

合板のポアッソン比について

高 見 勇⁽¹⁾

1. ま え が き

木材は直交異方弾性体である。だから種々の組合せによってつくられた合板もまた同じ直交異方弾性体として働く。つまり各単板（素材板）の弾性定数が、その組み合わせられたそれぞれの断面定数と直線的に作用しあって、今度は合板としての新しい体系ができて、その面での弾性定数が生まれる。すなわち、VOIGT's 理論が合板にも成り立つことである。

ではこのような考察のもとで、合板のポアッソン比は一体どんなしくみになっているのか、合板の利用上からもぜひとも明らかにしておかねばならないと考えられる。

最近、合板が、特に厚もの合板が使用されはじめたが、一般的に構造物に使われる場合それが平板としてもちいられるものは、その内容はすべて平面応力状態としてまず取り扱ってさしつかえないものといえよう。さらにすすめば、当然座屈問題をも折り込んで解析し、安定状態で使わねばならないものである。

数値計算では合板の $\lambda (=1-\nu_{LT}\nu_{TL})$ で素材では 0.98 くらいにみられる) は、どのくらいになるものなのか。また安定を論ずる場合には、座屈応力値をもとめることにほかならないことであるから、その際の

$$k = \frac{\nu_{21} + 2\lambda \frac{G_{12}}{E_1}}{\sqrt{\frac{E_2}{E_1}}}$$

添字 1, 2 は合板での平面内相互に直角な軸方向を示す。

$\nu_{21}(=\nu_{TL})$ が他の項に比し無視できないものなのか。これらのことがもとめられてはじめてパネル構成の基本的なものが解決される。たとえばパネルの栈木間隔の問題もここからでている。

このほか、多くの問題に大なり小なりに影響があると考えられるので、今回単板の構成による合板のポアッソン比に関する理論的考察をおこない、あわせてカバ、ヤチダモおよびラワン合板でその実験値をもとめ比較検討をおこなった。

またその実験値測定方法についても、

1. 鏡式法
2. ストレインゲージ法

の 2 方法をもちい、その測定結果について両者の比較をおこなった。

一般に木材では繊維方向に単純荷重をかけて、他の直角方向（つまり接線および半径方向）の歪変形量を測定することは割合に容易であるが、その逆となると非常に困難である。おおよそ前者のポアッソン比は 0.55 くらいで後者は 0.025 くらいにみられる。それが合板になると平面状態でみる限りずっと両者が接近し、しかもどちらも 0.05 くらいの小さな値になる。

(1) 木材部木材材料科強度研究室

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、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助をいただいた北大農学部沢田 稔教授および林業試験場木材部強度研究室長山井良三郎氏以下強度研究室の方々に心から感謝の意を表します。

2. 圧縮による合板のポアソン比

2枚以上の単板によって構成され接着された合板は、それがいかなる応力状態におかれようとも、弾性限界の範囲内におかれているかぎりでは、個々の単板自体は基本的な木材としての直交異方弾性体として、つねに歪一応力状態の表示ができる。つまり VOIGT's 理論²⁾によって次の式が成り立つ。

いま n -プライ合板中の任意の素材（単板）を K と名づけて、それについてみるならば、そしてその単板の弾性軸（繊維方向が 0° のものを x , 90° のものを y によって表示する）をそれぞれ座標軸にとるならば、そこに生ずる歪と応力とのあいだには、

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{Kx} &= S_{K11}\sigma_{Kx} + S_{K12}\sigma_{Ky} \\ \varepsilon_{Ky} &= S_{K21}\sigma_{Kx} + S_{K22}\sigma_{Ky} \\ \gamma_{Kxy} &= S_{K66}\tau_{Kxy} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.0)$$

の関係が成立する。ここで、

- $\varepsilon_{Kx}, \varepsilon_{Ky}$: K 単板の各 x, y 方向の軸歪
- γ_{Kxy} : K 単板の xy 面のセンダン歪
- σ_{Kx}, σ_{Ky} : K 単板の各 x, y 方向の軸応力
- τ_{Kxy} : K 単板の xy 面のセンダン応力
- S_{Klm} : K 単板の各弾性定数（ただし、 $l=1, 2, 6, m=1, 2, 6$ ）

この (1.1.0) 式はいわゆる平面歪状態式で、木材に関する力学的取扱いは、すべてこの式を基本にして平面問題を解くことができる。

2.1. L 方向に単純圧縮をおこなった場合の合板のポアソン比

いま K グループの樹種で構成され接着された n -プライ合板について、第 1 図のように L 方向に単純圧縮をおこなった場合、その合板のポアソン比を計算してみる。

直交合板であるから、 n -プライ中の任意の隣接の 2 枚の単板を 1 組にして、その組単板をそれぞれ i, j とする。そしてこの i, j についてそれぞれ (1.1.0) 式を適用する。単板の幅はすべて一定であるから、断面積の比は単板厚みの比によって支配されることになる。そこで、全断面積での圧縮応力を σ 、全厚みを t とすれば第 1 図に示したように次の式が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} \sum_i \sigma_{iL} t_i + \sum_j \sigma_{jL} t_j &= \sigma t \\ \sum_i \sigma_{iT} t_i + \sum_j \sigma_{jT} t_j &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.1)$$

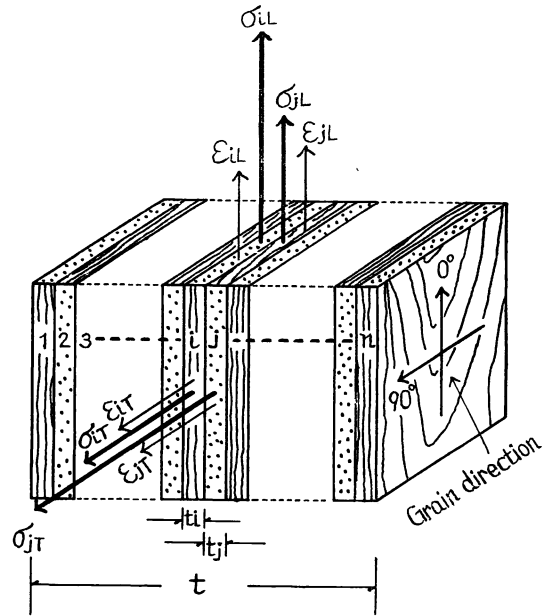
この式の後式については第 1 図に示したような T 方向の圧縮応力がないこと、 L 方向の圧縮応力 σ からポアソン比による T 方向の応力が生じ、それがつり合わねばならないから、この関係が成り立つ。そこで合板が同じ樹種単板による n -プライであるならば当然、

第1図 n プレイ合板内の i, j 単板に生ずる
応力-歪の分布図

σ : 応力 t : 厚さ
 ε : 歪 L, T : 方向を示す。

Figure 1. Distribution of stress and strain in the i and j veneers of n -ply plywood.

σ : stress t : thickness
 ε : strain L, T : direction



$$\left. \begin{aligned} \sum_i \sigma_{iL} t_i &= \sigma_{IL} t_I \\ \sum_i \sigma_{iT} t_i &= \sigma_{IT} t_I \\ \sum_j \sigma_{jL} t_j &= \sigma_{JL} t_J \\ \sum_j \sigma_{jT} t_j &= \sigma_{JT} t_J \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.2)$$

に置換することができるから、したがって (1.1.1) 式は改めて、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{IL} t_I + \sigma_{JL} t_J &= \sigma t \\ \sigma_{IT} t_I + \sigma_{JT} t_J &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.3)$$

に書き表わせる。つぎにこの式から σ_{JL} , σ_{JT} をそれぞれもとめてみると、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{JL} &= \frac{\sigma t - \sigma_{IL} t_I}{t_J} \\ \sigma_{JT} &= -\frac{t_I}{t_J} \sigma_{IT} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.4)$$

としてもとめられる。

はじめ i, j 単板によって表示されたものが、(1.1.2) 式によって (I, J) という2つの直交せる2プレイ合板に等価となった新しい系によって表示されたことになる。またこれについても、当然 (1.1.0) 式を今度は合成された I, J 単板としてそれぞれ適用できる。また各 L, T 方向の歪はすべて等しいとみられるから、その L, T 方向の歪をそれぞれ ε_L , ε_T とすれば、

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{iL} &= \varepsilon_{iL} = \varepsilon_L = S_{I11} \sigma_{IL} + S_{L12} \sigma_{IT} \\ \varepsilon_{iT} &= \varepsilon_{iT} = \varepsilon_T = S_{I21} \sigma_{IL} + S_{I22} \sigma_{IT} \\ \varepsilon_{jL} &= \varepsilon_{jL} = \varepsilon_L = S_{J11} \sigma_{JL} + S_{J12} \sigma_{JT} \\ \varepsilon_{jT} &= \varepsilon_{jT} = \varepsilon_T = S_{J21} \sigma_{JL} + S_{J22} \sigma_{JT} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.5)$$

によって示すことができる。ここでこの式に含まれる各弾性定数 S はそれぞれ次のように定義される。

$$\left. \begin{aligned} S_{I11} &= \frac{1}{E_{IL}} \\ S_{I22} &= \frac{1}{E_{IT}} \\ S_{I12} &= -\frac{\nu_{ILT}}{E_{IL}} = S_{I21} = -\frac{\nu_{ITL}}{E_{IT}} \\ S_{J11} &= \frac{1}{E_{JL}} \\ S_{J22} &= \frac{1}{E_{JT}} \\ S_{J12} &= -\frac{\nu_{JLT}}{E_{JL}} = S_{J21} = -\frac{\nu_{JTL}}{E_{JT}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.6)$$

$E_{IL} : i(I)$ 単板の L 方向のヤング係数

$E_{IT} : i(I)$ 単板の T 方向のヤング係数

$E_{JL} : j(J)$ 単板の L 方向のヤング係数

$E_{JT} : j(J)$ 単板の T 方向のヤング係数

$\nu_{ILT} : i(I)$ 単板の L 方向の伸縮に対する T 方向の縮伸の比であるポアソン比

$\nu_{ITL} : i(I)$ 単板の T 方向の伸縮に対する L 方向の縮伸の比であるポアソン比

$\nu_{JLT} : j(J)$ 単板の L 方向の伸縮に対する T 方向の縮伸の比であるポアソン比

$\nu_{JTL} : j(J)$ 単板の T 方向の伸縮に対する L 方向の縮伸の比であるポアソン比

そこで今度はさきほどの (1.1.4) 式を (1.1.5) 式に代入して $\varepsilon_L, \varepsilon_T$ についての恒等から、次の式が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} S_{I11}\sigma_{IL} + S_{I12}\sigma_{IT} &= S_{J11}(\sigma t - \sigma_{IL}t_I)\frac{1}{t_J} - S_{J12}\frac{t_I}{t_J}\sigma_{IT} \\ S_{I21}\sigma_{IL} + S_{I22}\sigma_{IT} &= S_{J21}(\sigma t - \sigma_{IL}t_I)\frac{1}{t_J} - S_{J22}\frac{t_I}{t_J}\sigma_{IT} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.7)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} (S_{I11} + \frac{t_I}{t_J}S_{J11})\sigma_{IL} + (S_{I12} + \frac{t_I}{t_J}S_{J12})\sigma_{IT} &= S_{J11}\frac{\sigma t}{t_J} \\ (S_{I21} + \frac{t_I}{t_J}S_{J21})\sigma_{IL} + (S_{I22} + \frac{t_I}{t_J}S_{J22})\sigma_{IT} &= S_{J21}\frac{\sigma t}{t_J} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.8)$$

この式から σ_{IL}, σ_{IT} について解き、それに (1.1.6) 式を入れると、

$$\begin{aligned} \sigma_{IL} &= \frac{\begin{vmatrix} S_{J11}\frac{\sigma t}{t_J} & (S_{I12} + S_{J12}\frac{t_I}{t_J}) \\ S_{J21}\frac{\sigma t}{t_J} & (S_{I22} + S_{J22}\frac{t_I}{t_J}) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (S_{I11} + S_{J11}\frac{t_I}{t_J}) & (S_{I12} + S_{J12}\frac{t_I}{t_J}) \\ (S_{I21} + S_{J21}\frac{t_I}{t_J}) & (S_{I22} + S_{J22}\frac{t_I}{t_J}) \end{vmatrix}} \\ &= \frac{\frac{\sigma t}{t_I t_J E_{JL}} \left\{ \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \nu_{JLT} \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right) \right\}}{\left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right)^2} \\ &= \frac{A \left\{ \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \nu_{JLT} \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right) \right\}}{4} \dots\dots\dots (1.1.9) \end{aligned}$$

$$\sigma_{IT} = \frac{\begin{vmatrix} (S_{I11} + S_{J11} \frac{t_I}{t_J}) & S_{J11} \frac{\sigma t}{t_J} \\ (S_{I21} + S_{J21} \frac{t_I}{t_J}) & S_{J21} \frac{\sigma t}{t_J} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (S_{I11} + S_{J11} \frac{t_I}{t_J}) & (S_{I12} + S_{J12} \frac{t_I}{t_J}) \\ (S_{I21} + S_{J21} \frac{t_I}{t_J}) & (S_{I22} + S_{J22} \frac{t_I}{t_J}) \end{vmatrix}}$$

$$= -\frac{\frac{\sigma t}{t_I t_J E_{JL}} \left\{ \nu_{JLT} \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) - \left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}} \right) \right\}}{\left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right)^2}$$

$$= -\frac{A \left\{ \nu_{JLT} \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) - \left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}} \right) \right\}}{\Delta} \dots\dots\dots (1.1.9)$$

ただし,

$$\Delta = \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right)^2 \left. \vphantom{\Delta} \right\} \dots\dots\dots (1.1.10)$$

$$A = \frac{\sigma t}{t_I t_J E_{JL}}$$

とする。そこでこの σ_{IL} , σ_{IT} を (1.1.5) 式に代入すると ε_{IL} , ε_{IT} がそれぞれもとめられるから,

$$\varepsilon_{IL} = \frac{A \left\{ \frac{1}{E_{IL}} \left(\left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \nu_{JLT} \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right) \right) \right.}{\left. + \frac{\nu_{ITL}}{E_{IT}} \left\{ \nu_{JLT} \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) - \left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}} \right) \right\} \right\}} \dots\dots\dots (1.1.11)$$

$$\varepsilon_{IT} = -\frac{A \left\{ \frac{1}{E_{IT}} \left\{ \nu_{JLT} \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) - \left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}} \right) \right\} \right.}{\left. + \frac{\nu_{ITL}}{E_{IT}} \left\{ \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \nu_{JLT} \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right) \right\} \right\}} \dots\dots\dots (1.1.12)$$

となる。したがって合板のポアソン比 ν_{LT} は

$$\nu_{LT} = -\frac{\varepsilon_{IT}}{\varepsilon_{IL}} = \frac{\left(\frac{\nu_{JLT}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{ILT}}{t_J E_{JT}} \right) - \nu_{ILT} \nu_{JLT} \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right)}{\left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right)^2} \dots\dots\dots (1.1.12)$$

によってもとめられる。

ここで第1図および (1.1.6) 式からわかるように, i, j 単板すなわち I, J の組単板が同じ樹種のもので構成された合板だとすれば, 当然 J 単板もすべて I 単板の材質値, つまり I 単板の弾性定数によって示されるから,

$$\left. \begin{aligned} E_{JL} &= E_{IT}, & \nu_{JLT} &= \nu_{ITL} \\ E_{JT} &= E_{IL}, & \nu_{JTL} &= \nu_{ILT} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.13)$$

のようになる。したがって, (1.1.12) 式は,

$$\nu_{LT} = \frac{\left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{ILT}}{t_J E_{IL}} \right) - \nu_{ILT} \nu_{ITL} \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{ITL}}{t_J E_{IT}} \right)}{\left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{IL}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{ITL}}{t_J E_{IT}} \right)^2} \dots\dots\dots (1.1.14)$$

$$\begin{aligned} \therefore \nu_{LT} &= \nu_{ILT} \frac{\left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{IL}}\right) - \nu_{ILT} \nu_{ITL} \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{IL}}\right)}{\left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{IL}}\right) - \left(\frac{\nu_{ILT} \nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{ILT} \nu_{ITL}}{t_J E_{IL}}\right)} \\ &= \nu_{ILT} \frac{\left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{IL}}\right)}{\left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{IL}}\right)} \dots\dots\dots (1.1.15) \end{aligned}$$

となる。ここで式を簡単にするためにつぎの条件をおく。

$$\left. \begin{aligned} t_I + t_J &= t, \quad X = \frac{t_I}{t} (\therefore t_J = t(1-X)) \\ Y &= \frac{1}{K_0} = \frac{E_{IL}}{E_{IT}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.1.16)$$

これを (1.1.15) 式に入れると、

$$\frac{\nu_{LT}}{\nu_{ILT}} = \frac{K_0(t_I + t_J)}{t_J + K_0 t_I} = \frac{t}{\frac{t_J}{K_0} + t_I} = \frac{1}{X + Y - XY} \dots\dots\dots (1.1.17)$$

あるいは、

$$\nu_{LT} = \frac{\nu_{ILT}}{X + Y - XY} \dots\dots\dots (1.1.18)$$

となる。

このように同樹種単板で構成された合板のポアッソン比は、(1.1.18) 式のようにごく簡単な式でもとめられることがわかった。すなわち、その単板のもつ基礎弾性定数（これは free constant²⁾ としてみなければならぬものであるが）（定数にはすべて I の添字を付してあるが）がわかれば、つまりポアッソン比 ν_{ILT} 、ヤング係数の比 $K_0 (= E_{IT}/E_{IL})$ および合板の単板構成比 $X (= t_I/t)$ がわかればその合板のポアッソン比 ν_{LT} がわかるのである。つぎに、異なった樹種の単板で構成された合板ではどうなるかという、この場合も考え方は今まで述べた方法と何ら変わるところがない。つまり、 I, J 2 樹種の単板から構成された各部分の厚みについてのみまづもとめる。それは (1.1.12) 式によってもとめられるから、これを今度は新しい I' 単板としてみればよいことになる。この場合のヤング係数のもとめ方については 2.2 項に後述するが簡単にもとめられるから、このようにして 1 つのグループ別に単板を I', J' と別べつにもとめてさらに (1.1.12) 式をもちいれば、そしてつぎからつぎへとこのようにして置換してもとめていけば、最終的には必ず総合された合板のポアッソン比がもとめられるはずである。

また (1.1.18) 式を別の見方をすれば、合板を構成するための樹種が決まれば、 ν_{ILT} と K_0 がそれぞれきまってしまうから、後は X のとりかたによって合板のポアッソン比を、いろいろと変えることができることがわかる。ことに異樹種の場合にはこのことが問題になる。

合板を製造するときに単板構成をどうするかは、コストや表面板の化粧的価値への配慮などから、メーカーによってまちまちのようであるが、一般的には表単板はどうしても品質のよいものが使われるので、他の心板やクロスバンドに比しかなりうすくなる。そのためうす目の合板では X が 0.3~0.4 程度のものが多い。厚目の合板になれば、化粧的面よりもむしろ剛く、かつ安定であるという強度面からの要求が強いために、かえて表単板が厚いくらいのものの方がよいわけで、できれば X が 0.5 くらいになるよう厚み構成を考慮すべきであろう。

合板のポアッソン比を計算するのに便利な数値表をつくったが、それを第 1 表に示す。 X を 0 から 1.0 まで、 Y を 0 から 40 まで変えたときの ν_{LT}/ν_{ILT} の値であるから、このおのおのの値に ν_{ILT} の値をかけ

れば合板の ν_{LT} がもとめられる。おおよそ木材のポアソン比³⁾⁴⁾⁵⁾は比重による差別はほとんどなく、また針葉樹、広葉樹、南洋材の樹種別による差異も非常に小さい。したがって、ポアソン比 ν_{ILT} はほぼ 0.5 くらいにみてよさそうである。 K_0 の値についても針葉樹や南洋材では 0.03~0.05 ($Y \div 30 \sim 20$)、広葉樹では 0.05~0.10 ($Y \div 20 \sim 10$) のものとみられそうであるから、合板のポアソン比も以上の数値によって理論的な考察をするならば、大きくみて第 1 表の太い黒枠内の半分の値、もう少し厳密にみるならば、そのなかの 2 重枠内の半分の値で、おおよそ 0.05 前後のものとみられそうである。

2.2. 圧縮による合板のヤング係数について

一般に合板のヤング係数を計算する場合は、合板のポアソン比を全く無視して、合板の単板構成の厚みの比によってのみ比例的に出しているが、そのポアソン比がはたしてどのくらい影響しているものなのか明らかにしておく必要がある。

(1.1.9) 式および (1.1.11) 式から、合板の表単板の繊維方向に平行な方向のヤング係数を E_L としてもとめてみると、 $E_L = \sigma_{IL} / \varepsilon_{IL}$ であるから、

$$E_L = \frac{t_I t_J E_{IL} E_{JL}}{t} \frac{\left\{ \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right)^2 \right\}}{\left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}^2}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}^2}{t_J E_{JL}} \right)} \quad \dots\dots\dots (1.2.1)$$

となる。これは I, J の組単板の一般式であるが、いま簡単に計算をおこないたいために (1.1.13) 式をもちいて、合板が同樹種単板で構成されているとすれば、 E_L は、

$$E_L = \frac{t_I t_J E_{IL} E_{IT}}{t} \frac{\left\{ \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{IT}} \right) \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{IL}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}^2}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{ITL}^2}{t_J E_{IT}} \right)^2 \right\}}{\left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{IL}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}^2}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{ITL}^2}{t_J E_{IT}} \right)} \quad \dots\dots\dots (1.2.2)$$

となるから、さらに (1.1.16) 式を代入すると、

$$\frac{E_L}{E_{IL}} = \frac{K_0 - XK_0 + X - \left(\frac{K_0^2 \nu_{ILT}^2}{1 - X + K_0 X} \right)}{1 - K_0 \nu_{ILT}^2} \quad \dots\dots\dots (1.2.3)$$

になる。この式は方向が繊維方向での、合板と単板とのヤング係数の比である。そこでいま単板のもつポアソン比 ν_{ILT} が、2.1 項で述べたように 0.5 くらいにみられるから、 ν_{ILT}^2 は 0.25 になる。また K_0 は 0.05 ($Y \div 20$) くらいにみられるから K_0^2 は 0.0025 となる。したがって $K_0^2 \nu_{ILT}^2$ は 0.000625 となって、ほとんど 0.5 に比し無視できるものであるから、0 に等しいとすれば (1.2.3) 式は、

$$\begin{aligned} E_L &= E_{IL} (K_0 - XK_0 + X) \\ \therefore E_L t &= E_{IL} \left(t_I + \frac{E_{IT}}{E_{IL}} t_J \right) \\ &= E_{IL} t_I + E_{IT} t_J \quad \dots\dots\dots (1.2.4) \end{aligned}$$

となって、この式は明らかに合板のヤング係数の算定に使われている通常の計算式である。しからばここでポアソン比の影響を入れて、つまり先ほどの $K_0^2 \nu_{ILT}^2$ を 0 としないで計算してみると、代表値として $\nu_{ILT} = 0.5$ 、 $K_0 = 0.05$ そして $X = 0.5$ としてみれば、これらの値を (1.2.3) 式に入れて計算してみると、

$$\frac{E_L}{E_{IL}} = \frac{0.05 - 0.025 + 0.5 \left(\frac{0.0025 \times 0.25}{1 - 0.05 \times 0.025} \right)}{1 - 0.05 \times 0.25} = \frac{0.5238}{0.9875} = 0.53043$$

となった。つぎに同じ数値で (1.2.4) 式によって計算したものは、

Table 1. Calculated values of

Table 2. Calculated values of[illegible]

ン 比 の 計 算 値

POISSON's ratio of plywood (I).

 $\times 10^{-3}$

18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
55.6	50.0	45.5	41.7	38.5	35.7	33.3	31.3	29.4	27.8	26.3	25.0
61.3	55.2	50.3	46.1	42.6	39.5	36.9	34.6	32.6	30.8	29.2	27.7
68.5	61.7	56.2	51.5	47.6	44.2	41.3	38.8	36.5	34.5	32.7	31.1
77.5	69.9	63.7	58.5	54.1	50.3	46.9	44.1	41.5	39.2	37.2	35.3
89.3	80.6	73.5	67.6	62.5	58.1	54.3	51.0	48.1	45.5	43.1	41.0
105.3	95.2	87.0	80.0	74.1	69.0	64.5	60.6	57.1	54.1	51.3	48.8
128.2	116.3	106.4	98.0	90.9	84.7	79.4	74.6	70.4	66.7	63.3	60.2
163.9	149.3	137.0	126.6	117.6	109.9	103.1	97.1	91.7	87.0	82.6	78.7
227.3	208.3	192.3	178.6	166.7	156.3	147.1	138.9	131.6	125.0	119.0	113.6
370.4	344.8	322.6	303.0	285.7	270.3	256.4	243.9	232.6	222.2	212.8	204.1
1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0

$$\frac{\nu_{LT}}{\nu_{ILT}} = \frac{1}{X+Y-XY}$$

ソ ン 比 の 計 算 値

POISSON's ratio of plywood (II).

 $\times 10^{-3}$

18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
18000	20000	22000	24000	26000	28000	30000	32000	34000	36000	38000	40000
6667	6897	7092	7273	7424	7570	7692	7800	7905	8000	8084	8163
4090	4167	4230	4285	4333	4375	4411	4444	4474	4501	4525	4546
2951	2985	3013	3038	3058	3077	3093	3107	3119	3130	3141	3150
2307	2326	2340	2353	2364	2373	2381	2388	2395	2400	2405	2410
1895	1905	1913	1920	1926	1931	1935	1939	1943	1946	1949	1951
1607	1613	1618	1622	1625	1628	1630	1633	1635	1636	1638	1639
1395	1399	1401	1404	1405	1407	1409	1410	1411	1412	1413	1413
1233	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1240	1241	1241	1242	1242
1104	1105	1106	1106	1106	1107	1107	1107	1108	1108	1108	1108
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

$$\frac{\nu_{TL}}{\nu_{ITL}} = \frac{1}{X+K_0-XK_0}$$

$$\frac{E_L}{E_{IL}} = 0.5 + 0.05(1 - 0.5) = 0.525$$

となるから、両者の差は 0.00543 で、これだけ (1.2.4) 式の方が過少評価されていることになる。しかしこれもわずか 1% にすぎず、ほとんど 0 とみてよい。また代表値 X , Y および ν_{ILT} の値が少し異なっても結果はそう大きくならないから、合板のヤング係数の計算には、ポアソン比の影響を全く無視して (1.2.4) 式により計算してもさしつかえないものであることがわかった。

2.3. T 方向に単純圧縮をおこなった場合の合板のポアソン比

T 方向に単純圧縮をおこなってポアソン比をもとめることは、2.1 項で L 方向に単純圧縮をおこなった場合と全く同じ方法で取り扱うことができる。つまり第 1 図の L と T をちょうど取り換え、逆にしたものとみればよい。すなわち (1.1.3) 式が次のような式になる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{IL}t_I + \sigma_{JL}t_J &= 0 \\ \sigma_{IT}t_I + \sigma_{JT}t_J &= \sigma t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.1)$$

この両式から σ_{JL} , σ_{JT} をそれぞれもとめると、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{JL} &= -\frac{t_I}{t_J}\sigma_{IL} \\ \sigma_{JT} &= \frac{\sigma t - \sigma_{IT}t_I}{t_J} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.2)$$

となり、また (1.1.5) 式および (1.1.6) 式も、当然この場合にも成り立つから、1.1 項のときと同様に、それぞれ L , T 方向の歪が各単板において等しいとして、 ϵ_L および ϵ_T は次のようにもとめられる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_L &= S_{I11}\sigma_{IL} + S_{I12}\sigma_{IT} = -S_{J11}\frac{t_I}{t_J}\sigma_{IL} + S_{J12}(\sigma t - \sigma_{IT}t_I) - \frac{1}{t_J} \\ \epsilon_T &= S_{I21}\sigma_{IL} + S_{I22}\sigma_{IT} = -S_{J21}\frac{t_I}{t_J}\sigma_{IL} + S_{J22}(\sigma t - \sigma_{IT}t_I) - \frac{1}{t_J} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.3)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} (S_{I11} + S_{J11}\frac{t_I}{t_J})\sigma_{IL} + (S_{I12} + S_{J12}\frac{t_I}{t_J})\sigma_{IT} &= S_{J12}\frac{\sigma t}{t_J} \\ (S_{I21} + S_{J21}\frac{t_I}{t_J})\sigma_{IL} + (S_{I22} + S_{J22}\frac{t_I}{t_J})\sigma_{IT} &= S_{J22}\frac{\sigma t}{t_J} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.4)$$

この両式から σ_{IL} , σ_{IT} をもとめると、ただし (1.1.10) 式の A をつかえば、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{IL} &= \frac{1}{A} \begin{vmatrix} S_{J12}\frac{\sigma t}{t_J} & (S_{I12} + S_{J12}\frac{t_I}{t_J}) \\ S_{J22}\frac{\sigma t}{t_J} & (S_{I22} + S_{J22}\frac{t_I}{t_J}) \end{vmatrix} \\ &= -\frac{B}{A} \left\{ \nu_{JTL} \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) - \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}} \right) \right\} \\ \sigma_{IT} &= \frac{1}{A} \begin{vmatrix} S_{I11} + S_{J11}\frac{t_I}{t_J} & S_{J12}\frac{t_I}{t_J} \\ S_{I21} + S_{J21}\frac{t_I}{t_J} & S_{J22}\frac{t_I}{t_J} \end{vmatrix} \\ &= \frac{B}{A} \left\{ \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}} \right) - \nu_{JLT} \left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}} \right) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1.5)$$

$$B = \frac{\sigma t}{t_I t_J} \frac{1}{E_{JT}} \dots\dots\dots (2.1.6)$$

となる。そこで先ほどの (2.1.3) 式に (2.1.5) 式を代入すると、

$$\epsilon_{IL} = \frac{\sigma_{IL}}{E_{IL}} - \frac{\nu_{ILT}}{E_{IL}} \sigma_{IT} = -\frac{B}{A} \frac{1}{E_{IL}} \left\{ \nu_{JTL} \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}} \right) \right.$$

$$\left. \begin{aligned} & -\left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}}\right) + \nu_{ILT} \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}}\right) - \nu_{ILT} \nu_{JTL} \left(\frac{\nu_{JTL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}}\right) \Bigg\} \\ \varepsilon_{IT} = & -\frac{\nu_{ITL}}{E_{IT}} \sigma_{IL} + \frac{\sigma_{IT}}{E_{IT}} = \frac{B}{A} \frac{1}{E_{IT}} \left\{ \nu_{ITL} \nu_{ITL} \left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}}\right) \right. \\ & \left. - \nu_{ITL} \left(\frac{\nu_{ILT}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{JLT}}{t_J E_{JL}}\right) + \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}}\right) - \nu_{JTL} \left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}}\right) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2.1.7)$$

となる。そこでこの場合の合板のポアソン比を ν_{TL} とおけば、

$$\nu_{TL} = -\frac{\varepsilon_{IL}}{\varepsilon_{IT}} = \frac{\frac{B}{A} \frac{1}{E_{IT}} \left\{ \left(\frac{\nu_{JTL}}{t_I E_{IL}} + \frac{\nu_{ITL}}{t_J E_{JL}}\right) - \nu_{ITL} \nu_{JTL} \left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}}\right) \right\}}{\frac{B}{A} \frac{1}{E_{IT}} \left\{ \left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}}\right) - \left(\frac{\nu_{ITL}^2}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}^2}{t_J E_{JT}}\right) \right\}} \dots\dots(2.1.8)$$

となる。この式をみてわかるように、(1.1.12) 式において L と T をそれぞれ交換したものにはほかならないことがわかる。

そこで合板が同樹種単板で構成されているならば、(1.1.13) 式がこの場合にも適用できるから、したがって ν_{TL} はつぎのようになる。

$$\nu_{TL} = \frac{\left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}}\right) - \nu_{ITL} \nu_{JTL} \left(\frac{\nu_{ITL}}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}}{t_J E_{JT}}\right)}{\left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}}\right) - \left(\frac{\nu_{ITL}^2}{t_I E_{IT}} + \frac{\nu_{JTL}^2}{t_J E_{JT}}\right)} \dots\dots(2.1.9)$$

$$\therefore \nu_{TL} = \nu_{ITL} \frac{\left(\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{JL}}\right)}{\left(\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{JT}}\right)} = \nu_{ITL} \frac{\frac{1}{K_0} (t_I + t_J)}{t_J + \frac{t_I}{K_0}} = \nu_{ITL} \frac{1}{X + K_0 - XK_0} \dots\dots(2.1.10)$$

X および K_0 については (1.1.16) 式をもちいる。また、

$$\nu_{ITL} = K_0 \nu_{ILT} \dots\dots(2.1.11)$$

が成り立つから (2.1.10) 式を別な形に表わすと、

$$\frac{\nu_{TL}}{\nu_{ILT}} = \frac{1}{1 - X + XY} \dots\dots(2.1.12)$$

$$\therefore \nu_{TL} = \frac{\nu_{ILT}}{1 - X + XY} \dots\dots(2.1.13)$$

のようになる。したがって、2.1 項と同様合板の単板の材質から、 ν_{ITL} (あるいは ν_{ILT} でもよい)、 K_0 および X がわかれば、その合板のポアソン比 ν_{TL} は (2.1.10) 式あるいは (2.1.13) 式からもとめられる。

2.1 項の (1.1.7) 式から第1表を作成したと同様に、(2.1.10) 式をもちいて、 X を 0 から 1.0 まで、 K_0 すなわち Y を 0 から 40 まで変えた場合の ν_{TL}/ν_{ILT} の値の表を作ってみると、第2表のようになった。 ν_{ITL} がわかればもちろんすぐこの表によってもとめられるが、 ν_{ITL} はなかなか測定が容易でないで、測定容易な ν_{ILT} をもとめて、(2.1.11) 式から ν_{ITL} を換算し、第2表を使ってもとめればよい。

第1表のときと同じように、いま合板のポアソン比 ν_{TL} を代表的な数値によって試算することにする。すなわち、 ν_{ILT} を 0.5 くらい、 K_0 を 0.05 くらいとすれば ν_{ITL} は (2.1.11) 式から 0.025 になる。そこで X が 0.5 前後として第2表に、これらの値を適用してみると、 ν_{TL} はおおそ太い黒枠内におさまりそうである。もう少し厳密な見方をすれば、そのなかの2重枠内の数値がとれそうである。数値的にみるならば、 ν_{ITL} が 0.025 くらいであるから 0.040~0.075 くらいにみればよさそうである。

2.4. 合板のポアソン比 ν_{LT} , および ν_{TL} の相互関係

合板のポアソン比として ν_{LT} は (1.1.12) 式から, および ν_{TL} は (2.1.8) 式からもとめられた。この両式から ν_{TL}/ν_{LT} の関係が見い出されるわけであるが, 異樹種の場合だと少し複雑になるので, 同樹種間ではどのようなものかを調べてみる。まず (1.1.16) 式と (1.1.17) 式, および (2.1.11) 式と (2.1.12) 式から次の関係式が導かれる。

$$\frac{\nu_{TL}}{\nu_{LT}} = \frac{X+Y-XY}{1-X+XY} \dots\dots\dots(2.4.1)$$

そこで, 合板をできるだけ等方性体にしようとするならば ν_{TL}/ν_{LT} が 1 になること, つまり (2.4.1) 式の右辺が 1 に近づくことが必要条件の 1 つになるから,

$$(1-Y)(1-2X)=0$$

$$\therefore Y=1, \quad X=\frac{1}{2}$$

となる。 $Y=1$ ということは $E_{IL}=E_{IT}$ なることで, このことはすべて等方材質の意味でもある。また $X=\frac{1}{2}$ なることは $t=2t_I$ なることで, つまり $t_I=t_J$ になることである。木材に関する限り前者の条件はとり得ないことであるから, 後者の条件がとられなければならない。合板をポアソン比のみからみたときにその構成単板のヤング係数のいかにかわらず, 同樹種で構成されるならば, X が $1/2$ になるようにすることが必要である。このことは合板の狂いについても, より安定になってくれる条件の 1 つでもあると考えられる。

一般的には $\nu_{LT}=\nu_{TL}$ にすることは単板の材質がかなり異なっているので, $t_I=t_J$ にしてもなお多少の差があって等しくはなり難いと考えられるが, 近似的には正しい評価である。

3. 試 験 合 板

今回の試験にもちいた合板はすべて同じ樹種の単板で構成されたもので,

1. ラワン合板
2. カバおよびヤチダモ合板

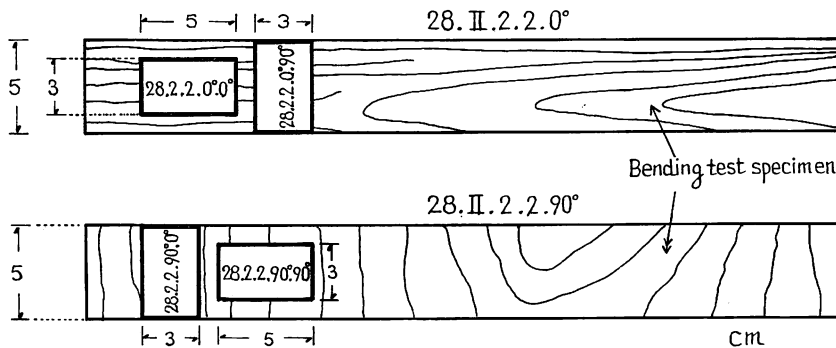
について測定試験をおこなった。

3.1. ラ ワ ン 合 板

供試合板は昭和 38 年 10 月に旧日本合板工業組合（現在は日本合板工業組合連合会）の依頼による合板の強度試験として提供した試料の一部を用いた。この依頼試験のために提供された合板のうち第 2 図に示すような曲げ試験片の一部から, 曲げ試験の終了後に同図に示した寸法の, ポアソン比測定用の圧縮試験片（以下この試験片を **P-R 試験片** ということにする）を木取った。

この曲げ試験片は 1 枚の 3×6 尺合板から, スパン方向が表板単板に平行なもの (0° と表記する) と垂直なもの (90° と表記する) をそれぞれ 3 枚ずつとったが, そのなかの 0° のもの 2 枚, 90° のもの 2 枚から第 2 図のような **P-R 試験片** をとった。したがって **P-R 試験片** の記号は第 3 表に示すように, はじめに試料合板の区別, つぎに同一区分に属する試料合板の番号, および 1 枚の合板から木取った供試片番号（前記曲げ試験片番号）を付した。

さらに曲げ試験片の表板の繊維方向を, スパン方向に対して 0° か 90° かを示し, 最後に **P-R 試験片** として, 高さ (5cm) 方向に圧縮荷重をかけるとき, 表板のセンイ方向が 0° か 90° かを示す記号方法に



第2図 ラワン合板曲げ試験片より木取ったポアソン比測定用圧縮試験片

Figure 2. Method of cutting the test pieces of POISSON'S ratio from bending test specimen of LAUAN plywood.

によって書いた (第2図参照)。

このようにして木取った $P-R$ 試験片の個数は 3×6 尺合板1枚から, $0^\circ 0^\circ$, $0^\circ 90^\circ$, $90^\circ 0^\circ$ および $90^\circ 90^\circ$ の4個をとったことになり, そして 3×6 尺合板3枚中2枚を使ったから, 合計 $4 \text{ 個} \times 2 \text{ 枚} \times 7 \text{ 種類} = 56 \text{ 個}$ になった。

そこでこの7種類の合板についての概略内容を第3表に示す。また56個の $P-R$ 試験の単板構成, 比重等について詳細に第4表に示したが, もう少し1括して見やすくするために, 第4表の平均値をそれぞれ7種類の合板についてもとめ, それを第5表に示した。

この第5表の最終にある比重のところをみれば大体わかると思われるが, 合板のメーカーによってかなり開きがある。単板はすべてラワン材を使ったにもかかわらず, このように異なっていることは, 中板 (心板とクロスバンド) にどのような材質のものをもちいたか詳しくはわかりかねるが, とにかく同じラワン材といっても大変幅があることを意味している。がしかし, 第3表に示したように, 大体M, D, Aの3社によったものでラワン材の代表的な見方をしてもほぼ間違いはなさそうである (参考資料参照)。

第3表 試験合板の種類と断面構成 (ラワン合板)

Table 3. Kind of LAUAN plywood in test.

試験合板の区別 Classification of plywood in test	プライ数 No. of plies	合板の呼称厚み Plywood thickness cm	製造会社 Maker
28	5	0.9	M. co.
31	5	1.2	D. co.
34	7	1.5	A. co.
35	7	1.5	D. co.
37	7	1.8	A. co.
38	7	1.8	D. co.
40	7	2.1	A. co.

第4表 ラワン 合板の試験片の単
Table 4. Construction, dimension and specific gravity

Test specimen					No. of plies	Construction			
Classifica- tion of plywood in test	No. of plywood as test specimen	Bending test		Compressive test*2		1 st ply 	2 nd ply ⊥	3 rd ply 	4 th ply ⊥
		No. of*1 specimens	Grain angle of face veneer to span direction of bending	Grain angle of face veneer to compressive load direction					
28	2	2	0°	0° 90°	5 5	1.1 1.0	2.4 2.3	2.4 2.5	2.4 2.3
			90°	0° 90°	5 5	1.0 1.0	2.3 2.4	2.5 2.5	2.5 2.4
28	3	2	0°	0° 90°	5 5	1.0 1.0	2.4 2.3	2.2 2.2	2.5 2.5
			90°	0° 90°	5 5	1.0 1.0	2.4 2.4	2.3 2.3	2.5 2.4
31	1	1	0°	0° 90°	5 5	0.8 0.7	4.0 4.0	2.5 2.5	4.1 4.1
			90°	0° 90°	5 5	0.9 0.9	4.1 4.0	2.5 2.3	4.0 4.0
31	2	3	0°	0° 90°	5 5	0.8 1.0	3.9 3.8	2.4 2.4	4.0 3.9
			90°	0° 90°	5 5	0.9 1.0	3.9 3.7	2.4 2.5	3.9 3.8
34	1	1	0°	0° 90°	7 7	1.1 1.0	2.9 2.9	2.3 2.2	2.8 2.7
			90°	0° 90°	7 7	1.1 1.1	3.0 2.9	2.2 2.2	2.7 2.7
34	2	1	0°	0° 90°	7 7	1.1 1.1	3.0 2.9	2.1 2.1	2.9 2.7
			90°	0° 90°	7 7	1.0 1.1	3.0 2.9	2.2 2.3	2.7 2.6
35	1	3	0°	0° 90°	7 7	0.8 0.8	2.9 2.9	2.5 2.5	2.9 2.8
			90°	0° 90°	7 7	0.8 0.8	3.0 2.9	2.4 2.5	3.0 2.9
35	2	2	0°	0° 90°	7 7	0.8 0.8	3.0 2.9	2.3 2.6	2.9 2.8
			90°	0° 90°	7 7	0.7 0.7	3.0 3.1	2.4 2.4	3.0 3.0
37	1	2	0°	0° 90°	7 7	1.1 1.2	3.8 3.9	2.5 2.6	3.9 3.9
			90°	0° 90°	7 7	1.1 1.2	3.9 3.7	2.6 2.7	3.9 3.9

板 構 成, 寸 法 お よ び 比 重
of the test specimens from LAUAN plywood.

(Veneer thickness in mm)						Dimension of compressive test specimen in cm			Specific gravity at test R_u
5 th ply 	6 th ply ⊥	7 th ply 	Σ Sum. of parallel plies only	Σ ⊥ Sum. of Perpendicular plies only	$\frac{\Sigma \perp}{\Sigma }$	width B	Thickness T	Height H	
1.0 1.1			4.5 4.6	4.8 4.6	1.07 1.00	3.000 3.040	0.915 0.920	5.025 5.015	0.65 0.66
1.1 1.1			4.6 4.6	4.8 4.8	1.04 1.04	2.960 3.000	0.920 0.925	5.010 5.040	0.65 0.65
1.0 1.0			4.2 4.2	4.9 4.8	1.17 1.14	3.015 3.000	0.900 0.900	5.000 4.995	0.65 0.65
1.0 1.1			4.3 4.4	4.9 4.8	1.14 1.09	3.010 3.000	0.905 0.900	5.015 5.025	0.65 0.65
0.9 0.8			4.2 4.0	8.1 8.1	1.93 2.03	3.015 3.010	1.220 1.220	5.005 5.000	0.57 0.58
1.0 1.0			4.2 4.4	8.1 8.0	1.93 1.82	3.010 3.000	1.215 1.215	5.005 5.015	0.58 0.57
0.8 0.8			4.0 4.2	7.9 7.7	1.97 1.83	3.020 3.015	1.185 1.185	5.015 4.985	0.59 0.59
1.0 1.0			4.3 4.5	7.8 7.5	1.81 1.67	3.000 3.000	1.185 1.185	4.970 5.045	0.58 0.58
2.2 2.3	3.0 2.9	1.0 1.1	6.1 6.7	8.7 8.5	1.43 1.27	3.005 3.005	1.510 1.515	5.000 4.970	0.47 0.47
2.2 2.3	3.0 2.9	1.1 1.0	6.6 6.6	8.7 8.5	1.32 1.29	3.005 3.000	1.510 1.510	4.965 5.000	0.46 0.46
1.9 2.2	2.9 2.9	1.1 1.1	6.2 6.5	8.8 8.5	1.42 1.31	3.015 3.000	1.490 1.490	5.000 5.000	0.43 0.43
2.1 2.2	2.9 2.9	1.1 1.1	6.4 6.7	8.6 8.4	1.34 1.25	3.005 3.005	1.490 1.500	4.980 5.010	0.41 0.41
2.4 2.5	3.1 2.9	0.8 0.8	6.5 6.6	8.9 8.6	1.37 1.30	3.015 3.015	1.520 1.520	5.010 4.980	0.51 0.52
2.4 2.5	3.0 2.8	0.8 0.9	6.4 6.7	9.0 8.6	1.41 1.28	3.010 2.975	1.520 1.520	4.975 5.005	0.56 0.57
2.4 2.5	3.0 2.8	0.8 0.8	6.3 6.7	8.9 8.5	1.41 1.27	3.005 3.010	1.500 1.505	4.985 4.955	0.51 0.52
2.4 2.5	3.0 3.0	0.7 0.7	6.2 6.3	9.0 9.1	1.45 1.44	3.005 2.980	1.540 1.540	4.980 5.035	0.55 0.55
2.7 2.7	3.2 3.0	0.8 1.1	7.1 7.6	10.9 10.8	1.54 1.42	3.000 3.000	1.820 1.815	4.960 4.980	0.47 0.47
2.7 2.7	3.2 3.1	1.1 1.1	7.5 7.7	11.0 10.7	1.47 1.39	3.005 3.000	1.835 1.840	4.965 5.005	0.46 0.46

*1 3 specimens for bending test were cut from a plywood (90×180cm).

*2 POISSON's ratio and YOUNG's modulus were measured by compressive test specimens.

第 1 表 (つづき)

Table 4. (Continued)

Classification of plywood in test	No. of plywood as test specimen	Test specimen			No. of plies	Construction			
		Bending test		Compressive test*2		1 st ply 	2 nd ply ⊥	3 rd ply 	4 th ply ⊥
		No. of*1 specimens	Grain angle of face veneer to span direction of bending	Grain angle of face veneer to compressive load direction					
37	2	1	0°	0° 90°	7 7	1.0 1.1	3.4 3.2	2.1 2.2	3.9 3.7
			90°	0° 90°	7 7	1.1 1.2	3.3 3.3	2.1 2.1	4.0 3.9
38	1	1	0°	0° 90°	7 7	0.8 0.9	4.0 4.0	2.6 2.6	3.3 3.4
			90°	0° 90°	7 7	1.0 1.0	4.1 4.0	2.6 2.7	3.4 3.4
38	2	1	0°	0° 90°	7 7	0.8 0.9	3.9 4.0	2.5 2.6	3.5 3.3
			90°	0° 90°	7 7	0.8 0.8	4.0 4.0	2.5 2.7	3.4 3.3
40	1	1	0°	0° 90°	7 7	1.4 1.4	4.0 3.9	3.2 3.3	4.0 4.0
			90°	0° 90°	7 7	1.2 1.3	4.0 3.9	3.3 3.3	4.0 3.9
40	2	3	0°	0° 90°	7 7	1.3 1.3	3.9 3.9	3.3 3.3	4.0 4.0
			90°	0° 90°	7 7	1.3 1.3	3.9 3.9	3.3 3.3	4.1 3.9

第 5 表 ラワン合板の試験片の単板構成,

Table 5. Construction, dimension and specific gravity of the

Classification and maker of plywood in test	No. of plies	Construction (Veneer thickness in mm)							
		1 st ply	2 nd ply	3 rd ply	4 th ply	5 th ply	6 th ply	7 th ply	
			⊥		⊥		⊥		
28 M	5	1.0	2.4	2.4	2.4	1.1	—	—	
31 D	5	0.9	3.9	2.4	4.0	0.9	—	—	
34 A	7	1.1	2.9	2.2	2.7	2.2	2.9	1.1	
35 D	7	0.8	3.0	2.5	2.9	2.5	3.0	0.8	
37 A	7	1.1	3.8	2.4	3.9	2.7	3.2	1.0	
38 D	7	0.9	4.0	2.6	3.4	2.7	3.9	0.9	
40 A	7	1.3	3.9	3.3	4.0	3.3	4.0	1.4	
M (Mean)		—	—	—	—	—	—	—	

(Veneer thickness in mm)						Dimension of compressive test specimen in cm			Specific gravity at test Ru
5 th ply $\parallel$	6 th ply $\perp$	7 th ply $\parallel$	$\Sigma \parallel$ Sum. of parallel plies only	$\Sigma \perp$ Sum. of perpendicular plies only	$\frac{\Sigma \perp}{\Sigma \parallel}$	Width B	Thickness T	Height H	
2.6 2.7	3.7 3.7	1.0 1.0	6.7 7.0	11.0 10.6	1.64 1.51	3.010 3.000	1.765 1.770	4.980 4.970	0.45 0.44
2.7 2.7	3.8 3.9	1.0 1.1	6.9 7.1	11.1 11.1	1.61 1.56	3.000 3.000	1.790 1.795	4.935 5.010	0.45 0.45
2.6 2.9	4.0 3.7	0.8 1.0	6.8 7.4	11.3 11.1	1.66 1.50	3.010 3.000	1.810 1.815	4.985 5.015	0.58 0.59
2.6 2.8	4.0 4.0	0.9 1.0	7.1 7.5	11.5 11.4	1.62 1.52	3.010 3.000	1.835 1.835	4.990 5.040	0.54 0.55
2.6 2.7	3.9 3.8	0.8 0.8	6.7 7.0	11.3 11.1	1.69 1.59	3.025 3.000	1.800 1.800	5.000 4.995	0.56 0.57
2.6 2.6	4.0 3.9	0.8 0.8	6.7 6.9	11.4 11.2	1.70 1.62	3.025 3.005	1.815 1.815	4.965 5.015	0.57 0.56
3.2 3.3	4.0 3.9	1.4 1.4	9.2 9.4	12.0 11.8	1.30 1.26	3.010 3.010	2.110 2.115	5.005 5.015	0.42 0.42
3.2 3.3	3.9 3.9	1.4 1.4	9.0 9.3	11.9 11.7	1.32 1.26	3.015 2.995	2.090 2.100	4.985 5.000	0.42 0.42
3.3 3.3	4.0 4.0	1.3 1.3	9.2 9.2	11.9 11.9	1.29 1.29	3.010 3.000	2.105 2.105	4.995 4.985	0.43 0.43
3.2 3.4	4.0 3.9	1.3 1.3	9.1 9.3	12.0 11.7	1.32 1.26	3.000 3.000	2.100 2.100	5.000 5.000	0.41 0.43

寸法および比重 (第4表の平均値)

test specimens from LAUAN plywood (Mean values from Table 4).

Mean values.				Dimension of test-specimen in cm. Mean values			Specific gravity Mean values Ru
$\Sigma \parallel$ Sum. of parallel plies only	$\Sigma \perp$ Sum. of perpendicular plies only	$\frac{\Sigma \perp}{\Sigma \parallel}$	$\frac{\Sigma \parallel}{\Sigma \parallel + \Sigma \perp}$	Width B	Thickness T	Height H	
4.4	4.8	1.09	0.48	3.00	0.91	5.01	0.65
4.2	7.9	1.08	0.35	3.01	1.20	5.01	0.58
6.5 6.5	8.6 8.8	1.32 1.35	0.43 0.42	3.00 3.00	1.51 1.52	4.99 4.99	0.44 0.54
7.2 7.0	10.9 11.3	1.52 1.61	0.40 0.38	3.00 3.01	1.80 1.82	4.98 5.00	0.46 0.57
9.2	11.9	1.29	0.44	3.01	2.10	5.00	0.42
—	—	—	0.41	3.00	—	5.00	A : 0.44 D : 0.56

この範囲のなかにはいったものが、任意に組み合わせられ、構成されてラワン合板として作られているのがわが国でのラワン合板と称する現状のようである。それよりも合板のメーカーにより、同一厚みの合板がそれぞれ異なった単板構成によって作られているところに問題があろう。したがって、統一してみることがむずかしいけれども、いずれにしても第 5 表の $\Sigma \parallel / (\Sigma \parallel + \Sigma \perp)$ が平均値で 0.41、つまり t_1/t が 0.4 前後のものとなっていた (t_1/t については後述する)。

合板の使い方にもよるが、わが国では合板が薄ものから出発し化粧的な点にウエイトをおいて発達してきたために、表単板にどうしても薄いものを使っているため、その結果第 4 表のような単板構成になっていると考えられる。2.4 項で少し述べたごとく、できる限りこのような合板が等方性体になって安定的なものにしようとするれば、0.5 くらいにしたい。それには表板単板がもう少し厚いものにした方がよいと思われる。今回の実験にも、この意味でもっと安定した (0.5 の) 合板を併行してもちい、測定をおこなってみたかったのだけれども、そうした合板を手に入れることができず、一応この 3 社のものについてのみおこなった。

合板はすべて尿素樹脂接着のもので、3 社ともわが国の J A S 合板認定工場であり、試験片に欠点はほとんど含まれていないようであった。

3.2. カバ (K) およびヤチダモ (T) 合板

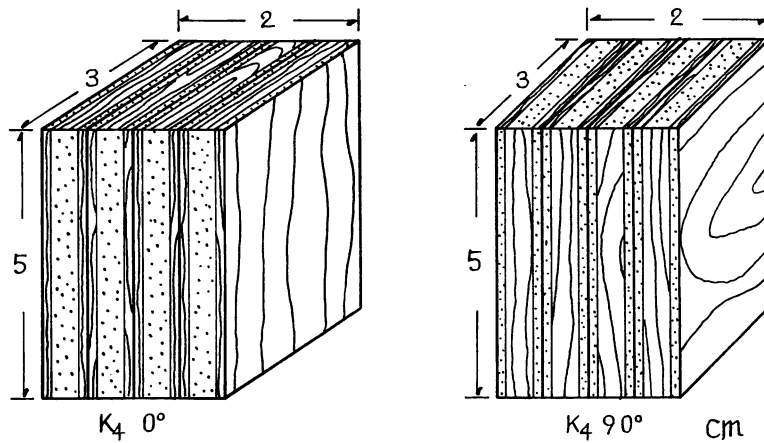
昭和 38 年に市販されていた D 社製造のもので、どちらも 3×6 尺合板 5 枚ずつ購入した。樹種は両方とも北海道産のもので、同じ樹種単板で構成された 3 プライ合板である。

特にカバ合板はわが国ではマカンパのみにて作られているので以後カバ合板ということにした。接着剤は尿素樹脂、2 タイプ耐水性のものであった。この購入した K および T の各合板 5 枚にあらかじめ任意に 1 から 5 までの一連 No. を付し、その中から K 4 と K 5 および T 4 と T 5 の計 4 枚を、今回の試験合板にもちいたのである。この 4 枚の合板の単板構成および比重等については第 6 表に示す。

この合板はどちらも厚みが 5 mm しかないために 1 枚の試験片で圧縮すると、あまりにも薄いために曲げ座屈がはいて単純圧縮にならず、したがって 2.1 項や 2.3 項のようなポアソン比が測定できない。そこで、この 3×6 尺合板 1 枚の任意の箇所から 30×30 cm の平板を木取り、そのなかから 6×4 cm の試

第 6 表 カバ (K) およびヤチダモ (T) 合板の
Table 6. Construction, dimension and specific gravity of the test

Mark and No. of test specimens		No. of plies	Construction (Veneer			
			1 st ply $\parallel$	2 nd ply $\perp$	3 rd ply $\parallel$	$\Sigma \parallel$ Sum. of parallel plies only
K	4	3	1.0	2.9	1.2	2.2
	5	3	0.9	3.0	1.2	2.1
T	4	3	1.5	2.3	1.3	2.8
	5	3	1.6	2.3	1.4	3.0



第3図 合板のポアソン比測定用圧縮試験片

(カバおよびヤチダモの3プライ合板4枚をさらに接着したもの)

Figure 3. Compressive test specimens for measuring POISSON'S ratio of KABA and YACHIDAMO plywood

(They are prepared by glue-lamination of 4 pieces of plywood with equal thickness respectively).

片を4枚取り出し、ふたたび尿素樹脂によって常温硬化、24時間圧縮(圧縮圧 5 kg/cm^2)接着し、その後1週間そのまま室内放置してから第3図のような寸法の $P-R$ 試験片に仕上げた。この試験片の寸法については第6表に示した。

圧縮荷重はラワン合板のときと同様高さ方向にのみかけることにしたので、したがって試験片の表板単板の繊維方向がこの荷重方向に平行なときは 0° 、直角なときは 90° の記号をそれぞれ $P-R$ 試験片の最後に付した。これもラワン合板の場合と全く同じ方法によった。試験片の個数は1枚の合板から 0° のものと 90° のものと2枚木取ったから、それが K が2枚、 T が2枚と計4枚からとったので合計8個になった。

試験片の単板構成、寸法および比重

 specimen from KABA (K) and YACHIDAMO (T) plywood.

thickness in mm)			Dimension of compressive test specimen in cm			Specific gravity at test Ru
$\Sigma \perp$ Sum. of perpendicular plies only	$\frac{\Sigma \perp}{\Sigma \parallel}$	$\frac{\Sigma \parallel}{\Sigma \parallel + \Sigma \perp}$	Width B	Thickness T	Height H	
2.9	1.32	0.43	3.07	2.03	5.03	0.71
3.0	1.43	0.41	3.07	2.07	5.04	0.75
2.3	0.82	0.55	3.07	2.08	5.04	0.58
2.3	0.77	0.57	3.07	2.13	5.04	0.53

4. 試 験 方 法

一般にポアソン比 (POISSON's ratio) とは、ある荷重方向の伸、縮歪に対して、同一平面内でそれと直角方向での逆の伸、縮歪の比をもって定義されている。そこで今回の試験でこの $P-R$ 試験片のポアソン比 (ν) は、高さ方向にのみ圧縮荷重をかけたのであるから、次の 2 つの場合が測定される。

$$\nu_{LT} = \frac{\text{荷重方向} \perp \text{表板単板の繊維方向, で水平伸び歪 (+)}}{\text{荷重方向} \parallel \text{表板単板の繊維方向, で垂直縮み歪 (-)}}$$

$$\nu_{TL} = \frac{\text{荷重方向} \parallel \text{表板単板の繊維方向, で水平伸び歪 (+)}}{\text{荷重方向} \perp \text{表板単板の繊維方向, で垂直縮み歪 (-)}}$$

つまり $P-R$ 試験片の表板単板の繊維方向が、高さ方向に対して平行なもの (L によって示す) からは ν_{LT} が測定され、また直角なもの (T によって示す) からは ν_{TL} が測定される。

試験にもちいた荷重試験機は能力 5 トンのオルゼン型材料試験機で写真 1 の A である。

それに ASTM 型圧縮装置 (写真 2 の C) を写真 1 の C のように取り付け、これによっておこなった。歪の変形量を測定する装置には、次の 2 方法を使って、それぞれ別べつに測定した。

1. 鏡式歪計式 (Mirror type extensometer)
2. 電氣的歪ゲージ式 (Strain gage type of electronics)

なお、試験はすべて当研究室所属の恒温恒湿室 (室温 $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$, 湿度 $75\pm 5\%$) においておこなった。

つぎに荷重のかけ方についてみると一般に木材では歪の変形量として垂直 (荷重方向) 歪の方が水平歪より 20 倍くらい大きい。それで測定を同時に 4 点読み取っておこなうことは精度、応力緩和現象等の点からむずかしいと考えられたので、今回は垂直、水平と 2 回に分けて荷重をかける繰返し荷重方法をとった。その際、加える荷重が試験片の弾性限界内のものでなければならない。したがって、その安全性をみるために、各 $P-R$ 試験片のすぐ隣の位置から同じ大きさの圧縮試験片を木取って、予備試験としてその最大圧縮強さならびに比例限強さをもとめた。そして大体最大圧縮強さの $1/4$ を (比例限強さは $1/2$ から $2/3$ にみられた)、今回の最大荷重の限度に一応きめて試験荷重と称することにしてその範囲内でおこなうことにした。いま一例をとるならば、ラワン合板 $34.2 \times 1.0^{\circ}.0^{\circ}$ のものは荷重断面積が 4.5cm^2 で、最大圧縮荷重が 715.7kg あった。これを最大の圧縮応力に換算すると 158kg/cm^2 になるから、その $1/4$ で

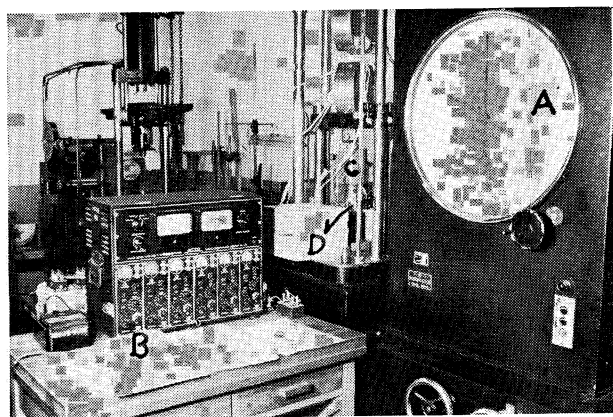


写真 1. ポアソン比測定用装置

- A : 5 トンオルゼン型材料試験機
 B : DS6-R 型動歪測定用電気歪計
 C : ASTM 型圧縮装置
 D : $P-R$ 試験片

Photo.1 Apparatus of test used for measuring of POISSON's ratio.

- A : Orzen type Test-machine of 5 ton capacity.
 B : DS6-R type motive strain meter.
 C : ASTM type apparatus for compressive test.
 D : Test-specimen.

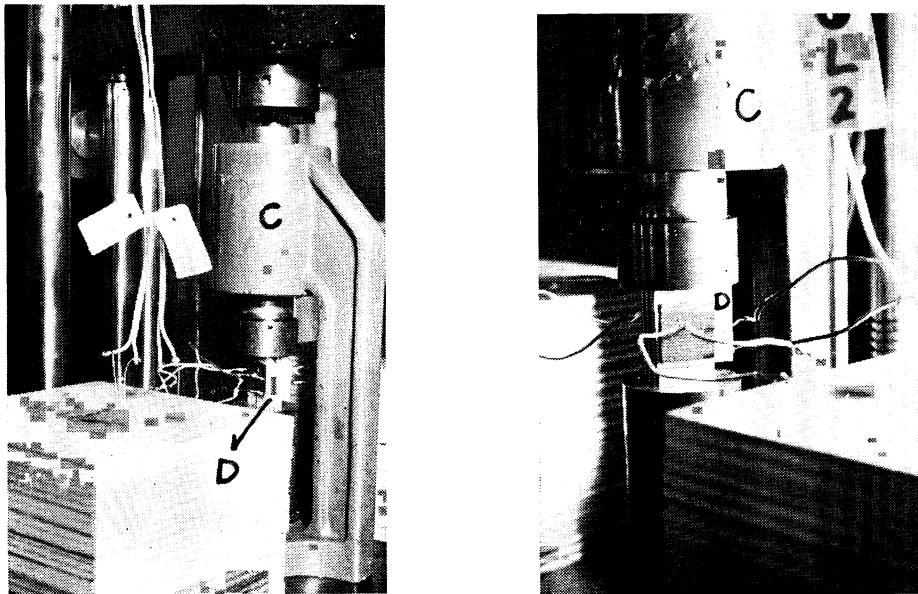


写真2. ストレインゲージ法によるポアソン比測定

C : ASTM型圧縮装置

D : ストレインゲージを貼った *P-R* 試験片

Photo. 2 Method of strain gage type used to determine POISSON's ratio.

C : ASTM type apparatus for compressive test.

D : Test specimen.

はほぼ 40 kg/cm^2 となる。そこで、この最大の圧縮応力が、その断面内で荷重方向に平行な繊維方向をもつ単板のみですべて負担するとみるならば、第5表の断面構成比率から約40%が平行方向の単板で占められているから、 $40/0.4 = 100 \text{ kg/cm}^2$ となる。一般的にみて今回のような合板に使われたラワン材の繊維方向の最大圧縮強さは、少なくとも 300 kg/cm^2 以上、比例限強さは 200 kg/cm^2 以下に十分考えられるから今回の試験で加えようとする圧縮の試験荷重の最大応力は $1/3$ 以下にみられそうだ。したがって、このくらいのものでは、合板が十分弾性の比例限界内にあるとみられるし、その間の繰返し荷重は材質に何ら変化を与えないと思われる。とすると先ほどの 40 kg/cm^2 を合板にかけることは、つまり全断面に $4.5 \times 40 = 180 \text{ kg}$ の荷重をかけることになる。そこでこれを 200 kg まで増してこれを試験荷重としてみると、ちょうど 20 kg ずつ荷重をかけての10点の歪の変形量測定ができることになる。このような方法によって各 *P-R* 試験片に実施した。

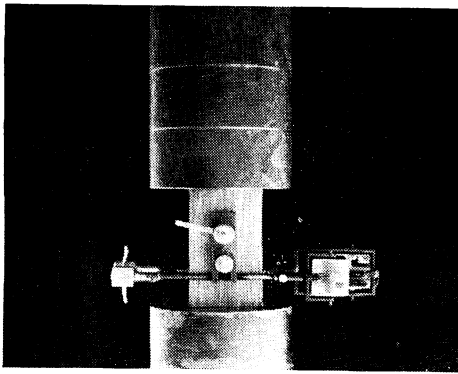
つぎに歪の変形量の測定について上記2方法について詳述する。

4.1. 鏡式歪測定法

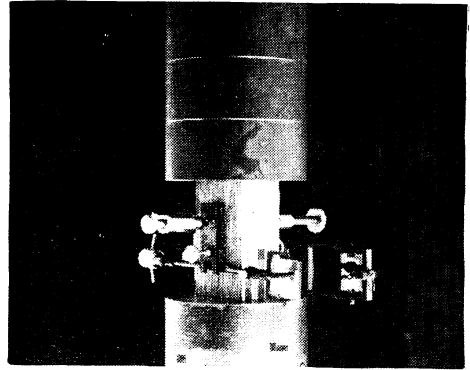
この方法については古くから用いられてはいるものの、わが国において木材に適用して実験をおこなった文献^{3)~6)}は数少ない。原理はこれら文献にみられる方法と全く同じ方法でおこなったものである。そこでその原理を垂直および平行の2つの場合に分けて述べる。

4.1.1. 垂直歪測定の鏡式法

一般に縦方向といわれる垂直方向の歪変形量は、木質材料に関する限りこの方法で十分測定できるきわめて便利な方法である。精度も 100 マイクロくらいなら十分読みとれる。この方法を *P-R* 試験片にセッ



A



B

写真 3. 鏡式法による垂直歪測定装置

A : 正面から見た場合, B : 斜横から見た場合

Photo. 3 Axial extensometers of mirror type used to determine POISSON's ratio.
A : Front-view of set. B : Slant-view of set.

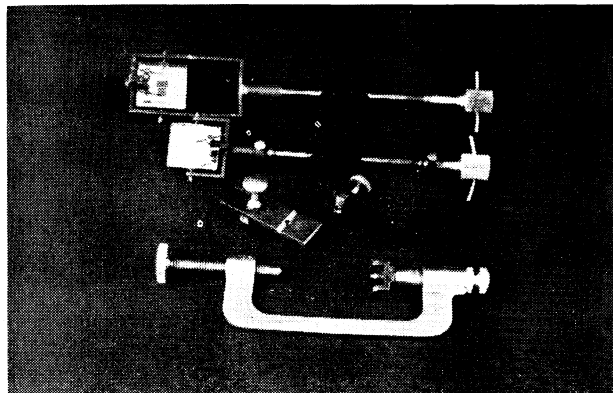


写真 4. 垂直歪測定に使った鏡式法の鏡およびゲージ

Photo. 4 Mirror and gage of axial extensometer used to determine POISSON's ratio.

となる。したがってものさし S_1 および S_2 の読み x_1 および x_2 mm に対する試験片の平均伸縮量 λ は、

$$\lambda = \frac{1}{2}(\lambda_1 + \lambda_2) \div \frac{1}{2} \left(\frac{d_1}{2D} x_1 + \frac{d_2}{2D} x_2 \right) = \frac{d}{4D} (x_1 + x_2) \text{ mm} \dots \dots \dots (3.1.5)$$

となる。

今回使用した測定装置では $d_1 = d_2 = d$ とし、4.5mm のナイフエッジに仕上げたものであるから、 $D = 1125$ mm にとると (3.1.5) 式から

$$\lambda = \frac{4.5}{4 \times 1125} (x_1 + x_2) = \frac{x_1 + x_2}{1000} = (x_1 + x_2) 10^{-3} \text{ mm} \dots \dots \dots (3.2.1)$$

となる。そこでゲージの長さを l mm とすれば、歪 ε は、

$$\varepsilon = \frac{x_1 + x_2}{l} 10^{-3} \dots \dots \dots (3.2.2)$$

となる。まだゲージの長さを l cm にすれば、

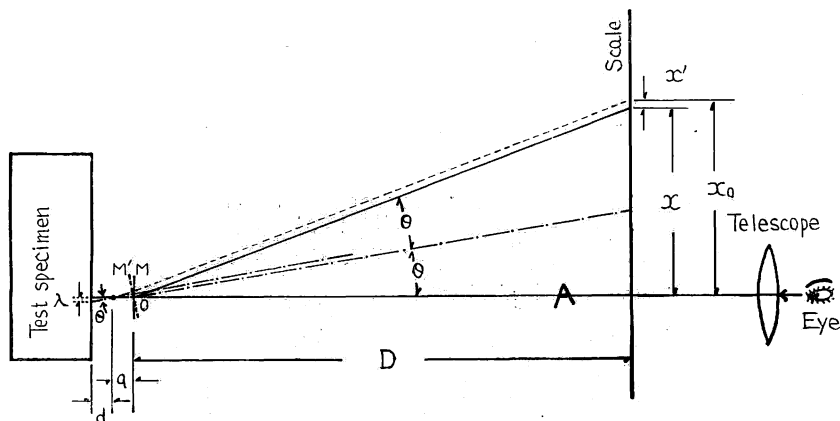
$$\varepsilon = \frac{x_1 + x_2}{l} 10^{-4} \dots \dots \dots (3.2.3)$$

となり、どちらの場合も x_1 および x_2 は mm 単位で S_1 および S_2 から読み取る。

写真 3 および 4 をみてわかるように、鏡の中央がナイフエッジの中央に位置しているが、第 4 図ではそうではなく、ナイフエッジ F_1 および F_2 の先端に鏡の中心がついている。したがって今回の場合には、 D_1 および D_2 の代わりに $D_1 + \frac{d_1}{2}$ および $D_2 + \frac{d_2}{2}$ を計算に使わなければならない、つまりこれを使って測定したことになるから、実際の歪の変形量よりは $1/2D$ だけ大きく読みこんでいることになる。しかし、この誤差は計算では 0.1% くらいのものであるから、ほとんど 0 とみてよく、よって第 4 図による (3.2.2) あるいは (3.2.3) 式の計算で垂直歪を出してよい。

4.1.2. 水平歪測定鏡式法

この方法については著者が以前に一度、合板のパネル剪断剛性試験⁹⁾に使用したことがあるが、このと

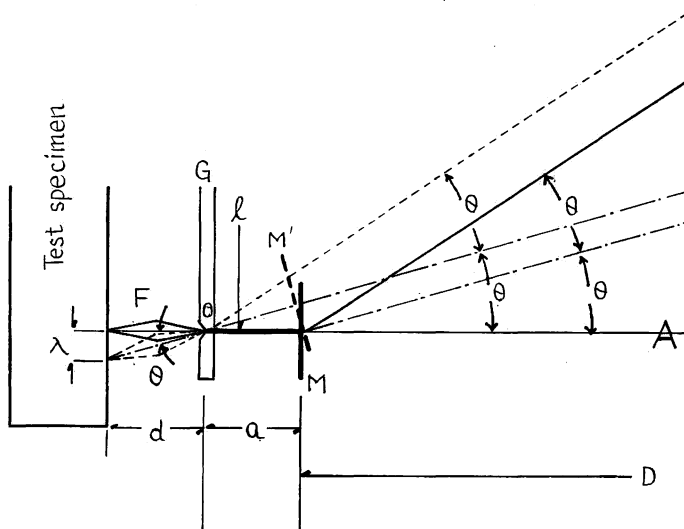


第 5 図 鏡式エクステンソメーターによる使用法、原理の説明図

(II) 水平歪の変形量の測定

Figure 5. Illustration of Principle of mirror type extensometer system.

(II) measurement of lateral strain (deformation).



第 6 図 鏡支持棒（アーム）の長さ a によって生ずる水平歪の誤差の補正

Figure 6. Complement of error to lateral strain caused by arm length a for mirror-support.

きも非常によかったので、今回もこの方法でおこなった。写真5および6にこの場合のセットした $P-R$ 試験片を示したが、原理は 4.1.1 項の垂直歪測定の場合と全く同じである。ただ鏡の取付棒（アーム）が少し長いために、測定されたものさしの読み若干誤差が含まれるので、場合によっては補正しなければならないので、この点について述べる。

いま第5図に、 $P-R$ 試験に取り付けた原理を示したが、これをみてわかるように実際の歪の計算には x^0 を使わねばならないのだけれども、望遠鏡を通して読みこまれる値は x であるから、その差が誤差となっている。つまり前の (3.2.2) 式で歪の計算をする際に x を使うから、その誤差だけ小さく見積もってしまうことになる。そこでこのところをもう少し詳しくみるために第6図に必要部分だけ取り出してみたが、これによって説明すると、いま軸 A で鏡の回転がなく、歪の変形量が0のときであったものが、圧縮荷重によって試験片が垂直方向に縮み、水平方向に伸びる。とすると、ナイフエッジ F が θ だけ外側に回転し、 λ だけ変位する。この場合鏡は M の状態から M' の状態になる。望遠鏡の軸 A は変わらないら、このとき読みこまれるものさしの変位量は x である。つまり λ に対応して測定される値は x^0 でなく x である。そこで実際の歪の計算をおこなうために、ここで補正してやらねばならない。この誤差の出た原因は鏡の取付け支持棒（アーム）のために生じたものであるから、当然このアームの長さ a によって補正が必要なのである。

第6図から三角形の相似によってつぎの式が成り立つから、

$$\frac{x}{D} = \frac{x_0}{D+a}$$

$$\therefore \frac{x_0 - x}{x} = \frac{x'}{x} = \frac{a}{D}$$

のようになる。つまり a/D だけ小さく読まれていることがわかり、その誤差は $a/D \times 100\%$ となる。そこで今回の実験では D を 1125mm にきめ、 a を 32mm のものに作った鏡を使用したので、その誤差は

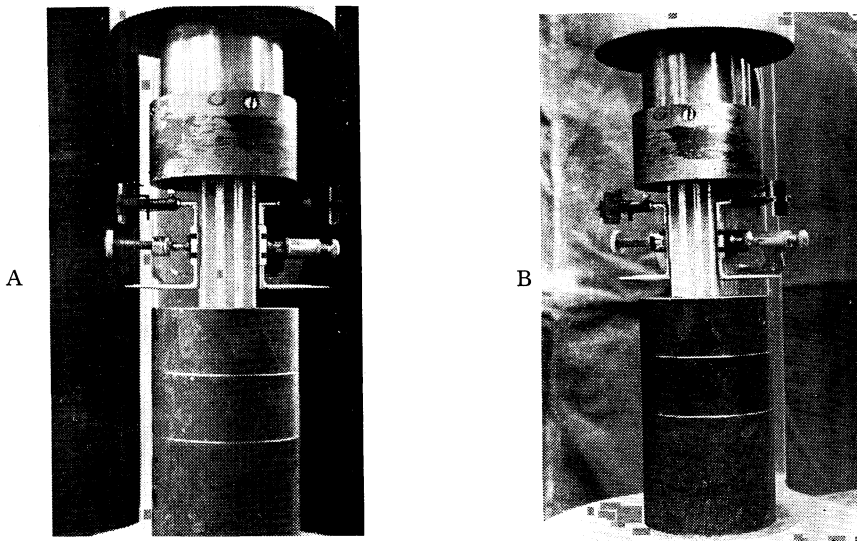


写真5. 鏡式法による水平歪測定装置

A: 側面から見た場合 B: 斜横から見た場合

Photo. 5 Lateral extensometers of mirror type used to determine POISSON's ratio.

A: Side-view of set. B: Slant-view of set.

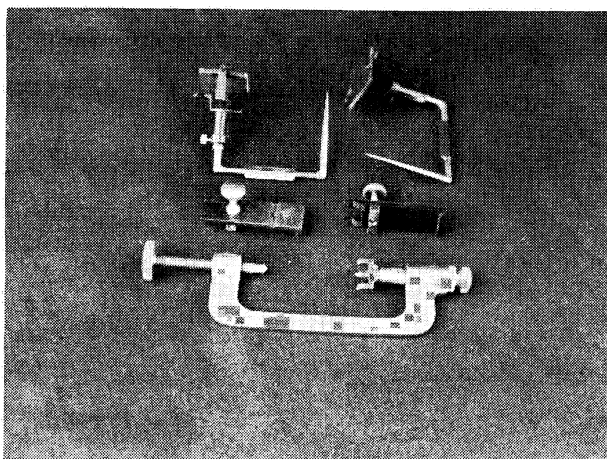


写真 6 . 水平歪測定に使った鏡式法の鏡およびゲージ

Photo. 6 Mirror and gage of lateral extensometer used to determine POISSON's ratio.

$32/1125=0.0285$ となり約 3 % 弱のものとなった。実際の歪は実験測定値よりも 3 % 弱小さくみたことになるから (3.2.2) 式で計算した値に 1.03 をかけた値が真の歪となる。が今回はこの補正をおこなわずに、そのまま誤差を含んだものの値を採用した。それは実験の際にいろいろの面からはいつてくる誤差を考慮すれば、この 3 % 程度のものは一応無視してもよい場合が多いのではないかと考えられるからである。

4.1.3. 歪変形量の測定順序

写真 3 および 5 からわかるように、歪の変形量は $P-R$ 試験片の両面で測定し、この 2 面の歪を加えて 2 で割ったものがもとめる歪となるのであるから、本当は垂直歪と水平歪を同時に荷重をかけた際に測定されなければならないのであるが、装置の都合上どうしても不可能だったので、次のように分けて別べつに測定をおこなった。もちろん前の 4.1 項の終わりに述べたように試験荷重は安全圏内、つまりその $P-R$ 試験片の最上圧縮荷重のほぼ 1/4 以内と思われる範囲内でおこなった。

測定順序	試験片の表板単板の繊維方向に対しての荷重方向	測定の区別
1 回目	0° (∥)	両面での垂直歪
2 //	90° (⊥)	
3 //	0° (∥)	両面での水平歪
4 //	90° (⊥)	

最初にカバおよびヤチダモ合板の 8 試験片についておこない、つぎにラワン合板についておこなった。ただし上記各回とも残留応力のこともあるので、この 3 種の合板の全試験片をとおしておこなって、全部について終了したら次の回の測定にはいったのである。

4.2. 電氣的歪ゲージ式測定法

この方法は一般にストレインゲージ法ともいわれているもので、薄い紙にごく細い白金線を接着したものゲージをいって、これを被測定材料の表面に固定してはりつける。

それが、そのところの応力によって変位すると、その白金線が伸縮する。それが電氣的抵抗を変化させるから、そのときの電圧変化によってあらかじめキャリブレイトしておけば、つまり歪によって表示しておけば、これによって任意に歪の測定ができるという原理である。今回もちいたこのゲージは新興通信工

業K.K.で製作しているC-1タイプと呼ばれるペーパーゲージで、抵抗白金線を十字型にはりつけたものである。写真7にP-R試験片の片面にはった状態のものを示した。そこでP-R試験片の両面を1および2の添字で区別し、また垂直方向および水平方向をそれぞれL(∥)およびT(⊥)の添字で区別すれば、歪をεとすると垂直および水平方向の歪はそれぞれ

$$\varepsilon_L = \frac{\varepsilon_{L1} + \varepsilon_{L2}}{2}, \quad \varepsilon_T = \frac{\varepsilon_{T1} + \varepsilon_{T2}}{2}$$

(∥) (⊥)

によって示すことができる。

4.1 項の鏡式法による垂直ならびに水平の歪変形量をすべて測定してから、このペーパーゲージC-1タイプを各試験片の両面に、第7図のように、ニトロセルローズ系の接着剤によって接着し、その後1週間そのままの

状態で放置した。それから測定試験にはいった。またこの歪を測定する測定器は、ゲージメーカーと同じ会社の新興通信工業K.K.で製作されたDS-6R型動歪測定器である。写真1のBにそれを示す。この測定器では6チャンネルを同時に使えるが、その中の4チャンネルを使い、

- 1 チャンネルに L_1
- 2 チャンネルに L_2
- 3 チャンネルに T_1
- 4 チャンネルに T_2

をそれぞれ接続し、1および2チャンネルには歪を0~2000マイクロで、3および4チャンネルには0~100マイクロにあらかじめセットして調節した。

荷重をかける場合に垂直方向の歪変形量を測定することは別に問題はないが、水平方向のそれを測定するとき応力緩和現象がみられたので(6.1.4項にて詳述する)、この場合もそれぞれL方向とT方向の歪変形量の測定に分けておこなった。ことに T_1 と T_2 もそれぞれ分けて連続に荷重をかけ、4項の終わり

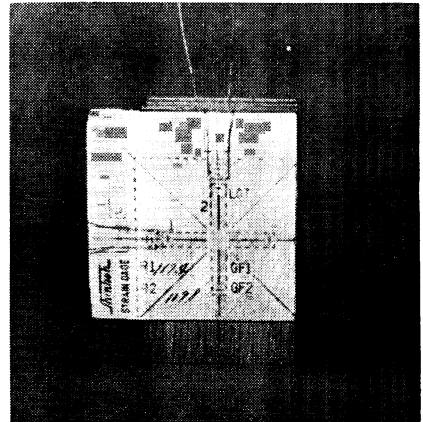
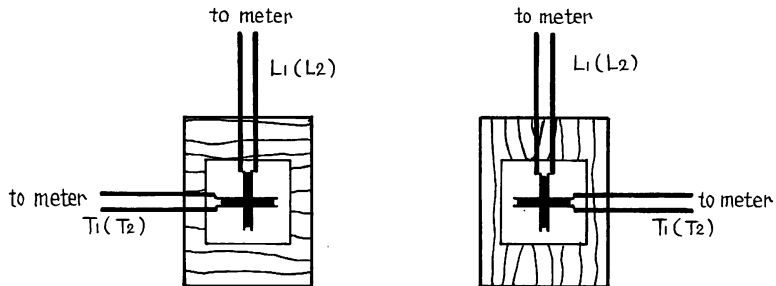


写真7. ストレインゲージをはったP-R試験片

Photc. 7 P-R test specimen for strain gage method.



L; axial direction. L_1, T_1 ; Face.
T; lateral direction. $(L_2) (T_2)$; Back.

第7図 P-R試験片にはったC-1タイプのストレインゲージ

Figure 7. C-1 type strain-gage glued on face of P-R-test specimen.

に述べた要領によってその変形値を読んだ。もちろん T_1 のあと T_2 の測定にはいるあいだはできる限り時間をおいて、メーター (歪) の流れがなくなってから次の測定にはいるようにした。

5. 試 験 結 果

鏡式法ならびにストレインゲージ法によって歪の変形量を測定したが、その各測定値から歪を算定するのは次のようにしておこなった。まず圧縮の試験荷重 (kg) から圧縮応力 σ_c (kg/cm²) を出し、ついで $\sigma_c = 1$ kg/cm² のときの歪の変形量を比例的に各測定値にそれぞれもとめた。

すなわち鏡式法ではこの測定された変形量をゲージ長さ l で割った値が歪になるし、ストレインゲージ法ではメーターに歪として、そのまま出るから、どちらも垂直歪を $\varepsilon_{\parallel}$ 、水平歪を $\varepsilon_{\perp}$ の記号によって表わすことにした。また鏡式法ならびにストレインゲージ法でもとめた歪の表示をやはり M と S による添字で区別し、それぞれ $M\varepsilon$ および $S\varepsilon$ とした。このような表示によって区別されたものの P - R 試験片のポアッソン比 ν は、

$$\nu = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_{\parallel}}$$

によって与えられるし、また圧縮のヤング係数 E (kg/cm²) は $\sigma_c = 1$ kg/cm² であるところの $\varepsilon_{\parallel}$ の逆数で与えられるから、やはり鏡式法ならびにストレインゲージ法によってもとめたものを $M E$ および $S E$ によって表示した。また歪の単位として、マイクロ (10⁻⁶) で示す方が便利であると思うのでこの単位で示すことにした。

5.1. ラ ウ ン 合 板

上記の方法でもとめた測定値をそれぞれ計算し、その結果を第 7 表に示した。

鏡式法では水平の歪変形量が非常にバラついてで、測定が困難だったので途中で中止し垂直方向のみのものを測定した。したがって、鏡式法からのポアッソン比は測定できなかった。ストレインゲージ法からは、圧縮荷重方向 $\parallel$ 表単板の繊維方向のものでは ν_{LT} を、また荷重方向 $\perp$ 表単板の繊維方向のものでは ν_{TL} をそれぞれもとめた。

なおこの P - R 試験片は長時間経過後に再度同じ要領で測定するべく計画しているので、今回は圧縮の破壊試験はおこなわなかった。

つぎに鏡式法とストレインゲージ法との測定値の差を見るためにも、各 P - R 試験片での ($M E_{90^\circ} / M E_{0^\circ}$) と ($S E_{90^\circ} / S E_{0^\circ}$) を別べつにもとめて、この両者の比を ($S E / E_M$) とし、つまり、

$$\frac{S E}{M E} = \frac{\frac{S E_{90^\circ}}{S E_{0^\circ}}}{\frac{M E_{90^\circ}}{M E_{0^\circ}}}$$

を計算して第 7 表の終わりに示した。

5.2. カバおよびヤチダモ合板

この両合板では鏡式法での歪の変形量は垂直の場合はもちろん、水平の場合もかなり良好なデーターを測定することができたが、ストレインゲージ法では、この測定を割愛した。そこで鏡式法のみでの測定値ならびに計算結果を第 9 表に示した。歪、ヤング係数やその他の記号ならびに表示方法は、すべてラウン合板のときと同じ方法によって示してある。なおこの両試験片を、ポアッソン比の歪の変形量測定後に圧縮破壊した。そのときの状態を写真 8 に示した。

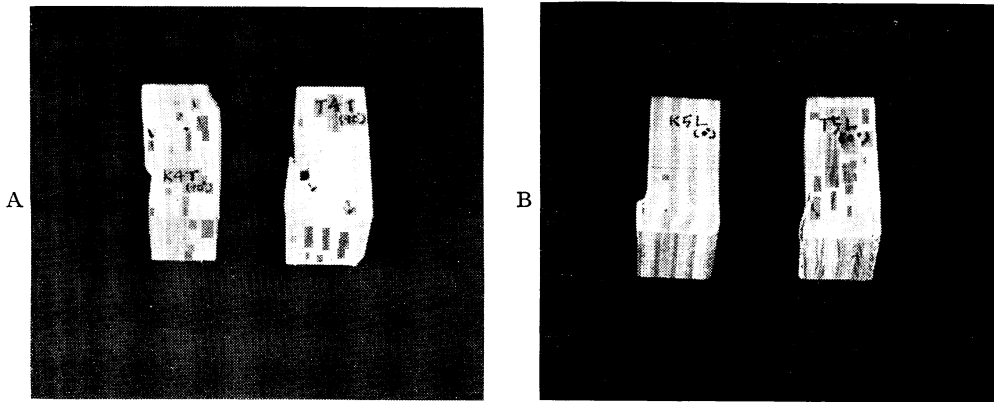


写真 8. カバ (K) 合板およびヤチダモ (T) 合板の圧縮による破壊

A : 圧縮荷重方向と表板単板の繊維方向が $\perp$ の場合

B : 圧縮荷重方向と表板単板の繊維方向が $\parallel$ の場合

Photo. 8 Failures of *P-R* test specimen of KABA (K) and YACHIDAMO (T) plywood subjected to compression.

A : Direction of compressive load $\perp$ to grain direction of face veneer of plywood.

B : Direction of compressive load $\parallel$ to grain direction of face veneer of plywood.

6. 考 察

6.1. ラワン合板

第 7 表の測定結果を総合的にみることは少し数が多くて複雑すぎると思うので、合板の種類別にまとめて平均値を出し、それを第 8 表に示した。これらの結果について考察をおこなうと次のとおりである。

6.1.1. ラワン合板のポアソン比

ラワン合板の構成別に 7 種類のものを今回とりあげたのであるが、その個々については多少の材質値の異なりが見られるが、総体的にみると第 8 表の下段の平均値をもって、代表させうると考えられる。ポアソン比でみるなら ν_{LT} は 0.05, ν_{TL} で 0.04 くらいになる。一般的にラワン材といわれるものでは、素材としてポアソン比は ν_{LT} で 0.5, ν_{TL} で 0.02 くらい (ただし、合板の場合は表板単板の繊維方向を基準にとり、また素材ではそのままの繊維方向をもって表わす)。したがって、合板と素材とで同じ断面、同じ大きさとみるとそのポアソン比で比較すると繊維方向では前者は後者の 1/10、接線方向では 2 倍くらいになってくる。つまり、ポアソン比でみる限り木材固有の直交異方性がぐっと小さくなって、より等方性体になることがわかる。

実験値では以上のような見方ができるけれども、では理論的にはどんなものかとみればやはり全く同じことがいわれる。すなわち、第 1 表および第 2 表から、いまかりに合板の構成およびその単板のもつポアソン比とヤング係数がつぎの数値のもの——ラワン材としてみる——にとるならば、

$$X=0.4, \quad \nu_{LT}=0.5\sim 0.6, \quad Y=20 \quad (15\sim 25)$$

この合板のポアソン比の計算値は、

$$\nu_{LT}=0.04\sim 0.06$$

$$\nu_{TL}=0.04\sim 0.05$$

として各表からとられる。この値は実験値とよく適合していることがわかる。

第 7 表 ラワン合板のポアソン比,
Table 7. Measuring values of POISSON's ratio

					*H		By mirror type extensometer						
					*G		*F		0°		90°		$\frac{ME_{90^\circ}}{ME_{0^\circ}}$
									$ME_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	ME_{0° $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$ME_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	ME_{90° $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	
28	2	2	0°	0° 90°	11.75 —	85.1 —	— 9.68	— 103.2	1.21				
			90°	0° 90°	10.89 —	91.8 —	— 9.60	— 104.2	1.14				
28	3	2	0°	0° 90°	13.03 —	76.8 —	— 7.91	— 126.4	1.65				
			90°	0° 90°	11.66 —	85.8 —	— 8.29	— 120.6	1.41				
31	1	1	0°	0° 90°	23.54 —	42.5 —	— 12.23	— 81.8	1.93				
			90°	0° 90°	22.47 —	44.5 —	— 10.94	— 91.4	2.05				
31	2	3	0°	0° 90°	21.04 —	47.5 —	— 9.54	— 104.8	2.21				
			90°	0° 90°	22.87 —	43.7 —	— 10.67	— 93.7	2.14				
34	1	1	0°	0° 90°	20.20 —	49.5 —	— 19.42	— 51.5	1.04				
			90°	0° 90°	23.60 —	42.4 —	— 17.76	— 56.3	1.33				
34	2	1	0°	0° 90°	21.56 —	46.4 —	— 16.81	— 59.5	1.28				
			90°	0° 90°	17.20 —	58.1 —	— 15.51	— 64.5	11.1				
35	1	3	0°	0° 90°	23.64 —	42.3 —	— 14.07	— 71.1	1.68				
			90°	0° 90°	25.62 —	39.0 —	— 11.44	— 87.4	2.24				
35	2	2	0°	0° 90°	22.90 —	43.7 —	— 15.40	— 64.9	1.49				
			90°	0° 90°	23.05 —	43.4 —	— 13.77	— 72.6	1.67				
37	1	2	0°	0° 90°	21.18 —	47.2 —	— 14.53	— 68.8	1.46				
			90°	0° 90°	25.58 —	39.1 —	— 13.25	— 75.5	1.93				

*A : Classification of plywood in test.

*B : No. of plywood as test specimen.

*C : No. of specimen for bending-test.

*D : Grain angle of face veneer to span direction of

*E : Grain angle of face veneer to compressive load

*F : Strain, modulus of elasticity and POISSON's ratio.

ヤング係数の測定値表

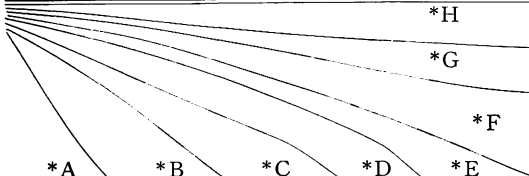
and YOUNG's moduls of LAUAN plywood.

By strain gage type of electronics									$\frac{sE}{mE}$
0°				90°				$\frac{sE_{90^\circ}}{sE_{0^\circ}}$	
$s\varepsilon_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	$s\varepsilon_{\perp}$ $\times 10^{-6}$	$\left \frac{\nu_{LT}}{s\varepsilon_{\parallel}}\right $ $\left(\frac{s\varepsilon_{\perp}}{s\varepsilon_{\parallel}}\right)$	sE_{0° $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$s\varepsilon_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	$s\varepsilon_{\perp}$ $\times 10^{-6}$	$\left \frac{\nu_{TL}}{s\varepsilon_{\perp}}\right $ $\left(\frac{s\varepsilon_{\parallel}}{s\varepsilon_{\perp}}\right)$	sE_{90° $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$		
11.55 —	0.755 —	0.0654 —	86.6 —	— 9.41	— —	— —	— 106.3	1.23	1.02 1.03
11.21 —	0.558 —	0.0498 —	89.2 —	— 9.25	— 0.248	— 0.0268	— 108.1	1.21	0.97 1.04
12.47 —	0.786 —	0.0630 —	80.2 —	— 9.51	— 0.514	— 0.0330	— 105.2	1.31	1.04 0.83
11.39 —	0.325 —	0.0285 —	87.8 —	— 9.07	— 0.234	— 0.0258	— 110.2	1.26	1.02 0.91
23.53 —	0.506 —	0.0215 —	42.5 —	— 10.00	— 0.441	— 0.0441	— 100.0	2.35	1.00 1.22
24.15 —	1.036 —	0.0429 —	41.4 —	— 11.49	— 0.462	— 0.0402	— 87.0	2.09	0.93 0.95
22.47 —	1.056 —	0.0470 —	44.5 —	— 9.07	— 0.224	— 0.0247	— 110.3	2.48	0.94 1.05
20.00 —	0.714 —	0.0357 —	50.0 —	— 9.88	— 0.374	— 0.0378	— 101.2	2.02	1.14 1.08
20.33 —	1.980 —	0.0974 —	49.2 —	— 15.43	— 0.350	— 0.0227	— 64.8	1.32	1.01 1.26
25.19 —	1.045 —	0.0415 —	39.7 —	— 15.22	— 0.609	— 0.0400	— 65.7	1.65	0.94 1.17
18.66 —	0.942 —	0.0505 —	53.6 —	— 14.58	— 0.591	— 0.0405	— 68.6	1.28	1.16 1.15
16.67 —	0.510 —	0.0306 —	60.0 —	— 14.29	— 0.423	— 0.0296	— 70.0	1.17	1.03 1.09
23.81 —	0.688 —	0.0289 —	42.0 —	— 12.32	— 0.583	— 0.0473	— 81.2	1.93	0.99 1.14
25.19 —	0.942 —	0.0374 —	39.7 —	— 12.29	— 0.704	— 0.0573	— 81.4	2.05	1.02 0.93
24.21 —	0.789 —	0.0326 —	41.3 —	— 13.93	— 0.759	— 0.0545	— 71.8	1.74	0.96 1.11
22.57 —	0.688 —	0.0305 —	44.3 —	— 13.70	— 0.688	— 0.0502	— 73.0	1.77	1.02 1.08
— —	— —	— —	— —	— 15.35	— 0.273	— 0.0178	— 65.2	—	— 0.95
22.94 —	1.388 —	0.0605 —	43.6 —	— 13.12	— 0.409	— 0.0312	— 76.2	1.75	1.12 1.01

bending. *G : Direction of compressive load to face grain.

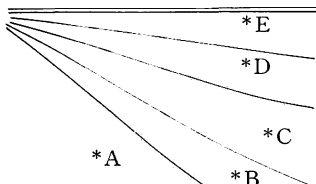
direction. *H : Measuring method of strain.

第 7 表 (つづき) Table 7. (Continued)

					By mirror type extensometer				
					0°		90°		$\frac{ME_{90^\circ}}{ME_{0^\circ}}$
					$ME_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	ME_{0° $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$ME_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	ME_{90° $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	
37	2	1	0°	0°	21.93	45.6	—	—	1.72
			90°	90°	23.63	42.3	—	—	1.69
38	1	1	0°	0°	19.99	50.0	—	—	1.75
			90°	90°	18.78	53.3	—	—	1.97
38	2	1	0°	0°	22.87	43.7	—	—	1.92
			90°	90°	22.62	44.2	—	—	1.80
40	1	1	0°	0°	16.96	59.0	—	—	0.99
			90°	90°	22.18	45.1	—	—	1.41
40	2	3	0°	0°	20.78	48.1	—	—	1.33
			90°	90°	21.86	45.8	—	—	1.15

第 8 表 ラワン合板のポアソン比およびヤング

Table 8. Measuring values of POISSON's ratio and YOUNG's modulus

			By Mirror type extensometer						
			0°		90°		$\frac{ME_{90^\circ}}{ME_{0^\circ}}$		
			$ME_{\parallel}$ $\times -10^{-6}$	ME_0 $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$ME_{\parallel}$ $\times -10^{-6}$	$ME_{\perp}$ $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$s_{\parallel}$ $\times -10^{-6}$	$s_{\perp}$ $\times 10^{-6}$	
28	M	0.9 _{cm}	11.83	84.5	8.87	113.6	1.34	11.66	0.606
31	D	1.2	22.48	44.6	10.85	92.9	2.08	22.54	0.828
34	A	1.5	20.64	49.1	17.38	58.0	1.18	20.21	1.119
35	D	1.5	23.80	42.1	13.67	74.0	1.76	23.95	0.777
37	A	1.8	23.08	43.6	13.63	73.6	1.69	21.37	1.185
38	D	1.8	21.07	47.8	11.36	89.0	1.86	20.58	0.909
40	A	2.1	20.45	49.5	16.86	59.7	1.21	20.90	1.405
M (Mean)		—	—	D : 44.8 A : 47.4	—	D : 85.3 A : 63.8	D : 1.90 A : 1.34	—	—

$$* \frac{sE}{ME} = \frac{sE_{90^\circ}/sE_{0^\circ}}{ME_{90^\circ}/ME_{0^\circ}}$$

*A : Classification and maker of plywood in test.

*B : Thickness of plywood.

*C : Strain, modulus of elasticity and POISSON's ratio.

By strain gage type of electronics									$\frac{sE}{mE}$
0°				90°				$\frac{sE_{90^\circ}}{sE_{0^\circ}}$	
$s\varepsilon_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	$s\varepsilon_{\perp}$ $\times 10^{-6}$	$ \nu_{LT} $ $\left(\frac{s\varepsilon_{\perp}}{s\varepsilon_{\parallel}}\right)$	sE_{0° $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$s\varepsilon_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	$s\varepsilon_{\perp}$ $\times 10^{-6}$	$ \nu_{TL} $ $\left(\frac{s\varepsilon_{\perp}}{s\varepsilon_{\parallel}}\right)$	sE_{90° $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$		
19.53 —	1.072 —	0.0549 —	51.2 —	— 12.02	— 0.370	— 0.0308	— 83.2	1.63	1.12 1.06
21.65 —	1.093 —	0.0505 —	46.2 —	— 13.51	— 1.042	— 0.0771	— 74.0	1.60	1.09 1.04
19.61 —	1.416 —	0.0722 —	51.0 —	— 10.62	— 0.355	— 0.0334	— 94.2	1.85	1.02 1.08
21.37 —	1.116 —	0.0522 —	46.8 —	— 9.71	— 0.435	— 0.0448	— 103.0	2.20	0.88 0.98
20.70 —	0.344 —	0.0166 —	48.3 —	— 11.09	— 0.416	— 0.0375	— 90.2	1.87	1.11 1.08
20.62 —	0.761 —	0.0369 —	48.5 —	— 11.21	— 1.043	— 0.0930	— 89.2	1.84	1.10 1.12
21.65 —	1.448 —	0.0669 —	46.2 —	— 14.56	— 0.418	— 0.0287	— 68.7	1.49	0.78 1.18
20.49 —	1.635 —	0.0798 —	48.8 —	— 14.37	— 0.555	— 0.0386	— 69.6	1.43	1.08 1.09
20.79 —	1.497 —	0.0720 —	48.1 —	— 14.43	— 0.482	— 0.0334	— 69.3	1.44	1.00 1.08
20.66 —	1.039 —	0.0503 —	48.4 —	— 15.55	— 0.547	— 0.0352	— 64.3	1.33	1.06 1.22

係数の測定値の平均値表（第7表の平均値）

of LAUAN plywood (Mean values from Table 7).

By strain gage type of electronics							*		
0°		90°				$\frac{sE_{90^\circ}}{sE_{0^\circ}}$	$\frac{sE}{mE}$	$\frac{ \nu_{LT} }{sE_{0^\circ}}$	$\frac{ \nu_{TL} }{sE_{90^\circ}}$
$\frac{ \nu_{LT} }{\left(\frac{s\varepsilon_{\perp}}{s\varepsilon_{\parallel}}\right)}$	sE_{0° × 10 ³ kg/cm ²	$s\varepsilon_{\parallel}$ × -10 ⁻⁶	$s\varepsilon_{\perp}$ × 10 ⁻⁶	$\frac{ \nu_{TL} }{\left(\frac{s\varepsilon_{\perp}}{s\varepsilon_{\parallel}}\right)}$	sE_{90° × 10 ³ kg/cm ²			× 10 ⁻⁷ cm ² /kg	× 10 ⁻⁷ cm ² /kg
0.0517	86.0	9.31	0.265	0.0285	107.5	1.25	0.97	6.0	2.7
0.0368	44.6	10.11	0.375	0.0367	99.6	2.23	1.04	8.3	3.7
0.0550 0.0324	50.6 41.8	14.88 13.07	0.493 0.684	0.0332 0.0523	67.3 76.9	1.33 1.84	1.10 1.03	10.9 7.8	4.9 6.8
0.0553 0.0445	47.0 48.7	13.50 10.66	0.524 0.562	0.0392 0.0522	74.7 94.2	1.59 1.93	1.06 1.05	11.8 9.1	5.2 5.5
0.0673	47.9	14.73	0.501	0.0340	68.0	1.42	1.06	14.0	5.0
D : 0.0379 A : 0.0592 0.049	D : 45.0 A : 48.5	—	—	D : 0.0471 A : 0.0355 0.041	D : 90.2 A : 70.0	D : 2.00 A : 1.45	1.04	D : 8.4 A : 12.2 9.7	D : 5.3 A : 5.0 4.8

*D : Direction of compressive load to face grain.

*E : Measuring method of strain.

ここで少し注意しなければならないこととして、第 2 表から ν_{TL} を算出するとき、上記ポアソン比の数値とあるいは若干異なった値になるかもしれないということである。それは VOIGT's 理論で、ポアソン比とヤング係数の比が、つまり (1.1.0) 式で S_{K21} と S_{K12} が等しいことを、合板に適用すれば

$$\text{Const.} = \frac{\nu_{LT}}{E_L} = \frac{\nu_{TL}}{E_T} \dots\dots\dots (1.2 \text{ 係数と仮称する})$$

となるはずである。

ところが第 8 表でみれば異なっている。そのために (2.1.11) 式に多少のズレが生ずるかも知れない。がしかしそれにしても、近似的にみればさしつかえないと考えてもよいであろう。

2.4 項でも述べたように X が 0.5 になれば $\nu_{LT} = \nu_{TL}$ となって全く等方性体になるのだから、ラワン合板でもほぼこれにしたがっていることは今回の実験からも証されたと思われる。そしてそのさい $\nu_{LT} \approx \nu_{TL} \rightarrow 0.05$ の const. に近づく値になっていることも確かなようである。

6.1.2. 歪変形量測定の方法とストレインゲージ法の差異について

鏡式法とストレインゲージ法で測定したものの比較をしてみることは、両者の測定値から計算して出されたヤング係数の比をもってみるのが、一番理解しやすいと思われるので、第 8 表に sE/mE の項をつくり、各試験片について調べてみた。とにかく平均では 4% 前後の誤差に収まりそうだから、これはほとんど同じものとみてさしつかえないと考えられる。木材では非常にむずかしい範囲にはいる歪のところ (10~100 マイクロ) の測定でもこのような結果が得られたのであるから、少なくともこの試験片のもつ絶対的歪、つまりヤング係数も、逆からいってこのような値に落ちついていることが確かなようであるといえよう。両者の差異はまずないこと、したがって歪量の測定実験ではその試験片の目的に応じて、方法を選ぶことがよいと思う。

6.1.3. (1.2) 係数 (仮称) について

木材に直交異方の弾性理論をとり入れて、しかもそれが斜方晶形として考察し 1 項の (1.1.0) 式を導出し、さらに各種複合材に理論展開の道を開いたのが VOIGT's 理論であり、またそれが HÖRIG によって実験的に確かめられた¹⁾。

そこで、その直線性からも当然合板にも適用できるから、今回の $P-R$ 試験片から測定した結果にもとづいて、第 8 表にその平均値をもって示したが、 ν_{LT}/E_L と ν_{TL}/E_T を算出してみた。その結果 7 種の合板の平均値でみると前者で $9.7 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{kg}$ 、後者で $4.8 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{kg}$ の値になった。両者は等しくなく、前者は後者のちょうど 2 倍ぐらいの大きさになった。カバならびにヤチダモ合板では等しくなったのであるが、ラワン合板ではこの結果になった。したがって、ラワン合板に VOIGT's 理論を適用するか否かについてはもう少し多くの合板について検討してみなければわからないけれども、いずれにしても多少の誤差があるのは当然で、その誤差の程度によって近似的に認めてよいか否かが決められることになる。今回の試験で鏡式法による水平歪の変形量の測定ができなかったが、ラワン合板の材質問題とともに再度試みる必要がある。

6.1.4. 応力の時間による緩和現象について

ラワン合板を鏡式法で、水平歪の変形量を測定するときデーターを読みとれなかったが、その理由としては、1. 南洋材は比較的 K_0 の値が小さく、したがって E_L に比し E_T が小さな割合になることから、 T 方向の応力が小さければその変位量も小さくなることと、2. ラワン材は南洋材特有の道管径が大きく、したがって鏡支持のナイフエッジが、どうしてもこの管径の深さに左右されて安定しにくく、また T 方向

の応力が小さいために、鏡の回転もスムーズにいかないこと、これらの理由が大きなものといえそうである。

ストレーンゲージ法となると、前の2.の理由が解消し、また測定精度ももう1桁高くなるから、測定は非常に容易になった。けれども今度はこの100マイクロ以下のようなオーダーになってくると歪を停止させることが不可能になってきた。5～10マイクロくらいは絶えず動いていて安定しない。その1つは試験荷重を10等分し、その各等分点で荷重を停止して歪の変形量を読むのであるけれども、それが出発の第1点からすでに流れを生じている。また試験荷重をかけるさいに、装置等をいわゆるナジませるためにわずかの予備荷重（せいぜい今回は30～40 kg）をかけ、それを0に戻してそこでメーターの歪の0のところに調節するのであるが、それが残留歪をどうしても0にできず、やはり流れてなかなか安定しない。これは鏡式法では精度が低いために現象として大きく出ないだけで、木材には必ず生じていることなのである。

このような流れの現象、つまり応力緩和現象の一部だと考えられるが、これをどのように取り入れて解決すべきかはなお今後十分検討を要する課題であるが、この報告においては、さしあたり次の方法によって試験をおこなった。

まずメーターの不備等のことが考えられるので、アルミ板に標準ゲージを貼りつけた標準検定用で同じ作業をおこなったところ、前2点の現象は全くなく24時間安定していた。ただしメーター内の計器類の電流・電圧については多少の変化はみられたけれども、ゲージへの影響はなかった。そのほかに試験片へのゲージ接着が考えられるが、これは木材が電気に完全なくらい絶縁体で、しかもその接着も各種の材料中いちじるしく容易なもので、それに全試験片が同じ動きをするとは考えられず、したがってこのようなことからはどういって接着不良の原因は考えられない。

ストレーンメーターをまずC-Rバランスで回路を平衡させ、垂直歪として第1および第2チャンネルを、最大2000マイクロにして試験片ゲージの L_1 および L_2 に接続し、同じく水平歪として第3および第4チャンネルに100マイクロ最大歪にしてやはり T_1 および T_2 のゲージに接続した。これを写真2および第7図に示した。歪の最大マイクロを100目盛にしてメーターで読めるようにした。その結果 ϵ_L では1目盛20マイクロ、 ϵ_T では1マイクロの読みとなった。この歪のオーダーについては前もって予測し決めたもので、あるいはそれよりも大きいのもあると考えられたので、その場合は引きつづき増幅器で減率して測定できるよう調節した。

このようなセット条件では垂直歪ではほぼ1/2目盛程度の流れが生じたが、この場合ではほとんど誤差限界内とした。ところが水平歪ではたえず5～10マイクロの流れがある。というのは、先ほどの2つの現象をもう少し詳しく説明すると、荷重を止めて歪を読むわずか2～3秒間に1～2目盛わずかながら流れた。また、そのような方法で10点測定し荷重を0に戻すと、10～20マイクロくらい圧縮側へ流れている。そこで途中荷重を止めずに連続読みを試みて荷重をふたび0にすると、こんどは5～10マイクロくらい同じく圧縮側に戻っている。それも荷重を0にした前後は流れの動きも割合に早いですが、漸次鈍くなる。

このようなことなので今回の試験をおこうに際し全試験片を同じ条件でおこなうことにした。まず、 L_1 および L_2 を荷重を止めての読みでおこない、ついで T_1 を同じく連続荷重で歪を読み、つぎに T_2 を同じく連続荷重で歪を読んだ。荷重をかける時間と戻す時間を同じにした。試験荷重は試験片について若干の差があったけれども、ほぼ200～300 kg内の10点読みであった。したがって1点読みは20～30 kgでお

第 9 表 カバ合板およびヤチダモ合板のポ

Table 9. Measuring values of POISSON's ratio and YOUNG's

			By mirror type extensometer.					
			0°					
			$M^{\varepsilon}_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	$M^{\varepsilon}_{\perp}$ $\times 10^{-6}$	$\left \frac{\nu_{LT}}{M^{\varepsilon}_{\parallel}} \right $ $\left(\frac{M^{\varepsilon}_{\perp}}{M^{\varepsilon}_{\parallel}} \right)$	ME_{06} $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$M^{\varepsilon}_{\parallel}$ $\times 10^{-6}$	$M^{\varepsilon}_{\perp}$ $\times 10^{-6}$
K	4	0°	14.31	0.747	0.0522	69.9	—	—
		90°	—	—	—	—	10.86	0.839
	5	0°	14.31	0.857	0.0599	69.9	—	—
		90°	—	—	—	—	10.41	0.737
T	4	0°	22.88	2.542	0.1111	43.7	—	—
		90°	—	—	—	—	23.81	2.171
	5	0°	13.70	0.782	0.0571	73.0	—	—
		90°	—	—	—	—	17.27	0.767

こなった。J I S の木材試験規格 Z 2111—1957 によれば、木材では圧縮の場合、繊維方向で 100 kg/cm²/min. また横方向で 5~10 kg/cm²/min. 以下と決められているので、これによると合板としての今回の P-R 試験片では 50~60 kg/cm²/min. になるから、約 1 分前後で試験荷重 200~300 kg をかければよいことになる。

このような方法によって測定し、2 方向の歪をもとめたのである。したがって歪としては 1 目盛単位が 10 マイクロを論ずるような材料では別に問題を生じるようなことにはならないが、その 1/10 の 1 マイクロを取り扱うような小さな歪では極端に不安定になるので、少なくとも弾性論だけで問題はとうてい解決できないと考えられる。

6.2. カバおよびヤチダモ合板

6.2.1. カバおよびヤチダモ合板のポアッソン比について

測定結果を第 9 表に示したが、この表からみると合板のポアッソン比は平均値で、カバ合板では ν_{LT} が 0.056, ν_{TL} が 0.074, またヤチダモ合板では T_4 と T_5 がかなり異なった値を示しておるが ν_{LT} が 0.084, ν_{TL} が 0.068 となっている。

このようにヤチダモ合板については多少検討を要する点もあるが、わが国の広葉樹合板としてのポアッソン比としては、両合板の平均値をとって ν_{LT} で 0.07, ν_{TL} で 0.07 と、この程度のものと判断してもさしつかえないと思われる。

そこでラワン合板のときと同様に、この両合板についてのポアッソン比を理論的に考察してみる。このような広葉樹材の K_0 値を 0.07, ν_{ILT} を 0.5~0.6, X を 0.5 と一般的な代表値にとられることが考えられるから、これらについて第 1 表および第 2 表からもとめてみると ν_{LT} は 0.07 くらいになるし、 ν_{TL} も同じく 0.07 程度になっている。ラワン合板と同様試験測定値はほとんど理論計算値にあっていてとみられることがわかった。それとやはりポアッソン比でみる限り全く等方性体に近くなっていて、そしてそのポアッソン比も 0.07 となっている。

6.2.2. (1.2) 係数について

カバおよびヤチダモ合板では ν_{LT}/E_L と ν_{TL}/E_T が第 9 表に示したように、ほとんど同じとみられる値

アッソン比とヤング係数の測定値表
modulus of KABA and YACHIDAMO plywood.

90°		$\frac{ME_{90^\circ}}{ME_{0^\circ}}$	$\frac{ \nu_{LT} }{ME_{0^\circ}}$ $\times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{kg}$	$\frac{ \nu_{TL} }{ME_{90^\circ}}$ $\times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{kg}$	
$\frac{ \nu_{TL} }{\left(\frac{ME_{\perp}}{ME_{\parallel}}\right)}$	ME_{90° $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$				
0.0773	92.1	1.32	7.5	8.4	*A : Mark and No. of test specimens.
0.0708	96.1	1.37	8.0	7.4	*B : Grain angle of face veneer to compressive loading direction.
0.0912	42.0	0.96	25.4	21.7	*C : Strain, modulus of elasticity and POISSON's ratio.
0.0444	57.9	0.79	7.8	7.7	*D : Compressive loading direction to face grain.
					*E : Measuring method of strain.

になった。したがって、VOIGT's 理論は合板の場合完全に適用できるものであると考えられる。

6.3. 合板のポアソン比についての総合的判断

ラワン、カバおよびヤチダモの3種合板について以上考察したが、それをまとめて考えてみると、

1) X の値については、いかなる合板でも大体0.4~0.6くらいのあいだにはいるようであるが、合板が厚くなればなるほどその平均値は0.5に近くなるようである。薄もの合板では極端な場合には0.3程度の小さなものもあるが、これは全く強さを対象にしない化粧合板であるから、したがってこの代表値は0.5としてよいであろう。

2) K_0 の値については、針葉樹で0.03~0.05、広葉樹で0.05~0.10、南洋材はほとんど針葉樹と同じくらいであるが、なかには0.03くらいの若干低いものも見られるから、やや小さめにみておいた方がよい。

3) 素材（単板）のポアソン比については、つまり ν_{ILT} であるが、これは0.5~0.6にとれ、そして針葉樹、広葉樹、南洋材の樹種のいかなをとわず、また比重のいかにかわらず決めてよいようである。

以上の3つの定数がきまれば、合板としてのポアソン比が第1および第2表からきまってくる。ただし、これらの定数はすべて単板のときにもとめられる Pure constant ではなく、合板になったとき、その合板の定数を構成する Free constant でなければならないことはいうまでもない。

そこで以下3樹種の代表値をまとめてみると、

	X	ν_{ILT}	Y
カバ	0.40	0.5~0.6	20 (18~20)
ヤチダモ	0.55	0.5~0.6	15 (10~20)
ラワン	0.40	0.5~0.6	20 (15~25)

のようになるから ν_{ILT} は、

カバ	0.025~0.030
ヤチダモ	0.030~0.050

ラ ワ ン 0.015~0.025

とみられる。当然 VOIGT's 理論の (1.2) 係数が成り立っての計算によってもとめられたものである。

そこで以上の定数をもって第 1 表および第 2 表から、合板としてのポアッソン比をもとめてみると、

	ν_{LT}	ν_{TL}	
カ パ	0.04~0.06	0.070~0.08	} A
ヤ チ ダ モ	0.06~0.10	0.045~0.09	
ラ ワ ン	0.04~0.06	0.035~0.050	

の各値がえられた。

つぎに今回の試験合板が大体このような材によって作られたとみなして、その測定値の平均値をもってまとめると、

	ν_{LT}	ν_{TL}	
カ パ	0.056	0.074	} B
ヤ チ ダ モ	0.084	0.068	
ラ ワ ン	A : 0.059	0.035	
	D : 0.038	0.047	

の結果をえた。

ここで A, B 両表を合わせると大体同じになるような傾向をもっていることがわかる。つまり ν_{LT} も ν_{TL} も同じような値になって、かつ 0.04~0.08 の小さな値になっている。

ラワン合板で A, D と 2 つに分けたのは、3 表に示したように、合板の厚みは異なっても、またその単板構成が異なっても、使用された単板がほぼ同じ系統のものであるということから、合板 34, 37, 40 の種類のもは A 社で、また 31, 35, 38 の種類のもは D 社でそれぞれ製造されたものだから、そのために分けてみた。

すなわち、比重別ということにもなる。3.1 項でも述べたように、わが国でラワン合板といえは大体このような値の範囲にあるものとみられそうであるから、ラワン合板の代表値にとってよからうと考えられる。

以上のように理論計算値と試験測定値がほぼ一致しているとみられることは、他のことがら⁷⁾からも、今後合板を作る場合にその単板の樹種がわかれば、すべて合板としての新しい系での弾性定数が計算によって出され、そしていかなる複合材の一部に合板が使われようと、それらの定数をもちいることによって設計計算ができること、このことについてさらに自信をもってよいと考えられる。

6.4. λ ならびに k について

1 項のまえがきにちょっとふれたけれども、 $\lambda = 1 - \nu_{LT}\nu_{TL}$ なる合板の定数について第 8 ならびに 9 表からもとめてみると、平均値として、

	λ
カ パ	0.996 (0.983)
ヤ チ ダ モ	0.994 (0.987)
ラ ワ ン	0.998

がえられた。また () の値は素材としての値⁸⁾であるが、わずかではあるが合板の方が 1 に近づいてい

る。もうこのくらいの値になれば λ はほとんど1とみてよいのであるから、直交異方弾性体に用いられる平面応力状態の式は、これは(1.1.0)式からこれを合板に置きかえても十分成立するから、

$$\sigma_L = \frac{1}{S_{11}\lambda} \varepsilon_L + \frac{\nu_{TL}}{S_{22}\lambda} \varepsilon_T$$

$$\sigma_T = -\frac{\nu_{LT}}{S_{11}\lambda} \varepsilon_L + \frac{1}{S_{22}} \varepsilon_T$$

$$\tau_{LT} = -\frac{1}{S_{66}} \gamma_{LT}$$

が新しく、 $\lambda \doteq 1$ として、

$$\sigma_L = \frac{1}{S_{11}} \varepsilon_L + \frac{\nu_{TL}}{S_{22}} \varepsilon_T$$

$$\sigma_T = -\frac{\nu_{LT}}{S_{11}} \varepsilon_L + \frac{1}{S_{22}} \varepsilon_T$$

$$\tau_{LT} = -\frac{1}{S_{66}} \gamma_{LT}$$

に書き換えてもよいと考えられる。

つぎに k についてであるが、一般に k は、

$$k = \frac{\nu_{TL} + 2\lambda \frac{G_{LT}}{E_L}}{\sqrt{\frac{E_T}{E_L}}}$$

によって表わされるから、 $\lambda \doteq 1$ として、また G_{LT} は今回測定はしなかったけれども、素材の値を使ってみると、合板ではもっと小さな値となることが考えられるけれども、カバで $9.4 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、ヤチダモで $11.5 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、ラワン合板については前に測定⁹⁾したものががあるのでそれを使うと、 $3.6 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ であるから第8表および第9表からつぎの値がえられる。

		ν_{LT}	ν_{TL}	$2G_{LT}/E_L$
カ	バ	0.056	0.074	0.27
ヤ	チ	0.084	0.068	0.40
ラ	ワ	0.050	0.041	0.16

したがって ν_{TL} は $2G_{TL}/E_L$ からみると上記の値では、カバの場合は27%、ヤチダモの場合も17%、そしてラワンの場合は26%の比率になっている。このように20~30%の値を占めていれば k の値には ν_{TL} はとうてい無視することができない。そしてこの k が平板の座屈応力値にとっても無視できないものなので、 ν_{TL} も当然無視できない。

7. 結 言

1. 同樹種単板構成の合板で t_l/t が0.5くらいのものだと、その合板のポアソン比 ν_{LT} も ν_{TL} もほぼ同じような値となって、合板はより等方性体のようなものになる。そしてラワン合板では $\nu_{LT} \doteq \nu_{TL} = 0.05$ 、カバおよびヤチダモ合板では同じく0.07くらいの値になると思われる。一般に0.04から0.08くらいのあいだの値をとるものと思われる。

2. VOIGT's 理論ではポアソン比を含む係数つまり $\nu_{LT}/E_L = \nu_{TL}/E_T = \text{const.}$ となるが、今回の試験でカバおよびヤチダモ合板では、上式がほぼ成立したけれど、ラワン合板では平均して ν_{LT}/E_L の方が ν_{TL}/E_T より約2倍くらい大きな値になった。

3. 歪を測定するには、鏡式法もストレンゲージ法もどちらも同じ結果をえた。しかし歪が 100 マイクロ以下の数値になるような合板の測定試験ではこのどちらの法を使っても、またいかなる法をもちいても、弾性論だけの解釈では危険であると思う。

4. 平面応力状態式をもちいる場合、その他 $\lambda=1-\nu_{LT}\nu_{TL}$ の係数を使う場合、合板ではほとんど $\lambda=1$ として使ってよい。

5. 合板の挫屈応力値を取り扱うときには、 ν_{TL} は k 中の他の項に比して決して小さくないオーダーとなっているので、いくら小さな値といえども無視してはならない。カバおよびヤチダモ合板やラワン合板ではそれが $2 G_{LT}/E_L$ の 20~30% くらいの影響があると考えられる。

<参 考 資 料>

ラワン合板

わが国で一般にラワン材⁸⁾⁹⁾と称されている二羽柿科 (Dipterocarpaceae) 内の次の 5 種類 のものを市場からもとめて、圧縮試験をおこなってみた。

1. レッドラワン類
 - 1) レッドラワン
 - 2) タンギール
2. イエロウラワン類
 - 3) マンガシノロ
3. ホワイトラワン類
 - 4) アルモン
 - 5) バクチカン

この試験結果を平均値によって次表に示す。() 内の数値は範囲である。

樹 種 名	比 重	圧 縮 ヤ ン グ 係 数			
	Ru	L —方向	T —方向	R —方向	Y
	(g/cm ³)	$E_L \cdot 10^8 \text{kg/cm}^2$	$E_T \cdot 10^8 \text{kg/cm}^2$	$E_R \cdot 10^8 \text{kg/cm}^2$	E_L/E_T
レッドラワン	0.57 (0.50~0.62)	119.8 (80.2~158.5)	6.8 (5.5~8.0)	10.9 (10.4~11.4)	17.3 (14.4~19.2)
タンギール	0.53 (0.51~0.57)	120.6 (111.0~133.7)	4.8 (4.3~5.7)	9.8 (9.3~10.1)	25.8 (22.5~29.0)
マンガシノロ	0.47 (0.45~0.48)	82.8 (66.2~103.2)	4.8 (4.2~5.2)	9.6 (9.1~10.1)	17.3 (13.3~24.5)
アルモン	0.54 (0.48~0.62)	145.5 (112.4~183.5)	5.3 (4.7~6.6)	10.1 (8.5~11.6)	27.8 (22.8~34.0)
バクチカン	0.60 (0.52~0.67)	158.8 (127.2~197.5)	6.5 (6.1~6.7)	11.6 (10.9~12.7)	24.4 (21.7~27.8)
平 均	0.54	125.5	5.6	10.4	22.5

各材の含水率は 15~18% であった。

文 献

- 1) DIETS, A.G.H. : Engineering Laminates ; § 1. The Strength of Laminates and Sandwich Structural Elements—N.J. Hoff., p. 22~32, (1949)
- 2) HEARMON, R.F.S. : The Elasticity of wood and plywood. F.P.R. Spec. Rep. No. 7 pp. 25~29, pp. 45~52, (1948)
- 3) 沢田 稔 : 木材ポアソン比の一測定法 (英文), 木材学会誌, 2, 6, 12, pp. 233~236, (1956)
- 4) 沢田 稔 : 木材の強度特性に関する研究, 林試研報, 108, pp. 133~142, (1958)
- 5) 山井良三郎 : 木材の圧縮異方性に関する研究, 林試研報, 113, pp. 73~76, 84~85, (1959)
- 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, Vol. 10. No. 1, pp. 1~9, (1964)
- 7) MARKWARDT, L.J. & A.D. FREAS : Approximate Methods of Calculating the Strength of Plywood. U.S. Dept. Agr., For. Prod. Lab., Report. No. R 1630, pp. 1~6, (1950)
- 8) 平井信二 : ラウンの種類と材質, 木材工業, 12, 121, pp. 7~9, (1957)
- 9) 須藤彰司 : 南洋材の知識, 地球出版株式会社, p. 10~33, (1961)

POISSON'S Ratio of Plywood.

Isami TAKAMI

(Résumé)

This report presents the results of a study to determine POISSON's ratios of plywood both theoretically and experimentally.

1) As shown in Fig. 1, when the plywood is composed of veneers of the same material (named by I suffix) with the grain alternately parallel (L or $\parallel$) and perpendicular (T or $\perp$) to the grain of the reference veneer and the simple compressive loads are applied parallel to the plane of layer, then the following equation can be introduced ;

a) If the compressive loads are applied to L direction, POISSON's ratio ν_{LT} of the plywood is

$$\nu_{LT} = \nu_{ILT} \frac{\frac{1}{E_{IL}} \left(\frac{1}{t_I} + \frac{1}{t_J} \right)}{\frac{1}{t_I E_{IT}} + \frac{1}{t_J E_{IL}}} = \nu_{ILT} \frac{1}{X + Y - XY} \dots\dots\dots (1.1.18)$$

b) If the compressive loads are applied to T direction, POISSON's ratio ν_{TL} of the plywood is

$$\nu_{TL} = \nu_{ITL} \frac{\frac{1}{E_{IT}} \left(\frac{1}{t_I} + \frac{1}{t_J} \right)}{\frac{1}{t_I E_{IL}} + \frac{1}{t_J E_{IT}}} = \nu_{ITL} \frac{1}{X + K_0 - XK_0} \dots\dots\dots (2.1.12)$$

in which X is the ratio of total thickness t_I of veneers with the grain parallel to L direction to thickness t of the plywood, and K_0 is the ratio of YOUNG's modulus E_{IT} in T direction to that E_{IL} in L direction of the reference layer and Y equal to $1/K_0$.

Thus we may estimate the values of POISSON's ratio ν_{LT} and ν_{TL} of plywood from Tables 1 and 2 calculated by formulas (1.1.18) and (2.1.12). Now, if the above-mentioned several constants of plywoods made from KABA (*Betura* sp.) wood (K), YACHIDAMO (*Fraxinus* sp.) wood (T) and LAUAN (*Dipterocarpus* sp.) wood have the following values,

	X	ν_{ILT}	$Y (=1/K_0)$
KABA	0.40	0.5~0.6	20
YACHIDAMO	0.55	0.5~0.6	15
LAUAN	0.40	0.5~0.6	20

The values of POISSON's ratio of such plywoods may be estimated as follows ;

	ν_{LT}	ν_{TL}	
KABA	0.04~0.06	0.07~0.08	}(1)
YACHIDAMO	0.06~0.10	0.045~0.09	
LAUAN	0.04~0.06	0.035~0.05	

2) The observed values of POISSON's ratio of plywoods were measured by two methods. The one is the method to use the mirror type extensometer as shown in Photo. 3 or 5 and Fig. 4 or 5, the other is the method to use the strain gage type of electronics as shown in Photo. 2 and Fig. 7.

The results obtained by the two methods are shown in Tables 7 and 9, respectively.

From the tables the mean values of POISSON's ratio of plywood made from KABA, YACHIDAMO and LAUAN wood are summarized as follows ;

	ν_{LT}	ν_{TL}	
KABA	0.056	0.074	}(2)
YACHIDAMO	0.084	0.068	
LAUAN	0.049	0.041	

From these results, if those constants of veneers and construction-ratio used in the construction of plywood are properly assumed, the calculated values of POISSON's ratio (1) of such plywoods may agree well with the observed values (2).