向の曲げは非常に弱いので、曲げ剛性試験は 200g の錘りを使って、これを 5~10個のせて測定する、いわゆる死荷重試験によっておこなった。測定結果をラワン材では Table 7, Q 合板では Table 8, P 合板では Table 9 にそれぞれ示す。

iv. ポアソン比測定試験

この試験についての詳しい報告⁷⁾があるのでここではその概略を示すことにする。Photo. 4.1 ならびに 4.2 にその方法を示したが、圧縮荷重によって、試験片に貼られた十字型ストレインゲージの伸びと縮みの比をもとめることである。ラワン材では L 方向に荷重をかけてもとめる ν_{LT} と T 方向に荷重をかけてもとめる ν_{TL} を、また合板では P 合板、Q 合板ともに表板単板の繊維方向を基準にして、 0° 方向に荷重をかけての $\nu_{0^\circ, 90^\circ}$ と 90° 方向に荷重をかけての $\nu_{90^\circ, 0^\circ}$ をそれぞれもとめ、その結果をラワン材では Table 7 に、Q 合板では Table 8 に、そして P 合板では Table 9 にそれぞれ示した。またすべての測定試験片はそのまま破壊するまで荷重をかけ、この試験片からの圧縮荷重によるヤング係数と圧縮強度をもとめ、それらの結果を i 項の圧縮試験にてもとめたものとならべて、それぞれ Table 7, 8, 9 に C.P.R. の記号によって示した。

v. プレート剪断剛性試験

プレート剪断試験についての方法を Photo. 5.1 に示す。これは Photo. 5.2 のような正方形板に 4 点足を持つダイヤルゲージをのせ、これを Photo. 5.3 の装置に四隅を取り付けたものである。そして 1 対の対角線の両端で圧縮荷重をかけ、残りの対角線の両端でこれを受けるもので、いわゆる平板振り剪断ともいわれている。つまり Photo. 5.2 の正方形板で対角線 $2'4'$ に圧縮荷重をかけ、対角線 $1'3'$ でこれを受けるならば、0 点を原点として x , y 軸それぞれを中心軸として扱られるようになり、反対に x' , y' 軸からみれば曲げられるようになる。つまり x , y 軸には M_{xy} の振りモーメントが与えられ x' , y' 軸には $M_{x'}$, $-M_{y'}$ の曲げモーメント (±符号は任意) が与えられ、そして両者が相等しい状態の試験である。

今回もちいた試験板は辺が 30cm 前後のものであるため、厚みが 1cm 前後のものに限られることになり、したがって合板では 15mm と 18mm のものはできなかった。また (45°) 方向の試験合板も木取りができず試験しなかった。撓み測定には精度 10^{-2} mm のダイヤルゲージをもちい、Photo. 5.2 の 4 点でそれぞれ相対的撓み量差をこの装置で読みとった。この際 $r_1r_2=r_3r_4=15$ cm にすべての試験板に統一しておこなった。

試験板の方向についてはラワン材では、辺と平行な L 方向をもつものを (LT), 45° 方向になったものを ($LT-45^\circ$) ときめた。また合板についても表板単板の繊維方向が辺と平行なら ($0^\circ, 90^\circ$), 45° ならば (45°) ときめた。ただし 45° の場合、両対角線上においてヤング係数の大きい方の対角線の両端に負荷するような場合を順剪断 (Nor.) とし、その逆のヤング係数の小さい方の対角線の両端に圧縮荷重をかけるような場合を逆剪断 (Inv.) とする。したがって、試験板の対角線のヤング係数が異なるような異方性板には必ず、順と逆の剪断が考えられる。この順と逆を表記する方法として (45° , Nor.) と (45° , Inv.) をもちいる。

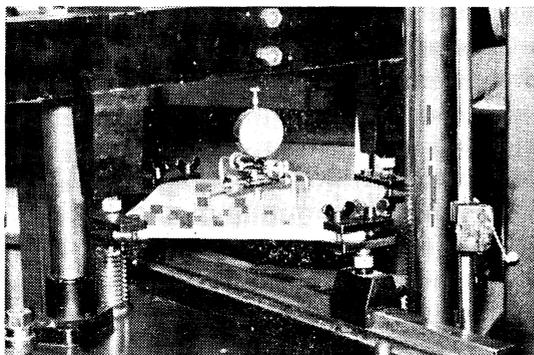


Photo. 5.1 プレート剪断試験装置および撓み測定法
Loading method and device for measuring deflection on the plate shear test.

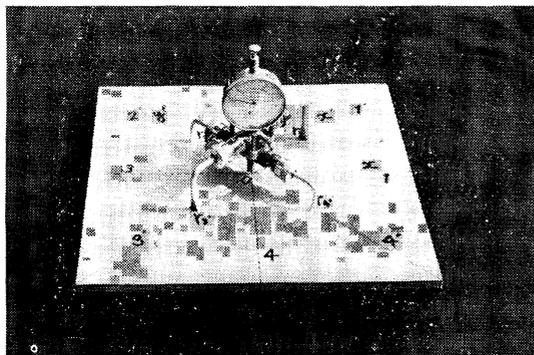


Photo. 5.2 プレート剪断試験における相対撓み量を測定する装置と正方形試験片
Square test specimen and apparatus of dial gage method used to measuring deflection on the plate shear test.

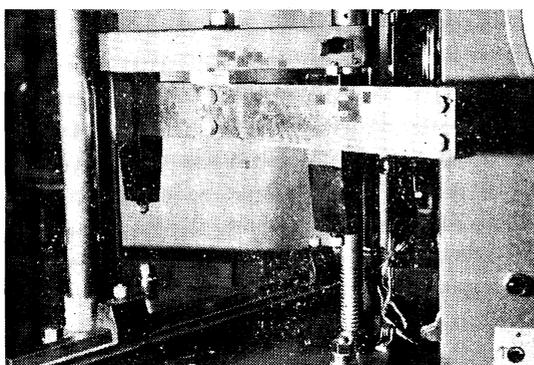


Photo. 5.3 プレート剪断試験機
Apparatus of plate shear test.

今回のような試験装置は、試験片を取り付ける4点の端部が回転のみ自由なので、微小変形のごくわずかの間だけに(2.3.2.1)式が適用でき、振り破壊はとでもできない。したがって、今回はすべて振り剛性試験のみをおこない、ラワン材では(LT)および(LT-45°)試験板からもとめる剪断剛性係数 G_{LT} と G_{LT-45° の順と逆のものをもとめた。また合板では同じように $G_{0^\circ, 90^\circ}$ のみをもとめた。そしてその測定結果をラワン材ではTable 7に、Q合板ではTable 8に、そしてP合板はTable 9に示した。

vi. パネル剪断試験

パネル剪断試験についての方法をPhoto. 6.2に示す。これはPhoto. 6.1に示すような装置によって組み立てられ、Fig. 17のような原理にもとづいて中央部10×10cmの面積の辺に剪断応力を与える仕組みになっている。

また剪断変形を測定するために(2.3.1.7)式によって x 、 y 軸上の歪をそれぞれ計らなければならないが、これを今回は電気式ストレインゲージによって同時測定をおこなった。Photo. 6.3に示すように十字型タイプのストレインゲージを、対角線上にニトロセルロース系接着剤によって試験板の両面に接着して、直接歪として測定した。この際ゲージの保護上、Photo. 6.3のように大小のターミナルをもちいて計器に接続した。

試験片の記号についてはプレート剪断の場合と同じように取り扱う。ラワン材では辺に対し平行な繊維方向をもつものを(LT)、45°方向をもつものを(LT-45°)とし、合板の場合は表板単板の繊維方向が平行なものを(0°, 90°)、45°方向のものを(45°)とする。ただし、(45°)のものは順剪断と逆剪断があるので、つぎのように区別する。

Photo. 6.3 のように対角線①と②の中、②方向のヤング係数 E_2 が①方向のヤング係数 E_1 より大きい ($E_2 > E_1$) とし、①方向に圧縮荷重をかけるようなものを順剪断として Nor. の記号をつけ (45° , Nor.) とする。反対に②方向に圧縮荷重をかけるようなものを逆剪断として Inv. の記号をつけ (45° , Inv.) とする。

素材の場合も同様で②方向が L 方向、①方向が T 方向の場合になるから、 T 方向に圧縮するような場合を ($LT-45^\circ$, Nor.), L 方向に圧縮するような場合を ($LT-45^\circ$, Inv.) と記号する。

このようにしてそれぞれ各試験片について試験した結果をラワン材の場合は Table 7 に、Q合板の場合を Table 8 に、そしてP合板の場合は Table 9 に示した。ただしラワン材の ($LT-45^\circ$, Nor.) とQ合板の (45° , Nor.) は荷重方向が接線方向になるため、横圧縮となって最大剪断応力はもとめられない。

Photo. 6.4 にラワン材の (LT) の剪断破壊状況を示したが、このように完全にとれる。

Photo. 6.5 にラワン材とQ合板の逆剪断による破壊状況を示したが、完全な横引張破壊を示す。

Photo. 6.6 にQ合板の ($0^\circ, 90^\circ$) の剪断破壊状況を示したが、一様に面全体が剪断破壊されている。

Photo. 6.7 にP合板の ($0^\circ, 90^\circ$) の剪断破壊状況を示したが、変形しているが割合に全面破壊状態を呈しない。

なおこの試験方法については著者が先に報告⁶⁾しているものがあるので、それを参照してもらうことにして、今回は概略を述べた。

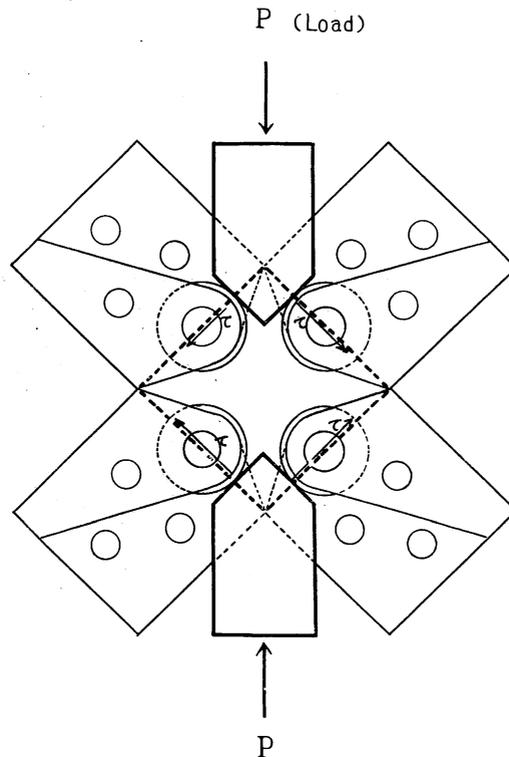


Fig. 17 パネル剪断試験装置ならびに方法の略図

A rough sketch showing the apparatus of panel shear test.

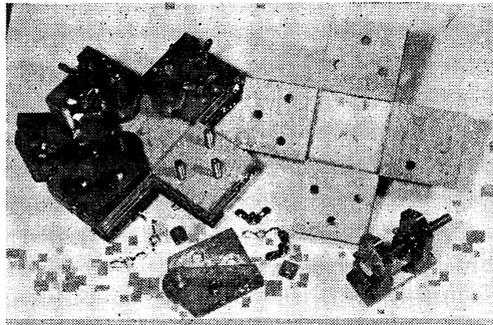


Photo. 6.1 パネル剪断試験片の装置組立方法
Side view of a panel specimen and setting apparatus on the panel shear test.

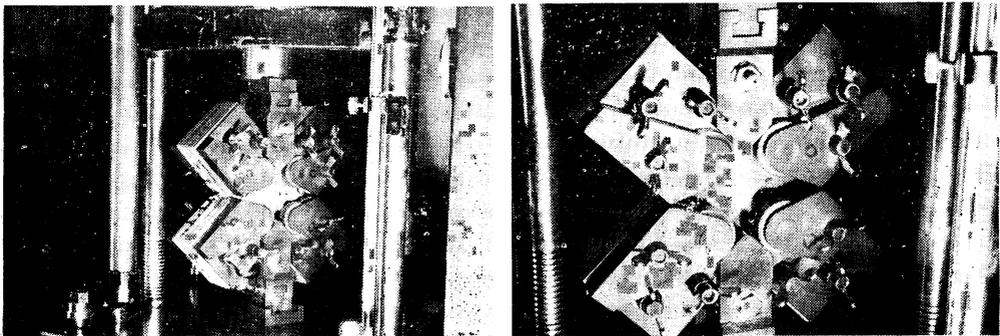


Photo. 6.2 パネル剪断試験装置
Panel shear specimen, showing method of loading and strain gage.

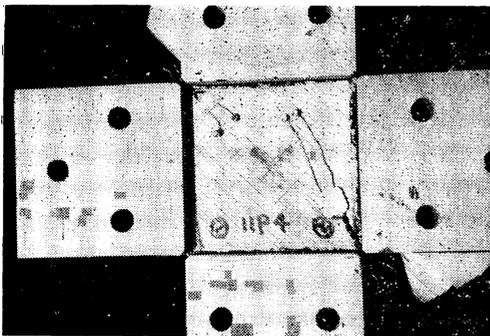
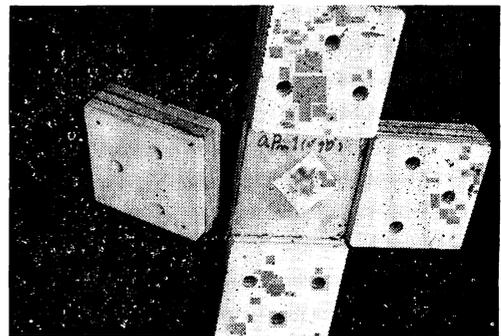


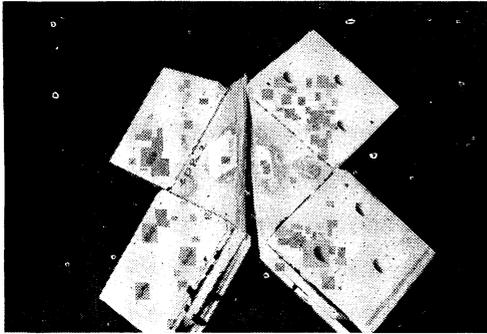
Photo. 6.3 歪測定のためにパネル剪断試験片の表面にストレインゲージの貼りかた。
リード線保護のためにターミナルをもちいた。

Strain gage glued on face of test specimen.
Terminal prevent to cut off lead wire of gage.



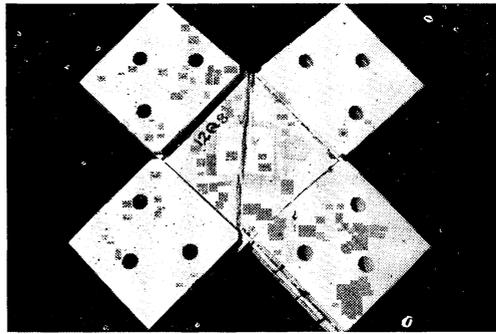
$G=5.3 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$, $\tau_{max}=94 \text{kg/cm}^2$
Photo. 6.4 ラワン板のパネル剪断試験片 (LT) の破壊状況

Failure of Lauan wood (LT) specimen by panel shear test.



A

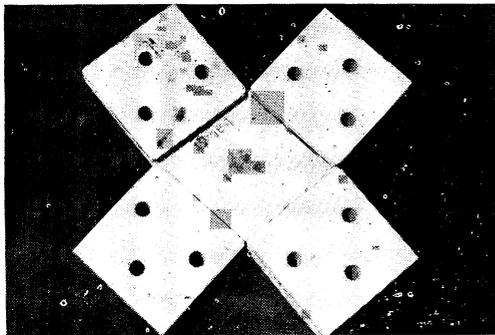
(Inverse shear) $G=8.7 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$
 $\tau_{max}=24.1 \text{ kg/cm}^2$



B

(Inverse shear) $G=5.2 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$
 $\tau_{max}=19 \text{ kg/cm}^2$

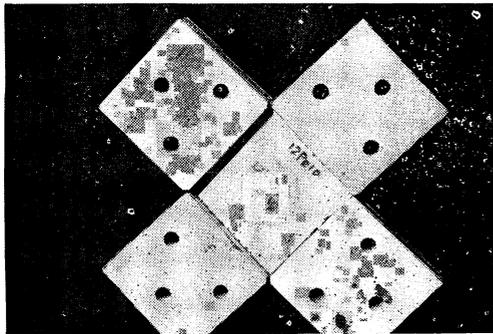
Photo. 6.5 ラワン板 (LT-45°) (A) およびQ合板 (45°) (B) のパネル剪断試験片の破壊状況
 Failure of Lauan wood (LT-45°)(A) and Q-plywood (45°)(B) specimen
 by panel shear test.



$G=5.3 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ $\tau_{max}=85 \text{ kg/cm}^2$

Photo. 6.6 Q合板のパネル剪断試験片 (0°・90°) の破壊状況

Failure of Q-plywood (0°・90°) specimen
 by panel shear test.



$G=5.0 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ $\tau_{max}=89 \text{ kg/cm}^2$

Photo. 6.7 P合板のパネル剪断試験片 (0°・90°) の破壊状況

Failure of P-plywood (0°・90°) specimen
 by panel shear test.



Photo. 6.8 ボルト穴の破壊によって生ずる見掛上の最大剪断破壊
 Failure of bolt hole of specimen
 broken by shear.

Table 7: ラワン材 (素材) の各強度試験別における弾性常数および強度値
Results of compression, tension, bending, plate and panel shear test
and measure of POISSON'S ratio on Lauan wood

I. 圧縮試験 Compression test

Test specimen	E_c $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$			σ_c kg/cm^2		
	L	LT-45°	T	L	LT-45°	T
C	1	138.9	—	4.5	346	—
	2	131.8	12.7	4.8	253	—
	3	123.2	—	3.6	394	—
	4	—	12.9	4.4	—	—
M	131.3	12.8	4.3	364		
DC	1	142.0	11.9	5.4	420	—
	2	145.5	13.4	5.1	415	—
	3	145.5	16.2	3.3	418	—
	4	132.9	11.5	4.2	419	—
	5	118.3	—	—	447	—
M	136.8	13.3	4.5	424		
B' C'	1	135.9	—	—	385	—
	2	137.0	—	—	387	—
	3	—	—	—	394	—
	4	141.3	—	—	441	—
	5	124.2	—	—	391	—
	6	111.7	—	—	404	—
	7	143.8	—	—	374	—
	8	134.3	—	—	390	—
	9	126.2	—	—	432	—
	10	—	—	—	411	—
M	131.8			401		
CP.R	1	131.6	—	6.5	408	—
	2	133.4	—	6.1	411	—
	3	130.7	—	5.2	398	—
	4	125.0	—	6.1	400	—
	5	127.6	—	6.1	391	—
M	129.7		6.0	402		
DCP.R	1	143.1	—	7.7	503	—
	2	135.8	—	7.9	451	—
	3	133.7	—	7.9	457	—
	4	130.0	—	7.7	458	—
	5	140.6	—	7.6	465	—
M	136.6		7.8	467		

II. 引張試験 Tension test

Test specimen	E_t $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$			σ_t kg/cm^2		
	L	$LT-45^\circ$	T	L	$LT-45^\circ$	T
T 1	114.5	9.9	4.2	860	82	45
2	123.9	8.9	3.3	1090	85	47
3	119.6	—	—	1210	—	—
M	119.3	9.4	3.8	1053	84	46
DT 1	120.0	10.8	4.7	1176	90	54
2	125.2	10.0	5.5	968	87	55
3	138.5	—	3.9	1203	—	39
4	—	—	3.5	—	—	41
M	127.9	10.4	4.4	1116	89	47
T' 1	114.5	—	—	1138	—	—
2	113.4	—	—	1073	—	—
3	110.5	—	—	942	—	—
4	120.8	—	—	1015	—	—
5	120.0	—	—	1080	—	—
6	111.5	—	—	601	—	—
7	101.2	—	—	848	—	—
8	115.2	—	—	943	—	—
9	117.4	—	—	965	—	—
10	130.0	—	—	1249	—	—
M	115.4			985		

III. 曲げ試験 Bending test

Test specimen	E_b 10^3kg/cm^2			σ_b kg/cm^2		
	L	$LT-45^\circ$	T	L	$LT-45^\circ$	T
B 1	120.4	10.3	4.1	635	125	62
1'	—	13.6	3.4	—	147	57
2	125.8	10.5	3.4	656	134	57
2'	—	10.1	3.4	—	117	34
3	138.0	—	—	782	—	—
M	128.1	11.1	3.6	691	131	53
DB 1	129.8	11.4	4.6	886	136	60
1'	—	12.8	4.5	—	149	61
2	130.1	11.7	5.3	888	139	63
2'	—	11.7	4.2	—	141	55
3	135.8	—	3.6	922	—	44
3'	—	—	3.7	—	—	45
4	138.0	—	3.7	924	—	53
4'	—	—	3.3	—	—	53
5	129.5	—	—	848	—	—
M	132.6	11.9	4.1	894	141	54

Test specimen	E_b 10^8 kg/cm^2			σ_b kg/cm^2		
	L	$LT-45^\circ$	T	L	$LT-45^\circ$	T
B' 1	118.7	—	—	749	—	—
2	103.6	—	—	663	—	—
3	117.0	—	—	748	—	—
4	158.8	—	—	799	—	—
5	119.7	—	—	781	—	—
6	117.4	—	—	786	—	—
7	114.9	—	—	736	—	—
8	123.9	—	—	737	—	—
9	120.4	—	—	771	—	—
10	134.3	—	—	845	—	—
M	123.9			762		

IV. ポアソン比測定

Measurement of POISSON'S ratio

Test specimen	ν_{LT}	ν_{TL}
CP.R 1	0.453	0.0195
2	0.455	0.0184
3	0.475	0.0256
4	0.365	0.0204
5	0.437	0.0217
M	0.437	0.0211
DCP.R 1	0.437	0.0232
2	0.515	0.0180
3	0.487	0.0206
4	0.431	0.0214
5	0.492	0.0206
M	0.472	0.0208

V. プレート剪断試験 Plate shear test

Test specimen		$G_{pl} \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$		
		(LT)	$(LT-45^\circ)$	
			Nor.	Inv.
a	1	6.2	—	—
	2	6.3	—	—
	3	6.6	—	—
d	1	6.4	5.4	5.3
h	1	5.5	2.9	3.3
	2	5.5	—	—
j	1	6.5	4.6	4.8
M		6.1	4.3	4.5
Db	1	6.5	4.4	5.0
	2	6.4	—	—
Dc	1	6.9	6.4	5.8
Dg	1	5.7	—	—
	2	5.7	—	—
	3	6.4	—	—
Di	1	5.8	4.0	4.3
M		6.2	4.9	5.0

$G_{pl} = G$ (shearing modulus) of plate shear test.

VI. パネル剪断試験 Panel shear test

Test specimen	$G_{pn} \times 10^8 \text{kg/cm}^2$			$\tau_{pn} \text{kg/cm}^2$		
	(LT)	(LT-45°)		(LT)	(LT-45°)	
		Nor.	Inv.		Nor.	Inv.
a 1	5.3	-	-	94	-	-
2	5.5	-	-	99	-	-
3	5.6	-	-	101	-	-
h 1	-	6.3	-	-	-	-
2	-	5.8	-	-	-	-
j 1	-	-	10.0	-	-	21.8
2	-	-	11.8	-	-	19.2
M	5.5	6.1	10.9	98	-	20.5
Db 1	-	7.2	-	-	-	-
2	-	-	8.7	-	-	24.1
Dc 1	-	-	13.1	-	-	26.0
Dg 1	4.8	-	-	83	-	-
2	5.4	-	-	92	-	-
2	5.4	-	-	89	-	-
Di 1	5.3	-	-	86	-	-
2	-	7.7	-	-	-	-
M	5.2	7.5	10.9	88	-	25.1

$G_{pn}=G$ (shearing modulus) of panel shear test.

$\tau_{pn}=\tau_{max}$ (shearing max. stress) of panel shear test.

Table 8. Q合板の各強度試験別における弾性常数および強度値

Results of compression, tension, bending, plate and panel shear test and measure of POISSON's ratio on Q-plywood

I. 圧縮試験 Compression test

Test specimen	$E_c \times 10^8 \text{kg/cm}^2$			$\sigma_c \text{kg/cm}^2$		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
11 Q1 C (1+2)	122.0	13.7	5.0	451	-	-
Q2 //	137.2	13.2	5.4	467	-	-
Q3 //	132.1	13.2	5.0	501	-	-
Q1 CP.R(3+4)	125.8	-	6.4	466	-	-
Q2 //	132.1	-	6.7	507	-	-
Q3 //	148.2	-	5.8	459	-	-
M	132.9	13.4	5.7	475	-	-
12 Q1 C (1+2)	136.0	12.4	4.9	480	-	-
Q2 //	160.0	11.3	5.1	474	-	-
Q3 //	144.0	10.1	4.8	496	-	-
Q1 CP.R(3+4)	136.8	-	5.0	446	-	-
Q2 //	144.0	-	6.1	466	-	-
Q3 //	148.3	-	6.0	494	-	-
M	144.9	11.3	5.3	476	-	-

Test specimen	E_c $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$			σ_c kg/cm^2		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
15 Q1 C 1	153.0	12.3	3.6	490	—	—
Q2 //	148.7	10.8	4.2	512	—	—
Q3 //	142.2	9.9	3.7	492	—	—
Q1 C.P.R 2	145.6	—	5.1	475	—	—
Q2 //	134.2	—	5.2	483	—	—
Q3 //	143.0	—	4.9	485	—	—
M	144.5	11.0	4.5	490		
18 Q1 C 1	152.7	9.2	4.2	516	—	—
Q1 C 2	139.9	11.7	4.5	496	—	—
Q2 C 1	142.6	11.8	4.3	527	—	—
Q2 C 2	151.2	9.7	4.2	491	—	—
Q3 C 1	135.8	10.4	4.9	475	—	—
Q3 C 2	131.5	9.2	3.5	446	—	—
Q1 C.P.R 3	150.8	—	5.6	472	—	—
Q2 //	140.5	—	5.7	501	—	—
Q3 //	147.4	—	5.3	516	—	—
M	143.6	10.3	4.7	493		

II. 引張試験 Tension test

Test specimen	E_t $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$			σ_t kg/cm^2		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
11 Q1 T 1	138.2	9.2	3.1	842	55	33
Q2 //	128.8	9.2	3.3	1000	53	28
Q3 //	135.5	8.3	2.8	956	41	23
M	134.2	8.9	3.1	933	50	28
12 Q1 T 1	132.1	7.4	3.4	713	55	25
Q2 //	136.5	7.4	3.5	760	50	29
Q3 //	126.2	6.6	3.4	673	49	26
M	131.6	7.0	3.4	712	51	27
15 Q1 T 1	146.0	7.3	2.9	720	47	21
Q2 //	—	6.8	2.8	—	40	20
Q3 //	—	8.6	2.9	—	45	16
M	146.0	7.6	2.9	720	44	19

Ⅲ. 曲げ試験 Bending test

Test specimen	$E_b \times 10^8 \text{kg/cm}^2$			$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
11 Q1 B 1	120.6	14.3	5.1	944	125	45
Q2 //	121.4	13.8	5.3	920	128	55
Q3 //	138.1	13.7	5.2	997	129	55
M	126.7	13.9	5.2	954	127	52
12 Q1 B 1	110.8	14.0	4.2	835	114	46
Q2 //	128.3	12.0	4.5	834	120	53
Q3 //	116.5	10.8	4.2	719	114	53
M	118.5	12.5	4.3	813	116	51
15 Q1 B 1	144.3	12.0	—	981	104	—
Q2 //	143.0	13.1	4.8	931	125	48
Q3 //	140.0	9.6	4.3	964	80	39
M	142.4	11.6	4.6	959	103	44
18 Q1 B 1	143.2	12.2	3.9	924	114	51
Q2 //	119.6	13.1	4.3	849	135	55
Q3 //	120.2	11.8	4.3	803	113	54
M	127.7	12.3	4.2	859	121	53

Ⅳ. ポアソン比測定

Measurement of POISSON'S ratio

Test specimen	$\nu_{0^\circ, 90^\circ}$	$\nu_{90^\circ, 0^\circ}$
11 Q1 C.P.R.(3+4)	0.469	0.0176
Q2 //	0.493	0.0195
Q3 //	0.500	0.0220
M	0.487	0.0197
12 Q1 C.P.R.(3+4)	0.500	0.0160
Q2 //	0.500	0.0113
Q3 //	0.539	0.0153
M	0.513	0.0142
15 Q1 C.P.R. 2	0.491	0.0181
Q2 //	0.463	0.0186
Q3 //	0.514	0.0122
M	0.489	0.0163
18 Q1 C.P.R. 3	0.466	0.0157
Q2 //	0.497	0.0120
Q3 //	0.465	0.0142
M	0.476	0.0140

Ⅴ. プレート剪断試験

Plate shear test

Test specimen	$G_{pl} \times 10^8 \text{kg/cm}^2$
	(0°, 90°)
11 Q1	6.3
Q2	6.1
Q3	5.8
Q4	6.0
Q5	6.5
M	6.2
12 Q1	5.8
Q2	5.9
Q3	5.8
Q4	6.0
Q5	5.8
M	5.9

VI. パネル剪断試験 Panel shear test

Test specimen	$G_{pn} \times 10^3 \text{kg/cm}^2$			$\tau_{pn} \text{kg/cm}^2$		
	(0°.90°)	(45°)		(0°.90°)	(45°)	
		Nor.	Inv.		Nor.	Inv.
11 Q 4	5.5	—	—	74	—	—
Q 6	—	—	9.3	—	—	23
Q 7	—	7.9	—	—	—	—
Q 8	—	—	9.6	—	—	22
M	5.5	7.9	9.5	74		23
12 Q 4	5.3	—	—	85	—	—
Q 5	5.3	—	—	82	—	—
Q 6	—	7.1	—	—	—	—
Q 7	—	—	—	—	—	15
Q 8	—	—	5.2	—	—	19
M	5.3	7.1	5.2	84		17
15 Q 4	5.4	—	—	71	—	—
Q 5	5.9	—	—	77	—	—
Q 6	—	6.0	—	—	—	—
Q 7	—	—	7.0	—	—	15
Q 8	—	—	10.2	—	—	19
M	5.7	6.0	8.6	74		17
18 Q 4	5.6	—	—	77	—	—
Q 5	5.6	—	—	84	—	—
Q 6	—	—	9.7	—	—	24
Q 7	—	6.5	—	—	—	—
Q 8	—	—	—	—	—	—
M	5.6	6.5	9.7	81		24

Table 9. P合板の各強度試験別における弾性常数および強度値
Results of compression, tension, bending, plate and panel shear test
and measure of POISSON's ratio on P-plywood

I. 圧縮試験 Compression test

Test specimen	$E_c \times 10^8 \text{kg/cm}^2$			$\sigma_c \text{kg/cm}^2$		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
11 P1 C(1+2)	69.3	19.8	74.2	247	196	290
2 //	76.4	21.3	71.5	250	176	290
3 //	69.0	18.0	79.6	245	155	277
4 //	68.3	16.2	83.8	249	162	284
5 //	71.8	19.1	81.2	264	172	306
6 //	66.5	17.0	82.6	248	149	304

Test specimen	E_c $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$			σ_c kg/cm^2		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
11 P1 CP.R (3+4)	75.2	—	68.1	285	—	283
3 //	62.6	—	90.1	239	—	262
5 //	69.7	—	78.6	262	—	283
M	69.9	18.6	78.8	254	168	287
12 P1 C(1+2)	75.4	16.1	58.5	298	147	204
3 //	100.3	19.2	59.5	320	165	215
4 //	71.7	15.8	63.5	279	145	224
5 //	98.0	17.0	61.5	288	163	221
6 //	87.0	16.8	66.4	346	149	237
14 //	96.4	16.9	54.2	328	160	230
1 CP.R (3+4)	77.6	—	57.9	300	—	209
5 //	88.3	—	63.7	284	—	223
14 //	78.1	—	55.6	304	—	223
M	85.9	17.0	60.1	305	155	221
15 P2 C 1	65.4	14.8	62.4	253	133	245
4 //	66.1	16.3	62.4	240	117	227
7 //	59.0	15.7	65.5	239	125	242
8 //	66.5	15.2	73.4	252	122	261
11 //	61.6	16.7	64.5	247	148	243
12 //	65.6	12.1	68.9	238	115	213
2 //	81.8	—	69.6	250	—	238
8 //	72.4	—	72.4	254	—	250
12 //	67.6	—	69.6	241	—	234
M	67.2	15.1	67.6	246	127	240
18 P1 C 1	73.1	14.2	64.2	243	144	232
C 3	73.0	18.0	65.4	255	152	241
P2 C 1	73.5	16.3	69.5	272	140	257
C 3	74.9	16.3	64.8	275	137	236
P4 C 1	77.5	15.0	63.4	277	139	239
C 3	75.6	16.2	62.9	284	137	239
P5 C 1	71.1	18.6	64.5	274	155	265
C 3	75.9	16.4	62.3	268	144	246
P6 C 1	69.8	16.7	64.4	274	157	249
C 3	81.2	15.5	66.1	282	147	239
P7 C 1	73.0	16.2	56.3	273	145	238
C 3	82.8	16.3	63.4	281	144	240
P1 CP.R 2	69.9	—	68.4	257	—	217
P4 //	72.1	—	72.2	270	—	232
P7 //	74.2	—	68.3	266	—	234
M	74.9	16.3	65.0	270	145	240

II. 曲げ試験 Bending test

Test specimen	$E_b \times 10^3 \text{kg/cm}^2$			$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
11 P1 B 1	63.6	21.2	54.5	545	297	558
2 //	58.9	22.8	56.2	502	317	563
3 //	55.4	20.2	66.0	508	297	589
4 //	60.2	21.5	61.6	558	289	580
5 //	56.3	21.6	69.2	460	278	566
6 //	61.2	19.2	64.8	518	232	603
M	59.1	41.1	61.8	515	285	577
12 P1 B 1	71.4	16.7	27.0	552	201	301
3 //	87.2	17.5	26.1	675	201	328
4 //	81.9	14.9	28.4	582	198	344
5 //	83.4	17.9	31.4	663	233	343
6 //	85.4	18.0	31.1	629	237	331
14 //	90.9	17.2	30.7	683	217	318
M	83.4	17.1	29.1	630	214	328
15 P2 B 1	75.4	14.4	40.5	503	176	419
4 //	69.2	14.3	34.7	482	168	324
7 //	69.1	14.8	39.0	503	179	401
8 //	74.9	15.2	35.6	521	168	418
11 //	74.7	19.3	34.9	565	225	516
12 //	74.1	14.2	32.6	523	179	—
M	72.9	15.4	36.2	516	183	416
18 P1 B 1	81.7	18.2	38.9	590	208	432
2 //	82.7	16.6	42.8	646	188	427
4 //	81.2	17.3	42.9	639	218	457
5 //	80.1	20.2	44.6	637	213	476
6 //	78.5	15.4	43.2	659	197	491
7 //	76.7	19.1	42.1	635	228	442
M	80.2	17.8	42.4	634	209	454

III. ポアソン比測定 Measurement of POISSON'S ratio

Test specimen	$\nu_{0^\circ,90^\circ}$	$\nu_{90^\circ,0^\circ}$	Test specimen	$\nu_{0^\circ,90^\circ}$	$\nu_{90^\circ,0^\circ}$
11 P1 CP.R(3+4)	0.0805	0.0754	15 P 2 CP.R 2	0.139	0.0215
3 //	0.0510	0.0190	8	0.134	0.0355
5 //	0.0855	0.0248	12	0.131	0.0248
M	0.0720	0.0397	M	0.135	0.0273
12 P1 CP.R(3+4)	0.223	0.0655	18 P 1 CP.R 2	0.116	—
5 //	0.174	—	4	0.163	0.0273
14 //	0.094	0.0278	7	0.150	0.0268
M	0.164	0.0467	M	0.143	0.0271

IV. プレート剪断試験

Plate shear test

Test specimen	G_{pl} $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	
	(0°, 90°)	
11P 1	7.4	
2	7.1	
3	7.5	
4	7.8	
5	7.6	
6	7.3	
7	7.8	
8	7.4	
9	7.1	
10	7.5	
12	7.7	
13	7.7	
14	7.9	
M	7.5	
12P 1	6.5	
3	6.6	
4	6.3	
5	6.0	
6	5.8	
8	6.1	
9	6.4	
10	6.4	
14	6.5	
17	6.4	
18	6.3	
22	7.2	
24	6.8	
M	6.4	

V. パネル剪断試験

Panel shear test

Test specimen	G_{pn} $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$			τ_{pn} kg/cm^2		
	(0°, 90°)	(45°)		(0°, 90°)	(45°)	
		Nor.	Inv.		Nor.	Inv.
11P 7	6.5	—	—	103	—	—
8	6.0	—	—	87	—	—
9	5.7	—	—	96	—	—
10	—	43.1	—	—	230	—
12	—	—	42.7	—	—	249
13	—	37.6	—	—	221	—
14	—	—	40.3	—	—	260
M	6.1	40.4	41.5	95	226	255
12P 8	5.4	—	—	92	—	—
9	5.7	—	—	86	—	—
10	5.0	—	—	89	—	—
17	—	41.1	—	—	208	—
18	—	39.5	—	—	208	—
22	—	—	40.4	—	—	224
24	—	—	40.7	—	—	229
M	5.4	40.3	40.6	89	208	227
15P 10	—	39.9	—	—	190	—
13	—	40.1	—	—	189	—
15	4.8	—	—	78	—	—
17	4.7	—	—	77	—	—
18	4.9	—	—	74	—	—
20	—	—	41.9	—	—	188
23	—	—	45.0	—	—	208
M	4.8	40.0	43.5	76	190	198
18P 8	5.9	—	—	97	—	—
9	5.0	—	—	79	—	—
10	5.8	—	—	87	—	—
12	—	—	46.3	—	—	189
16	—	—	42.6	—	—	181
19	—	39.0	—	—	182	—
20	—	43.2	—	—	192	—
M	5.6	41.1	44.5	88	187	185

5. 考 察

5.1. 単板の強度的評価

今回供試したラワン材の強さについて、平均値によってまとめて Table 10 に示したが、まず La のもつもので代表されると思う。含水率および比重については、この表には示さなかったが、13.2% および 0.49 となっていた。この La を人工乾燥した DLa (含水率10.2%) の強さを同表に示す。ただし、この乾燥処理条件および乾燥後の材の取扱い等は、必ずしも単板の状態とは一致していないかもしれないがそれに近いものであると考えてよからう。そこでこの両者の異なりをみるのに DLa/La の比をもって、各強度値をみると、差は少ないけれども DLa の方が大きくなっていることがわかる。つぎに単板の強さとしてみられるQ合板の強さは、各強度値について Q/DLa の比をみると、この方は決して大きくはなっていない。単板になったことによる機械的物理的損傷のために弱くなったと解しゃくできる。そしてその弱りかたはTや45°方向のものにあつてはかなり大きく、L方向ではそんなに落ちないとみられる。ただ、引張のL方向が30%近く目だつて低くなっているが、これは合板特有の目切れが試験片寸法の関係から生じたものと考えられる。合板の場合、試験片の木取りはすべて表板単板の繊維方向を基準にしてとっているが、合板の製造上、中板や心板の単板や裏単板はどうしても表板単板の繊維方向には平行にならず、多少の繊維傾斜をもって接着される。それに加えて、引張試験片の木取りが、Fig. 10 および Photo. 2.1 に示すように、どうしても荷重面積の幅を3~4mm程度に極端に細くしなければならず、したがつてわずかの目切れあるいは裏割れ等が重なつておれば、当然そこに強さの低下が大きくなることになる。それに反し圧縮や曲げおよび剪断試験片では、幅を広くとるためにその影響がきわめて少ない。

しかしながら、だから縦方向の強さを変わらないとする見かたはまちがいで、強度的安全性からみればやはり下げてみる評価をしなければならない。横方向とか45°方向のものはすべて半分以下になるとみた方がよいと考えられる。

従来合板では一般に、その構成単板のうち横方向のものに対する強さはないものとして、形のみ有するとして考えられているが、これは木材が直交異方性であり、縦に比し横が小さいから、無視してしまう。それに加えてこのように単板が強度低下しているのであるから、なおさら当然といえるわけである。

ではいったいラワン合板としての単板の強さをどのくらいにみればよいのか、すなわち合板を構成している単位応力あるいは許容応力度をどのくらいにとつたらよいのか、ということになる。このことについて考えてみる。

一般に木材は構造用材として長期的に使われる場合には、クリープ影響等から $\frac{1}{2}$ に低減され、さらに弾性比例限度が $\frac{2}{3}$ とすれば、両者ともに合わせると $\frac{1}{2} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$ となる。つまり最大強さの $\frac{1}{3}$ になってしまう。これに加えて単板になることのいくつかの欠点による低減をみなければならぬ(しかし、その内容はあくまで広い意味の Pure constant でみるのであって Free constant ではない)。

さきほど述べたように単板の横方向になるものは0とみるから、縦方向のみをみればよい。合板にする原木は、単板切削の際および単板自体においてもかなり品質を吟味して、欠点を除くことになるし、また補修もして、できるだけ品質のよいものに統一するから、品質低減³⁾は米松について米国でおこなっているものと同じに取り扱つてよいと考えられる。上級単板で $\frac{7}{8}$ 、普通(下級)単板で $\frac{3}{4}$ とする。さらに裏割れ等すべてを含めての低減を $\frac{4}{7}$ と推定する。とすると全部の低減は $\frac{1}{3} \times \frac{7}{8} \times \frac{4}{7} = \frac{1}{6}$ となる。こ

れが上級単板の低減係数である。同じように下級単板では $\frac{1}{3} \times \frac{1}{7} \times \frac{3}{4} = \frac{1}{7}$ となる。

建築構造材では上級構造材と下級構造材の見かたをつぎのようにして決めている。素材の無欠点試片の各強度値のなかで、その平均値を基準にして出した値を上級構造材のもつ値に、統計的下限値を基準にして出した値を下級（普通）構造材のもつ値としている。いま単板についてもこのような考えかたでみると、今回の試験にもちいたラワン材およびQ合板での強度値から、必要なもののみをとりあげてみるとつぎのようになる。

	平均値 (kg/cm ²)	下限値 (kg/cm ²)
曲げ強さ	691 (896)	635 (719)
圧縮強さ	382 (484)	346 (446)
剪断強さ	98 (79)	94 (71)
ヤング係数	131×10 ³ (142×10 ³)	123×10 ³ (122×10 ³)

これらの数値は La のもので () はQ合板のもつ数値である。もちろん無欠点品質の単板とみなせるものである。引張強さは曲げ強さをもつて安全側で代替する。

そこでこれらの数値にさきほどの低減係数をかけてみると、

	上級単板 (kg/cm ²)	下級単板 (kg/cm ²)
曲げ強さ	115 (148)	91 (103)
圧縮強さ	64 (81)	50 (64)
剪断強さ	16 (13)	13 (10)
ヤング係数	115×10 ³ (124×10 ³)	92×10 ³ (92×10 ³)

となる。() はQ合板の値である。ヤング係数については品質低減率 ($\frac{1}{8}$ と $\frac{3}{4}$) のみをかけて出した。

では米国ではこのラワン材に対して、その単板の単位応力（許容応力）にどのくらいのものをとっているか、またわが国での建築構造材としてラワン材がどのような許容応力度をとっているか、というと、

	U.S.A 上級単板 (kg/cm ²)	日 本 上級構造材 (kg/cm ²)	U.S.A 下級単板 (kg/cm ²)	日 本 下級構造材 (kg/cm ²)
曲げ強さ	112	(117)	95	90
圧縮強さ	70	(78)	63	70
剪断強さ	7	(8)	6	6
ヤング係数	91×10 ³	90×10 ³	91×10 ³	80×10 ³

となっている。米国ではラワン材は他の針葉樹（Western hemlock, Noble fir, Sitka spruce, Port orford cedar, Interior north Douglas fir）や White (or Red) lauan と同一に取り扱っているの、いくぶん、小さい気もするが、とにかくラワン材の単板の許容応力度をこのように決めている。

今回の試験結果についてみると、Q合板では下級単板が米国規格や日本建築構造材の普通構造材にほぼ一致している。上級単板ではちょっと高いようであるが、あるいは米国規格が少し低いのかもかもしれない。とにかく10%前後の差によって調節できるのではないかと考えられる。

5.2. 合板の圧縮および曲げ強さ

P合板4種類の圧縮および曲げ試験結果で測定実験値をA、理論計算値のうち精密計算値をB、そして

Table 10. ラワン材の天然乾燥材, 人工乾燥材
Averages of data for E, G, σ, τ, ν in the several strength tests of Lauan wood

Kind of test Grain direction	Compression				Tension			
	$E \times 10^8 \text{kg/cm}^2$			$\sigma_c \text{ kg/cm}^2$	$E \times 10^8 \text{kg/cm}^2$			
	L	$LT-45^\circ$	T	L	L	$LT-45^\circ$	T	L
Lauan : La	130.5	12.8	5.2	382	119.3	9.4	3.8	1053
Lauan (Dried) : DLa	136.7	13.3	6.2	446	127.9	10.4	4.4	1116
Q-plywood : Q	141.7	11.4	5.1	484	134.8	7.8	3.1	809
DLa/La %	105	104	119	117	107	111	116	106
Q/DLa %	104	86	82	109	105	75	70	72

Table 11. P合板の各強度試験における
Averages of data for E, G, σ, τ, ν in the several strength tests of P-plywood,

Kind of test Grain direction of face veneer	Compression						
	$E \times 10^8 \text{kg/cm}^2$			$\sigma_c \text{ kg/cm}^2$			
	0°	45°	90°	0°	45°	90°	
11P	Observed : A	69.9	18.6	78.8	254	168	287
	Calculated (accurate) : B	67.1	—	79.5	—	—	—
	Calculated (approximate) : C	64.3	—	77.4	220	—	264
	B/A %	96	—	101	—	—	—
	C/A %	92	—	98	87	—	92
12P	Observed : A	85.9	17.0	60.1	305	155	221
	Calculated (accurate) : B	87.3	—	59.5	—	—	—
	Calculated (approximate) : C	85.3	—	56.4	291	—	193
	B/A %	102	—	99	—	—	—
	C/A %	99	—	94	95	—	87
15P	Observed : A	67.2	15.1	67.6	246	127	240
	Calculated (accurate) : B	71.8	—	75.0	—	—	—
	Calculated (approximate) : C	69.2	—	72.5	236	—	248
	B/A %	107	—	111	—	—	—
	C/A %	103	—	107	96	—	103
18P	Observed : A	74.9	16.3	65.0	270	145	240
	Calculated (accurate) : B	78.0	—	68.8	—	—	—
	Calculated (approximate) : C	75.6	—	66.1	258	—	226
	B/A %	104	—	106	—	—	—
	C/A %	101	—	102	96	—	94

およびQ合板の各強度試験結果の平均値

and Q-plywood, and results of ratios DL_a/L_a and Q/DL_a to their matching tests

σ_t kg/cm ²		Bending						POISSON'S ratio	
		$E \times 10^8$ kg/cm ²			σ_b kg/cm ²				
		LT-45°	T	L	LT-45°	T	L	LT-45°	T
84	46	128.1	11.1	3.6	691	131	53	0.44	0.023
89	47	132.6	11.9	4.1	894	141	54	0.47	0.021
48	25	128.8	12.6	4.6	896	117	50	0.49	0.016
106	102	104	107	114	129	108	102	108	90
54	53	97	106	112	100	83	93	104	77

実験値および計算値と両者の比較値

and results of ratios (calculated value /observed value) to their matching tests

Bending						POISSON'S ratio		Plate shear	
$E \times 10^8$ kg/cm ²			σ_b kg/cm ²					$G \times 10^8$ kg/cm ²	
0°	45°	90°	0°	45°	90°	$\nu_{00.90}$	$\nu_{900.00}$	(0°.90°)	(0°.90°)
59.1	21.1	61.8	515	285	577	0.077	0.040	7.5	6.1
63.4	-	69.6	450	-	603			-	-
61.0	-	67.4	424	-	574			-	5.7
107	-	113	87	-	104			-	-
103	-	109	82	-	100			-	93
83.4	17.1	29.1	630	214	328	0.164	0.047	6.4	5.4
103.5	-	30.1	724	-	377			-	-
102.6	-	26.4	714	-	309			-	5.7
124	-	103	115	-	115			-	-
123	-	91	113	-	94			-	106
72.9	15.4	36.2	516	183	416	0.135	0.027	-	4.8
91.2	-	41.9	640	-	454			-	-
89.8	-	38.7	625	-	402			-	5.7
125	-	116	124	-	109			-	-
123	-	107	121	-	97			-	119
80.2	17.8	42.4	634	209	454	0.143	0.027	-	5.6
88.9	-	44.1	624	-	438			-	-
87.4	-	41.0	608	-	392			-	5.7
111	-	104	98	-	97			-	-
109	-	97	96	-	86			-	102

Table 10. (つづき)
(Continued)

Kind of test Grain direction	Plate shear			Panel shear				
	$G \times 10^3 \text{kg/cm}^2$			$G \times 10^3 \text{kg/cm}^2$			$\tau \text{ kg/cm}^2$	
	(LT)	(LT-45°)		(LT)	(LT-45°)		(LT)	(LT-45°)
		Nor.	Inv.		Nor.	Inv.		Inv.
Lauan : La	6.1	4.3	4.5	5.5	6.1	10.9	98	20.5
Lauan (Dried) : DLa	6.2	4.9	5.0	5.2	7.5	10.9	88	25.1
Q-plywood : Q	6.1	-	-	5.5	6.9	8.5	79	20.0
DLa/La %	102	114	111	95	123	100	90	122
Q/DLa %	98	-	-	106	92	81	90	80

Table 11. (つづき)
(Continued)

Kind of test Grain direction of face veneer	Panel shear					
	$G \times 10^3 \text{kg/cm}^2$		$\tau \text{ kg/cm}^2$			
	(45°)		(0°.90°)	(45°)		
	Nor.	Inv.		Nor.	Inv.	
11 P	Observed : A	40.4	41.5	95	226	255
	Calculated (accurate) : B	35.5	-	-	-	-
	Calculated (approximate) : C	40.2	-	89	220	264
	B/A %	88	-	-	-	-
	C/A %	100	-	94	97	104
12 P	Observed : A	40.3	40.6	89	208	227
	Calculated (accurate) : B	34.5	-	-	-	-
	Calculated (approximate) : C	39.1	-	89	193	291
	B/A %	86	-	-	-	-
	C/A %	97	-	100	93	128
15 P	Observed : A	40.0	43.5	76	190	198
	Calculated (accurate) : B	35.8	-	-	-	-
	Calculated (approximate) : C	40.5	-	89	236	248
	B/A %	90	-	-	-	-
	C/A %	101	-	117	124	125
18 P	Observed : A	41.1	44.5	88	187	185
	Calculated (accurate) : B	35.6	-	-	-	-
	Calculated (approximate) : C	40.3	-	89	226	258
	B/A %	87	-	-	-	-
	C/A %	98	-	101	121	139

近似計算値を C として、ヤング係数と最大強さについて B/A と C/A の比を平均値によってもとめてみる。Table 11 にまとめて示したが、必要な値を見やすくしてつぎに示すと、

i. 圧縮試験 (%)

	ヤング係数				最大強さ	
	0°		90°		0°	90°
	B/A	C/A	B/A	C/A	C/A	C/A
11P	96	92	101	98	87	92
12P	102	99	99	94	95	87
15P	107	103	111	107	96	103
18P	104	101	106	102	96	94
M	102	99	104	100	94	94

ii. 曲げ試験 (%)

	ヤング係数				最大強さ			
	0°		90°		0°		90°	
	B/A	C/A	B/A	C/A	B/A	C/A	B/A	C/A
11P	107	103	113	109	87	82	104	100
12P	124	123	103	91	115	113	115	94
15P	125	123	116	107	124	121	109	97
18P	111	109	104	97	98	96	97	86
M	117	115	109	101	106	103	106	94

となっている。計算値に使用した単板の値はすべてQ合板のものを使った。

B 値は圧縮では (2.1.1.2)' 式、曲げは (2.2.1.3)' 式および (2.2.1.6) 式からもとめた。 C 値は圧縮の場合 (2.1.2.1)' 式および (2.1.2.2)' 式から、そして曲げでは (2.2.2.3)' 式および (2.2.2.5) 式からそれぞれ計算してもとめた。

この結果をみると、圧縮の場合はヤング係数も最大強さも実験値と計算値がほとんど等しくなっている。計算値でも精密計算値と近似計算値はほぼ等しい。

このことは、こうした単純応力 (平面応力) 状態の合板に対してはすべて近似計算によって十分差しつかえないことを示している。

つぎに曲げの場合についてみると、ヤング係数では 15P 合板が多少差があるために、平均値で少し大きくなったが、最大強さではほとんど同じとみられる。そこで曲げのヤング係数についてももう少し詳しく考察してみよう。(2.2.2.6) 式によって素材と合板の関係をみてみると、Q 合板では $E_L + E_T = 133.4 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ であるのに対して P 合板ではそれぞれ、

	$E_{0^\circ} + E_{90^\circ} (\times 10^8 \text{ kg/cm}^2)$
11P	120.9
12P	112.5
15P	109.1
18P	122.6
M	116.3

となっていて、両者の間には 10% 強の差がある。実験には多少の誤差もあるけれども、合板の値がやはり小さいように感じられる。一般に合板の曲げによるヤング係数は スパン長/厚さ の比によって変わるから、もし今回のこの比の値 15 よりもっと大きくとれば、あるいはもっと合うようになるかもしれない。しかしながら、Q 合板においても同じことがいわれるわけで、したがって以上のことから判断すれば、15 P 合板のヤング係数 (表・裏単板の) が若干低いものであったと思われる。

Q 合板の圧縮と曲げの 0° 方向のヤング係数において開きがあるが、これは明らかに剪断影響を無視したためで、もし無視しなければ当然一致するはずである。いま Q 合板の圧縮のヤング係数が正しいものとして、実験値から $E=141.7 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ とすると曲げのヤング係数 E_b はつぎの式によって与えられる。

$$E_b = \frac{E}{1+1.2\frac{E}{G}\left(\frac{h}{l}\right)^2} = \frac{141.7}{1+1.2\frac{141.7}{6.1}\left(\frac{1}{15}\right)^2}$$

$$= \frac{141.7}{1+0.124} = 126.1$$

つまり $126.1 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ となって、実験値の $128.8 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ とほとんど同じになる。P 合板の場合もこれと同じような剪断影響があるものと考えられる。しかし計算値にもこの剪断影響を無視して出しているから、 B/A および C/A の値は正しく評価できるものと思う。以上結論的には曲げの場合にも合板のヤング係数や最大強さも近似計算によって十分差しつかえないと考えられる。

つぎに合板の曲げ破壊についてちょっと考察してみる。一般に曲げの破壊応力 (係数) をもとめることは、あくまで見かけのもので、材料自体は圧縮と引張の応力状態におかれているはずである。つまり (2.2.1.7) 式の内容のものである。だから合板の場合には、曲げの最大応力が生じたということは、実は合板の表面単板 (0° 方向) か 2 層目単板 (90° 方向) に最大の引張 (圧縮) 応力を生じたときをいうはずである。逆にいえば、そのどちらかの単板に最大の軸応力が生じたとき、定義として仮定の曲げ破壊応力をきめるのである。だから (2.2.1.6) 式にもちいた単板の曲げの最大応力として σ_{bL} , σ_{bT} が合板としての一部単板に、それがどんな曲げのかたちでモーメントが与えられようとも、生じたときあるいは達したときに、等価的にその単板内には最大の引張 (圧縮) 応力が生じ、それによって破壊されるとみなされる。ただし、この場合近似的にも単板構成が中立軸に関して対称的になっていることが必要である。

したがって、今回は Q 合板の最大曲げ応力値 σ_{bL} , σ_{bT} をもちいて P 合板の破壊係数 (応力) σ_{00} , σ_{900} を計算しとめた。

5.3. 合板の剪断強さ

5.3.1. パネル 剪断

i. (0°・90°) の場合

これは Fig. 5 および Fig. 6 において x' , y' 軸が合板の表板単板の繊維方向と接線方向と一致した場合である。もちろん素材とか Q 合板では L , T 方向となる。

そこで 2.3.1 と同じ考えかたによってつぎのような応力関係が成り立つから、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \tau_{x'y'} \\ -\sigma_y &= \tau_{x'y'} \\ \tau_{xy} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.1)$$

応力と歪の関係を考えてみると (x'y') 面内では,

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{x'} &= S_{11}\sigma_{x'} + S_{12}\sigma_{y'} \\ \varepsilon_{y'} &= S_{21}\sigma_{x'} + S_{22}\sigma_{y'} \\ \gamma_{x'y'} &= S_{66}\tau_{x'y'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.2)$$

となり, それが (x y) 面内には,

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= S'_{11}\sigma_x + S'_{12}\sigma_y + S'_{16}\tau_{xy} \\ \varepsilon_y &= S'_{21}\sigma_x + S'_{22}\sigma_y + S'_{26}\tau_{xy} \\ \gamma_{xy} &= S'_{61}\sigma_x + S'_{62}\sigma_y + S'_{66}\tau_{xy} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.3)$$

の関係式に座標変換される。

さらに (5.3.1.1) の関係をこの式に代入すると,

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= S'_{11}\sigma_x + S'_{12}\sigma_y = \tau_{x'y'}(S'_{11} - S'_{12}) \\ \varepsilon_y &= S'_{21}\sigma_x + S'_{22}\sigma_y = \tau_{x'y'}(S'_{21} - S'_{22}) \\ \gamma_{xy} &= S'_{61}\sigma_x + S'_{62}\sigma_y = \tau_{x'y'}(S'_{61} - S'_{62}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.3)'$$

となる。ここで,

$$\left. \begin{aligned} S'_{11} &= S_{11}\cos^4\theta + (2S_{21} + S_{66})\cos^2\theta \cdot \sin^2\theta + S_{22}\sin^4\theta \\ S'_{12} &= S'_{21} = (S_{11} + S_{22})\cos^2\theta \cdot \sin^2\theta + S_{21}(\cos^4\theta + \sin^4\theta) - S_{66}\cos^2\theta \cdot \sin^2\theta \\ S'_{22} &= S_{11}\sin^4\theta + (2S_{21} + S_{66})\cos^2\theta \cdot \sin^2\theta + S_{22}\cos^4\theta \\ S'_{61} &= 2(S_{11}\cos^2\theta - S_{22}\sin^2\theta)\cos\theta \cdot \sin\theta - (2S_{21} + S_{66})\cos\theta \cdot \sin\theta(\cos^2\theta - \sin^2\theta) \\ S'_{62} &= 2(S_{11}\sin^2\theta - S_{22}\cos^2\theta)\cos\theta \cdot \sin\theta + (2S_{21} + S_{66})\cos\theta \cdot \sin\theta(\cos^2\theta - \sin^2\theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.4)$$

この関係があるから, $\theta = -45^\circ$ にして (5.3.1.3) 式に代入すると,

$$\begin{aligned} S'_{11} &= S'_{22} = \frac{1}{4}(S_{11} + 2S_{21} + S_{66} + S_{22}) \\ S'_{12} &= S'_{21} = \frac{1}{4}(S_{11} + S_{21} - S_{66} + S_{22}) \\ S'_{61} &= S'_{62} = -\frac{1}{2}(S_{11} - S_{22}) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{2}\tau_{x'y'} S_{66} = \frac{1}{2}\sigma_x S_{66} \\ -\varepsilon_y &= \frac{1}{2}\tau_{x'y'} S_{66} = -\frac{1}{2}\sigma_y S_{66} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.5)$$

$$\therefore \frac{1}{S_{66}} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y} \dots\dots\dots(5.3.1.6)$$

となる。

素材およびQ合板では (5.3.1.6) 式は簡単につきのようなになる。

$$G_{LT} = \frac{1}{2}E_{x=45^\circ} = \frac{1}{2}E_{y=45^\circ} = \frac{1}{2}E_{LT-45^\circ} \dots\dots\dots(5.3.1.7)$$

つぎにP合板の場合について考える。合板を構成している単板個々については (5.3.1.3)' 式は当然成り立つから, 合板が Fig. 7 のように同樹種でしかも $\sum t_i = t_I, \sum t_j = t_J$ の2層組合せ単板に等価であるとの考えかたからすると, t_I のものは $\theta = -45^\circ$ となり, t_J のものは $\theta = 45^\circ$ になる。しかしいずれにしても (5.3.1.4) 式中の sin, cos の2乗以上の偶数乗項は同じ値になるので, 同じ (5.3.1.3)' 式が

得られる。つまり単板構成に関係せず (5.3.1.3)' が得られるということである。したがって、P 合板の場合にも (5.3.1.6) 式が成り立ち、

$$G_{0^\circ,90^\circ} = \frac{1}{2} E_{x=45^\circ} = \frac{1}{2} E_{y=45^\circ} = \frac{1}{2} E_{LT-45^\circ} \dots\dots\dots(5.3.1.8)$$

となる。

また最大剪断応力 $\tau_{x'y'}_{max}$ は (5.3.1.1) 式から、

$$\tau_{x'y'}_{max} = \sigma_{45^\circ max} \text{ (引張か圧縮で)} \dots\dots\dots(5.3.1.9)$$

によって与えられる。

今回の試験装置においては Fig. 17 に示す方法で剪断力を与えるのであるが、Fig. 6 に示す座標における荷重と剪断応力の関係は、

$$\left. \begin{aligned} \tau_{x'y'} = -\sigma_y = \frac{P}{\sqrt{2} A} \\ \tau_{x'y'} = \sigma_x = \frac{P}{\sqrt{2} A} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.10)$$

となる。ここで A は正方形の 1 辺の長さを a、板の厚みを t とすると $A=at$ となる。(5.3.1.10) 式の意味は対角線 AC あるいは BD 上に荷重 P がかかるとしたものである。

以上の考えかたがわかったので、実験測定値と比較してみる。

まず G_{LT} (素材および Q 合板) を Table 10 から La, DLa, Q 合板についてみると 3 者同一の値 $5.5 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ のようである。計算ではどうかというと (5.3.1.7) 式から、Table 7 および Table 8 のそれぞれヤング係数もちいてつぎの表が計算の結果示される。

	$E_{LT-45^\circ} \text{ (} \times 10^8 \text{ kg/cm}^2 \text{)}$			
	Tension (引 張)	Compression (圧 縮)	M (平均値)	$\frac{1}{2}M$
La	9.4	12.8	11.1	5.6
DLa	10.4	13.3	11.9	6.0
Q	7.8	11.4	9.6	4.8
M (平均値)	9.2	12.5	10.9	5.5

平均値でみる限り計算値も実験値もほぼ同じであるとみられる。ただ Q 合板の引張りのヤング係数が若干低い、これは前にも述べたように 過少評価である。いずれにしても G_{LT} は $5.0 \sim 6.0 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ の値である。

最大剪断応力 $\tau_{x'y'}_{max}$ については、まず実験測定値を Table 10 でみると、La, DLa および Q 合板でそれぞれ 98, 88, 79 kg/cm^2 が得られた。これが (5.3.1.9) 式の $\sigma_{45^\circ max}$ 、つまり $\sigma_{LT-45^\circ max}$ のものは、引張でそれぞれ 84, 89, 48 kg/cm^2 となった。もちろん圧縮での $\sigma_{LT-45^\circ max}$ より、引張の $\sigma_{LT-45^\circ max}$ の方が支配するわけで、したがって、これと前述の値と比較してみればよいことになる。ただし、Q 合板の $\sigma_{LT-45^\circ max}$ は断面寸法のための過少評価がはかり、正しい値を示していないものと考えられるので、除いて平均値をとってみると、

$$\text{実験値} = \frac{98+88+79}{3} \div 88 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{計算値} = \frac{84+89}{2} \div 87 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

となる。ただし、Q合板の τ_{max} が 79 kg/cm^2 であるから両者とも若干高いが、これらのことを考慮すると、 τ_{max} は 80 kg/cm^2 前後のものと同判断される。もちろんQ合板の場合 (P合板の場合にも) 裏割れ等による強度低下はあるわけで、このことは許容応力度を決める際には必ず考慮されねばならない。

ではP合板についてはどうかというと、Table 11 から各P合板の $G_{0^\circ,90^\circ}$ の実験値をみると、平均値では $5.5 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ となった。この値は素材およびQ合板のものと同じである。(5.3.1.8) 式を出す際に述べたように、単板構成にかかわらず $G_{LT} = G_{0^\circ,90^\circ}$ が成り立つものであることがわかる。

つぎに最大剪断応力 $\tau_{0^\circ,90^\circ,max}$ についてみる。Table 11 から各P合板の平均値として 87 kg/cm^2 の実験値が得られた。では $\sigma_{45^\circ,max}$ はどうかというと、今回はP合板の引張試験をおこなわなかったが、(5.3.1.9) 式から素材およびQ合板の $\sigma_{LT-45^\circ,max}$ の値は、 87 kg/cm^2 とみられることから、当然この場合にも単板構成のいかんにかかわらず $\tau_{LT,max} = \tau_{0^\circ,90^\circ,max}$ が成立することがわかる。

ii. (45°) の場合：順剪断

素材およびQ合板の順剪断とは Fig. 7B にしめす、 i 単板のみの荷重条件におかれたものであるから、 y 方向には横圧縮が働き、 x 方向には縦引張が働く。そしてこの2者のうち前者はどこまでも圧縮されて最大値が出現しないから、この試験では剪断剛性は出せるけれども最大剪断応力値を出し得ない。つまり x 方向で縦引張による破壊する力よりずっと低い力で横圧縮による座屈が生じたり、または上・下の金具がついたりして測定不能になり、したがって、剪断剛性係数 G_{LT-45° Nor. のみ測定できる。それに対してP合板の場合は、 x 方向にも y 方向にも繊維方向の単板がはいるために、そしてこの繊維方向の破壊応力はかなり大きいために、どうしても縦圧縮による座屈破壊を起こし、したがって最大剪断応力値は出現する。

今回製造したP合板はその単板構成上からみて、単板材の材質強度がみな同じのものであるとみなして、単板の厚みの多少によって、見掛上の順剪断、逆剪断の方向を定めた。そこで表板単板の繊維方向を基準にして、Fig. 6 のように水平方向に x 軸をとって、この方向に繊維方向をもってくるならば、このような状態でのパネル剪断では、12P と 18P の合板が順剪断となり、11P と 15P の合板は逆剪断となる。ただし Table 4 に示すように、15P は $t_i \neq t_j$ であるため材質値によって支配される。しかしどちらでもほとんど同じような値になっているからそう問題にはならないはずである。

なお、 G_{LT-45° Nor. の実験測定値をみると Table 10 から La, DLa, Q 合板では、平均して、

$$G_{LT-45^\circ} \text{ Nor.} = \frac{6.1+7.5+6.9}{3} \div 6.8 (\times 10^8 \text{ kg/cm}^2)$$

となる。

また計算ではどのくらいになるかといえ、(2.3.1.14)' 式から $t_j = 0$ としたものであるから、

$$G_{LT-45^\circ} = C_1 = \frac{E_L}{\frac{E_L}{E_T} + 1 + 2\nu_{LT}} \div E_T$$

となる。

とすると素材およびQ合板の E_T を Table 7 および Table 8 からみるとつぎのようである。

	$E_T (\times 10^8 \text{ kg/cm}^2)$		
	Tension	Compression	
	(Mirror type)	(Mirror type)	(Strain gage type, from C.P.R)
La	3.8	4.3	6.0

DLa	4.4	4.5	7.8
Q	3.1	4.5	5.7
M	3.8	4.5	6.5

この表で引張の E_T は、前に述べたように断面寸法の影響がはいってくるので過小評価である。と同時に圧縮の E_T でも鏡式法でもとめたものはストレインゲージ法でもとめたものよりかなり小さい。これは鏡式法では材質が弱いために多少鏡の回転に対してのなんらかの支障が生ずるのではないかと考えられる。それと直線域をとるのに苦勞する。それに対してストレインゲージ法では割合にはっきりした直線域がとれた。この結果ストレインゲージ法によってもとめた E_T であると、 G_{LT-45° Nor. とほとんど同じであるとみてよいと考えられる。

P合板ではどうかというと、Table 11 から実験測定値として平均値は、

$$G_{45^\circ} \text{ Nor.} = \frac{40.4+40.3+40.0+41.1}{4} \div 40.5 \quad (\times 10^8 \text{ kg/cm}^2)$$

となる。

これに対して G_{45° の精密計算値として (2.3.1.16) 式、近似計算式として (2.3.1.18) 式からつぎのようになった。

$$G_{45^\circ} = \frac{35.5+34.5+35.8+35.6}{4} \div 35.4 \quad (\times 10^8 \text{ kg/cm}^2)$$

$$G'_{45^\circ} = \frac{40.2+39.1+40.5+40.3}{4} \div 40.0 \quad (\times 10^8 \text{ kg/cm}^2)$$

このように約10% くらいの誤差の範囲内に両者がはいるとすれば、やはりこのくらいの値のもの判断される。したがって、

$$\frac{G_{45^\circ}}{G_{0^\circ,90^\circ}} = \frac{40}{5.5} \div 7.3$$

とみられる。

このことは直交異方性材料の示すもっとも有効な性質の1つであって、素材で使うより合板のように直交に組み合わせれば、同じ材料でも7倍つよく使えることを示している。

したがって、箱とか壁板材とかいわゆる広い空間をかこう構造用パネル材としてこの合板を使う場合には、当然この剪断耐力用として使う方法をこれからは考えてゆくべきであると思う。

つぎに $\tau_{45^\circ \max}$ について考えてみる。素材およびQ合板については出ないことがわかったのでP合板について考えてみる。

考察を簡単にわかりやすくするために、合板が例によって i と j 単板の2層組合せ単板によって構成されているとする。単板の厚みを t_i, t_j とすると Fig. 7 から応力の釣合い条件によってつぎの式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ix}t_i + \sigma_{jx}t_j &= \sigma_x t \\ \sigma_{iy}t_i + \sigma_{jy}t_j &= \sigma_y t \\ t &= t_i + t_j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.11)$$

一般に木材は横方向は縦方向に比し、かなり弱いため上式中横方向としての $\sigma_{jx}t_j$ と $\sigma_{iy}t_i$ を他の項に比しほとんど0とみる。

さらにつぎの関係

$$\tau_{x'y'} = \sigma_x = -\sigma_y$$

から (5.3.1.11) 式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ix} \frac{t_i}{t} = \tau_{x'y'} \\ -\sigma_{jy} \frac{t_j}{t} = \tau_{x'y'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.12)$$

したがって、 $\tau_{x'y'_{max}}$ は縦圧縮強さとして j の単板の $\sigma_{jy} t_j$ と、縦引張強さとしての i 単板の $\sigma_{ix} t_i$ のどちらか小さい方によって先に破壊の主導権があることになる。

一般に木材ではこの両者の比が

$$\frac{\text{縦圧縮強さ } (\sigma_{jy}) \div 1}{\text{縦引張強さ } (\sigma_{ix}) \div 3}$$

であるから、今回製造した P 合板の単板構成では単板厚みを考慮すると、12P 合板だけがどちらかが小さいのか判定しにくい。他のものはすべて t_i と t_j のどちらか小さい方に Q 合板でもとめた $\sigma_{c_{max}}$ (圧縮強さ) をかけて、出された値がすなわちこの合板の順剪断の $\tau_{45^\circ_{max}}$ Nor. となる。そして表板単板の繊維方向を基準としての i 単板の x 方向の $\sigma_{ix} t_i$ が大きければ真の順剪断となるし、逆の場合が逆剪断になるとする考え方ができる。

そこで Q 合板の $\sigma_{ix_{max}}$ (圧縮強さ) を Table 8 よりもとめると 484 kg/cm^2 であり、また各 P 合板としての t_i/t は Table 4 からつぎのようになっているので、 $\sigma_{ix_{max}} \times t_i/t = \tau_{45^\circ_{max}}$ Nor. は、

	t_i (cm)	t_i/t	$\sigma_{ix_{max}} t_i/t$ (kg/cm ²)
11P	0.470	0.454	220
12P	0.480	0.398	193
15P	0.725	0.488	236
18P	0.840	0.467	226
M			219

と推定される。

これに対し実験測定値は Table 11 に示すように 11P と 12P 合板はほぼ合うが、15P と 18P はかなり低い。これは Photo. 6.8 に示すように完全にパネル剪断破壊をしたのではなく、ボルト穴の剪断破壊による応力集中によったものであるから、実際にはもっと大きく出なければならないのである。したがって、 $\tau_{45^\circ_{max}}$ Nor. は 220 kg/cm^2 くらいとみるのがよさそうである。すると、

$$\frac{\tau_{45^\circ_{max}}}{\tau_{0^\circ_{max}}} = \frac{220}{80} \div 3$$

となって、約 3 倍弱となり剪断強さの場合も直交異方性材料としての有効性が示される。素材として使うより合板の方がつよく使えることに注意を要する。

iii. (45°) の場合：逆剪断

すべて順剪断の逆が逆剪断であるが、素材および Q 合板についてみると、Fig. 7B の j 単板に対するパネル剪断の荷重条件になったものである。とすれば今度は順剪断のちょうど逆の、 y 方向の縦圧縮強さと x 方向の横引張強さの 2 者が問題になる。もちろん横引張強さ (σ_{ix}) の方がずっと低いので、この場合の剪断破壊の主導権は当然横引張強さによって支配される。つまり逆剪断の場合には $\tau_{45^\circ_{max}}$ Inv. がもとめられることになる。また G_{LT-45° Inv. も当然もとめられる。

まず実験測定値として 素材およびQ合板の G_{LT-45° Inv. の値を Table 10 からもとめてみると、その平均値は、

$$G_{LT-45^\circ} \text{ Inv.} = \frac{10.9+10.9+8.5}{3} = 10.2 \quad (\times 10^3 \text{ kg/cm}^2)$$

となる。

それに対し計算値として (2.3.1.14)' 式で $t_i=0$ としてもとめれば、

$$G_{LT-45^\circ} \doteq E_T$$

となつてまったく順剪断と同じ値にならなければならないはずである。にもかかわらず実験測定値が上記のように大きく出た。

これはあくまで実験装置上の問題と思われるが、今後この原因について研究したい。

つぎに $\tau_{LT-45^\circ \text{max}}$ Inv. について考えてみる。

これは Fig. 7B の j 単板の状態のものであるから、パネル剪断破壊の主導権は横引張強さ ($\sigma_{jx \text{max}}$) にあるから、したがつてつぎのようにかける。

$$\tau_{LT-45^\circ \text{max}} \text{ Inv.} = \sigma_{jx \text{max}} \text{ (横引張強さ)} \dots\dots\dots(5.3.1.13)$$

そこで Table 10 から素材 (La, DLa) およびQ合板の実験測定値 $\tau_{LT-45^\circ \text{max}}$ Inv. をもとめてみると平均値として、

$$\tau_{LT-45^\circ \text{max}} \text{ Inv.} = \frac{20.5+25.1+20.0}{3} = 21.9 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

をうる。

これに対して横引張強さを Table 10 からそれぞれもとめてみると、

$$\sigma_{T \text{max}} = \begin{cases} 47 \text{ (ラワン材)} \\ 25 \text{ (Q合板)} \end{cases} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

である。明らかにラワン材では2倍くらいに大きい。ただし今回の試験では試験片数が非常に少ないために、あるいは干割れ等の欠点があったのかもしれないがこのような結果になった。Q合板については明らかに裏割れの影響等のために、どちらも欠点をかかえこんでの試験なので同じ値になったものと判断される。素材およびQ合板についての (45°) 逆剪断試験をまた別にとりあげて、もう一度やってみる予定である。

つぎにP合板について考察してみる。

まず剪断剛性係数 G_{45° Inv. についてであるが、これは (2.3.1.1.16) 式と同じ結果となり、 I と J の入れ換えたものとして考えられるから当然、

$$G_{45^\circ} \text{ Inv.} = G_{45^\circ} \text{ Nor.} \dots\dots\dots(5.3.1.14)$$

となる。

実験測定値についてみると、Table 11 に示すように、ほとんど変わらないとみられる。多少逆剪断の方が大きいように思うが、これは前にも述べたように試験装置の問題がはいってきたためと考えられる。

$\tau_{45^\circ \text{max}}$ Inv. についてはどうかというと、これは順剪断と逆のものであることなので、同じ考えかたで (5.3.1.12) 式に対応する応力の釣合式をもとめてみると、同じ Fig. 7 からつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} -\sigma_{ix} \frac{t_i}{t} &= \tau_{x'y'} \\ \sigma_{jy} \frac{t_j}{t} &= \tau_{x'y'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.15)$$

したがって、逆剪断によるパネル剪断破壊は順剪断のときと同様に、縦圧縮強さ ($\sigma_{ix} t_i$) と縦引張強さ ($\sigma_{jy} t_j$) のどちらか小さい方によって決まってくる。だからP合板の単板構成によって予想すればよいわけである。そこで今回製造したP合板について考えてみると、Q合板の最大圧縮強さ ($\sigma_{ix \max}$) = 484 kg/cm² を使ってつぎのような値を推定できる。

	t_i (cm)	t_i/t	$\sigma_{ix \max} t_i/t$ (kg/cm ²)
11P	0.565	0.546	264
12P	0.725	0.602	291
15P	0.760	0.512	248
18P	0.960	0.533	258
M			265

この計算値がいわゆる予想剪断破壊応力である。これに対し実験測定値はどうかというと、Table 11 から 11P のみ合って他の合板は全部低い。これは順剪断の場合と同じく全部 Photo. 6.8 に示したように、完全にパネル剪断破壊をしたのではなくてボルト穴の剪断破壊による応力集中によったためである。したがって、もっと大きくならなければならないはずである。そこで $\tau_{45^\circ \max}$ Inv. はほぼ 260 kg/cm² くらいにみるのがよさそうである。そしてこの場合にも (0°・90°) と (45°) の比をみると、

$$\frac{\tau_{45^\circ \max}}{\tau_{0^\circ \cdot 90^\circ \max}} = \frac{260}{80} \approx 3$$

となって、やはり有効性が大きいことがわかる。

iv. (45°) 合板の単板構成

(0°・90°) 合板の場合にはパネル剪断では単板構成に問題を起こさないが、これを (45°) 合板に使うと問題が生ずる。ここで順剪断と逆剪断の使い分けは、座標で $\pi/2$ 回転すればどちらにでもなるから、順剪断のみを考えることにする。そして剪断剛性係数も当然単板構成によって (2.3.1.1.14)' の C_2 項に対して響くが、この問題は別にして、いま破壊剪断応力についてのみ考えてみる。

いま対称合板が正方形板であると (5.3.1.12) 式が成り立つ。正方形板でなく矩形板の場合には当然、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ix} n \frac{t_i}{t} &= \tau_{x'y'} \\ -\sigma_{jy} m \frac{t_j}{t} &= \tau_{x'y'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3.1.16)$$

となって、係数 n , m はそれぞれその矩形の長辺と短辺にもとづく常数となって表わされる。正方形の場合は $n = m = 1$ となる。

そこで合板が x , y 両軸上同時に破壊する状態がもっとも有効なかたちであるから、(5.3.1.16) 式で、

$$\sigma_{ix \max} n t_i = \sigma_{jy \max} m t_j \dots\dots\dots(5.3.1.17)$$

とならねばならない。

Q合板で $\sigma_{ix \max}$ = 縦引張強さ, $\sigma_{jy \max}$ = 縦圧縮強さ であるから、Table 8 からつぎの値が得られた。

$$\sigma_{ix \max} = 484 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{jy \max} = 809 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

そこで単板構成は

$$\frac{t_j}{t_i} = \frac{n}{m} \frac{809}{484} \doteq \frac{5}{3} \frac{n}{m}$$

となる。この構成がもっともよいことになる。正方形板としてみるならば $n/m=1$ であるから t_j は合板厚みの 67% を持たねばならない。こうすれば当然面内では圧縮と引張の両方が同時破壊し、いわゆる完全剪断破壊となるはずである。そして剪断破壊強さのうち最大のものである。

今回の合板では、12P の逆剪断がもっともそれに近いものであったことが表から示されている。

5.3.2. パネル剪断による変形度

i. ($0^\circ \cdot 90^\circ$) の場合

Fig. 6 に示したような剪断応力 $\tau_x y'$ を与えた場合に、四辺形 ABCD の変形状態をみる方法はいろいろあるものと思われるが、その 1 つに対角線 AC, BD 上の変位 (歪) をみるのが考えられる。今回の実験におけるように剪断弾性係数 G をもとめる際に、この両対角線上の歪がぜひ測定されねばならなかったのも、そのためにもこの歪を実験測定し理論計算値と比較してみた。

Fig. 6 において、素材、Q 合板および P 合板の表板単板の繊維方向を x' 軸にとると、対角線 OD, OA 上でのつまり x, y 軸上の歪を ϵ_x, ϵ_y とすると、(5.3.1.3) 式から (5.3.1.5) 式で与えられる。P 合板の場合でも単板構成のいかんにかかわらず (5.3.1.5) 式が成り立つことは (5.3.1.4) 式のそれぞれ $S'_{11}, S'_{12}, S'_{21}, S'_{22}$ が $\theta=45^\circ$ の場合も $\theta=-45^\circ$ の場合も相等しい値をもっているから、 x および y 軸へのそれぞれのコンポーネント値は相等しくなるからである。そこで ϵ_x と ϵ_y の比を δ とすれば $|\delta|=1$ となる。符号が異なるのは y 軸上の歪 ϵ_y は圧縮歪となるので - がつくからである。これに対し実験測定値をみると Table 12 にしめしたように、素材である La で 0.96, DLa で 0.99 そして Q 合板では 0.85 となっている。Q 合板で少し小さくなったのは単板の繊維方向が必ずしも直交でなく、相互に多少のズレをもっているために、異方性が出たものと考えられる。したがって、計算値と同様 $|\delta|$ は 1 とみてよいと思う。

つぎに P 合板ではどうかというと、Table 13 に示したように多少の差はあるがほとんど 1 とみてよいと考えられる。Q 合板と同様、なかには 20% くらい異なるものもあるが、これはやはり単板相互の繊維方向が正しく直交せず、多少のズレのあるためである。

ii. (45°) の場合

順剪断と逆剪断の両方があるけれども、考えかたとしてはどちらも同じなので別にわけて考えない。 $(0^\circ \cdot 90^\circ)$ の場合とは異なってかなり複雑ではあるが、結論としては δ および δ' の計算式が (2.3.1.17)'' と (2.3.1.19) によってもとめられる。素材および Q 合板については両式中 t_I か t_J を 0 とすればよい。

そこで、もっともわかりやすく考察するために δ' によってみると、

$$\delta' = \left| \frac{t_I}{t_J} \right|$$

となる。だからもし $t_J=0$ として順剪断の場合を考えると、Fig. 7B によって示した i 単板のみのものとなれば $\delta'=\infty$ となると考えられる。その反対の場合は、つまり逆剪断の場合は $t_I=0$ となるから $\delta'=0$ となると考えられる。実際にはこのような ∞ とか 0 の極端な値にはならないことは事実で、順剪断の場合

は x 軸が、逆剪断の場合は y 軸がそれぞれ他の軸に比し非常に歪を測定し難い。実験値としてはまったく無視できるくらいのものであった。したがって、 δ および δ' についてはもとめなかった。

P 合板については、まず実験測定値として Table 13 に示したが、12P 以外の合板は t_I と t_J の厚み差があまりないために、ほとんど 1 に近い値になった。計算値としての δ および δ' とはほとんど同じにみられるくらいの値である。12P 合板が両者の間に 20% ていどの差を出したのは、おそらく t_I と t_J のもつ単板の弾性常数に実際に開きがあったことが原因ではなかろうかと考えられる。

以上のことからわかるように、剪断剛性係数 G を測定する場合とか、変形状態をもとにして力学的取扱いをするパネル問題には、必ず 2 軸あるいは 3 軸上での歪を考慮しておこなうことがきわめて大切であることがわかった。ただし $t_I = t_J$ の合板であると、 $(0^\circ \cdot 90^\circ)$ および (45°) の場合に近似的に 1 軸のみの歪を計ってもとめても、そんなにひどく異なった値にならないから、その方がむしろ簡便でよいかもしれない。しかし、その材質には若干の異なりも考えられるから、やはりできれば 2 軸上の歪を計ってやるのがもっとも正しいといえよう。

5.3.3. プレート剪断

§ 4 の v 項で述べた試験方法にもとづいて、つぎの 4 種のプレート試験板をもちいておこなったプレート剪断剛性試験の変形内容を、写真をみながら考察する。

試験板 (Photo. 7.1)

1. ラワン素材 (LT)
2. 同 // ($LT-45^\circ$)
3. ラワン P 合板 ($0^\circ \cdot 90^\circ$)
4. 同 // (45°)

A : 素材 (LT) を Photo. 7.2 のようにプレート剪断装置に取り付け、荷重 25 kg を対角線 1', 3' 上にかける。すると Photo. 7.3 のような変形を生ずる。つまり 2', 4' 面で凹面、そして 1', 3' 面では凸面のいわゆる鞍形二次曲面を呈することがわかる。

つぎに同じ試験片を 180° 回転して、こんどは 2', 4' 上に同じ 25 kg 荷重をかける。すると Photo.

Table 12. ラワン板と Q 合板のパネル剪断における縦歪 (ε_y) と横歪 (ε_x) の比 δ' Ratio δ' of vertical (ε_y) to horizontal (ε_x) strain on the panel shear test of Lauan wood and Q-plywood.

Grain direction (Sign of specimen)	Test specimen	δ'		
		(LT)	$(LT-45^\circ)$	
			Nor.	Inv.
a	1	0.93	very large	very small
	2	0.89		
	3	1.06		
M		0.96		
Dg	1	1.07		
	2	0.94		
	3	0.91		
Di	1	0.94		
M		0.99		
11 Q	4	0.86		
12 Q	4	0.80		
	Q 5	0.95		
15 Q	4	0.92		
	Q 5	0.82		
18 Q	4	0.82		
	Q 5	0.77		
M		0.85		

Table 13. P合板のパネル剪断における縦歪 (ϵ_y) と横歪 (ϵ_x) の比
および計算値と実験値の比較値

Ratio of vertical strain (ϵ_y) to horizontal (ϵ_x) strain on the panel shear test of P-plywood, and comparison between calculated and observed value for their matching specimens.

Test specimen of P-plywood	δ'				$\frac{\text{Cal.}}{\text{Obs.}}$ %	
	Observed		Calculated			
	(0°・90°)	(45°)	Accurate	Approximate	Accurate	Approximate
			(45°)			
11 P 7	1.03	-				
8	0.95	-				
9	0.87	-				
12	-	0.93 ¹⁾				
14	-	1.05 ¹⁾				
M	0.95	0.99	0.84	0.83	85	84
12 P 8	0.76	-				
9	1.10	-				
10	0.95	-				
17	-	0.84 ²⁾				
18	-	0.81 ²⁾				
M	0.94	0.83	0.68	0.66	82	80
15 P 15	0.95	-				
17	0.99	-				
18	0.94	-				
20	-	1.00 ¹⁾				
23	-	0.99 ¹⁾				
M	0.96	1.00	1.05	0.95	105	95
18 P 8	0.82	-				
9	0.94	-				
10	1.01	-				
19	-	0.89 ²⁾				
20	-	0.82 ²⁾				
M	0.92	0.86	0.88	0.88	102	102

1) Inv. shear test

2) Nor. shear test

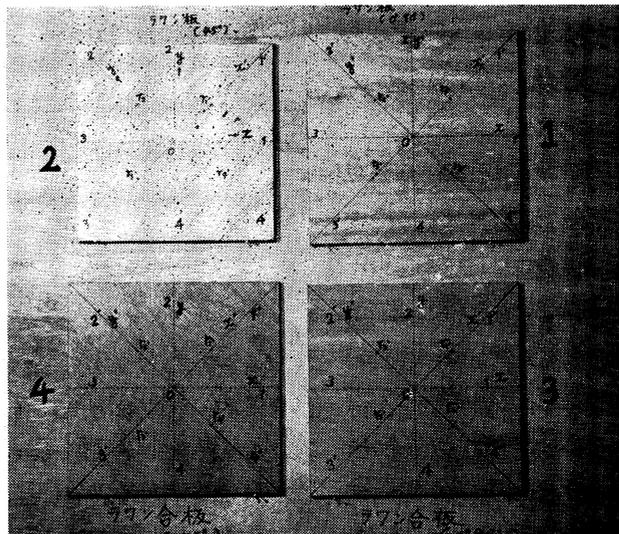


Photo. 7.1 ラワン板およびP合板のプレート剪断試験片

The specimen of Lauan wood and P-plywood on the plate shear test.

7.4 の状態から Photo. 7.5 の状態になる。この変形は前の 1', 3' 上に荷重をかけた場合とまったく同じで、凹凸面の鞍形二次曲面を呈する。そして相対撓差量 ($r_1'r_3'$ と $r_2'r_4'$ 間でのもの) もまったく同じとなった。

このことはプレートが直交異方性体 (L と T をもつ) であるけれども、写真のように x および y 軸に振ってもどちらも同じ剛性をもつことにほかならないことを示している。

B : では同じ素材で ($LT-45^\circ$) のものではどうかということ、**A** のときと同様はじめに 1', 3' 上に荷重 12kg をかける。すると Photo. 7.6 の状態から Photo. 7.7 の状態になる。これをみてわかるように、2', 4' 面では凹面であるのに対し 1', 3' 面はほとんど直線のような平面 (以下直平面という) 状態になっている。なぜこうなるかということ、1', 3' 面は木材の繊維方向である。したがって、この 1', 3' 軸を曲げるといことは多量のエネルギーを要する。それに反し 2', 4' 面は木材の接線方向であるから少しのエネルギーによって 2', 4' 軸を曲げることができる。だからこの試験法によつて、どちらにも同じ曲げモーメントを与えると、たちまち 2', 4' 面が曲がる。それが Photo. 7.7 なのである。

そこでこんどは逆に 2', 4' 上に同じ荷重 12kg をかける。すると Photo. 7.8 の状態から Photo. 7.9 の状態になる。明らかに 2', 4' 面がこんどは凸面になって、1', 3' 面は相も変わらず直平面を呈している。その変形内容は 1', 3' 上に荷重をかけた場合とまったく同じで、しかも相対撓差量も同じである。ただ異なるのは 2', 4' 上の曲げモーメントの向きだけである。

以上素材の (LT) と ($LT-45^\circ$) についてその撓み状態を調べたが、ここでわかるようにこのプレート剪断では x , y 軸を中心にして M_{xy} の振りモーメントを与えることは、 x' , y' 軸の曲げモーメント $M_{x'}$, $M_{y'}$ を与えることになって、しかも $+M_{x'}$ ならば $-M_{y'}$ となる。そして $M_{xy} = M_{x'} = -M_{y'}$ となるはずである。とすれば当然つぎのことがいえる。

(LT) 試験板では x , y 軸で振ることは、その対角線方向としての x' , y' 軸で曲げることに等価であり、かつ x' , y' 軸はそれぞれ繊維方向と 45° の傾角のものであるから、($E_{LT-45^\circ} I$) によって支配されることになる。つまり x' 軸上の ($E_{LT-45^\circ} I$) $_{x'}$ も y' 軸上の ($E_{LT-45^\circ} I$) $_{y'}$ もともに相等しいから、 M_{xy} の場合 (1', 3' 上に荷重をかける場合) も $-M_{xy}$ の場合 (2', 4' 上に荷重をかける場合) も荷重が同じなら変形量としての相対撓み差量が等しいことになる。

Photo. 7.3 と Photo. 7.5 がそれを示している。

また ($LT-45^\circ$) 試験板にも同じ考えかたでみられるから、 x , y 軸上の振りによって x' , y' 軸上の曲げが与えられる。とすると対角線上の x' , y' 軸はそれぞれ繊維方向および接線方向となり、つまり ($E_L I$) と ($E_T I$) の曲げ剛性が同時に働くこととなる。($E_T I$) が ($E_L I$) より極端に小さいことから、($E_T I$) をもつ方向が極端に曲げられる。Photo. 7.7 と Photo. 7.9 にそれがはっきりと現われている。ただし、モーメントの方向が異なるので撓みの方向が異なっているが、相対撓み差量は当然同じになることもこの結果よりわかる。

C : ラワンP合板の ($0^\circ \cdot 90^\circ$) 試験板について同じみかたをしてみると、まず Photo. 7.1 に示すプレート試験板を Photo. 7.10 のように装置し、1', 3' 上に荷重 16kg をかける。すると Photo. 7.11 のように変形する。つまり 2', 4' 面では凹面になり、1', 3' 面では凸面になるところの鞍形二次曲面を呈する。そしてこれは素材の (LT) 試験板の場合と全く同じである。

そこでこんどは、 180° 回転して 2', 4' 上に同じく 16kg 荷重をかける。つまり Photo. 7.12 の状態

から Photo. 7.13 の状態になった。これを見てわかるように、まったく Photo. 7.11 と同じである。そして相対撓み差量も等しい。

D : ラワンP合板の (45°) 試験板ではどうかというと、まずはじめに 1', 3' 上に荷重 50kg をかけると、Photo. 7.14 の状態から Photo. 7.15A の状態になる。つまり (0°・90°) の場合と同じように 2'4' 面では凹面となり 1'3' 面では凸面となる鞍形二次曲面となる。

2', 4' 上に荷重 50kg をかけた場合も、Photo. 7.16 から Photo. 7.17A に示すようにまったく同じようである。Photo. 7.15A と Photo. 7.17A の場合をもっとわかりやすく見るために、もっと下の方からとった写真が、それぞれ Photo. 7.15B と Photo. 7.17B である。これを見るとよりはっきりわかる。そしてどちらも相対撓み差量はまったく等しい。

以上P合板の場合について (0°・90°) と (45°) の試験板のパネル剪断を考察したが、どちらも鞍形二次曲面を呈することは同じであった。そこでもう少しその内容について解析してみると、まず (0°・90°) 試験板についてはこれは合板の直交単板の性質からして、素材の (LT) 試験板の 1', 3' 上に荷重をかけたものと、2', 4' に荷重をかけたものが重なっている板と考えればよいのである。そのどちらも対角線方向としての 1'3' および 2'4' 方向はすべて 45° 方向になるため、($E_{45}I$) の曲げ剛性が合板になっても変わりがない。だから素材と同様な鞍形二次曲面になるのも当然で、相対撓み差量もまた同じとなるのである。

このことはパネル剪断の場合と非常によく似ている。つまりパネル剪断では素材の場合でもP合板の場合でも E_{LT-45} の 1/2 が剪断剛性係数になったが [(5.3.1.7) 式および (5.3.1.8) 式]、プレート剪断でもやはり同じような結果になるはずである。

つぎにP合板の (45°) 試験板についてであるが、この場合は (0°・90°) よりは少し複雑である。いま考察を簡単にわかりやすくみるために、合板を構成している任意の i, j の 1 組の単板を取り出す。すると i 単板は素材の (LT-45°) 試験板の 1', 3' 上に荷重をかけた状態のものとなり (Photo. 7.7), j 単板はやはり同じく素材の (LT-45°) 試験板の 2', 4' 上に荷重をかけた状態のもの (Photo. 7.9) となって、それが同時に重なって荷重をかけられたのがP合板の (45°) 試験板についてのものとなる。素材の (LT-45°) 試験板では鞍形二次曲面にはならなかったが (厳密にはわずかながらなる)、上記 i, j の単板についての考え方から対角線上の曲げ剛性がP合板の場合には、それぞれ $\sum_i E_i I_i$ と $\sum_j E_j I_j$ になり、 $E_i = E_j$ (同樹種単板であると) であるならば、あとは単板の厚みによって、剛性係数が異なってくることになる。当然相対撓み差量も異なってくる。

もっとわかりやすくみるならば i 単板としての Photo. 7.7 の 2', 4' 上の曲げられる弱さを、 j 単板の Photo. 7.9 の 1', 3' 上の曲げられる強さで無視され、つまり E_T の曲げを E_L の曲げで補うため、そして E_T より E_L がかなり大きいため、もはやどちらの対角線上も E_L の値による曲げであると考えられることである。ただし曲げの場合は I によって影響されるから、実効 I はそれぞれ $\sum_i I_i$ と $\sum_j I_j$ であるため、この (45°) 試験板は

$$E_L \frac{\sum_i I_i}{I} = E'_{L i}$$

$$E_L \frac{\sum_j I_j}{I} = E'_{L j}$$

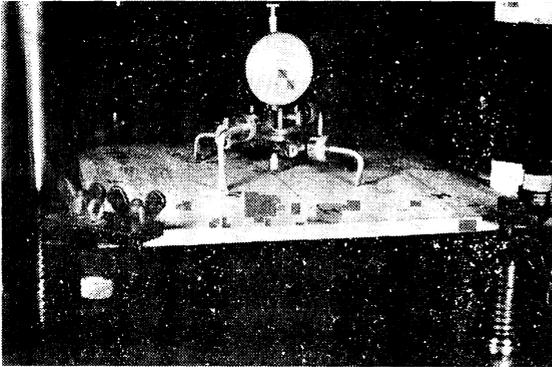


Photo. 7.2 荷重=0 におけるラワン板 (LT) のプレート剪断試験
Plate shear test of Lauan wood (LT) specimen in the no load state.

Photo. 7.3 7.2 において、対角線 1', 3' 上に荷重 25kg をかけた場合の変形状態
Deflection as saddle form at loads of 25kg on corner 1' and 3' from Pho. 7.2 state.

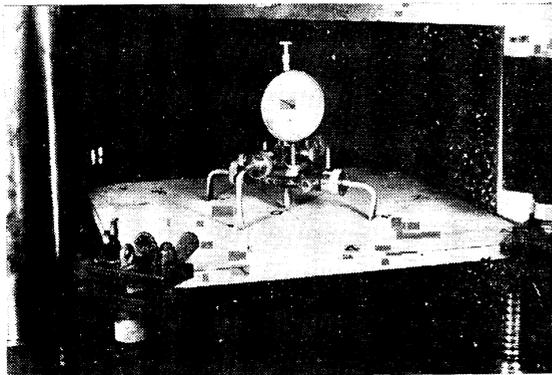
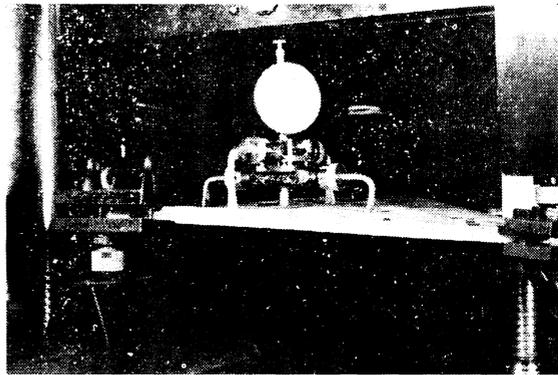
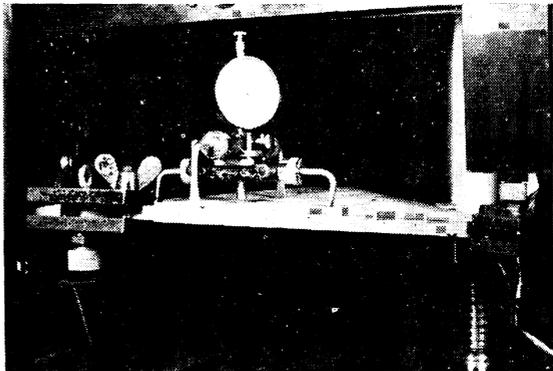


Photo. 7.4 荷重=0 におけるラワン板 (LT) のプレート剪断試験
Plate shear test of Lauan wood (LT) specimen in the no load state.

Photo. 7.5 7.4 において、対角線 2', 4' 上に荷重 25kg をかけた場合の変形状態
Deflection as saddle form at loads of 25kg on the corner 2' and 4' from Pho. 7.4 state.



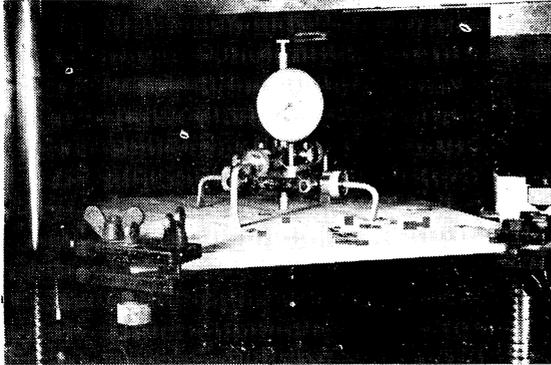


Photo. 7.6 荷重 = 0 におけるラワン板
(LT-45°) のプレート剪断試験
Plate shear test of Lauan wood (LT-45°)
specimen in the no load state.

Photo. 7.7 7.6 において、対角線 1', 3'
上に荷重 12kg をかけた場合の
変形状態

Deflection as single beam at loads of
12kg on the corner 1' and 3'
from Pho. 7.6 state.

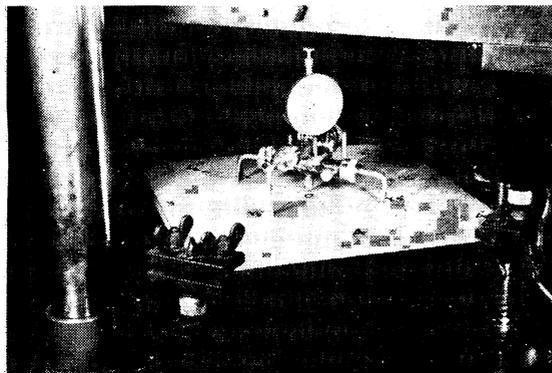
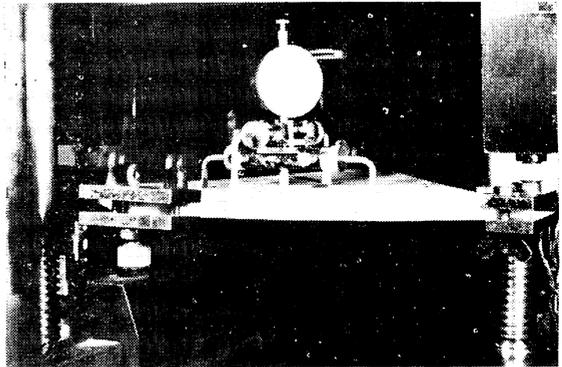
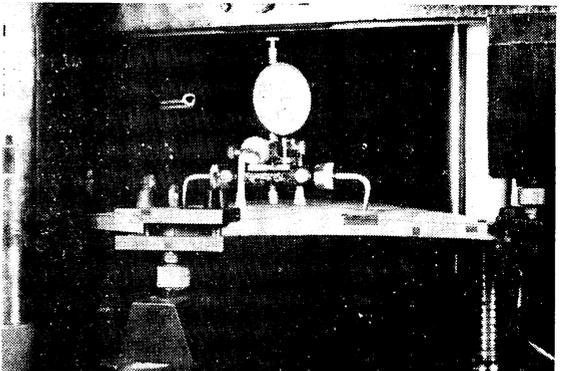


Photo. 7.8 荷重 = 0 におけるラワン板
(LT-45°) のプレート剪断試験
Plate shear test of Lauan wood (LT-45°)
specimen in the no load state.

Photo. 7.9 7.8 において、対角線 2', 4'
上に荷重 12kg をかけた場合の
変形状態

Deflection as single beam at loads of
12kg on the corner 2' and 4' from
Pho. 7.8 state.



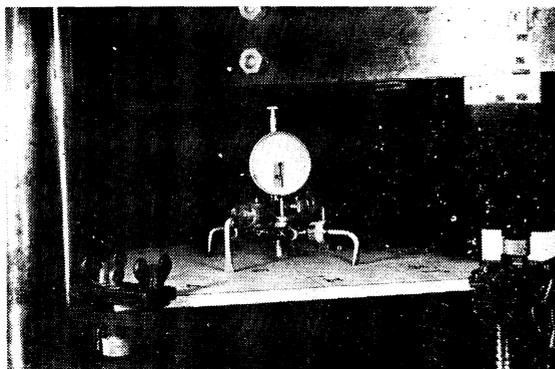


Photo. 7.10 荷重=0におけるP合板
($0^{\circ}\cdot 90^{\circ}$)のプレート剪断試験
Plate shear test of P-plywood ($0^{\circ}\cdot 90^{\circ}$)
specimen in the no load state.

Photo. 7.11 7.10において、対角線1',3'
上に荷重16kgをかけた場合
の変形状態

Deflection as saddle form at loads of
16kg on the corner 1' and 3' from
Pho. 7.10 state.

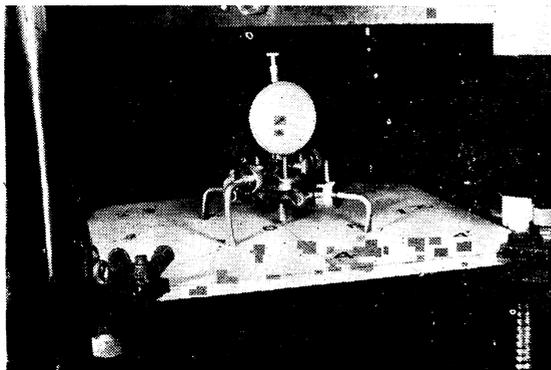
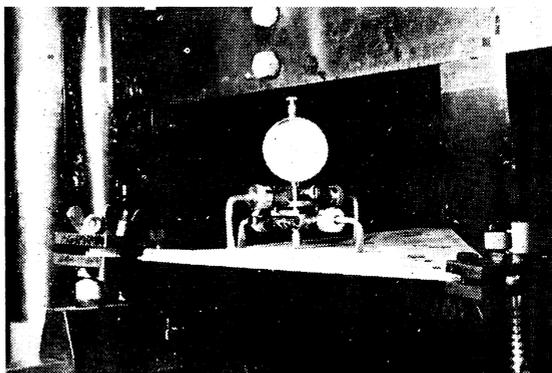
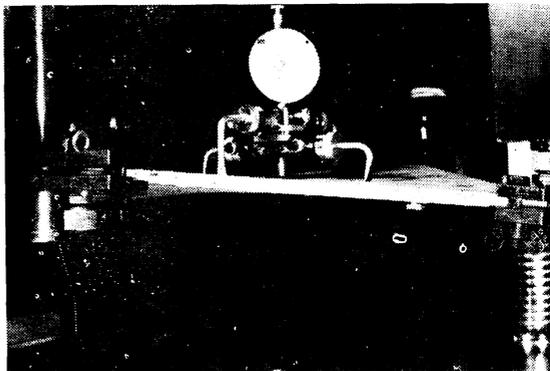


Photo. 7.12 荷重=0におけるP合板
($0^{\circ}\cdot 90^{\circ}$)のプレート剪断試験
Plate shear test of P-plywood ($0^{\circ}\cdot 90^{\circ}$)
specimen in the no load state.

Photo. 7.13 7.12において、対角線2',4'
上に荷重16kgをかけた場合
の変形状態

Deflection as saddle form at loads of
16kg on the corner 2' and 4' from
Pho. 7.12. state



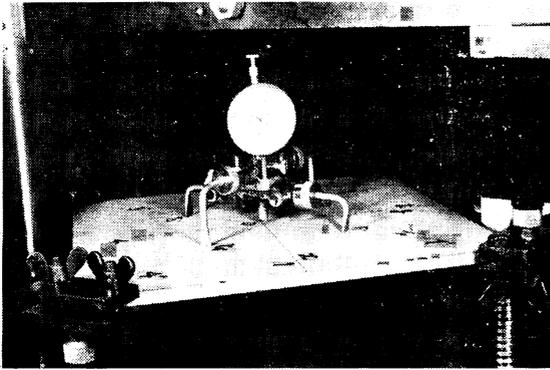


Photo. 7.14 荷重 = 0 における P 合板
(45°) のプレート剪断試験
Plate shear test of P-plywood (45°)
specimen in the no load state.

A

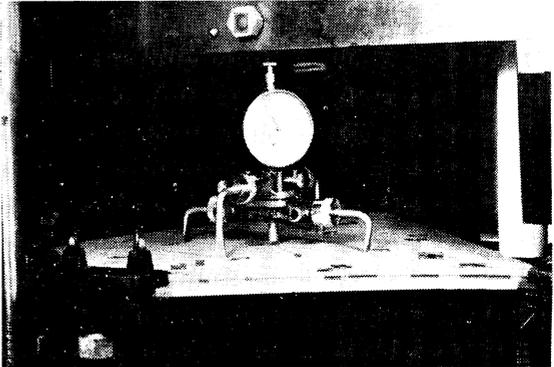


Photo. 7.15 A, B

7.14において、対角線 1', 3' 上に荷重
50 kg をかけた場合の変形状態

Deflection as saddle form at loads of 50kg
on the corner 1' and 3' from Pho. 7.14
state.

B

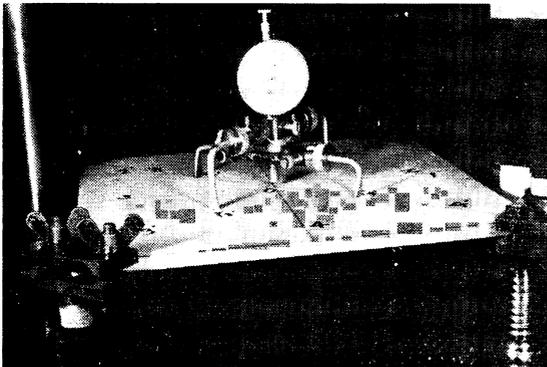
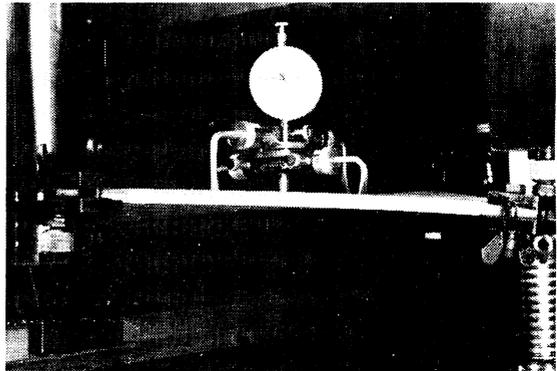
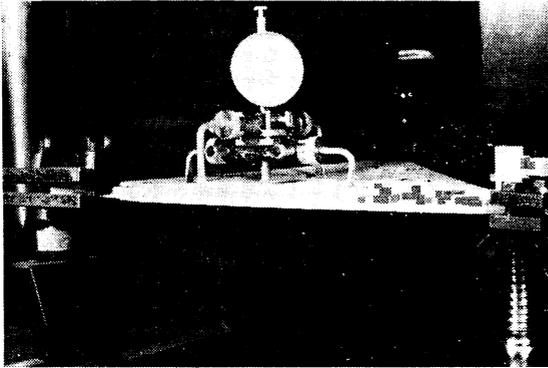
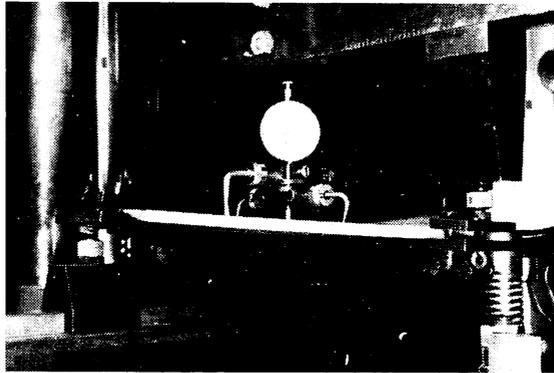


Photo. 7.16 荷重 = 0 における P 合板
(45°) のプレート剪断試験
Plate shear test of P-plywood (45°)
specimen in the no load state.



A



B

Photo. 7.17 A, B 7.16 において、対角線 2', 4' 上に荷重 50kg をかけた場合の変形状態
Deflection as saddle form at loads of 50kg on the corner 2' and 4' from Pho. 7.16 state.

の等価ヤング係数をもつ試験板とみられることになる。(45°) 試験板がよくつよいといわれる現象は、このためであることが今回の試験においてははっきりと了解された。

この考察は、別個に作製された同じラワン合板試片で予備的に検討したものである。

E: 素材およびQ合板についておこなった試験の結果を素材の場合には G_{LT} および G_{LT-45° を Table 7 に、Q合板の場合 G_{LT} を Table 8 にそれぞれ示した。P合板の場合 $G_{0^\circ-90^\circ}$ を Table 9 に示した。

まず素材の場合、Table 10 から曲げにおける E_{bT} と E_{bLT-45° の値をとってみると、プレート剪断剛性係数とくらべて、

$$G_{LT} = \frac{1}{2} E_{bLT-45^\circ}$$

$$G_{LT-45^\circ} \doteq E_{bT}$$

と、ほとんど等しい値になっている。このことはパネル剪断と同じような結果になっている。

P合板ではどうかというと、11P と 12P しかやらなかったので両者についてみる。Table 9 からつぎの値を比較すると(平均値)で

	$G_{0^\circ-90^\circ} (\times 10^8 \text{ kg/cm}^2)$	$\frac{1}{2} E_{b45^\circ} (\times 10^8 \text{ kg/cm}^2)$
11P	7.5	10.6
12P	6.4	8.6

となった。右項の方が若干高い。これは45°方向の曲げヤング係数が少し高くなるのではないかと考えられる。圧縮のヤング係数からは9.3および8.5と小さくなっているし、素材からみればまったく $1/2 \cdot E_{bLT-45^\circ} \doteq G_{0^\circ,90^\circ}$ が成立する。P合板の45°方向の曲げ試験についてはかなり問題があるように感ずるが、今回の試験結果は $G_{0^\circ,90^\circ}$ と $1/2 \cdot E_{bLT-45^\circ}$ とは等しいことが正しいようである。

なおプレート剪断についての順剪断および逆剪断を考えなかったが、荷重を1'3'上にかける場合と2'4'上にかける場合が、どちらかが必ず定義にしたがった考え方に対応しているので、別に対象にしなかった。なお、プレート剪断による理論計算および実験はつぎの研究報告に出す予定である。

5.4. ポアソン比

素材およびQ合板のポアソン比について Table 7 および Table 8 に示してあるが、これによると ν_{LT} の方は乾燥することによって若干大きくなり、その反面 ν_{TL} の方は小さくなっている。しかし、いずれにしてもわずかであるから、総合的にはラワン材としてのポアソン比は、

$$\nu_{LT} = 0.45$$

$$\nu_{TL} = 0.02$$

くらいにみるのが妥当のようである。

このことを考慮に入れてP合板のポアソン比を、今回作った4種類の各単板構成のものについて、つぎの計算式によってもとめ、さらにその実験測定値を Table 9 からもとめて比較してみるとつぎのようになる。

ポアソン比をもとめる計算式は(2.4.1)式および(2.4.2)式である。

$$\nu_{0^\circ,90^\circ} = \frac{\nu_{LT}}{\frac{t_I}{t} - \frac{t_J}{t} \cdot \frac{E_L}{E_T} + \frac{E_L}{E_T}}$$

$$\nu_{90^\circ,0^\circ} = \frac{\nu_{TL}}{\frac{t_I}{t} - \frac{t_J}{t} \cdot \frac{E_T}{E_L} + \frac{E_T}{E_L}}$$

	$\nu_{0^\circ,90^\circ}$		$\nu_{90^\circ,0^\circ}$	
	Ob.	Cal.	Ob.	Cal.
11 P	0.0723	0.0315	0.0397	0.0340
12 P	0.1640	0.0422	0.0467	0.0261
15 P	0.1350	0.0334	0.0273	0.0318
18 P	0.150	0.0364	0.0268	0.0293
M	0.1430	0.0360	0.0271	0.0303

Ob. : Observed value (実験測定値)

Cal. : Calculated value (計算値)

計算値はQ合板の弾性値をとる。

そこで、この表で実験値と計算値をみると、 $\nu_{90^\circ,0^\circ}$ の方はまず両者等しいものと判断されるが $\nu_{0^\circ,90^\circ}$ はかなり大きな差を示している。これらのなかでは11Pが他の合板よりすこし計算値に近い。

どうしてこのような開きが出たのかということであるが、その原因として表板単板が厚ければ厚いほど $\nu_{0^\circ,90^\circ}$ の場合には、厚みによる歪勾配が大きく出るためと考えられる。つまり表板単板の接着層側では接着による第2層目の単板の材質値に沿った動きをするけれども反対の表面側は自由であるため、むしろ素

材としてのポアソン比の動きをしようとするから、表面ほど歪が大きくなっていくものと考えられる。しかし接着層側のそくばくもあるため、そこに歪勾配をもって分布されると考えられる。したがって表板単板が薄いものほどその歪勾配がないために、理論計算式に合ってくることになる。今回の試験合板では表板単板が 11P では 1 mm、他のものはすべて 2.4 mm であった。したがって、11P は他のものより計算値に近くなっているのもこの理由によるものと考えられる。なお 1 mm 以下の薄いものになると、ほとんど両者が一致してくることはすでに報告したことからあきらかである⁷⁾。

$\nu_{90^{\circ},0^{\circ}}$ については表板単板から接着された第 2 層目単板の方がポアソン比の動きの主導権を持っているため、横への働く力が十分表板単板の横への動きを果たさせて割合にそくばくを生ぜしめないからだと考えられる。

一応このような考えかたによっているけれども、単板厚みによる歪勾配があるものなのか、この点を実験によって確かめてから結論を出したいと考えている。

6. 摘 要

以上の研究内容を要約すればつぎのとおりである。

1. 合板を構成している単板の許容応力度は上級単板とみられるものに対しては、最大強さの 1/6 くらいの値をとり、普通単板では同じく 1/7 くらいの値をとり、そして合板の強さの計算には、繊維方向のみを考慮してもちいる近似計算法にもつづいておこなってもよいと思われる。

2. 一般に等方性体では弾性常数間に

$$E = 2G(1 + \nu)$$

の関係が成り立つが、木材では素材および合板に対してはつぎのようになる。

2.1. 素材では

$$G_{LT} = \frac{1}{2} E_{LT-45^{\circ}}$$

$$G_{LT-45^{\circ}} = \frac{E_L}{\frac{E_L}{E_T} + 1 + 2\nu_{LT}} \doteq E_T$$

2.2. 合板では

$$G_{0^{\circ},90^{\circ}} = \frac{1}{2} E_{LT-45^{\circ}}$$

$$G_{45^{\circ}} = \frac{E_L}{\frac{E_L}{E_T} + 1 + 2\nu_{LT}} + \frac{(E_L - E_T)^2}{(1 - \nu_{ILT}\nu_{ITL})(E_{IT} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \cdot \frac{t_I t_J}{t^2}$$

$$\doteq E_T + E_L \cdot \frac{t_I t_J}{t^2}$$

3. パネル剪断から最大強さの関係をもとめてみると、等方性体では

$$\tau_{max} = \sigma_{max}$$

の関係になるが、木材では素材および合板に対してはつぎのようになる。

3.1. 素材では

$$\tau_{LT \cdot max} = \sigma_{LT-45^{\circ}, max}$$

$$\tau_{LT-45^{\circ}, max} = \begin{cases} \text{順剪断, 不能} \\ \text{逆剪断, } \sigma_{T \cdot max} \text{ (横引張)} \end{cases}$$

3.2. 合板では

$$\tau_{0^{\circ},90^{\circ}} = \sigma_{45^{\circ}max}$$

$$\tau_{45^{\circ}max} = \sigma_{LT-max} \frac{t_f}{t} \quad (\text{縦圧縮})$$

4. パネル剪断による平面変形度について合板の場合にはつぎのようになる。

4.1. (0° - 90°) 試験板では

$$\epsilon_x = \epsilon_y$$

4.2. (45°) 試験板については

$$\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = \frac{t_f}{t}$$

5. ラワン合板では

$$\frac{G_{45^{\circ}}}{G_{LT}} = \frac{G_{45^{\circ}}}{G_{0^{\circ},90^{\circ}}} \cdot 7 \quad (\text{順剪断, 逆剪断とも})$$

$$\frac{\tau_{45^{\circ}max}}{\tau_{LT-max}} = \frac{\tau_{45^{\circ}max}}{\tau_{0^{\circ},90^{\circ}max}} \cdot 3 \quad (\text{順剪断, 逆剪断とも})$$

6. プレート剪断では弾性常数間には木材としての素材および合板に対してつぎのようである。

6.1. 素材では

$$G_{LT} = \frac{1}{2} E_{bLT-45^{\circ}}$$

$$G_{LT-45^{\circ}} = E_{bT}$$

6.2. 合板では

$$G_{0^{\circ},90^{\circ}} = \frac{1}{2} E_{bLT-45^{\circ}}$$

7. 合板のポアソン比においては、素材単板が厚くなればなるほど、 $\nu_{90^{\circ},0^{\circ}}$ は問題ないが $\nu_{0^{\circ},90^{\circ}}$ では歪み勾配を生じて計算値より高くなるようである。

文 献

- 1) A.G.H. Dietz: Engineering Laminates; Plywood-N.S. Perkins and David Countryman. pp. 214~219, (1949)
- 2) 浅野猪久夫・都築一雄: 合板の強度的異方性について, 材料, 12, 121, pp. 761~768, (1963)
- 3) D.F.P.A (USA): Working-stress for Douglas-Fir Plywood. Technical Data on plywood, (1942)
- 4) 江草義正: 外装合板用原木および使用した単板の品質について, 木材部外装用合板研究班資料, 昭和40年12月, (1965)
- 5) 沢田 稔: 木材の強度特性に関する研究, 林試研報, 108, p. 134, p. 153, (1958)
- 6) 高見 勇: 合板のパネルおよびプレート剪断剛性試験について, 木材学会誌, 10, 1, pp. 1~9, (1964)
- 7) ———: 合板のポアソン比について, 林試研報, 188, pp. 133~174, (1966)
- 8) 上村 武: Plywood (合板構造計算資料), テクニカル・シリーズ, No. 1, 日本合板工業組合, Feb. (1964)

Strength of Plywood (I)

Isami TAKAMI

(Résumé)

This report is on a study of elastic properties and the strength of Lauan wood, Q- and P-plywood (Fig. 14) subjected to the following stresses :

- 1) Tensile, compressive and panel shear stresses acting in the plane of the wood and plywood, and at L (0°), $LT-45^\circ$ (45°) and T (90°) to the grain.
- 2) Bending and plate shear stresses acting in the cross section of the wood and plywood, and at L (0°), $LT-45^\circ$ (45°) and T (90°) to the grain.

The main subject in this report is the theoretical analysis of equations for calculating the elastic moduli and the strength value of Lauan wood, Q- and P-plywood subjected to the two ways (1) and 2)).

Tables showing the comparison between the experimental data and theoretical value indicates that as a whole the agreement between theory and experiment is good.

From the analysis and experiment the following conclusions were drawn :

1. When plywood is used so that the grain of the exterior plies (grain of face veneer) runs parallel to the direction of load or to the span, the error (on the safe side) in neglecting the plies perpendicular to the direction of load or to the span is quite small.

2. Derivation of allowable unit stress for plywood involves consideration of a number of factors representing the various conditions that affect the adequacy of structural plywood.

From analysis and judgment, based on experimental data, we may conclude that allowable unit stress for Lauan plywood (Lauan veneer) in bending, tension and compression is computed by taking only the value of those plies with their grain direction parallel to the principal stress as follows :

For high grade veneer it may be estimated as 1/6 of max. strength value, and for ordinary grade veneer as 1/7 of max. strength value.

3. In the panel shear test, the interesting connecton between the elastic constants (E , G) or the maximum strength (τ , σ) on the wood and plywood can be ascertained when plywood is composed of veneers of the same species with the grain alternately parallel and perpendicular to the grain of the reference layer.

- 3.1. On the isotropic material, generally

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

- 3.2. On the anisotropic material.

- 3.2.1. For wood.

$$G_{LT} = \frac{1}{2} E_{LT-45^\circ}$$

$$G_{LT-45^\circ} = \frac{E_L}{\frac{E_L}{E_T} + 1 + 2\nu_{LT}} \div E_T$$

$$\tau_{LTmax} = \sigma_{LT-45^\circ max}$$

$$\tau_{LT-45^\circ max} = \begin{cases} \text{Normal shear : Non determined.} \\ \text{Inverse shear : } \sigma_{Tmax} \text{ (Tension of tangential direction)} \end{cases}$$

- 3.2.2. For plywood

$$G_{0^\circ, 90^\circ} = \frac{1}{2} E_{LT-45^\circ}$$

$$G_{45^\circ} = \frac{E_L}{\frac{E_L}{E_T} + 1 + 2\nu_{LT}} + \frac{(E_L - E_T)^2}{(1 - \nu_{ILT}\nu_{ITL})(F_{IL} + E_{IT} + 2\nu_{ILT}E_{IT})} \cdot \frac{t_I t_J}{t^2}$$

$$\doteq E_T + E_L \frac{t_I t_J}{t^2}$$

$$\tau_{0^\circ, 90^\circ, max} = \sigma_{45^\circ, max} \quad (\text{Tension or compression})$$

$$\tau_{45^\circ, max} = \sigma_{L, max} \frac{t_I}{t} \quad (\text{Normal or Inverse shear})$$

[$\sigma_{L, max}$; Compression of longitudinal direction]

4. The relationship between horizontal strain ϵ_x and transverse strain ϵ_y on the panel shear test specimen of plywood is as follows :

4.1. For ($0^\circ \cdot 90^\circ$) test specimen.

$$\epsilon_x = \epsilon_y$$

4.2. For (45°) test specimen.

$$\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \doteq \frac{t_I}{t_J}$$

5. In the plate shear test, the connection between the elastic constants (E , G) on the wood and plywood may be derived as follows when plywood is composed of veneers of the same species with the grain alternately parallel and perpendicular to the grain of the reference layer.

5.1. For wood

$$G_{LT} = \frac{1}{2} E_{bLT-45^\circ}$$

$$G_{LT-45^\circ} \doteq E_{bT}$$

5.2. For plywood

$$G_{0^\circ, 90^\circ} = \frac{1}{2} E_{bLT-45^\circ}$$