

構造用パーティクルボードの耐久性能 (第6報)[†]

低圧縮比ボードの小片結合力とその耐水性^{*1}

関野 登^{*2}

Performance of Construction Particleboard VI.[†]

Internal-bond strength and water-resistance of low-compaction ratio board ^{*1}

Noboru SEKINO^{*2}

Internal-bond strengths (IB) of low-compaction ratio boards produced by the use of a phenolic resin (PF) and by an isocyanate compound resin (UL) using various resin contents were measured before and after a long-term water-immersion treatment (25 °C, 1000 hrs). The effects of resin type, resin content, and compaction ratio on IB and water-resistance were investigated. IB profiles through out the thickness of boards were calculated from the compaction-ratio profiles and the relationships between IB and the compaction ratios of boards, and were related to bending properties. The results obtained were as follows:

1) UL boards with resin contents of over 10 percent had IB of over 2 kg/cm² when their compaction ratios were reduced to 0.8. On the other hand, IB of PF boards whose compaction ratios were under 1.0 did not achieve 2 kg/cm² even though their resin contents were increased to 15 percent.

2) The IB retentions of PF boards after the water-immersion treatment were greater than those of UL boards. Decreases of compaction ratios did not cause decreases of IB retentions. On the contrary, the smaller the compaction ratio, the greater was the IB retention in some cases.

3) A linear relationship between the maximum IB obtained near the board surfaces and the bending properties (modulus of rupture and modulus of elasticity) was observed, and in fact, it was affected by the compaction ratio.

はく離強さ試験により常態時および水中浸せき処理後の低圧縮比ボードの小片結合力を測定し、小片結合力およびその耐水性をボード製造条件との係わりで検討した。また、ボード厚さ方向の小片結合力分布を求めて曲げ性能との関係を考察し、以下の結果を得た。

1) 含脂率 10% 以上のイソシアネート系樹脂 (UL) ボードでは圧縮比を 0.8 まで低下させても 2 kg/cm² 以上の常態はく離強さを保持した。一方、圧縮比 1.0 以下のフェノール樹脂 (PF) ボードでは含脂率を 15% まで増加させても常態はく離強さは 2 kg/cm² 以下となった。

2) 水中浸せき処理後のはく離強さ残存率は UL ボードより PF ボードの方が高く、また圧縮比低下による残存率減少は認められず、むしろ増加する場合も認められた。

3) ボード表層付近の最大小片結合力と曲げ性能との間に高い相関が認められ、両者の関係には圧縮比が関与していた。

[†] Report V: This Journal, 33 (6), 464-471 (1987)

^{*1} Received May 25. 本研究の一部は、第 37 回日本木材学会大会 (1987 年 4 月, 京都) に於いて発表した。

^{*2} 岩手大学農学部 Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka, Iwate 020

1. 緒 言

前報¹⁾では、低圧縮比ボードの製造条件 (圧縮比, 含脂率, 結合剤の種類) が曲げ性能および耐水性に及ぼす影響を調べたが、いずれに対しても低圧縮比下での小片結合力の程度が問題である事が指摘さ

れた。そこで本報では、前報¹⁾の実験で製造した低圧縮ボードの小片結合力を製造条件との係わりで検討し、さらにボード厚さ方向の小片結合力分布を求めて、曲げ性能との関係を検討した。また、水中浸せき処理による小片結合力の残存率を調べ、その耐水性を製造条件との係わりで検討した。小片結合力の判定には、はく離強さとインターラミナせん断強さがあるか²⁾、本実験でははく離強さを測定し、小片結合力とした。

2. 実 験

2.1 常態はく離強さ試験

フェノール樹脂(大鹿振興 KK D-17, 以下 PF と略す) およびイソシアネート系樹脂(群栄化学工業 KK UL-4800, 以下 UL と略す)を用いて、5水準の圧縮比(0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2)および3~4水準の目標含脂率(5, 10, 15, 20%)、ただし PF ボードは15%までの3水準)で製造した低圧縮比ボードのはく離強さを JIS A 5908 に準じて測定した。1条件の試験片数は8片とし、試験片は20°C、65% RH の恒温恒湿室内で4週間以上調湿された後、供試された。なお、製造したボードの寸法、熱板温度、熱圧時間、原料小片樹種・形状等の製造条件は前報¹⁾に示したとおりである。また、ここでの圧縮比は前報¹⁾に示したように、含脂率に依存せずに実質的な小片の圧縮の程度が示せるよう定義されている。

2.2 水中浸せき処理後のはく離強さ試験

前報¹⁾の実験で行なった“水中連続浸せき時の厚さ膨潤試験”後の試験片(飽水状態)を40°Cで24時間乾燥後、20°C、65% RH の恒温恒湿室内で8週間以上調湿し(含水率7~8%)、JIS A 5908 に準じたはく離強さ試験に供した。この供試片は目標含脂率

3~4水準、圧縮比5水準で製造された PF および UL 両ボードから採取されたもので、1条件につき3試験片であった。なお、各製造条件のボードを25°Cの水中に1000時間浸せきした結果、Table 1 のような厚さ膨潤率 TSw (浸せき前の厚さを基準に算出)が得られ、乾燥・調湿後のはく離強さ試験時には厚さ回復がなされ、その厚さ膨潤率 TSd は同表のようになっている。ただし、UL ボード圧縮比1.2、目標含脂率5%の TSw, TSd が有意に小さい値となっているのは実際の含脂率が7.5%となったためである。実際の含脂率は樹脂塗布後の小片重量を測定することにより算出した。

3. 結果と考察

3.1 小片結合力に及ぼす圧縮比、含脂率および結合剤の種類の影響

Fig. 1 (a) は常態はく離強さ試験から得たボードの圧縮比と小片結合力の関係を含脂率、結合剤の種類別にプロットしたものである。UL ボードでは含脂率一定のとき、小片結合力はボードの圧縮比に対しほぼ直線的に増加しており、一方 PF ボードでは指数的にあるいは圧縮比1.0付近を境にその両側でそれぞれ直線的に増加する傾向があった。その回帰式を実際の含脂率別に求め、Table 2 および Fig. 1 (b) に示した。

Fig. 1 (b) より以下のことが認められる。まず結合剤の種類の影響を見ると、UL ボードが PF ボードに比べ著しく高い小片結合力を持ち、低圧縮圧でも強固な結合力を発揮するという UL 樹脂の特徴が現われている。次に含脂率の影響を見ると、UL ボードでは含脂率5%の場合、直線の傾きは緩やかで圧縮比増加による結合力の増加はさほど認められない

が、含脂率10%以上とすると直線の傾きは急増し、小片結合力は著しく増大した。一方、PF ボードの場合、圧縮比1.0以下では含脂率を15%まで上げて小片結合力は2 kg/cm²以下と小さい。しかしながら圧縮比を1.0以上とすると含脂率10%以上では傾きは急増し、含脂率による差は顕著となった。

JIS の規定によると、はく離強さは100, 150, 200タイプのボードでそれぞれ1.5, 2, 3 kg/cm²以上となっており、

Table 1. Thickness swellings of low-compactio ratio boards after water immersion treatment (TSw) and after subsequent drying (TSd).

Resin type	Target compaction-ratio	Thickness swellings (TSw, TSd, %)							
		Target resin content (%)							
		5		10		15		20	
		TSw	TSd	TSw	TSd	TSw	TSd	TSw	TSd
UL ^{a)}	0.8	11.4	4.2	9.2	2.6	7.7	1.2	8.0	1.2
	0.9	13.7	6.1	10.5	2.8	8.8	1.7	8.2	1.2
	1.0	17.9	10.2	11.2	3.7	9.9	2.6	9.2	1.8
	1.1	19.4	11.6	11.6	3.6	10.9	2.8	9.5	1.9
	1.2	12.8	5.1	12.6	4.5	10.9	3.0	10.2	2.0
PF ^{b)}	0.8	14.0	6.3	10.0	3.5	9.1	3.1	—	—
	0.9	13.9	6.5	12.1	5.1	10.4	3.5	—	—
	1.0	16.4	7.5	12.6	5.6	9.9	3.2	—	—
	1.1	21.1	12.2	13.2	5.4	10.2	3.0	—	—
	1.2	23.5	15.4	14.0	6.7	9.8	3.7	—	—

a): Isocyanate-compound resin bonded boards.

b): phenolic resin bonded boards.

Table 2. Coefficients of least-squares regression-equations concerning relationships between internal bond strengths (IB) and compaction ratios of boards (X) and between IB and minimum compaction ratios through the thickness of boards (Xmin).

Resin type ^{a)}	Resin content (%)	Range of X	Coefficient		Coefficient of correlation	Range of Xmin	Coefficient A ^{c)}
			A ^{b)}	B ^{b)}			
PF	5.5	0.70-1.00	4.20	2.75	0.98	0.57-0.82	5.12
	5.0	1.01-1.20	3.16	2.06	0.65	0.83-0.98	3.85
	9.6	0.73-1.04	5.18	3.48	0.94	0.60-0.85	6.32
	10.2	1.07-1.25	13.69	13.02	0.80	0.88-1.03	16.70
	14.9	0.77-0.98	4.88	2.92	0.93	0.63-0.80	5.95
UL	15.0	1.02-1.36	15.32	13.36	0.95	0.84-1.12	18.69
	4.8-5.2	0.74-1.09	1.87	0.49	0.77	0.63-0.93	2.21
	9.5-11.5	1.12-1.29	13.30	9.53	0.93	0.95-1.10	15.69
	9.2-10.1	0.77-1.26	11.34	6.85	0.94	0.65-1.07	13.38
	13.9-14.9	0.96-1.26	13.59	7.85	0.91	0.82-1.07	16.04
	18.9	0.77-0.94	18.10	11.59	0.90	0.65-0.80	21.36
	19.5-19.7	0.96-1.18	19.00	12.12	0.91	0.82-1.00	22.42
	23.9	0.77-0.93	23.41	15.12	0.96	0.65-0.79	27.62

a) : See footnotes a) and b) in Table 1. b) : $IB = AX - B \dots \textcircled{1}$.
 c) : $IB = A'X_{min} - B' \dots \textcircled{2}$
 Notes: $X_{min} = 0.82X$, PF board; $X_{min} = 0.85X$, UL board.

また日本繊維板工業会では構造用パーティクルボードのはく離強さとして 2 kg/cm^2 以上を推奨している。川井ら³⁾は UL 樹脂 10% 添加で低圧縮比ボードを製造した場合、はく離強さ 2 kg/cm^2 を得るための圧縮比 (ただし、この場合の圧縮比はボード比重/原料比重) の下限値を 0.8 と推定した。本実験で用いた小片 (平均寸法 $12.0 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$) は川井らが用いた小片 (平均寸法 $12.5 \text{ mm} \times 1.8 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$) より細長比が小さく若干形状が異なるが、Fig. 1 (b) より UL ボードでは含脂率 10% 以上としたとき、ボード圧縮比を 0.8 まで下げても 2 kg/cm^2 以上の結合

力を保持し、川井らとほぼ同等の結果となっている。PF ボードでは前述のようにボード圧縮比 1.0 以下で 2 kg/cm^2 以上の結合力を付与させることは困難と言えよう。ボード内層である程度の結合力を保持しなければ水平せん断破壊により曲げ強さ (以下 MOR) が低下するため、製造条件ははく離強さからの制約を当然受けるが、前報¹⁾の曲げ試験結果と Fig. 1 (b) を対照すると水平せん断破壊が観察されたほとんどのボードのはく離強さは 2 kg/cm^2 以下であるこ

とが認められた。曲げ荷重下でボードが水平せん断破壊するか否かは厚さとスパンの関係に影響されるが、この種のボードが厚物で使用されることを想定すれば、水平せん断破壊に対する十分な考慮が必要であろう。

3.2 厚さ方向の小片結合力分布

通常、はく離強さは内層中心付近の比重 (圧縮比) 最小部の小片結合力を示すと考えられる。したがって、直接の圧縮比と小片結合力の関係を知るには、Fig. 1 (b) の横軸をボードの圧縮比から内層中心部での圧縮比へと変換する必要がある。前報¹⁾で目標含

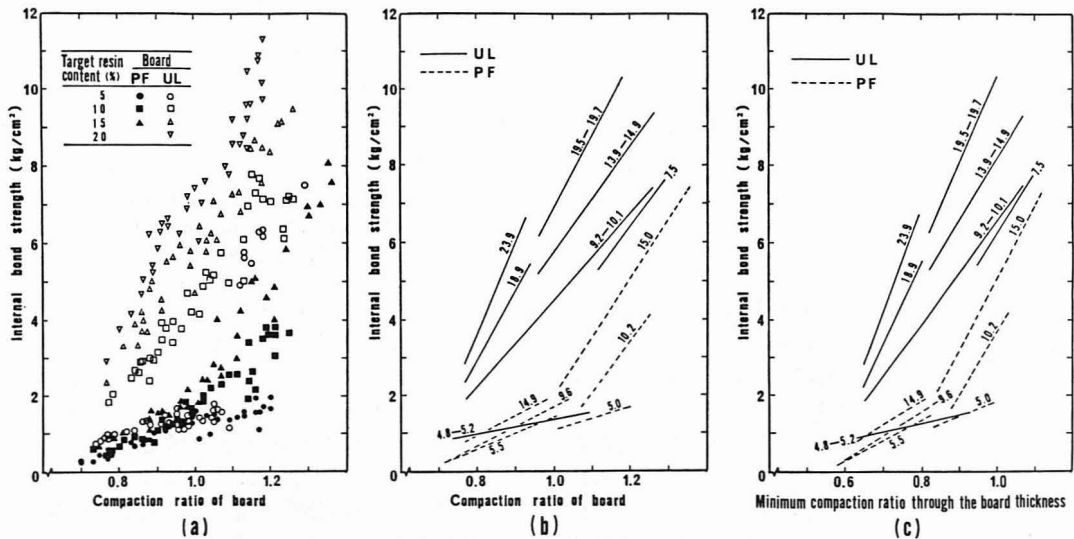


Fig. 1. Relationships between compaction ratios of boards and internal bond strengths (a, b), and between minimum compaction ratios through the board thicknesses and internal bond strengths (c).

Note: Values with regression lines show resin contents of boards (%).

脂率15%のPFボードおよび20%のULボードについて厚さ方向の圧縮比分布を示した。その分布プロットの内、内層中央付近の5~8プロットの平均圧縮比を内層部最小圧縮比とすると、圧縮比0.8, 0.9, ..., 1.2のPFボードでの内層部最小圧縮比は、ボード圧縮比のそれぞれ0.77, 0.83, 0.84, 0.80, 0.84倍となり、この倍率とボード圧縮比の間に明瞭な関係は認められず、平均0.82倍となった。同様にULボードでは0.87, 0.84, 0.86, 0.83, 0.83倍で平均0.85倍となった。他の含脂率条件でもこの倍率(平均値)で内層部最小圧縮比が算出できると仮定し、Fig. 1 (b)の横軸を直接の圧縮比に変換したものがFig. 1 (c)である。回帰直線の定数項は変わらず、傾きがPFボードで1/0.82倍、ULボードで1/0.85倍となり、これをTable 2の右欄に示した。次に目標含脂率15%のPFボードおよび20%のULボードについて、内層中心から表層までを10分割し、各層での平均圧縮比を前報¹⁾の圧縮比分布プロットより求め、これらをTable 2の②式に代入して各層での小片結合力を算出した。Fig. 2はその小片結合力の厚さ方向の分布を示したものである。ただし、小片結合力の算出に際しては回帰式の外挿によるものも含まれる。圧縮比と小片結合力にほぼ一次的な関係が認められたため、厚さ方向の小片結合力分布は圧縮比分布と類似しており、その値はULボードの方がPFボードに比べて著しく大きい事がFig. 2に認められる。両ボードで含脂率が異なるため直接的な比較はできないが、先に述べたように低圧でも高い結合力を発揮するUL樹脂の特徴が現われていると言えよう。

次に前報¹⁾で得られた曲げ性能との関係を検討した。一般に曲げ試験では引張り最外層から破壊が進展する場合が多く、水平せん断破壊は別とすれば、最外層での小片結合力がMORの支配因子になると考えられる。そこで、ボード表層付近で得られた層内の最大小片結合力とMORおよび曲げヤング係数(以下MOE)の関係を調べFig. 3, Fig. 4に示した。ただし、目標含脂率5, 10, 15%のULボードでは厚さ方向の圧縮比分布を各圧縮比のボードで目標含脂率20%の場合と同一と仮定し、Table 2②式より最大小片結合力の算出を行ない、PFボードの場合もこれに準じた。Fig. 3より、ボード表層付近で得られた層内の最大小片結合力とMORとの間には正の相関が認められ、全プロットから求めた相関係数は0.91となった。これより、表層付近の小片結合力はMORを左右する重要な因子である事が確認できるが、Fig. 3を詳しく見ると、同じ小片結合力でもボー

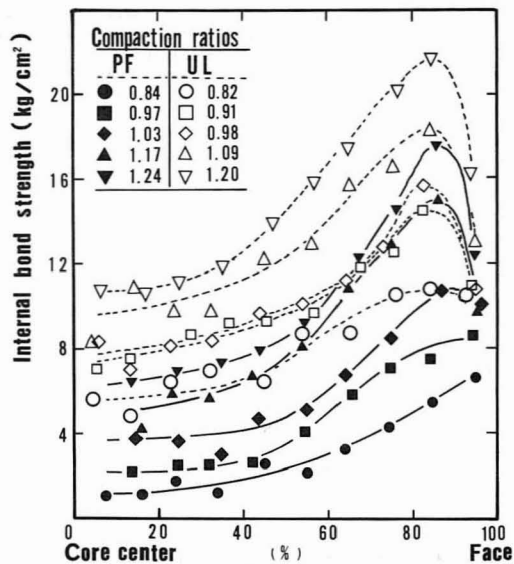


Fig. 2. Internal bond strength profiles through the thicknesses of PF boards (resin content; 15 percent) and UL boards (resin content; 20 percent).

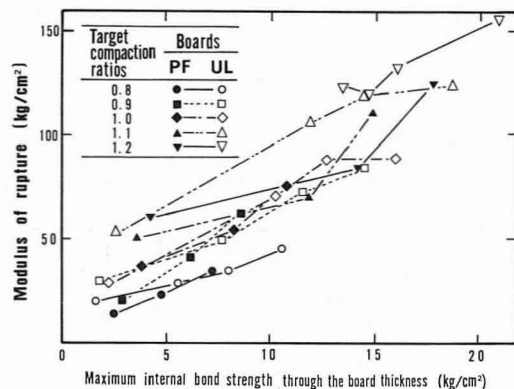


Fig. 3. Relationships between modulus of rupture and maximum internal bond strengths through the thicknesses of boards.

ド圧縮比が大きい程MORは大きくなる傾向が認められた。この原因としては小片結合力算出時の推定誤差も含まれようが、以下のような推測も可能であろう。すなわち、はく離強さ試験から求めた小片結合力はボード厚さ方向の“荷重伝達回路”⁴⁾の量と質の総和であるのに対して、MORはボードの層に平行な“荷重伝達回路”の量と質の総和が関与する。小片結合力すなわちのはく離強さが同一であっても圧縮比増加によってパッキングが密になればボード層に平行な“荷重伝達回路”の総量は増し、これがMORの増加をもたらすと推測される。Fig. 4より、

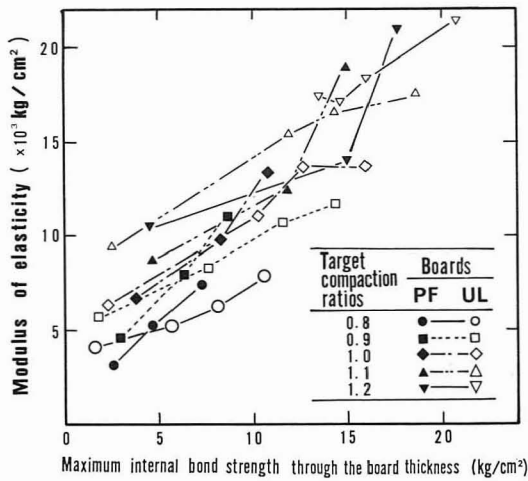


Fig. 4. Relationships between moduli of elasticity and maximum internal bond strengths through the thicknesses of boards.

層内最大小片結合力と MOE の間にも正の相関が認められ、その相関係数は 0.90 となった。MOR の場合と同様に、同一小片結合力では圧縮比が大きい程 MOE は大きくなる傾向が認められた。その一因として、MOR の場合と同様なボード層に平行な“荷重伝達回路”の総量の差が考えられよう。

3.3 小片結合力の耐水性

水中浸せき処理後のはく離強さ試験から得たボード圧縮比と小片結合力の関係を Fig. 5 に示した。常態時と同様、各含脂率で両者の間に直線関係(PF ボードでは圧縮比 1.0 を境として)認められ、Table 3 にその回帰式を示した。この回帰式および Table 2 の回帰式①を用いて各圧縮比・含脂率条件での小片結合力の残存率を算出し Table 4 に示した。ここで、試験片は浸せき処理後に乾燥過程を経ているため、

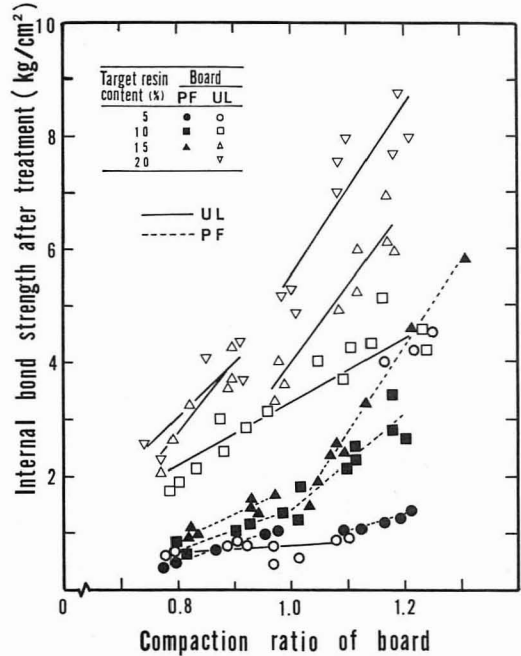


Fig. 5. Relationships between compaction ratios of boards and internal bond strengths after being subjected to water immersion and drying treatments.

その残存率は乾燥による結合点の強度回復⁴⁾または乾燥過程での収縮応力による新たな結合点破壊という正負両方の要因による若干の増減を含むと推察されるが、根本的な強度低下は湿润時に生じる小片のセット回復および膨潤による内部応力と小片結合力の優劣により決定されよう。このような観点から以下の事が Table 4 より考察された。

- 1) 同一含脂率条件では、残存率は圧縮比が増加する程小さくなる傾向あるいは圧縮比によらずほぼ一定となる傾向が認められた。圧縮比の低減は小片結合力の低下を招くが、それと同等あるいはそれ以上に内部応力を軽減させていると解釈される。
- 2) 同一圧縮比条件では、含脂率5%から10%への増加によって比較的大きな残存率の増加が認められた。圧縮比一定のもとでは発生する内部応力がほぼ一定であるのに対し、含脂率増加によって結合点数がふえ小片結合力が増加したためであろう。
- 3) 同一含脂率・圧縮比条件で結合剤の種類による残存率の差を

Table 3. Coefficients of least-squares regression-equations concerning relationships between internal bond strengths (IB) and compaction ratios of boards (X) after water-immersion treatment.

Resin type ^{a)}	Resin content (%)	Range of X	Coefficient		Coefficient of correlation
			A ^{b)}	B ^{b)}	
PF	5.5	0.77-0.98	3.09	1.97	0.99
	5.0	1.10-1.21	3.20	2.50	0.99
	9.6	0.80-0.98	3.71	2.30	0.96
	10.2	1.01-1.20	8.42	7.00	0.88
	14.9	0.82-0.97	4.79	2.98	0.91
UL	15.0	1.03-1.31	15.19	13.99	0.99
	4.8-5.2	0.78-1.10	0.46	-0.31	0.31
	9.2-10.1	0.79-1.24	5.49	2.21	0.86
	13.9-14.9	0.97-1.18	13.62	9.69	0.95
	18.9	0.77-0.90	12.37	7.19	0.93
	19.5-19.7	0.99-1.21	15.26	9.78	0.89
	23.9	0.74-0.91	8.81	4.04	0.85

a): See footnotes a) and b) in Table 1.
b): IB = AX - B

Table 4. Retention of internal bond strength after being subjected to water immersion and drying treatment.

Resin type ^{a)}	Target resin-content (%)	Retention of internal bond strength (%)				
		Compaction ratios of boards				
		0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
PF	5	82	79	77	72	77
	10	101	88	83	111	91
	15	87	90	92	78	84
UL	5	67	61	56	52	63 ^{b)}
	10	98	81	73	68	65
	15	94 ^{b)}	84 ^{b)}	68	75	79
	20	83 ^{b)}	65 ^{b)}	80	80	80

a): See footnotes a) and b) in Table 1.

b): Resin contents of boards differed by 2-4 percent from targets.

見ると、条件によりばらつきはあるが、概してPFボードの残存率の方が高くなっており、耐水性に優れたPF樹脂の特徴が現われている。

以上のように小片結合力の残存率、すなわち耐水性は種々の製造因子に影響されるが、圧縮比を低下させても残存率は減少することなくむしろ増加する場合もあることが認められた。

次に、はく離強さ試験時の厚さ膨潤率TSdと残存率の関係をFig. 6に示した。厚さ膨潤の残留は結合点切断の結果であり強度残存率の指標と成り得ようが、はく離強さに関してはFig. 6に見るように供試ボード全体でのTSdと残存率との関連性は大きいとは言えない。特に結合剤の種類による差は明瞭である。このように、はく離強さの測定された内層中心部の劣化状態をTSdが直接に示し得ないのは、低圧縮比ボードの場合、より圧縮比の高い表層部の膨潤がボード厚さ全体の膨潤率を支配するためと解釈され、また、Fig. 6に見る結合剤による差は主にPF、

UL両ボードでの厚さ方向の圧縮比分布の差に起因すると推測される。一方、ULボードのみに注目すれば、座標(0.100)を通り、残存率50%付近に漸近線を持つ曲線関係が成立すると見てよかろう。この関係が前報¹⁾で示したMOR残存率-厚さ膨潤の関係と酷似することは興味深い。

4. まとめ

低圧縮比ボードはその小片結合力が圧縮低下に伴い減少するため、構造用面材として必要な小片結合力(はく離強さ)を得るためには、結合剤の種類やその添加率に応じて圧縮比低減限度の制約を受けた。また、ボード表層付近の最大小片結合力と曲げ性能との間に高い相関関係が認められ、両者の関係には圧縮比が関与する事がわかった。次に、小片結合力の耐水性をその残存率で評価した場合、圧縮比低下による耐水性の低下は認められず、むしろ向上する場合もある事が明らかとなった。

謝 辞

本研究を行なうに当たり、パーティクルを提供して頂いた東北ホモボードKK、接着剤を提供して頂いた群栄化学工業KK、大鹿振興KKに対し厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 関野 登：木材学会誌, 33 (6), 464-471 (1987).
- 2) 斎藤藤市, 杉山 学：同上, 26(1), 1-5(1980).
- 3) 川井秀一, 佐々木光：同上, 32 (5), 324-330 (1986).
- 4) 関野 登, 大熊幹章：同上, 33 (2), 120-126 (1987).

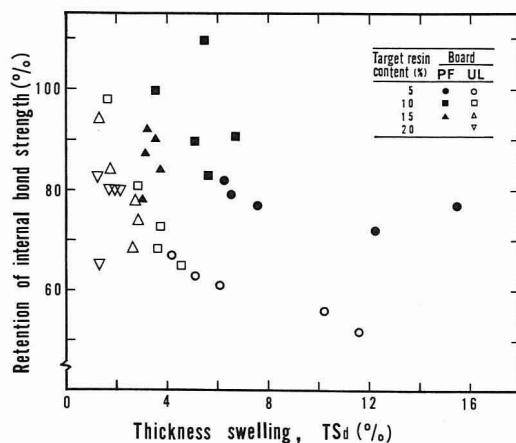


Fig. 6. Relationships between thickness swellings and retentions of internal bond strengths.