

# 合板の構成単板における強度性能の推移

吉田 弥明 田口 崇

## 1. まえがき

合板の強度性能が構成単板の強度性能によることは理論的に解明されている。この単板の強度は原木の素材強度に支配されるが、合板の製造工程において強度性能がどのように推移していくか、その詳細を追求した例は少ない<sup>1)2)</sup>。本研究は一般的に用いられている構成プライ数及び使用単板厚さと関連させて、素材 単板 合板の強度性能の推移を単板レベルで明らかにすることを目的とした。ここでいう単板レベルとは、合板を構成している状態での単板、すなわち、加熱圧縮、接着剤の影響を包含した単板であって、切削・乾燥されたフリーの状態での単板ではない。

以上の様な観点から、単板の繊維方向を同方向に接着した平行積層板及び合板を作成し、これらの単板レベル間及び素材との強度性能を比較検討した。

## 2. 試料と試験方法

### 2.1 試料

原木は第1表に示す様な性質のレッドメランチ材を用いた。原木は約90の温水中に1昼夜浸漬した後、第2表に示した切削条件で、1.50、2.25、3.00及び4.50mm（公称厚さ）単板をロータリーレースにより切削した。これら切削単板の性状は第3表のとおりである。

これらの単板から、それぞれ等厚構成の3、5及び7プライの平行積層板及び合板を1条件につき2枚、32×32cm寸法で製造した。接着は下記の条件によって、市販のフェノール樹脂接着剤を用いて行った。

糊液塗付量 30g/30×30cm  
 (固型分) (15.8g/30×30cm)  
 冷 圧 室温 - 2時間 - 12kg/cm<sup>2</sup>  
 熱 圧 135 - 1分/mm - 10kg/cm<sup>2</sup>

第2表 単板の切削条件

	単板切削厚さ (mm)			
	1.50	2.25	3.00	4.50
刃口水平距離 (mm)	1.28	1.91	2.55	3.83
刃口垂直距離 (mm)	0.30	0.44	0.59	0.88
刃 角	20°30'			
逃げ角	0			
ノズバー作用角	10°			

第3表 単板の性質

単板切削厚 (mm)	単板比重 $\rho_v$ (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	測定厚さ to bs. (mm)	裏割れ	
				深さ (%)	頻度 (本/cm)
1.50	0.436	4.0	1.48	0	0
2.25	0.445	3.5	2.16	44	2.2
3.00	0.411	5.5	2.96	44	4.6
4.50	—	—	4.25	50	5.2

### 2.2 試験方法

平行積層板及び合板試料から幅5cmの曲げ試験片を、表板繊維がスパンに対して平行及び直交する場合につき、それぞれ3片づつ採取した。これらの試片はまず非破壊の捩り剛性試験を行い、せん断弾性係数を求め、その後静的曲げ試験によって破壊させ、曲げヤング係数及び破壊係数を求めた。試験片はすべて室温20±2、関係湿度65±5%にて調湿し、供試した。

## 3. 試験結果及び考察

平行積層板及び合板の曲げヤング係数、曲げ破壊係数及びせん断弾性係数を第4表及び第5表に示した。

第1表 素材強度

	比 重 $\rho_w$ (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	曲げヤング係数 (ton/cm <sup>2</sup> )		曲げ破壊係数 (kg/cm <sup>2</sup> )	
			軸方向	接線方向	軸方向	接線方向
標準偏差	0.021	—	6.6	0.06	57	2.6

合板の構成単板における強度性能の推移

第4表 平行積層板の曲げ及び捩り剛性試験結果

パネルの種類		測定厚さ tobs. (mm)	みかけ比重 ρ <sub>p</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	実質比重 ρ <sub>w</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	曲げヤング係数 <sup>1)</sup> (ton/cm <sup>2</sup> )		曲げ破壊係数 (kg/cm <sup>2</sup> )		せん断 <sup>2)</sup> 弾性係数 (ton/cm <sup>2</sup> )
(単板厚)	(プライ数)				軸方向	接線方向	軸方向	接線方向	
1.50mm	3ply	4.04	0.531	0.489	125.8	2.7	983	40	4.87
	5ply	6.68	0.541	0.490	120.0	3.8	995	53	5.47
	7ply	9.16	0.556	0.500	116.6	4.5	973	50	5.25
平均			0.543	0.493	120.8	3.7	984	48	5.20
2.25	3ply	6.29	0.487	0.460	90.2	2.4	717	34	4.19
	5ply	10.27	0.491	0.458	98.6	3.3	729	39	4.73
	7ply	14.52	0.504	0.469	91.5	3.9	772	43	4.51
平均			0.494	0.462	93.4	3.2	739	39	4.48
3.00	3ply	—	—	—	—	—	—	—	—
	5ply	14.00	0.483	0.459	94.8	3.6	780	36	4.32
	7ply	19.38	0.463	0.437	80.9	3.3	663	40	3.83
平均			0.473	0.448	87.9	3.5	722	38	4.08
4.50	3ply	12.61	0.468	0.454	95.0	2.4	749	24	4.00
	5ply	21.01	0.471	0.455	76.4	2.5	592	26	3.54
	7ply	29.49	0.467	0.450	—	—	—	—	3.14
平均			0.469	0.453	85.7	2.9	671	25	3.56

- 1) せん断歪による変形量を補正した値。
- 2) せん断弾性係数は軸方向及び接線方向曲げ試験片の捩り剛性から求めた値の平均値。

第5表 合板の曲げ及び捩り剛性試験結果

パネルの種類		測定厚さ tobs. (mm)	みかけ比重 ρ <sub>p</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	実質比重 <sup>1)</sup> ρ <sub>w</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	曲げヤング係数 <sup>3)</sup> (ton/cm <sup>2</sup> )		曲げ破壊係数 (kg/cm <sup>2</sup> )		せん断 <sup>4)</sup> 弾性係数 (ton/cm <sup>2</sup> )
単板厚	プライ数				平行方向 <sup>2)</sup>	直交方向 <sup>2)</sup>	平行方向 <sup>2)</sup>	直交方向 <sup>2)</sup>	
1.50	3ply	4.15	0.511	0.470	99.7	6.4	672	132	4.25
	5ply	6.82	0.529	0.479	86.5	26.7	716	347	5.41
	7ply	9.59	0.531	0.478	82.2	34.1	631	408	4.79
平均			0.524	0.476	—	—	—	—	—
2.25	3ply	6.36	0.490	0.463	89.8	7.2	640	143	4.53
	5ply	10.51	0.492	0.459	80.5	20.7	591	282	4.41
	7ply	14.61	0.512	0.477	74.5	21.3	570	375	4.66
平均			0.498	0.466	—	—	—	—	—
3.00	3ply	—	—	—	—	—	—	—	—
	5ply	14.11	0.479	0.455	62.8	21.3	499	277	4.16
	7ply	19.69	0.475	0.449	50.4	27.6	447	304	3.80
平均			0.477	0.452	—	—	—	—	—
4.50	3ply	12.59	0.472	0.458	89.0	5.9	643	116	3.87
	5ply	21.10	0.456	0.440	49.1	17.2	377	236	3.26
	7ply	29.61	0.465	0.448	—	—	—	—	—
平均			0.464	0.449	—	—	—	—	—

- 1) 糊液中の固型分を除いた木質物の実質比重
- 2) 平行方向及び直交方向はそれぞれスパンと表板繊維が平行及び直交する場合を示す
- 3) せん断歪による変形量を補正した値
- 4) 平行及び直交方向曲げ試験片の捩り剛性から求めた値の平均値

3.1 比重

合板（あるいは平行積層板）のみかけ比重（ρ）は次の式で表すことができる。この式の第1項は合板

$$\rho_p = \frac{t_c}{t_p} \rho_v + \frac{(n-1)m \cdot a}{t_p}$$

t<sub>c</sub> = フリーな状態での単板構成による合板厚さ  
v = その時の単板比重

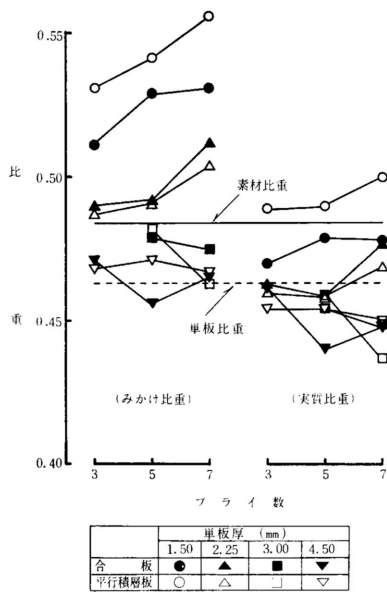
t<sub>d</sub> = 加熱圧縮後の合板厚さ

n = プライ数

m = 糊液塗付量

a = 糊液中の固型分比

の加熱圧縮による厚さ収縮の結果生じる比重の変化，第2項は接着糊液中の固型分付加によって生じる比重増で，この両者によって合板のみかけ比重は決まる。

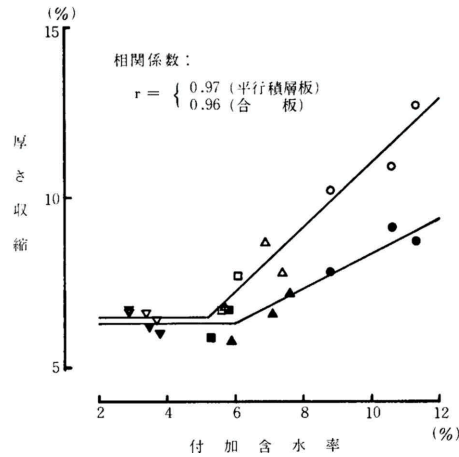


第1図 プライ数及び単板厚さと比重との関係

第1図は比重とプライ数，単板厚さとの関係を示したもので，右側の図は接着糊液による付加固型分を差引いた実質比重( w)との関係を示し，左側の図が全ての影響を包含したみかけ比重で一般に用いられているものである。また同図中には素材と単板の平均比重を実線及び点線で示した。単板の比重は，裏割れの混入や表面の粗れのために，素材より若干低く測定される。

みかけの比重は当然プライ数の増加とともに大きくなるが，その傾向は単板厚が薄いほど単位厚さ中に含まれる接着層数が増大するため顕著である。図に見る様に，単板厚が2.25mm以下では大きく増大するが，3.00mm以上になると材質のバラツキを考慮してもほとんど増加しない。一方，接着糊液中の固型分を差引いた実質比重も同様の傾向を示すが，その値は1.50mmの平行積層板のみ素材の値より大きくなるが，それ以上の単板厚ではプライ数にかかわらず素材のレベルまで回復していない。

実質比重もプライ数の増加により増大傾向を示す。これは加熱圧縮によるものであるから，熱圧条件及び接着糊液による付加水量，特に水分の影響が大きいものと考えられる。第2図は接着糊液による付加水量と



第2図 糊液による付加水分と厚さ収縮の関係

注) 厚さ収縮 =  $\frac{\text{切削厚さ} - \text{板厚}}{\text{切削厚さ}}$  (%)

厚さ収縮との関係を示したものである。ここに示した厚さ収縮は単板切削厚さ(生単板厚さ)を基準にしており単板の乾燥収縮も含んでいる。このため，図は収縮率6%前後のY軸に平行な直線部と正の傾きを持つ直線部に分かれる。前者が乾燥収縮，後者が付加水分によるものと考えられ，付加水分と収縮量は極めて高い相関にある。図によると，付加水分が5%程度，即ち仮圧縮後の単板含水率が9%程度までは熱圧による厚さ収縮は，通常条件下ではないとみてよい。従って，結果として付加含水率の微少な3.00及び4.50mm単板では，厚さ収縮はほとんどないとみてよい。平行積層構成と合板構成とを比較すると，前者の方が繊維が平行しているため厚さ収縮は大きくなる傾向にある。このことは第1図に示した比重との関係にも出現している。

### 3.2 強度性能

合板の強度性能を単板レベルで比較検討するために第5表の結果から，下に示した式によって構成単板の強度性能を算出した。合板はすべて同樹種，等厚構成であり，同一合板内の構成単板にあっては機械的性質等すべて同一と仮定した。

$$E_L = \frac{1}{2(3n^2 - 2)} \left[ (n^3 + 3n^2 - 2) E_1 - (n^3 - 3n^2 + 2) E_2 \right]$$

$$e_r = \frac{1}{2(3n^2 - 2)} \left[ (n^3 + 3n^2 - 2) E_2 - (n^3 - 3n^2 + 2) E_1 \right]$$

$$f_L = \frac{E_L}{E_1} \sigma_1$$

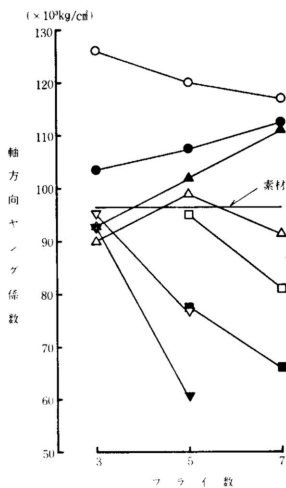
$$f'_L = \frac{E_L}{E_2} \frac{n-2}{n} \cdot \sigma_2$$

$$G_{LT} = G_{12}$$

ここで、 $e_L$ 、 $e_r$  = 構成単板の軸方向及び接線方向のヤング係数、 $f_L$ 、 $f'_L$  = 合板の平行及び直交方向の曲げ破壊係数から求めた構成単板の軸方向の極限強さ、 $G_{LT}$  = 構成単板の捩りせん断弾性係数、 $n$  = 合板のプライ数である。

以下これら合板の強度試験値から導いた構成単板の強度性能、及び平行積層板については第4表の値をそのまま構成単板の強度性能として、両者から単板レベルでの比較検討を試みる。

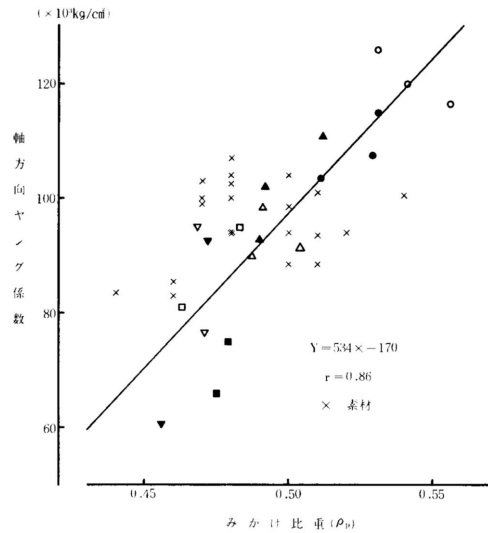
第3図は構成単板の軸方向のヤング係数 $e_L$ を、プライ数、単板厚さとの関連でみたものである。単板厚で



第3図 プライ数及び単板厚さと軸方向ヤング係数との関係

みると、1.50及び2.25mmと比較的薄い単板の方が3.00及び4.50mmの厚い単板より $e_L$ は大きくなる傾向にある。プライ数でみると薄い単板ではプライ数の増加による $e_L$ の増大が著しいことがうかがわれる。

第4図は $e_L$ とみかけ比重 $\rho_p$ との関係を示したもので、両者は高い相関にあり、平行積層板、合板を問わ



第4図 みかけ比重と軸方向ヤング係数との関係

ず1本の直線で表すことができる。また、同図中には素材の関係も示したが、この直線関係の範囲を大きく逸脱するものではない。従って軸方向のヤング係数に関してみると、同一比重レベルにおいては平行積層板及び合板の構成単板と素材は等しいとみなしてよいであろう。しかし、実際には第1図に見る様に合板及び平行積層板のみかけ比重 $\rho_p$ は単板厚さが2.25mmより薄いものでは素材より高くなり、3.00mmより厚いものでは低くなる傾向にあるので、第4図の回帰直線から求めた構成単板の各厚さにおける軸方向のヤング係数 $e_L$ を素材の平均値と比較すると、1.50mm単板では約15%の増加、4.50mm単板では約20%の低下となり、上田<sup>2)</sup>の結果とほぼ同様の値を示す。

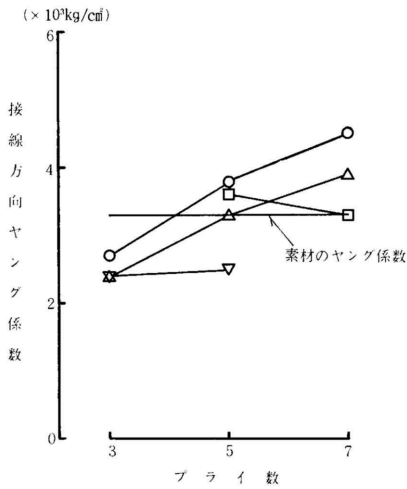
処で、ここではヤング係数 $e_L$ をみかけ比重 $\rho_p$ との関連で検討したが、本来は実質比重 $\rho_w$ との関連でみるべきなのかもしれない。第6表に示す様に実質比重とも高い相関を示すが、素材比重よりかなり低くなる傾向にあること(第1図参照)みかけ比重と素材が略

第6表 比重と強度性能との相関関係

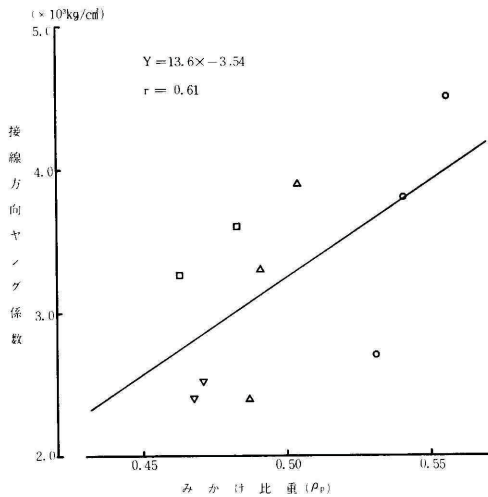
性能の種類 比重	ヤング係数		極限強さ		せん断弾性係数
	軸方向	接線方向	軸方向	接線方向	
みかけ比重： $\rho_p$	0.86	0.61	0.90	0.69	0.89
実質比重： $\rho_w$	0.88	0.50	0.90	0.67	0.87

同一直線上にのること及び実用的な見地から、本文ではみかけ比重  $\rho_p$  との関連で検討を加えることにした。

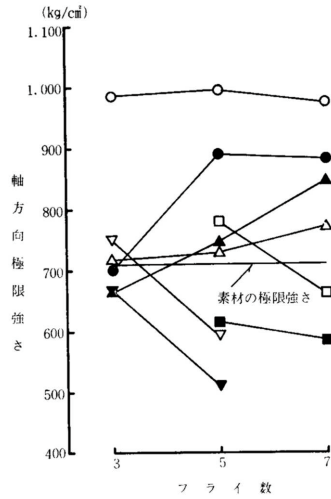
構成単板の繊維に直角な方向のヤング係数  $e_t$  に関しては、第5図及び第6図に示す様にある程度みかけ比重との相関も認められ、またプライ数の増加による向上が顕著である。合板からの値についてはバラツキが大きいので平行積層板からについてのみ示したが、ここで注目すべきことは、5プライ以上になると、4.50mm単板を除き、 $e_t$ が素材のレベルまで回復することで、積層によって裏割れ等の欠点が補償されることを示している。



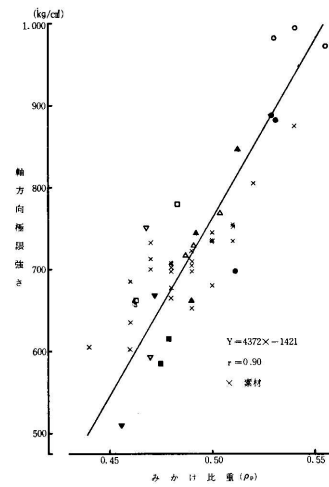
第5図 プライ数及び単板厚さと接線方向のヤング係数との関係



第6図 みかけ比重と接線方向ヤング係数との関係



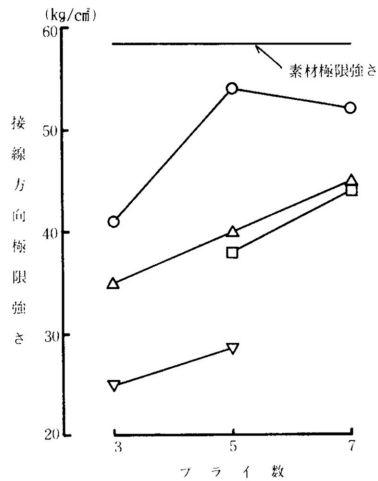
第7図 プライ数及び単板厚さと軸方向極限強さとの関係



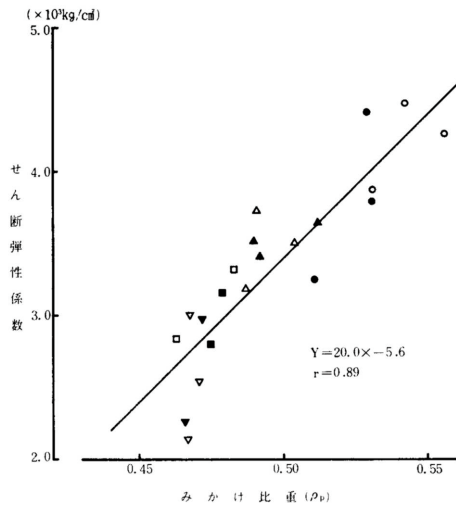
第8図 みかけ比重と軸方向極限強さとの関係

構成単板の軸方向の極限強さ  $f_L$  は、第7図及び第8図に示す様に、軸方向ヤング係数  $e_L$  と全く同様の傾向を示し、225mmより薄い単板では素材を越え、3.00mmより厚い単板では素材より低い傾向を示す。さらに、みかけ比重  $\rho_p$  と高い相関にあり、極限強さ  $f_L$  についても同一比重レベルでみると、平行積層板及び合板の構成単板と素材との間には差がないとみてよいが、 $\rho_p$ の差異により1.50mm単板は素材より約20%大きく、4.50mm単板は約20%小さくなる。

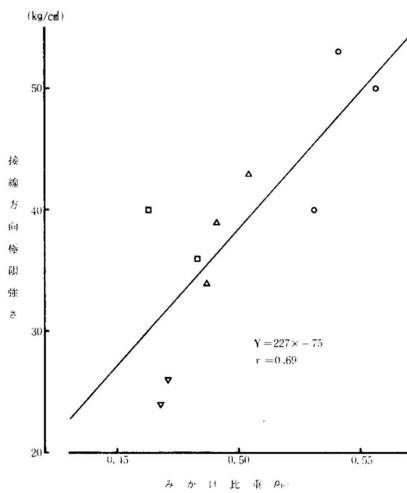
直角方向の極限強さ  $f_T$  (平行積層板のみ) は、第9図及び第10図に示す様に、接線方向のヤング係数  $e_t$  と



第9図 プライ数及び単板厚さと接線方向極限強さとの関係



第11図 みかけ比重とせん断弾性係数との関係



第10図 みかけ比重と接線方向極限強さとの関係

その結果を要約すると次の様になる。

(1) 平行積層板及び合板のみかけ比重は熱圧による厚さ収縮と接着糊液中の固型分によって増大するが、前者の厚さ収縮は接着糊液によって付加される水分と直線関係にある。みかけ比重では単板厚が2.25mm以下の場合、糊液中の固型分を差し引いた実質比重では1.50mmの平行積層板を除き、素材のレベルまで回復しない。

(2) 構成単板で比較した強度性能は、その構成によらず、みかけ比重と高い相関で直線関係にあり、さらに、素材における比重との関連もこの直線関係の範囲を大きく逸脱しない。従って、同一比重レベルでみると、接線方向の極限強さを除き、これら三者の強度性能には差はないものと考えられる。しかし、実際上は単板厚さ、プライ数によってみかけ比重が異なってくるため、差が生じ2.25mmより薄い単板では素材より増大し、3.00mmより厚い単板では低下する傾向にある。

同様の傾向を示すが、素材に対する低減が著しく、素材の70～50%に低下する。

捩りせん断剛性Gは、第11図に示す様にこれまたみかけ比重  $\rho_p$  と高い相関にあり、軸方向のヤング係数  $e_L$  及び極限強さ  $f_L$  と同様の傾向を示す。

#### 4. まとめ

構造用合板に一般的に用いられている1.50～4.50mm単板の3～7プライ平行積層板及び合板を製造し、単板厚さ及び構成プライ数と関連させて、素材 平行積層板 合板の強度性能を構成単板段階で追求した。

#### 文献

- 1) 上田恒司：材料 20, 1181 (1971)
- 2) 高見勇：林試研報, 208, (1957)