



Title	木質平面材料の弾性定数に関する研究：(第1報)ラワン合板の弾性定数
Author(s)	上田, 恒司; UEDA, Koji
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 26(1), 143-169
Issue Date	1968-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20863
Type	departmental bulletin paper
File Information	26(1)_P143-169.pdf



木質平面材料の弾性定数に関する研究

(第1報) ラワン合板の弾性定数

上 田 恒 司*

Studies on the Elastic Constants of Wooden Sheet Materials

Report 1. The Elastic Constants of Lauan (*Shorea* sp.) Plywood

By

Koji UEDA

目 次

まえがき	144
1. 素材および合板の弾性定数	144
2. 矩形合板の曲げ撓み	147
3. 実験材料	148
3.1 平行合板	148
3.2 合板	149
4. 実験方法	150
4.1 平行合板	150
4.2 合板	150
4.2.1 曲げヤング係数	150
4.2.2 せん断弾性係数	151
4.2.3 ポアソン比	151
4.3 実大合板の曲げ試験	151
5. 結果と考察	152
5.1 平行合板の弾性定数	152
5.1.1 平行合板のヤング係数	152
5.1.2 平行合板のせん断弾性係数	154
5.1.3 平行合板のポアソン比	155
5.2 合板の弾性定数	156
5.2.1 合板の曲げヤング係数	157
5.2.2 合板のせん断弾性係数	157
5.2.3 合板のポアソン比	160

* 北海道大学農学部林産学科助手 農学修士

K. UEDA: Assistant, Master of Agriculture, Institute of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

5.3 合板の弾性定数の推定	160
5.3.1 曲げヤング係数の推定	160
5.3.2 せん断弾性係数の推定	163
5.3.3 ポアソン比の推定	164
5.3.4 実測値と推定値の比較	164
5.4 合板の特性係数 k	164
5.5 実大合板の曲げ撓み	165
摘 要	167
文 献	167
Summary	168

まえがき

構造材料として木材を有効に使用してゆくためには強度設計が可能であることが条件のひとつにあげられる。素材を耐力部材として使用するばあいには、柱あるいは梁としてもちいるのが一般的なかたちであるが、接着剤の品質の向上あるいは加工技術の進歩により木質平面材料も耐力部材として使用されるようになってきた。現在ではさらに木材と金属あるいは合成樹脂等を組合せた木質複合材料が製造されそれぞれが特徴をもつ材料として使用されている。この研究では、これらの木質材料の力学的性質のうちで特に弾性定数に注目して実験的検討をおこなった。第1報ではラワン合板の弾性定数に関する各種実験をおこない、平面材料としての力学的性質が、それを構成している単板の有する性質とどのような関係にあるかを、平行合板を製造することにより調査した。さらに実大合板の周辺単純支持・中央集中荷重のばあいの撓みを推定し実測値との比較をおこなった。この実験は、昭和41年および42年度文部省科学研究費による総合研究「木質平面材料の力学的性質に関する研究」(代表者 沢田稔教授)の分担項目「木質平面材料の弾性定数」としておこなったものである。なお実験をすすめるにあたって終始ご指導をいただいた沢田稔教授に謝意を表するとともに、実大合板の曲げ撓みの測定にあたりご援助いただいた大学院生高田光、綿貫幸宏の両氏に心から感謝します。

1. 素材および合板の弾性定数

Fig. 1 にしめすように、木材の3対称面—木口面、板目面および柃目面—を直交3軸のなす座標面と平行にとると次の関係が成立する。

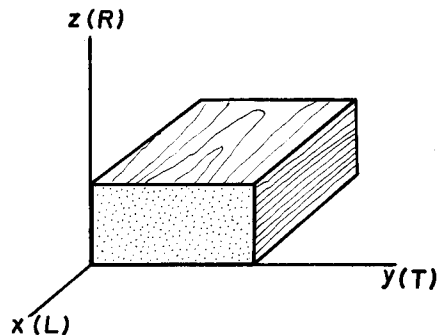


Fig. 1. The three axes of wood and veneer-laminated wood

$x(L)$: Longitudinal direction
 $y(T)$: Tangential direction
 $z(R)$: Radial direction

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= S_{11}\sigma_x + S_{12}\sigma_y + S_{13}\sigma_z \\ \varepsilon_y &= S_{21}\sigma_x + S_{22}\sigma_y + S_{23}\sigma_z \\ \varepsilon_z &= S_{31}\sigma_x + S_{32}\sigma_y + S_{33}\sigma_z \\ \gamma_{yz} &= S_{44}\tau_{yz} \\ \gamma_{zx} &= S_{55}\tau_{zx} \\ \gamma_{xy} &= S_{66}\tau_{xy} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

ここで ε = 主軸方向の歪み, σ = 垂直応力, γ = せん断歪み, τ = せん断応力, S = 弾性係数
さらに, このばあいの弾性係数 S はそれぞれ次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} S_{11} &= \frac{1}{E_x}, & S_{22} &= \frac{1}{E_y}, & S_{33} &= \frac{1}{E_z} \\ S_{44} &= \frac{1}{G_{yz}}, & S_{55} &= \frac{1}{G_{zx}}, & S_{66} &= \frac{1}{G_{xy}} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

$$\left. \begin{aligned} S_{12} &= S_{21} = -\frac{\mu_{xy}}{E_x} = -\frac{\mu_{yx}}{E_y} \\ S_{23} &= S_{32} = -\frac{\mu_{yz}}{E_y} = -\frac{\mu_{zy}}{E_z} \\ S_{31} &= S_{13} = -\frac{\mu_{zx}}{E_z} = -\frac{\mu_{xz}}{E_x} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

すなわち, 素材の基礎弾性定数は, ヤング係数 (E_L, E_T, E_R), せん断弾性係数 (G_{LT}, G_{LR}, G_{RT}) およびポアソン比 ($\mu_{LT}, \mu_{LR}, \mu_{TL}$) の合計9個である。

つぎに, ロータリー単板による直交合板の1例として, Fig. 2の5プライ合板を考える。図よりあきらかなように, 合板の E_1, E_2 を決定するのは単板の E_L, E_T および構成比である。 E_3 は E_R と本質的には同じものである。合板の板面内におけるせん断弾性係数 G_{12} は, これも本質的に単板の G_{LT} と同じものと考えられるが, いわゆるローリングシアに関係のある G_{13} および G_{23} は単板の G_{LR}, G_{RT} および構成比によりきまる。ポアソン比についても同様に, μ_{12} は単板の E_L, E_T および μ_{LT} により, μ_{13}, μ_{23} は E_L, E_T, μ_{LR} および μ_{TR} により決定されると考えられる。

i) 合板の曲げヤング係数

合板の曲げ剛性は一般に次式により計算される。

$$EI = \sum E_i I_i \quad (1.4)$$

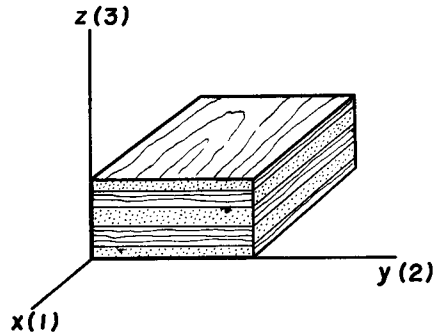


Fig. 2. The three axes of plywood
x(1): Grain direction of face veneer
y(2): Direction perpendicular to the face grain
z(3): Direction vertical to the plane of plywood

ここで E , I はそれぞれ合板のヤング係数および断面2次モーメント, E_i , I_i はそれぞれ, ある構成要素のヤング係数およびその断面2次モーメントである。いま, 中立軸に関して対称の構成をなす合板の表板繊維方向のヤング係数を E_1 , それに直角な方向のヤング係数を E_2 とすると,

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E_{Lf}A + E_{Tc}(1-A) \\ E_2 &= E_{Tf}A + E_{Lc}(1-A) \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

ここで添字 f は Fig. 3 の 1 軸と平行な繊維方向をもつ単板をあらわし, c は 2 軸と平行な繊維方向をもつ単板をあらわす。同一品質の単板による合板では, $E_{Lf} = E_{Lc}$, $E_{Tf} = E_{Tc}$ となる。 A は合板の断面2次モーメントに対する 1 方向単板の断面2次モーメントの比である。

ii) 合板のせん断弾性係数

プレートせん断試験は, 曲げを伴った捩り試験であるため, 厳密には高見¹⁾が指摘するように, 構成単板の断面2次モーメントを考慮しなければならない。この報告では, 単板の厚さのみを考慮し略算式として次式をもちいた。

$$G_{12} = \sum G_{LVi} t_i \quad (1.6)$$

ここで G_{LVi} , t_i はそれぞれ構成要素のせん断弾性係数および全厚さに対するその要素の厚さの比である。

iii) 合板のポアソン比

ポアソン比とヤング係数の関係は, 相反作用の定理から (1.3) 式の形になるが, 素材については実験的にも成立することが認められている²⁾。合板のばあいには (1.3) 式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\mu_{12}}{E_1} &= \frac{\mu_{21}}{E_2} \\ \frac{\mu_{13}}{E_1} &= \frac{\mu_{31}}{E_3} \\ \frac{\mu_{32}}{E_3} &= \frac{\mu_{23}}{E_2} \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

ここで注意しなければならないことは, 合板の曲げヤング係数と圧縮ヤング係数は一般に同値にはならないということである。これは合板の単板構成上必然的に起こることで, そのために, 合板あるいはさらに一般的に複合材料においては, 見かけ上2種のポア

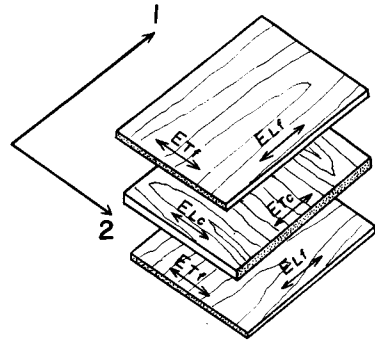


Fig. 3. Moduli of elasticity of veneers in plywood

Suffixes f and c indicate the veneers with grain direction parallel to 1-axis and 2-axis respectively

ソン比が存在することが予想される。

高見³⁾は、合板の圧縮によるポアソン比の計算式として次を得た。

$$\mu_{12} = \frac{\mu_{LT}}{X+Y-XY} \quad (1.8)$$

ここで μ_{12} , μ_{LT} はそれぞれ合板および単板のポアソン比, X は全厚さに対する表板繊維方向単板の合計厚さ, Y は単板の E_L/E_T である。曲げにおけるポアソン比は, (1.8) 式中の X のかわりに i) で述べた構成比による係数 A をもちいると次式により計算される。

$$\mu_{12} = \frac{\mu_{LT}}{A+\alpha-A\alpha} = \frac{\mu_{LT}E_T}{E_2} \quad (1.9)$$

ただし $\alpha = E_L/E_T$

iv) 合板の弾性定数と木取角度

Fig. 2 のように座標軸をきめると, 合板のばあい x, y 方向の辺長に比較して z 方向の板厚は充分に小さいのでこの方向の応力を無視しても大きな誤差は生じないと考えられる。いま xy 面内で x 軸より角度 θ の座標変換をおこなうと, 新しい軸 x', y' に関する弾性係数 S' は次のようになる。

$$S'_{11} = S_{11}m^4 + (2S_{21} + S_{66})m^2n^2 + S_{22}n^4 = \frac{1}{E_{x'}} \quad (1.10)$$

$$S'_{22} = S_{11}n^4 + (2S_{21} + S_{66})m^2n^2 + S_{22}m^4 = \frac{1}{E_{y'}} \quad (1.11)$$

$$S'_{12} = S'_{21} = (S_{11} + S_{22})m^2n^2 + S_{21}(m^4 + n^4) - S_{66}m^2n^2 = -\frac{\mu_{x'y'}}{E_{x'}} = -\frac{\mu_{y'x'}}{E_{y'}} \quad (1.12)$$

$$S'_{66} = 4(S_{11} + S_{22} - 2S_{21})m^2n^2 + S_{66}(m^2 - n^2)^2 = \frac{1}{G_{x'y'}} \quad (1.13)$$

$$S'_{16} = -2(S_{11}m^2 - S_{22}n^2)mn + (2S_{21} + S_{66})mn(m^2 - n^2) \quad (1.14)$$

$$S'_{26} = -2(S_{11}n^2 - S_{22}m^2)mn - (2S_{21} + S_{66})mn(m^2 - n^2) \quad (1.15)$$

ただし $m = \cos \theta$, $n = \sin \theta$

合板の任意の角度における弾性係数は, (1.10)~(1.13) 式に E_1, E_2, G_{12} および μ_{12} の 4 個の基礎定数を代入することにより計算から得られる。

2. 矩形合板の曲げ撓み

周辺を単純支持し, 板中央に集中荷重を加えたばあいの平面板の撓みに関する理論式の誘導についてはすでに報告した⁴⁾ので, ここでは結果のみを示す。上述の条件のばあいの平面板の曲げ撓みは一般的に次式の形であらわすことができる。

$$w = \frac{a^2 p}{D_x} \cdot f(k) \quad (1.16)$$

ここで $f(k)$ は板の寸法および特性係数 k により決定される値であり、 k は次式の内容をもつ。

$$k = \frac{2(1 - \mu_{xy}\mu_{yx})G_{xy} + \mu_{yx}E_x}{\sqrt{E_x E_y}} \quad (1.17)$$

k 値には、板の木取角度により次の3種のばあいが存在し、それぞれについて中央撓み w_0 は(1.18), (1.19)および(1.20)式より計算される。

i) $k < 1$ のばあい

$$w_0 = \frac{a^2 p}{D_x} \cdot f(k); f(k) = \frac{m}{\pi^3 \sqrt{1-k^2}} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^3} \frac{t_2 \sinh 2\alpha_1 - t_1 \sin 2\alpha_2}{\cosh 2\alpha_1 + \cos 2\alpha_2} \quad (1.18)$$

$$\text{ただし } t_1 = \sqrt{\frac{1+k}{2}}, \quad t_2 = \sqrt{\frac{1-k}{2}}, \quad \alpha_1 = \frac{b m \varphi}{2} t_1, \quad \alpha_2 = \frac{b m \varphi}{2} t_2$$

ii) $k = 1$ のばあい

$$w_0 = \frac{a^2 p}{D_x} \cdot f(k); f(k) = \frac{m}{2\pi^3} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^3} \left(\tanh \alpha - \frac{\alpha}{\cosh^2 \alpha} \right) \quad (1.19)$$

$$\text{ただし } \alpha = \frac{b m \varphi}{2}$$

iii) $k > 1$ のばあい

$$w_0 = \frac{a^2 p}{D_x} \cdot f(k); f(k) = \frac{m}{2\pi \sqrt{k^2-1}} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^3} (t_1 \tanh \alpha_2 - t_2 \tanh \alpha_1) \quad (1.20)$$

$$\text{ただし } t_1 = \sqrt{\frac{k+1}{2}} + \sqrt{\frac{k-1}{2}}, \quad t_2 = \sqrt{\frac{k+1}{2}} - \sqrt{\frac{k-1}{2}}$$

$$\alpha_1 = \frac{b m \varphi}{2} t_1, \quad \alpha_2 = \frac{b m \varphi}{2} t_2$$

なお i), ii), iii) すべてについて

$$m = \sqrt[4]{\frac{E_x}{E_y}}, \quad \varphi = \frac{n\pi}{a}, \quad D_x = \frac{E_x h^3}{12(1 - \mu_{xy}\mu_{yx})}$$

$a = x$ 方向の辺長, $b = y$ 方向の辺長, $h =$ 板厚, $p =$ 荷重

3. 実験材料

フィリピン産のレッドラワン系原木 (*Shorea sp.*) 5本より8種の厚さの単板をロータリーレースにより切削し、8種類の平行合板 (veneer-laminated wood) および5種類の合板 (plywood) を製造した。ここでいう平行合板とは、それを構成しているすべての単板の繊維方向を平行にそろえて積層接着した木材板を示す名称である。

3.1 平行合板

各厚さの単板から 32×32 cm の正方形の単板シートをとり、Table 1 に示すように仕

Table 1. Veneer construction of test materials

Test material	Notation	No. of Ply	Construction (nominal thickness in mm)	Total
Veneer-laminated wood 30×30 cm	A	9	0.9+0.9+0.9+0.9+0.9+0.9+0.9+0.9+0.9	8.1
	B	6	1.6+1.6+1.6+1.6+1.6+1.6	9.6
	C	5	1.64+1.64+1.64+1.64+1.64	8.2
	D	4	2.2+2.2+2.2+2.2	8.8
	E	4	2.4+2.4+2.4+2.4	9.6
	F	3	2.53+2.53+2.53	7.59
	G	3	3.2+3.2+3.2	9.6
	H	2	4.3+4.3	8.6
Plywood 91×182 cm	03P	3	0.9+1.6+0.9	3.4
	06P	3	1.64+3.2+1.64	6.48
	09P	5	1.64+2.4+1.64+2.4+1.64	9.72
	12P	5	2.2+3.2+2.5+3.2+2.2	13.0
	15P	5	2.53+4.3+2.53+4.3+2.53	16.19

上がり厚さで0.9 cm 程度になるように積層数をきめた。A~H の8種類の平行合板を各4~5枚製造し、このうちからねじれや曲りの小さなものを各3枚選択し30×30 cm に仕上げて実験にもちいた。

3.2 合板

この実験にもちいた合板は、表板繊維方向に平行な単板の合計厚さと、表板繊維方向と直角をなす単板の合計厚さがほぼ等しくなるように構成されている。合板寸法は、91×182 cm で弾性定数測定用に3, 6, 9, 12および15 mm 厚の合板を各2枚、実大曲げ試験用として9, 12および15 mm のもの各2枚、合計で16枚を試料合板とした。これらの単板構成はTable 1に示す。

3.3 製造条件

前述の実験材料のうち、単板切削および合板製造は北海道立林産試験場にておこない、平行合板の製造は本研究室にておこなった。条件は、合板、平行合板ともに同一とし、次のとおりである。

接着剤：大日本インキ # HD 1002 (メラミン共縮合尿素樹脂接着剤)

配合比：HD 100 100部

脱脂大豆粉 10

小麦粉 10

H₂O 30

NH₄Cl 1

塗布量：片面12~15 g/(30×30) cm²

圧縮圧：9~10 kg/cm²

温度：120°C

時間：板厚1 mmにつき50 sec.

4. 実験方法

4.1 平行合板

平行合板についての測定項目は、比重、含水率、曲げヤング係数、圧縮ヤング係数、プレートせん断弾性係数および圧縮によるポアソン比である。実験の順序はFig. 4に模式的に示してある。すなわち30 cmの正方形に仕上げた平行合板についてまずプレートシアによるせん断弾性係数を測定した。次にこの正方形板を短冊状に切断し、曲げヤング係数の測定をおこなった。以上により G_{LT} 、 E_L および E_T の3個の定数が得られるが、他の定数を測定するためにこの短冊状試験片をさらに積層接着し平行合板ブロックを製造しこれより圧縮試験片を木取った。試験片は断面が2.5×2.5 cm、高さが7 cmの短柱であり、歪みの測定は鏡式エキステンソメーターによりおこなった。この圧縮試験片については、 E_L 、 E_T 、 E_R 、 E_{LT45° 、 E_{LR45° 、 E_{RT45° 、ポアソン比 μ_{LT} 、 μ_{LR} 、 μ_{RT} および μ_{TR} を測定した。

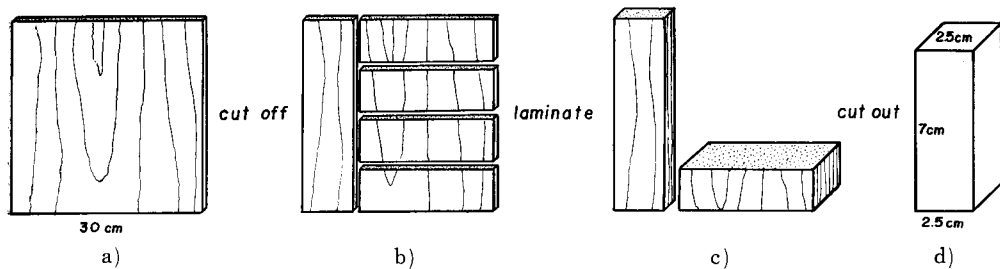


Fig. 4. Testing procedure of veneer-laminated wood

- a) Veneer-laminated wood for plate shear test
Observed constant: G_{LT}
- b) Strips for bending test
Observed constants: E_L , E_T
- c) Laminated blocks for cutting out the compressive specimens
- d) Specimens for compressive test
Observed constants: E_L , E_T , E_R , E_{LT45° , E_{LR45° , E_{RT45° , μ_{LT} , μ_{LR} , μ_{RT} , μ_{TR}

4.2 合板

4.2.1 曲げヤング係数

合板の曲げヤング係数の測定は、表板繊維方向が曲げのスパン方向に対して0°から15°ごとに90°までの7種の試験片を木取りしておこなった。このばあい0°方向は合板の長辺の方向を指し、表板の繊維走行がいくらか不整列であってもこれを無視して試験片を

Table 2. Dimension of plywood specimen (cm)

Test material	Bending test			Plate shear test	
	Width	Length	Span/Thickness	Width×Length	Width/Thickness
03P	5	20	50	20×20	67
06P	5	35	50	25×25	42
09P	5	50	50	32×32	36
12P	5	65	50	45×45	38
15P	5	80	50	45×45	30

とった。曲げのスペンは板厚の50倍にとり、試験片長さは、スペン+5 cm、幅はすべての合板厚に対して5 cmの一定とした。荷重は錘によりスペン中央に加え、撓みは荷重点下で精度1/100 mmのダイヤルゲージで測定した。最終撓みが板厚の1/2以内になるように錘を選択し、測定は試験片の両面についておこなった。なお3 mmおよび6 mmの試験片で曲げ剛性の小さいものには、スプリングを抜取ったダイヤルゲージを使用し、測定具の影響をできるだけ小さくした。試験片寸法はTable 2に示す。

4.2.2 せん断弾性係数

せん断弾性係数 G_{12} をもとめるためにこの実験でもちいた方法は1点荷重によるプレートせん断試験である。通常のプレートせん断試験では正方形の相対する2隅角を支持し、残る2隅角に荷重を加えるが、1点荷重法では、正方形板の3隅角を支持し残る1隅角に荷重を加える。正方形板における応力状態は変形が微小なばあい両方法ともまったく等しいと考えられる。撓みの測定は荷重点下にダイヤルゲージをセットしておこなった。試験片はTable 2に示すように、板厚の30~70倍の辺を有する正方形板で、表板繊維方向は辺に対して0°、15°、30°および45°の4種である。プレートせん断では板の表裏に順と逆のせん断応力が同時に作用するので60°、75°、90°はそれぞれ30°、15°、0°と同値となる。撓みは板厚の1/2以内とし、測定は両面についておこなった。

4.2.3 ポアソン比

曲げヤング係数の測定を終了した試験片のうちから各繊維方向について2本を任意にとりだしポアソン比測定用の試験片とした。この試験片の中央部に2枚のストレインゲージをスペン方向およびそれに直角な方向に接着する。2点荷重により試験片中央部に一樣曲げモーメントを与えると、スペン方向のストレインゲージは圧縮(引張)歪み ϵ_1 を生じ、それに直角方向のゲージは引張(圧縮)歪み ϵ_2 を生じる。これより得られる比 ϵ_2/ϵ_1 を曲げによるポアソン比とした。

4.3 実大合板の曲げ試験

試料は91×182 cmの実大合板で、厚さは9、12および15 mmの3種類各2枚である。支持方法は、80 cmと160 cmの長さの等辺山形鋼各2本を長方形に組合せた枠の上

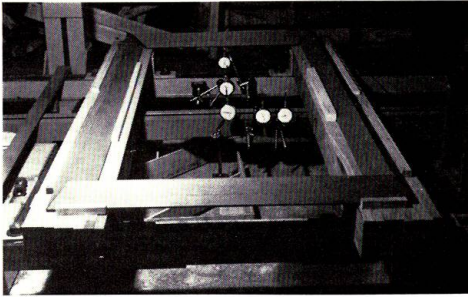


Fig. 5. Supporting method for bending test of rectangular plywood plate

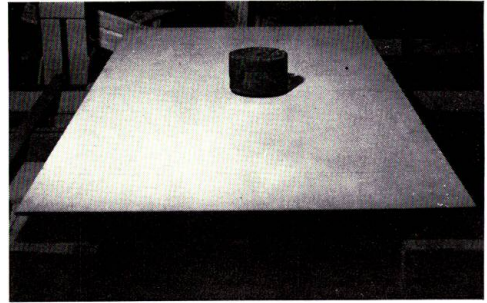


Fig. 6. The plywood loaded at the center

に合板を直接おくものである。荷重は板中央に木片を介して錘により加えた。撓みは板の下面で精度 1/100 mm のダイヤルゲージにより測定した。実験は 1 枚の合板について表、裏各 2 回おこないそれらの平均をその合板の撓みとした。周辺単純支持にもちいた支持枠を Fig. 5 に、荷重時の全景を Fig. 6 に示す。

5. 結果と考察

5. 1 平行合板の弾性定数

平行合板の比重、含水率および弾性定数の測定結果は Table 3 にまとめて示してある。

5. 1. 1 平行合板のヤング係数

短冊状試験片による曲げヤング係数と、圧縮試験によるヤング係数を比較すると、 E_L 、 E_T のいずれも、圧縮試験による結果が大きくなっている。曲げ試験では水平せん断応力による付加撓みの影響が考えられるが、これは約 2% であり、これを考慮しても、圧縮に

Table 3. Results of tests

Test material	Specific gravity	Moisture content (%)	Modulus of rigidity ($\times 10^3$ kg/cm ²) G_{Lr}	Modulus of	
				Bending E_L	E_T
A	0.654	9.6	5.3	165.8	5.4
B	0.733	10.3	7.3	149.2	6.7
C	0.599	10.4	6.2	139.9	5.2
D	0.517	9.6	5.7	120.6	4.1
E	0.633	8.8	5.6	180.0	4.3
F	0.603	9.2	6.8	162.5	5.1
G	0.585	9.8	5.7	127.0	4.1
H	0.603	8.7	5.2	145.7	3.2
av.	0.616	9.6	6.0	148.8	4.8

よるヤング係数が大きくなる。この原因としては、曲げ試験片に捩れ変形をおこしているものが多かったことが考えられる。つぎに、 E_L/E_T および E_L+E_T をみると、Table 4 のように、 E_L/E_T は曲げによるものと圧縮によるものとはほとんど差がなく、平均でそれぞれ 31.0 および 31.7 もなる。しかしその内容は、22~60 と大きなばらつき幅をとっている。これは、Table 3 からわかるように、 E_T は単板厚さが増すにつれて減少するが、 E_L は、単板厚さとは関係がないためと考えられる。 E_L+E_T の数値は、この単板をもちいて製造される合板のヤング係数 E_1+E_2 を決定する重要な因子である。Table 4 に示すようにこの数値は曲げで $125\sim 184 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、圧縮では、 $132\sim 204 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ となりかなりのばらつきがある。これは5本の原木の品質がかなり不均一であったためと考えられ、この単板をもちいた合板のヤング係数はかなりの幅にばらつくという予想ができる。

素材と平行合板の最大の相違点は、後者が裏割れと接着層をもっているということである。今回は、単板に対応する素材についての関連実験はおこなわなかったため、平行合板と素材の直接的な比較検討はできないが、各方向のヤング係数の E_L に対する比をみると、Table 5 に示すように、相対的な材質の変化が生じていることがわかる。すなわち、素材の E_T は E_L の約 5% であるが平行合板では 2~4% となり、 E_R は素材で E_L の 8% のところ平行合板では 3~6% と減少している。この数値からみると E_R の相対的減少がわずかに大きくなっている。さらに E_R/E_T の比をみると、素材では約 1.7 であるのに対して、平行合板では 0.9~1.6 となり、このことから E_R の低減が E_T よりも大であるといえることができる。単板の品質は裏割れの存在により T 方向で最も大きな低減を示すと考えられるが、この単板を接着することにより、 T 方向は接着層の存在により補強される。これに対して R 方向では接着剤の裏割れへの侵入を考慮してもその補強効果は小さく、平

on veneer-laminated wood

elasticity ($\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)						Poisson's ratio			
E_L	E_T	Compression				μ_{LT}	μ_{LR}	μ_{TR}	μ_{RT}
		E_R	E_{LT45°	E_{LR45°	E_{RT45°				
167.1	5.9	7.7	11.7	17.8	6.4	0.511	.363	.183	.292
162.4	7.1	9.3	14.6	18.3	6.1	.461	.425	.236	.241
146.4	5.5	5.5	12.0	12.7	4.1	.556	.351	.209	.235
127.7	4.7	4.2	10.4	9.8	2.9	.680	.334	.300	.243
198.9	4.8	6.1	10.8	15.8	5.0	.427	.289	.222	.314
160.6	5.7	9.0	12.1	15.9	5.8	.599	.375	.194	.385
144.5	4.3	5.6	9.1	13.5	3.8	.542	.375	.178	.315
174.8	3.1	4.7	7.4	10.3	2.6	.715	.374	.162	.221
160.3	5.1	6.5	11.0	14.3	4.6	0.561	0.361	0.211	0.281

Table 4. E_L/E_T and (E_L+E_T) values of veneer-laminated wood

Specimen	E_L/E_T		(E_L+E_T) ($\times 10^3$ kg/cm ²)	
	Bending	Compression	Bending	Compression
A	28.1	28.3	171.7	173.0
B	22.3	22.9	155.9	169.5
C	26.9	26.6	145.1	151.9
D	29.4	27.2	124.7	132.4
E	41.9	41.4	184.3	203.7
F	31.9	28.2	167.6	166.3
G	31.0	33.6	131.1	148.8
H	45.5	56.4	148.9	177.9
av.	31.0	31.7	153.6	165.4

Table 5. Relation among moduli of elasticity

Specimen	Specific gravity	Moisture content (%)	E_T/E_L	E_R/E_L	E_R/E_T	Reference
Wood	0.55	12~15	0.050	0.074	1.48	(5)
	0.54	15~18	0.045	0.083	1.85	(3)
av.			0.048	0.079	1.67	
Veneer-laminated wood	—	—	0.036	—	—	(1)
	0.65	9.6	0.035	0.046	1.31	UEDA
	0.73	10.3	0.044	0.057	1.30	"
	0.60	10.4	0.038	0.038	1.00	"
	0.52	9.6	0.037	0.033	0.89	"
	0.63	8.8	0.024	0.031	1.29	"
	0.60	9.2	0.035	0.056	1.60	"
	0.59	9.8	0.030	0.039	1.30	"
0.60	8.7	0.018	0.027	1.50	"	
av.			0.033	0.041	1.27	

行合板全体としてみると前述の結果のように、 E_R の低減が見かけ上大きくなるものと考えられる。

5.1.2 平行合板のせん断弾性係数

平行合板のせん断弾性係数は、Fig.1に示すように G_{LT} 、 G_{LR} および G_{RT} の3個が考えられるが、ここで実測したものはプレートせん断試験による G_{LT} のみである。(1.10)式より

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{4}{E_{xy45^\circ}} - \frac{1}{E_y} - \frac{1}{E_x} + \frac{2\mu_{xy}}{E_x} \quad (1.21)$$

なる関係が得られるので、この式に E_L , E_T , E_{LT45° および μ_{LT} の実測値を代入すると G_{LT} が計算される。また (1.21) 式の最後の2項 $1/E_x$ および $2\mu_{xy}/E_x$ は他の項に比較すると小さい値となるので無視すると次式を得る。

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{4}{E_{xy45^\circ}} - \frac{1}{E_y} \quad (1.22)$$

また (1.13) 式から次式が得られる。

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{2(1 + \mu_{xy45^\circ})}{E_{xy45^\circ}} \quad (1.23)$$

Table 6 は、 G_{LT} の実測値と (1.21) 式、(1.22) 式および (1.23) 式により計算した値とを一括して示したものである。実測値と計算値はいずれの式によるものもよく適合している。このことは、1点荷重によるプレートせん断試験がかなり有効な方法であることを意味している。また G_{LT} の数値としては、 E_L の大小には無関係にほぼ $6 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ と考えてよい。Table 6 の G_{LR} , G_{RT} は (1.21) 式に実測値を代入して計算したものである。いわゆる合板のローリングシアに関係するせん断弾性係数は主として G_{RT} であり、上の計算値では平均 $1.7 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ となったが、これらの実験的検討は次報でおこなう予定である。

Table 6. Observed and calculated moduli of rigidity of veneer-laminated wood ($\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)

Specimen	G_{LT}				G_{LR}	G_{RT}
	Plate shear test	Calculated from				
		Eq. (1.21)	Eq. (1.22)	Eq. (1.23)	Calculated from Eq. (1.21)	
A	5.3	5.8	5.6	6.5	10.7	2.6
B	7.3	7.5	7.5	8.1	9.1	2.1
C	6.2	6.6	6.6	6.7	7.6	1.5
D	5.7	5.7	5.8	5.8	6.0	1.0
E	5.6	6.2	6.2	6.0	11.5	1.9
F	6.8	6.4	6.4	6.7	7.2	2.1
G	5.7	4.8	4.8	5.1	8.6	1.4
H	5.2	4.5	4.6	4.1	5.8	0.9
av.	6.0	5.9	5.9	6.1	8.3	1.7

5.1.3 平行合板のポアソン比

5.1.1 において平行合板の E_R/E_T は平均 1.3 となり E_R の相対的低減がみられたが、ポアソン比についても μ_{RT}/μ_{TR} は平均 1.3 となり、(1.3) 式は平行合板についても完全に成立することがわかる。

5.2 合板の弾性定数

合板の比重, 含水率および構成比を Table 7, 弾性定数の実測結果を Table 8 に示す。1. で述べたように, 合板の板面内における任意の方向の弾性定数は, E_1 , E_2 , G_{12} および μ_{12} の4個の定数により (1.10)~(1.13) 式から算出が可能である。ここでは各厚さの合板に関して, 4個の実測弾性定数をもちいて $0^\circ \sim 90^\circ$ 区間の弾性定数を計算し実測値と比較した。

Table 7. Specific gravity, moisture content and veneer construction of plywood

Plywood	Specific gravity	Moisture content (%)	Veneer construction	t_1	t_2	A
			(mm)			
03P	0.572	8.3	0.93+1.50+0.93	1.86	1.50	0.911
06P	0.604	11.5	1.62+3.10+1.62	3.24	3.10	0.883
09P	0.580	10.1	1.65+2.25+1.65+2.25+1.65	4.35	4.50	0.768
12P	0.558	10.4	2.10+3.10+2.10+3.10+2.10	6.30	6.20	0.709
15P	0.617	9.4	2.46+4.00+2.46+4.00+2.46	7.38	8.00	0.689

Note t_1 : Total thickness of veneers with the grain parallel to face grain direction.

t_2 : Total thickness of veneers with the grain perpendicular to face grain direction.

A: The ratio of the total moment of inertia of all veneers with the grain parallel to face grain direction (I_1) to the moment of inertia of the full cross-section (I), I_1/I

Table 8. Results of tests on plywood

Elastic constant	Plywood	Grain direction of face veneer						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Modulus of elasticity by bending ($\times 10^3$ kg/cm ²)	03P	131.8	88.7	40.3	16.8	13.8	15.5	14.6
	06P	123.2	76.5	29.2	18.7	15.8	21.0	22.9
	09P	89.6	54.7	26.7	18.2	17.2	30.8	44.3
	12P	85.4	53.5	20.1	13.5	20.2	31.3	48.5
	15P	111.7	60.1	33.7	19.8	19.4	29.1	49.1
Modulus of rigidity by plate shear ($\times 10^3$ kg/cm ²)	03P	5.5	7.5	10.4	13.4			
	06P	5.6	6.5	11.4	15.8			
	09P	5.9	8.0	13.5	28.2	= 30°	= 15°	= 0°
	12P	5.4	6.8	12.4	24.0			
	15P	5.4	7.0	13.6	32.2			
Poisson's ratio	03P	0.084	.528	.895	.543	.269	.085	.009
	06P	.111	.390	.768	.677	.329	.094	.017
	09P	.046	.253	.830	.841	.599	.193	.021
	12P	.083	.372	.602	.633	.498	.268	.018
	15P	.113	.441	.613	.709	.568	.250	.014

5. 2. 1 合板の曲げヤング係数

各厚さの合板について実測値と計算値を Fig. 7~11 に示す。試験片の表板繊維方向がスパン方向に対して 15° および 30° のものでは実測値が計算値より大きくなるものが多く、 45° 以上の木取角度ではほとんど一致する。これは、(1. 10) 式に代入する4個の基礎定数が実測値であることによる実験誤差の集積、 $0^\circ \sim 30^\circ$ では木取角度とヤング係数の関係を示す曲線が大きな傾斜をもっているために試験片の木取りの誤差が影響を与えることあるいは曲げ試験における捩れの発生による実験条件の変化などが考えられる。

5. 2. 2 合板のせん断弾性係数

E_1 , E_2 , G_{12} および μ_{12} の実測値を (1. 13) 式に代入して各厚さの合板のせん断弾性係数を求めると、Fig. 12~16 の曲線が得られる。これに対して実測値は丸印で示してあるが、計算曲線とよく一致しており、このことから、試料合板の G_{12} は板厚に関係なく $5.5 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 程度であり平行合板の G_{LT} とほぼ同等であると考えてよいことがわかる。一方 G_{45° は合板厚さによりかなりの差を示し、 G_{12} の2~6倍となる。素材では G_{LT} と G_{LT45° とではこのように大きな差はないことを考えると、 45° 方向の合板のせん断剛性は合板のもつ力学的有利性のひとつであることがわかる。

つぎに、(1. 6), (1. 21), (1. 22) および (1. 23) 式より計算した合板の G_{12} を Table 9 に示す。実測値と計算値はほぼ一致しているが、平行合板の平均値と比較するといくらかの減

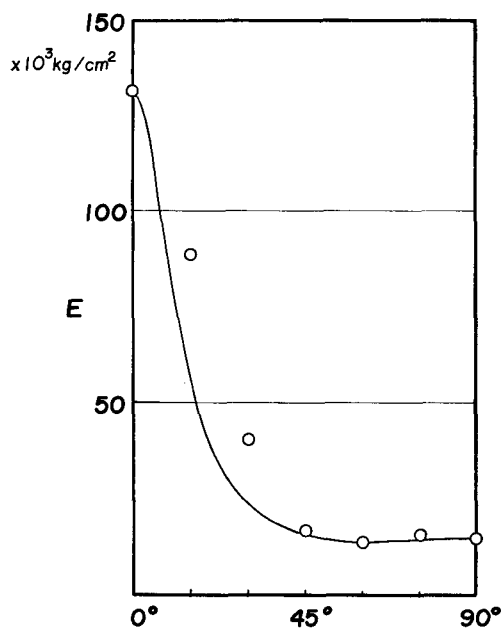


Fig. 7. 03 P

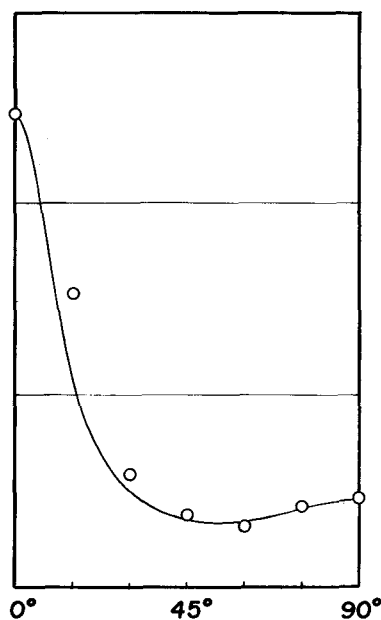


Fig. 8. 06 P

Fig. 7~8. Calculated curves and observed moduli of elasticity of plywoods

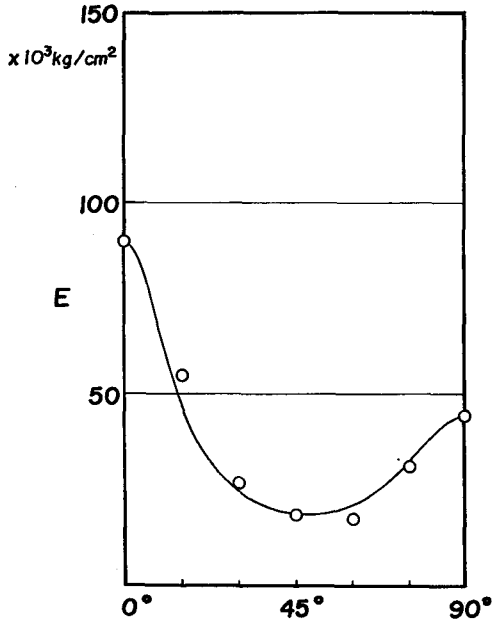


Fig. 9. 09P

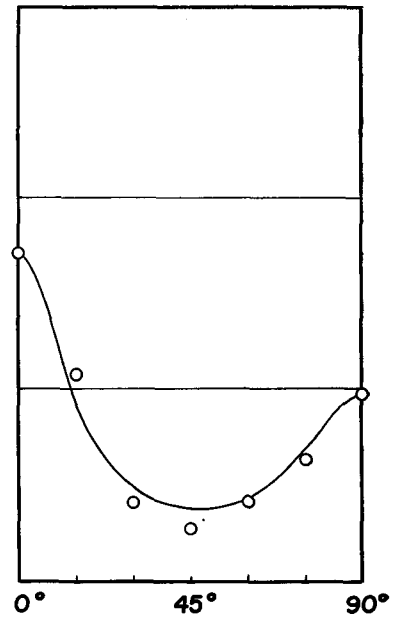


Fig. 10. 12P

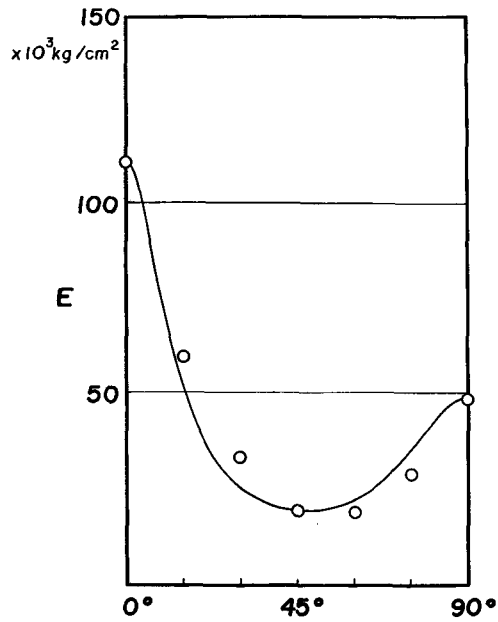


Fig. 11. 15P

Fig. 9~11. Calculated curves and observed moduli of elasticity of plywoods

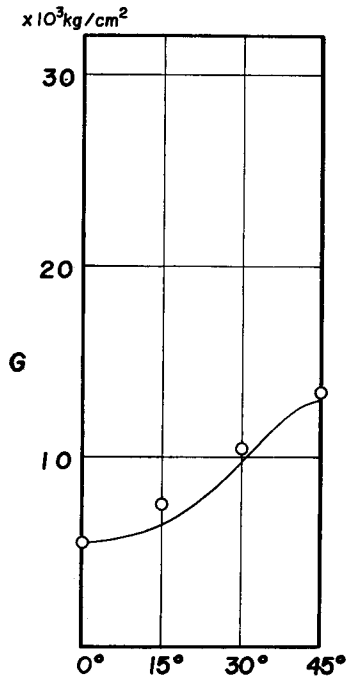


Fig. 12. 03 P

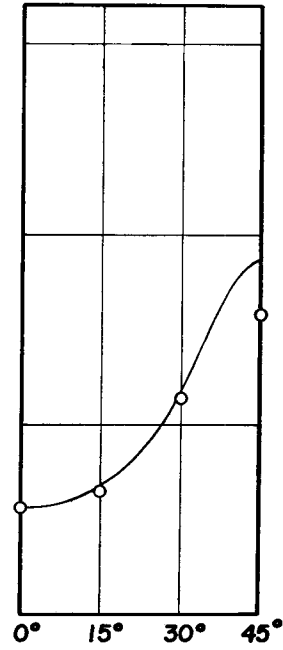


Fig. 13. 06 P

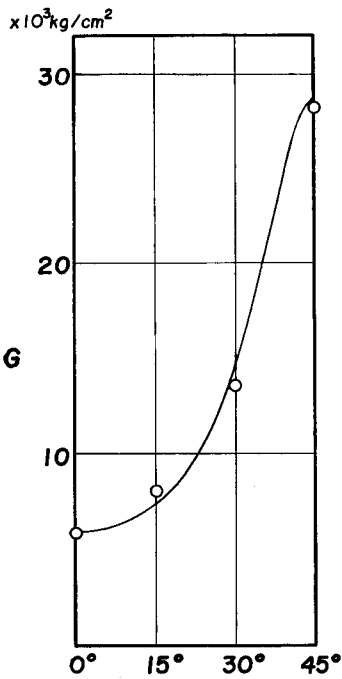


Fig. 14. 09 P

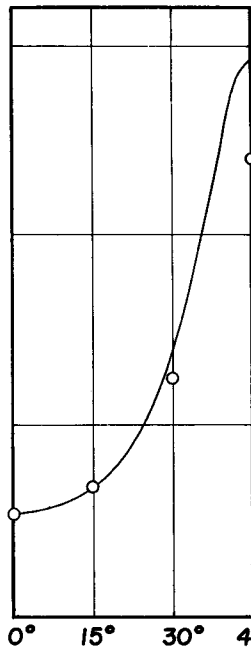


Fig. 15. 12 P

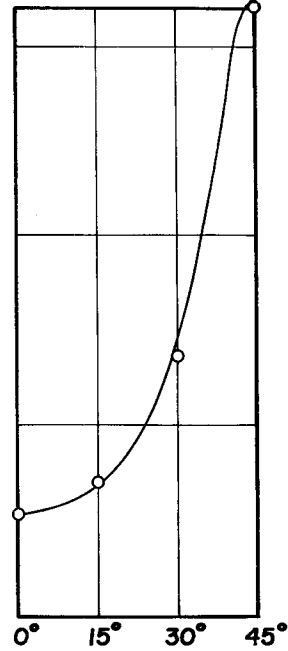


Fig. 16. 15 P

Fig. 12~16. Calculated curves and observed moduli of rigidity of plywoods

Table 9. Observed and calculated moduli of rigidity of plywood ($\times 10^3$ kg/cm²)

Specimen	Plate shear test	Calculated from			
		Eq. (1.6)	Eq. (1.21)	Eq. (1.22)	Eq. (1.23)
03P	5.5	6.3	6.1	5.9	5.4
06P	5.6	6.0	6.1	5.9	5.6
09P	5.9	5.9	5.4	5.1	4.9
12P	5.4	5.7	3.8	3.6	4.1
15P	5.4	6.0	5.7	5.5	5.8
av.	5.6	6.0	5.4	5.2	5.2
av. of Table 6.	6.0	—	5.9	5.9	6.1

少がみられる。しかし、次式の関係はほぼ成立する。

$$G_{12} = G_{LT} = \frac{E_{45^\circ}}{2(1 + \mu_{45^\circ})} = \frac{E_{45^\circ} \cdot E_2}{4E_2 - E_{45^\circ}} \quad (1.24)$$

5.2.3 合板のポアソン比

曲げによるポアソン比の測定では、歪みの絶対値が小さいことあるいは試験片の振れ狂いが応力-歪みの直線性を著しく妨害することなどにより測定値が不安定で、実験法そのものの検討が必要である。実測値と計算値は Fig. 17~21 のように適合度はよくない。しかしその曲線の形をみると、実測値、計算値のいずれも最大値が 45° 以内のところであられることでは一致している。つぎに合板において (1.7) 式が成立するかどうかを、実測値により検討してみると、Fig. 22 のように μ/E は $\theta = 45^\circ$ を対称軸としてほぼ等しい曲線を描く。これより、 $\mu_\theta/E_\theta = \mu_{90-\theta}/E_{90-\theta}$ となり直交軸 x, y を考えると $\mu_{xy}/E_x = \mu_{yx}/E_y$ が成立することがわかる。

5.3 合板の弾性定数の推定

5.3.1 曲げヤング係数の推定

合板の曲げヤング係数は、(1.4) 式より計算が可能である。5.1 で述べた平行合板の曲げヤング係数と構成比による係数 A をもちいて各厚さの合板の E_1, E_2 を計算すると Table 10 の結果を得る。(1.5) 式で構成単板が同等品質のものであると、

$$E_1 + E_2 = E_L + E_T \quad (1.25)$$

となる。Table 11 の $E_1 + E_2$ は板厚によりかなりのばらつきを示し、これは Table 4 の平行合板の $E_L + E_T$ の値が同様にばらついていることに対応しており、原木の品質にかなりのむらがあったことがこれからも指適される。合板の表板繊維方向から θ 度傾斜した方向のヤング係数 E_θ は、上の E_1, E_2 および 5.3.2, 5.3.3 で述べる G_{12} および μ_{12} を (1.10) 式

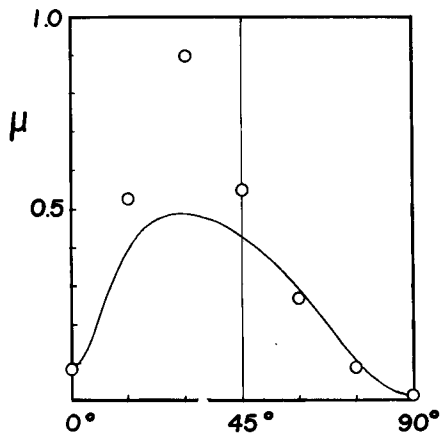


Fig. 17. 03 P

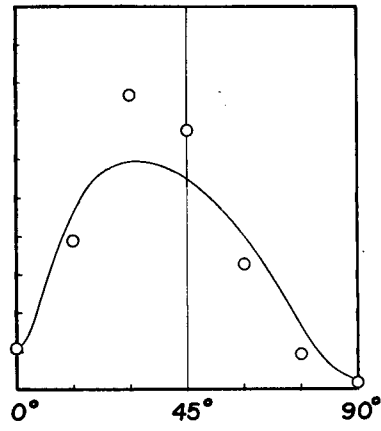


Fig. 18. 06 P

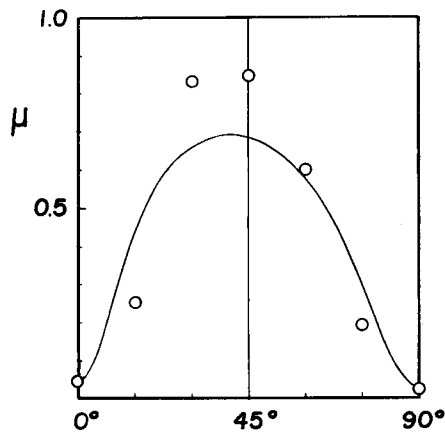


Fig. 19. 09 P

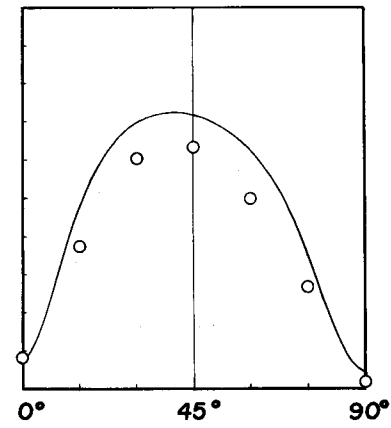


Fig. 20. 12 P

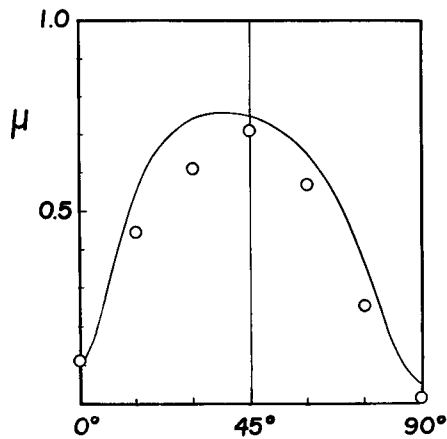


Fig. 21. 15 P

Fig. 17~21. Calculated curves and observed Poisson's ratios of plywoods

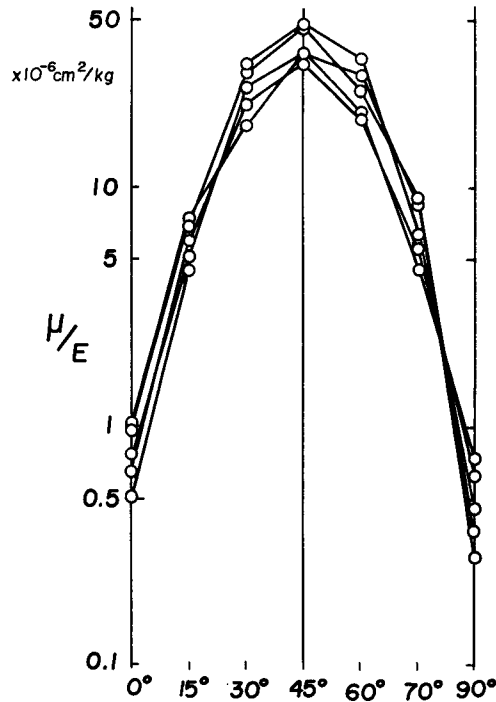


Fig. 22. Relation between μ/E ratio and face grain direction

Table 10. Calculated elastic constants of plywood
($E, G: \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)

Plywood	E_1	E_2	E_{45°	G_{12}	G_{45°	μ_{12}	μ_{21}	μ_{45°
03P	151.7	18.7	18.5	6.3	16.1	.0156	.019	.465
06P	124.0	19.4	17.7	6.0	16.3	.113	.018	.488
09P	108.5	45.7	20.1	5.9	31.1	.059	.025	.699
12P	86.7	39.9	19.0	5.7	26.2	.066	.030	.667
15P	113.0	48.8	20.5	6.0	33.3	.041	.018	.708

Table 11. ($E_1 + E_2$) values of plywood

Specimen	$(E_1 + E_2)$ ($\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$)	
	Observed	Calculated
03P	146.4	170.4
06P	146.1	143.4
09P	133.9	154.2
12P	133.9	126.6
15P	160.8	161.8
av.	144.2	151.3

に代入することにより得られる。 $\theta = 45^\circ$ のばあいの計算値も Table 10 に示してある。

5.1.1 で述べたように、平行合板の曲げにおける E_L/E_T は平均 31 となるが 22~46 の範囲に大きなばらつきを示すのでこの平均値をラワン合板のヤング係数を推定するばあいの基礎数値とするには問題がある。いま $E_L/E_T = \alpha$ なる値があるとする、(1.5) 式は、

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= A\alpha E_T + (1-A)E_T = E_T \{A\alpha + (1-A)\} \\ E_2 &= AE_T + (1-A)\alpha E_T = E_T \{A + (1-A)\alpha\} \end{aligned} \right\} \quad (1.26)$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{A\alpha + (1-A)}{A + (1-A)\alpha} \quad (1.27)$$

すなわち、合板の E_1/E_2 は、構成係数 A とそれを構成する単板の E_L/E_T により決定されることがわかる。いま $\alpha=30$ とし E_1/E_2 と A の関係をグラフに描くと、Fig. 23 の実線のようなになる。同図中に点で示す値は、この実験およびラワン合板に関するいくつかのデータ⁵⁾⁻⁹⁾ より得たもので、 $\alpha=30$ としたばあいの理論曲線とほぼ同様の傾向を示している。

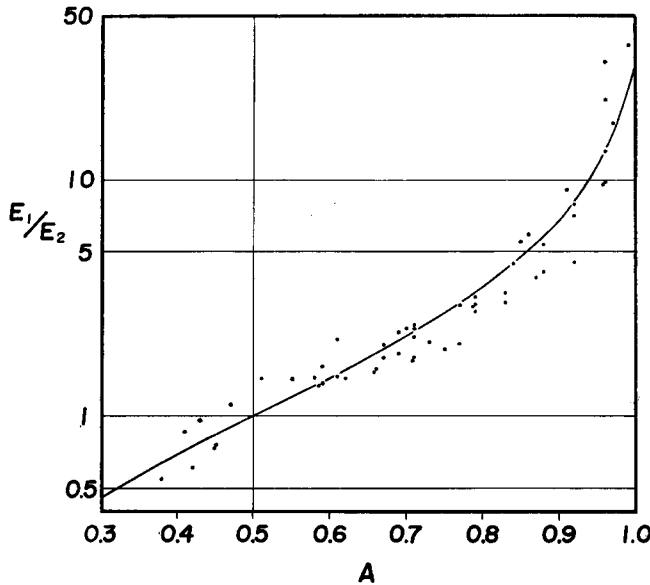


Fig. 23. Relation between A and E_1/E_2 ratio

- : Experimental values
- : Calculated from Eq. (1.27) by substituting $\alpha=30$
- A : $\frac{I_1}{I} = \frac{\text{Moment of inertia of parallel veneers to 1-axis}}{\text{Moment of inertia of full cross-section}}$

5.3.2 せん断弾性係数の推定

すでに平行合板および合板のせん断弾性係数の実測値より G_{LT} と G_{12} は等しいと考えてもよいことがわかった。また、(1.6)式による合板のせん断弾性係数の略算値も Table 9 に示すように G_{12} の平均で $6.0 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ となり合板の実測値とほぼ一致する。このように、 G_{LT} がほぼ等しい単板から製造される合板の G_{12} は、(1.6)式のように単板の厚さのみにより計算しても誤差はそれほど大きくならず、さらに単純に構成単板の G_{LT} の平均値

をもちいても充分正確に合板の G_{12} が推定できるであろう。もちろんこの計算法は、異樹種構成による合板、プラスチックオーバーレイ合板その他の G の異なる材料により構成されている木質複合材料に適用することはできない。 G_{45° は上に述べた G_{12} , E_1 , E_2 および μ_{12} より計算し Table 10 に示す。

5.3.3 ポアソン比の推定

平行合板の μ_{LT} , E_L , E_T および合板の構成係数 A を (1.9) 式に代入して合板の曲げによるポアソン比を求めた。結果は Table 10 に示す。 μ_{12} は合板の厚さが大きくなるにつれて減少する傾向にあり、 μ_{45° はわずかに増加する。また $\mu_{21} = \mu_{12} \cdot E_2 / E_1$ であるが、一般的に厚さが大きくなると E_2 / E_1 も増加するので μ_{21} は一定の傾向は示さない。

5.3.4 実測値と推定値の比較

以上で述べたように、合板の弾性定数は、平行合板の測定値から推定計算できるが、これらの値と合板の実測値とがどの程度一致しているかを 0° , 45° および 90° について調べてみる。Table 12 は、各弾性定数の実測値/推定値を示したものである。表中で太字で印刷したものは、20% 以上の誤差を生じたものである。ここでせん断弾性係数は非常によく一致しており、ヤング係数もほぼ推定が可能と考えられるが、ポアソン比におけるばらつきは大きく、15 mm 合板の μ_{12} では実測値が推定値の約3倍にも達しており、実験方法の問題と単板厚さの問題 ((1.9) 式では構成単板の厚さが考慮されていない) についてさらに詳細に実験的検討を加えなければならない。

Table 12. Comparisons of observed and calculated constants

Plywood	E_1	E_2	E_{45°	G_{12}	G_{45°	μ_{12}	μ_{21}	μ_{45°
03P	0.87	0.78	0.91	0.87	0.83	0.54	0.47	1.17
06P	0.99	1.18	1.06	0.93	0.97	0.98	0.94	1.39
09P	0.83	0.97	0.91	1.00	0.91	0.78	0.84	1.20
12P	0.99	1.22	0.71	0.95	0.92	1.26	0.60	0.95
15P	0.99	1.01	0.97	0.90	0.97	2.76	0.78	1.00
av.	0.93	1.03	0.91	0.93	0.92	1.26	0.73	1.14

Note: Boldfaces indicate ratios with discrepancy more than 20%

5.4 合板の特性係数 k

平面板の曲げ撓みを決定する因子のひとつに特性係数 k があることについては 2. で述べた。ここでは、 k が実際にどのような値をとるか合板の木取角度に関して検討してみる。Fig. 24 は、合板における E , G および μ の実測値を各角度ごとに (1.17) 式に代入して計算したもので、 k は $\theta = 45^\circ$ に関して対称になる。ここで興味あることは、等方性材料では角度に無関係に $k=1$ となるのに対して、合板では $k < 1$, $k=1$ および $k > 1$ の3種

のばあいがすべて存在することである。しかも、合板においては木取角度がほぼ 22.5° で $k=1$ となるが、この角度における両方向のヤング係数、 $E_{22.5^\circ}$ と $E_{67.5^\circ}$ とは同値にはならずやはり異方性を示し、 E_{45° では直交方向の E は等しいが、 k は 1 とならない。 k の値は、 $0^\circ \sim 25^\circ$ および $65^\circ \sim 90^\circ$ では合板厚さによる変化は小さく 45° では合板の厚さによりその値に大きな差がでてくる (1.6 ~ 2.8)。

厳密には、木取角度によりあらわれてくる (1.14) および (1.15) 式の S'_{16} および S'_{26} が 0 となるような曲げ条件のばあいにのみ、上述の k の値をそのまま使用することができる。したがって、合板のばあい S'_{16}

および S'_{26} が 0 となる条件は、構成係数 A が 0.5 ($E_1 = E_2$) で 45° 木取りのばあい限定される。しかし、合板の単板構成法に対する通常やり方を変えることにより、たとえば偶数プライ構成など、近似的には上の条件を満足させることができる。また実際に S'_{16} および S'_{26} を無視して k により木質板の曲げ性能を評価してもそれほど大きな差がないことを考えると k のもつ特性値としての意義は認めることができよう。この点については今後の研究課題としてさらに詳細な実験的検討を加えてゆきたい。

5.5 実大合板の曲げ撓み

合板の弾性定数を製品の実大サイズのまま測定することは困難であるから、撓み計算に必要な弾性定数値はどうしても小形試験片についての測定よりもとめなければならない。しかしこの方法をとるかぎり、異なった構成の合板についてすべて試験しなければならないことになる。この研究では、合板についての弾性定数の測定はおこなわずに、すべて平行合板の測定値より計算をすすめた。すなわち、計算撓みは、5.3 でもとめた基礎定数を (1.18) 式に代入して算出した。荷重—撓み曲線は Fig. 25~27 のように、荷重が増加するにつれて撓みの増加が減少する傾向にあり、これはすでにおこなった 45×45 cm の正方形合板の周辺単純支持・中央集中荷重の試験結果⁴⁾ と同様の関係である。このばあいの単

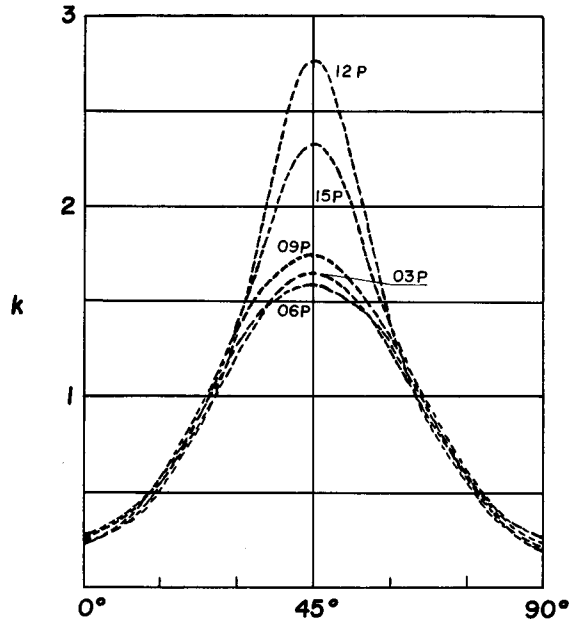


Fig. 24. Relation between grain angle and k value of plywood

$$k = \frac{(1 - \mu_{xy} \mu_{yx}) G_{xy} + \mu_{yx} E_x}{\sqrt{E_x E_y}}$$

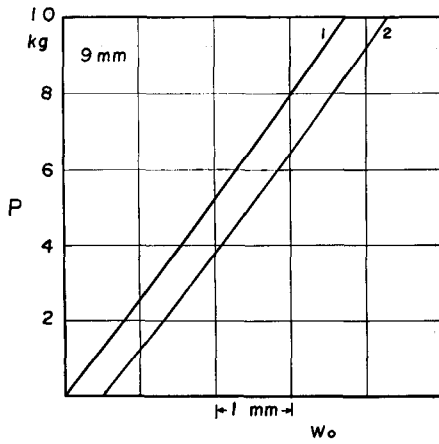


Fig. 25.

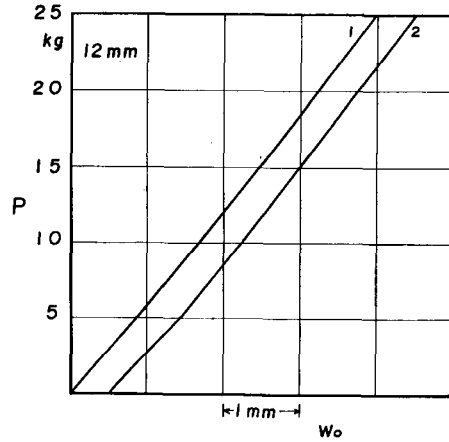


Fig. 26.

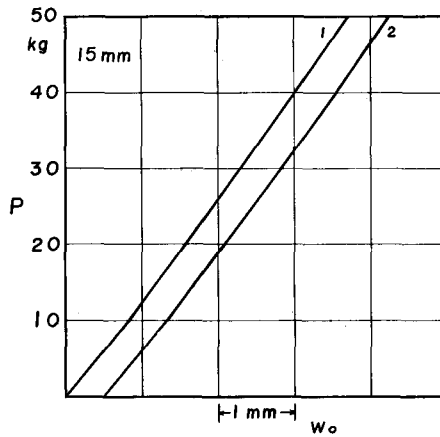


Fig. 27.

Fig. 25~27. Observed load-deflection curves of rectangular plywood plates loaded at the center, four edges simply supported

Table 13. Calculated and observed deflections at the center of the Lauan plywood plates, four edges simply supported.

Plywood	k^*	m^*	$\frac{a^2 P^*}{D_1}$	$f(k)^*$ ($\times 10^{-3}$)	w_0 ($\times 10^{-3}$ cm/kg)		$\frac{\text{Calculated}}{\text{Observed}}$
					Calculated*	Observed	
09P	0.205	1.241	3.436	10.8	37.1	38.8	1.05
12P	0.238	1.214	1.784	9.8	17.5	16.2	0.93
15P	0.188	1.234	0.724	10.5	7.6	7.5	0.99

* Calculated from the values in Table 10.

Note: $k = \frac{\mu_{21} D_1 + D_{12}}{\sqrt{D_1 D_2}}$ $m = \sqrt[4]{\frac{D_1}{D_2}} = \sqrt[4]{\frac{E_1}{E_2}}$ $D_1 = \frac{E_1 h^3}{12(1 - \mu_{12} \mu_{21})}$
 $D_2 = \frac{E_2 h^3}{12(1 - \mu_{12} \mu_{21})}$ $D_{12} = \frac{G_{12} h^3}{6}$ $h = \text{Thickness of the plate (cm)}$

位荷重あたりの曲げ撓みはグラフから板厚の 1/4 の撓みを生じた点と原点を直線でむすび、この傾斜から計算した。Table 13 は、平行合板の弾性係数から計算した各係数と計算撓みおよび実測撓みである。試料数は合計 6 枚であり充分ではないが、各厚さの合板について撓みの実測値/計算値はきわめてよく一致している。

摘 要

1) ラワンロータリー単板を繊維方向をそろえて積層接着し平行合板を製造した。これより得られる弾性定数は、合板を構成している状態での単板の free constant であると考えられ、この定数より計算によって合板の弾性定数を推定したところ、実測値と計算値はポアソン比をのぞいてほぼ一致した。

2) ラワン素材の弾性定数と平行合板のそれとを比較すると、ヤング係数では E_R 、ポアソン比では μ_{RT} が減少している。これは、裏割れにより低減した単板品質が、 T 方向では接着層の存在により補強されるが R 方向は接着層の影響をあまり受けないという理由によるものと考えられる。

3) 同一樹種構成による合板のせん断弾性係数は、次の関係により推定しても大きな誤差がないことがわかった。

$$G_{12} = G_{LT} = \frac{E_{LT45^\circ}}{2(1 + \mu_{LT45^\circ})} = \frac{E_{45^\circ}}{2(1 + \mu_{45^\circ})}$$

ここで LT の添字のあるものは単板 (平行合板) の弾性定数を意味する。

4) 繊維板、削片板、金属板、プラスチック板などの等方性材料のばあいには、特性係数 $k \left(= \frac{2(1 - \mu_{xy}\mu_{yz})G_{xy} + \mu_{yz}E_x}{\sqrt{E_x E_y}} \right)$ が 1 となるのに対し合板では板の木取り角度により $k < 1$, $k = 1$ および $k > 1$ のばあいが存在し、直交異方性材料としての合板の特徴ある性質を示している。

5) 平行合板の弾性定数をもちいて 3 種の実大合板の弾性定数を推定し、この数値から周辺単純支持・中央集中荷重条件のばあいの中央撓みを計算したところ、実測値/計算値は平均で 0.99 となった。これより、単板 (平行合板) の弾性定数が既知であればその単板による任意の構成の合板の弾性定数はほぼ正当に推定できるものと考えられる。

文 献

- 1) 高見 勇: 合板の強さについて (I). 林試報, 208, 1968.
- 2) HEARMON, R. F. S.: The Elasticity of Wood and Plywood. For. Prod. Res. Special Rept. No. 7, London, 1948.
- 3) 高見 勇: 合板のポアソン比について. 林試報, 188, 1966.
- 4) 沢田 稔・上田恒司: 木質板に関する研究 (第1報). 北大演報, 25, 61, 1967.

- 5) 北海道大学農学部林産学科木材加工学研究室資料. 1965.—未発表.
- 6) 沢田 稔・近藤孝一・畑 健一: 合板の弾性に関する研究 (第2報). 日木誌, 5, 131, 1959.
- 7) 大熊幹章: 合板の機械的性質に関する研究. 東大演報, 63, 1967.
- 8) 合板強度利用研究委員会: 合板の強度利用に関する研究 1. 1965.
- 9) 日本木材加工技術協会合板部会: 合板の物理的・機械的性質. 合板工業, 40, 日本合板工業組合連合会, 1966.

Summary

In this paper, the elastic properties of conventional plywoods were investigated in comparison with the elastic constants of veneer-laminated wood, in which all veneers are laid uniaxially. The tests made on eight different kinds of veneer-laminated woods are: plate shear, bending and compression (Fig. 4). Results of tests on veneer-laminated woods are shown in Table 3. As for plywoods, the modulus of elasticity in bending, the modulus of rigidity in plate shear and Poisson's ratio in bending were determined for several angles concerning with the grain direction of face veneer. Results of tests on plywoods are shown in Tables 7 and 8. Elastic constants between 0° and 90° were calculated for plywoods from Eqs. (1.10)~(1.13) by substituting four observed values, E_1 , E_2 , G_{12} and μ_{12} in Table 8, into the equations. These calculated constants are demonstrated in Figs. 7~12 together with observed values. Load deflection curves of rectangular plywood plates under a concentrated load at the centre, four edges simply supported, are shown in Figs. 25~27. The test method is illustrated in Figs. 5 and 6.

The results of tests are summarized as follows:

1) The elastic properties of plywood except Poisson's ratio can be estimated with sufficient accuracy from the basic data on veneer-laminated wood.

2) Comparing the ratios E_R/E_L and E_T/E_L of wood and veneer-laminated wood, it can be concluded that the strength properties are affected apparently more in R -direction than in T -direction. The reason of this fact can be reduced to the existence of glue layers, which act as stiffener in T -direction. The similar fact occurs in Poisson's ratio μ_{RT} .

3) The modulus of rigidity of plywoods constructed of same kind of veneer can be estimated from following equation;

$$G_{12} = G_{LT} = \frac{E_{LT45^\circ}}{2(1 + \mu_{LT45^\circ})} = \frac{E_{45^\circ}}{2(1 + \mu_{45^\circ})}$$

G_{12} , G_{LT} : Modulus of rigidity of plywood and veneer-laminated wood respectively

E_{45° , E_{LT45° : Modulus of elasticity in 45° from grain direction of face veneer of plywood and veneer-laminated wood respectively

μ_{45° , μ_{LT45° : Poisson's ratio in 45° from face grain direction of plywood and veneer-laminated wood respectively

4) While the value $k \left(= \frac{2(1 - \mu_{xy}\mu_{yx})G_{xy} + \mu_{yx}E_x}{\sqrt{E_x E_y}} \right)$ of fiber board, particle board,

metallic plate, plate of plastics and other isotropic materials indicate 1, plywood has three different cases of k , i.e. $k < 1$, $k = 1$ and $k > 1$, as is the characteristic property of orthotropic materials.

5) Central deflections of rectangular plywood plates under a concentrated load at the centre, four edges simply supported, are calculated from the constants of veneer-laminated woods. The average deflection observed is 99% of that of calculated one.