

粉末フェノール樹脂接着剤を用いたパーティクルボード

梶田 熙・椋代純輔・矢田茂樹

HIROMU KAJITA, JUNSUKE MUKUDAI and SHIGEKI YATA

Particleboards with powdered phenolic resin adhesive

要旨：市販の粉末フェノール樹脂接着剤を用いて 10 mm 厚単層ボードを製造し、ボードの材質に及ぼすマット含水率と含脂率の影響について検討した。予備実験として行った合板の製造試験によると、気乾含水率の単板は勿論のこと、含水率23%の単板でも粉末接着剤を用いて通常の方法で接着可能であり、接着剤の散布量 70~80 g/m² で良好な接着力が得られる。粉末接着剤を用いて製造したボード（粉末ボード）の MOR と MOE は、いずれの含脂率の場合もマット含水率が増加するとともに増大し、含水率20%で最大値となり、またはく離強さも同様な傾向を示した。これは、接着剤がパーティクル表面に均一に付着するとともに、含有水分の一部が接着剤の溶解と硬化反応に、残りの水分が熱圧縮によるパーティクルの塑性化、圧密に有効に作用したことによると考えられる。一方、液状接着剤によるボード（液状ボード）の曲げ性能は、含脂率の増加によって増大するが、その上昇率は低含脂率域（5~10%）で顕著である。

結 言

一般に、パーティクルボードを製造するに際しては、接着剤として液状のものが用いられている。この場合、接着剤添加後のマット含水率が上昇するので、接着剤添加前のパーティクルの含水率をかなり低くしておく必要がある。例えば、不揮発分50%の接着剤を用いて、含脂率10%、ワックス（50%エマルジョン）0.5%、圧縮時のマット含水率を10%として比重0.7のボードを製造する場合には、原料パーティクルの含水率を0.5%まで低下させておく必要がある。しかし、接着剤として粉末樹脂を用いれば、原料パーティクルの含水率が高くてもボード製造が可能と考えられ、ボード製造コストに占める乾燥費の節減が可能となろう。

そこで、本実験では市販されている粉末接着剤を用いて単層ボードを製造し、ボードの材質に及ぼすマット含水率と含脂率の影響について検討した。なお、供試接着剤は、水を加えて液状として合板製造に用いる

ものであるが、粉末接着剤をそのまま用いて3プライ合板を製造し、その接着性能についても検討した。

実 験 方 法

1. 供試接着剤

供試接着剤は、ノルウェー製の合板用フェノール樹脂接着剤 (Dynosol S-576, Dyno Industrier) で、本接着剤は硬化剤 (H-632) と混合して水溶液として使用するものである。主剤 (S-576) は褐色の粉末で球状のものが多く、恐らくスプレードライされたものとみられる。粒度分布を調べた結果、100~200 mesh のものが89%を占めており、また GPC による数平均分子量は 500~600 であった。水への溶解性は非常に良好であり、吸湿性もかなり高い (Fig. 1-a)。また主剤を水溶液とした場合の粘度を B 型粘度計で測定したところ、不揮発分45%で 25 P であった (Fig. 1-b)。なお、ボード製造に際して、比較のため、主剤を液状にしたものも供試したが、スプレーガンでの接着剤添加の容易さから、不揮発分40% (粘度 8 P) のものを用

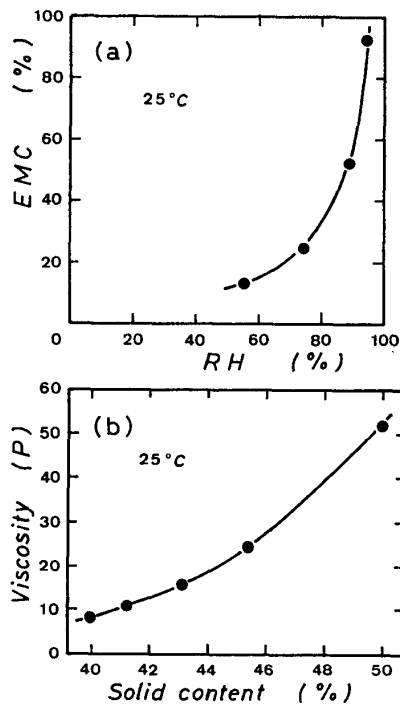


Fig. 1. Hygroscopicity of powdered phenolic resin (a) and viscosity of liquid phenolic resin (b).

いた。この場合の pH は 11.6 であった。

2. 合板の製造と接着力試験

本接着剤の使用書によると、Table 1. 中の A の配合割合（この配合接着剤中の樹脂不揮発分は 38.5% となる）が推奨されている。しかし、粉末接着剤を用いて合板やボードを製造する場合、主剤と硬化剤を混合して使用するのには、配合状態などの問題が生じる。そこで、まず本接着剤が合板用としてどの程度の接着性能をもつか、また、硬化剤を添加しなかった場合（Table 1. の B）の接着性能について検討した。供試単板は、2 mm 厚レッドセラヤ (*Shorea* spp., 気乾比重 0.51, 含水率 9.3%) で、3 プライ合板を製造した。接着剤の塗布量は、配合 A の場合片面 180 g/m²（樹脂分 69.3 g）、配合 B の場合は、塗布量中に配合 A と同量の樹脂分が含まれるようにして 125 g/m² とした。熱圧条件は、150°C, 10 kgf/cm², 5 分とした。

また、単板含水率を 11, 17, 23% の 3 水準、接着剤散布量を 50, 100, 150, 200 g/m² の 4 水準として、

Table 1. Mixing ratio.

	A	B
Dynosol S-576	100 parts	100 parts
Hardener H-632	60	0
Water	100	80

主剤 (S-576) の粉末接着剤だけを用いて、上記と同一の熱圧条件で 3 プライ合板を製造した。

なお、接着力試験は、JAS に準じて常態および煮沸繰返し試験を行ない、各条件当り 15 個の試験片とした。

3. パーティクルボードの製造と材質試験

供試材は、スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don, 本学大野演習林産) 間伐材で、樹齢 15 年、気乾比重 0.35 である。ディスクフレカで 0.5 × 10 × 50 mm の大きさのフレックにした後、ハンマーミルで 0.5 × 3.2 × 48 mm のストランドパーティクルとした。その後 60°C の熱風乾燥機で乾燥し、含水率 2 ~ 3% とした。そして、接着剤散布前の含水率を 10, 13, 16, 20% となるように調湿した後、散布量を 5, 8, 10, 15% の 4 水準として、粉末接着剤 (S-576) をパーティクルに均一に分布するように注意して散布した。

一方、比較のため、主剤 (S-576) を水に溶解して 40% 濃度とした液状接着剤を調製し、上記粉末接着剤の場合と同一の含水率および含脂率条件で噴霧塗布した。なお、この場合パーティクルの含水率が上昇するので、塗布後のパーティクルを風乾して塗布前の含水率にもどした。

このようにして接着剤を散布あるいは塗布したパーティクルを目標ボード比重 0.7 として、均一になるように注意して手でマットホーミングした後、180°C, 35 kgf/cm², 8 分の条件で熱圧し、10 mm 厚の単層ボードを製造した。各条件当り 2 枚として、合計 64 枚のボードを製造した。なお、粉末および液状接着剤を用いて製造したボードを、以後それぞれ粉末ボード、液状ボードという。

材質試験は、含水率、常態および湿潤時 (JIS の B 試験) 曲げ性能、はく離強さ、吸水厚さ膨張率について行った。曲げ試験片の寸法は 50 × 200 mm で、スパン 150 mm とした。その他の試験片の寸法は 50 × 50 mm である。なお、いずれも試験片数は 6 個である。

結果および考察

1. 合板の接着性能

Table 1. に示した配合割合 A と B の接着剤による合板の常態接着性能を Table 2. に示したが、接着力は両者の間に有意の差は認められない。したがって、硬化剤 (H-632) を添加する必要はないとみてよい。次に粉末接着剤 (S-576) だけを用いて合板を製造し、その接着力試験結果を Fig. 2. に示した。接着剤散布量を一定とした場合、常態および湿潤接着力と

Table 2. Bonding strength of plywood.

Adhesives	Bonding strength (kgf/cm ²) (Wood failure, %)
A	11.1 ± 1.5 (63)
B	11.5 ± 1.0 (48)

Red seraya, 2-mm thick veneer, 3-ply 150°C, 10 kgf/cm², 5 min.

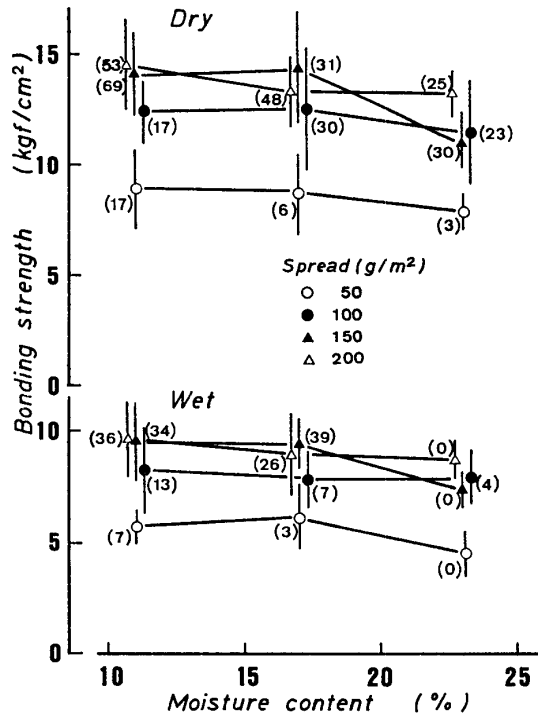


Fig. 2. Effects of moisture content of veneer and spread of adhesive on bonding strength of three-ply plywood (Powdered phenolic resin adhesive). Value in parenthesis is wood failure (%).

もに、単板含水率が増加してもあまり大きな変化はみられない。一方、接着剤散布量が増加するとともに接着力が大きくなるが、150 g/m² と 200 g/m² では有意の差は認められない。散布量 50 g/m² の湿潤接着力は小さく、JAS (7 kg/cm² 以上) に合格せず、また常態の木破率も小さい。JAS に合格するには、70 ~ 80 g/m² の散布量が必要で、この場合には単板含水率 10 ~ 23 % 程度でも良好な結果が得られる。なお、不揮発分 60% の樹脂液に小麦粉や水、硬化剤を配合した液状接着剤中の樹脂不揮発分を 35% とした場合、塗布量 200 g/m² とすると、その中の樹脂は約 70 g/m² となり、上記の値とほぼ一致することは興味深い。以上、粉末接着剤を用いれば、23% という高含水率単板でも十分合板が製造可能であり、特に液状のフェノール樹

脂接着剤でみられる接着剤の浸透による合板表面の汚染も生じない。しかし、粉末接着剤を木材表面に均一に散布する方法について検討する必要がある。

2. パーティクルボードの性能

材質試験の結果を Table 3. に示した。粉末および液状ボードの密度は、それぞれ 0.70 ± 0.05, 0.71 ± 0.05 で、両者間で有意の差は認められなかった。また、2 因子 4 水準、繰返し 6 回としたときの各材質の 2 元配置法による分散分析した結果を Table 4. に示した。

Fig. 3. は、曲げ強さに及ぼすマット含水率と含脂率の影響を示している。粉末ボードについてみると、含水率を一定とした場合、含脂率が増加しても曲げ強さはほとんど変化せず、含脂率間で有意の差は認められない。一方、含脂率を一定とした場合には、マット含水率が増加するとともに曲げ強さが増大し、含水率 20% の場合の曲げ強さは、含水率 10% のその約 1.5 から 1.9 倍となる。なお、予備的に実験したところ、この粉末接着剤は水分のない状態で加熱 (180°C) しても皮膜を形成せず、接着層を形成するには水分が必要である。パーティクルの含水率が 20% の場合は、粉末接着剤がパーティクル表面に均一に付着するとともに、含有水分の一部が接着剤の溶解と硬化反応に、残りの水分が熱圧縮によるパーティクルの塑性化、圧密、すなわち、ボードの厚さ方向の密度分布の形成に有効に作用したものと考えられる。ちなみに、含水率 5% としてボードの製造を試みたが、ほとんど強度をもつに至らず、また含水率を 20% 以上になると一段圧縮ではパンクを生じ、圧縮法の改善が必要である。なお、粉末ボードの含水率 20% の常態曲げ強さは、液状ボードの含脂率 5% のそれに相当する値を示している。

Fig. 3. には、湿潤時の曲げ強さの結果も示したが、常態のそれとほぼ同様の傾向が認められ、常態曲げ強さに対する湿潤時のその残存率は、含水率 20% - 含脂率 8% の組合せを除いて 50% 以上であり、平均 64% であった。

液状ボードの場合には、含脂率が 5% から 8 ~ 10% まで増加すると全体的に曲げ強さが大きくなり、特に含水率 10% の場合、含脂率が 5% から 10% に増加すると、曲げ強さが約 4 割大きくなっている。分散分析した結果 (Table 4.) によると、含脂率は 1% の危険率で有意の差が認められ、含脂率 5% の曲げ強さと 8, 10, 15% のそのの間には危険率 1% で有意差があるが、含脂率 8 ~ 15% 間では有意差は認められない。なお、鋸屑を原料としたボード¹⁾ やフレークボード²⁾³⁾

Table 3. Physical and mechanical properties of single-layer particleboards.

Mat moisture content (%)	Resin content (%)	Density (g/cm ³)	Moisture content (%)	MOR (kgf/cm ²)	MOE × 10 ³ (kgf/cm ²)	IB ¹⁾ (kgf/cm ²)	TS ²⁾ (%)
Powder phenolic resin adhesive (S-576)							
10	5	0.68(6)	7.2(11)	155(27)	24.7(23)	1.7(40)	50.9(6)
	8	0.67(7)	6.9(9)	164(25)	20.3(13)	1.9(48)	43.9(18)
	10	0.67(9)	6.8(10)	220(29)	26.9(21)	2.1(40)	39.4(15)
	15	0.69(11)	7.1(8)	202(23)	22.7(18)	2.6(45)	38.0(25)
13	5	0.69(7)	7.1(11)	200(23)	24.6(12)	2.1(30)	47.3(23)
	8	0.71(6)	7.2(11)	258(12)	31.9(10)	2.5(29)	34.8(27)
	10	0.70(10)	7.2(4)	213(23)	28.8(20)	2.5(22)	34.7(18)
	15	0.70(6)	7.1(4)	221(13)	26.2(22)	3.5(28)	29.0(29)
16	5	0.72(4)	7.1(11)	237(18)	31.4(11)	2.1(23)	36.6(28)
	8	0.70(7)	7.3(9)	238(7)	29.9(8)	2.7(15)	30.3(34)
	10	0.71(11)	7.5(7)	251(34)	30.3(24)	2.5(29)	31.1(27)
	15	0.72(10)	7.3(11)	233(29)	27.2(12)	3.0(15)	28.9(18)
20	5	0.70(4)	7.4(3)	298(17)	33.1(14)	5.6(22)	19.5(10)
	8	0.73(5)	6.9(11)	291(15)	33.9(15)	3.6(23)	23.2(26)
	10	0.73(7)	7.1(8)	331(17)	38.9(17)	5.5(12)	16.7(21)
	15	0.69(9)	6.9(9)	297(17)	30.6(14)	4.4(25)	19.8(6)
Liquid phenolic resin adhesive							
10	5	0.69(9)	7.5(2)	255(14)	27.1(13)	1.8(27)	30.6(22)
	8	0.71(7)	6.9(11)	292(14)	31.0(14)	7.3(17)	31.4(18)
	10	0.74(4)	7.4(8)	356(8)	37.9(20)	8.6(14)	29.6(13)
	15	0.72(7)	7.4(11)	342(23)	33.0(21)	12.3(6)	18.6(12)
13	5	0.69(7)	7.3(8)	283(19)	30.0(21)	4.3(13)	23.8(14)
	8	0.74(5)	6.9(9)	326(16)	32.5(19)	7.8(16)	25.5(14)
	10	0.71(6)	7.2(8)	334(10)	34.9(12)	7.7(18)	23.4(11)
	15	0.69(7)	7.3(8)	354(8)	37.7(3)	9.7(18)	16.8(20)
16	5	0.73(5)	6.7(5)	300(10)	33.3(8)	6.5(13)	29.4(16)
	8	0.73(7)	6.8(9)	363(20)	39.4(16)	9.7(15)	21.1(12)
	10	0.75(5)	6.9(5)	394(9)	44.7(9)	10.7(12)	19.6(22)
	15	0.74(8)	7.0(12)	344(14)	40.3(15)	12.2(13)	18.9(18)
20	5	0.69(4)	7.1(6)	287(15)	32.2(11)	6.7(14)	18.2(9)
	8	0.69(7)	7.1(6)	335(20)	36.1(20)	9.7(14)	18.2(11)
	10	0.71(7)	6.9(7)	336(12)	35.4(11)	12.1(10)	17.3(13)
	15	0.71(8)	6.8(12)	353(27)	38.9(23)	13.5(14)	14.5(6)

Each value is average of 6 observations. Value in parenthesis is coefficient of variation in percent.

1) Internal bond strength, 2) Thickness swelling after 24 hours water soaking.

でも、含脂率の増加による曲げ強さの上昇率が低含脂率の領域(2~10%)において顕著であるが、それ以上では次第に顕著でなくなるという本実験と同様の傾向を示している。

圧縮直前に、液状接着剤を添加したパーティクル表

面での接着剤の付着状態を光学顕微鏡で観察したが、含水率および含脂率が高いほど、接着剤がパーティクル表面に拡がっており、また、各含水率に調湿したパーティクル表面での接着剤の接触角を経時的に測定したところ (Fig. 4)、含水率が高いほど滴下直後の接触

Table 4. F-values from analyses of variance.

	d.f.	MOR	MOE	IB	TS
Powder phenolic resin					
Mat moisture content (MC)	3	20.52**	19.69**	44.55**	36.67**
Resin content (RC)	3	1.37	3.67*	3.03*	6.06*
MC × RC	9	0.90	1.70	3.12	1.09
Error	80	—	—	—	—
Liquid phenolic resin					
MC	3	3.30*	8.41*	28.40**	31.24**
RC	3	10.42**	10.11**	99.70**	22.30**
MC × RC	9	1.08	0.96	3.18**	3.52**
Error	80	—	—	—	—

* 95 percent level of significance.

** 99 percent level of significance.

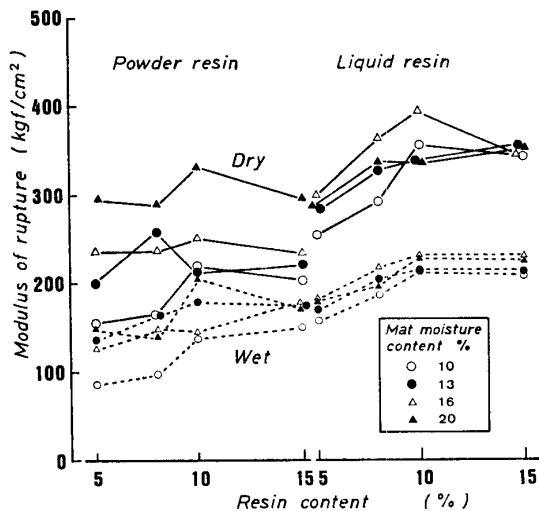


Fig. 3. Effects of resin content and moisture content on modulus of rupture in bending.

角が小さいことが明らかになった。なお、本実験の場合、熱圧直前のマット含水率を接着剤塗布時の含水率にもどすため、塗布後に風乾したが、その間に接着剤がパーティクル内部に浸透し、いわゆる含浸処理された状態で熱圧され、そのことも影響して全体的に曲げ強さが大きくなったとも考えられる。

湿潤時の曲げ強さは、含脂率10%まで増加し、それ以後の変化が小さいという傾向が顕著であり、また常態曲げ強さに対する湿潤時のその残存率は平均62%であった。

はく離強さの結果は Fig. 5. に示したが、粉末ボードの含水率10~16%のはく離強さは、含脂率の増加とともに漸増する。また、この含水率範囲内では含水率による影響は小さいが、含水率20%の場合のはく離強

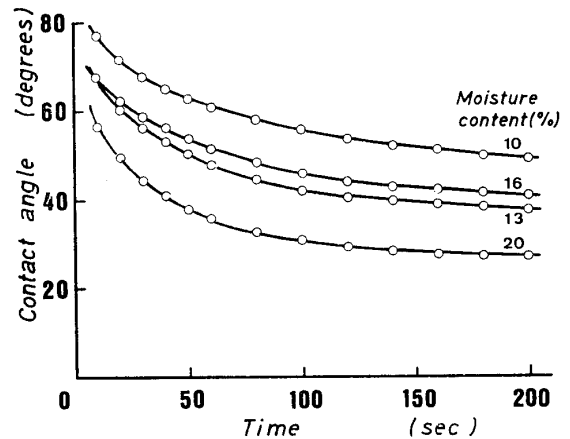


Fig. 4. Change of contact angle of liquid phenolic resin of strand particle with elapsed time.

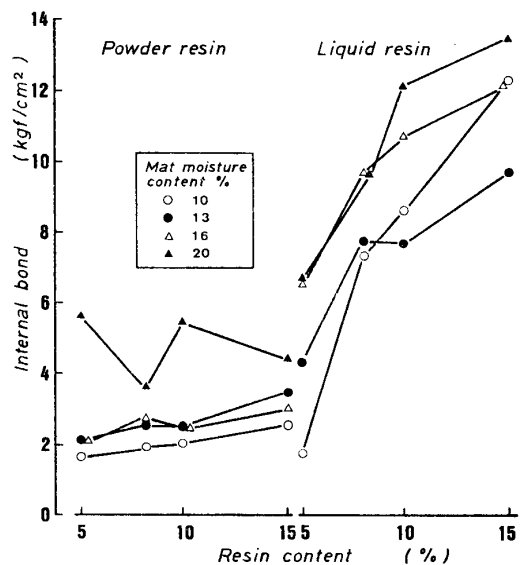


Fig. 5. Effects of resin content and moisture content on internal bond strength.

さは4~6 kgf/cm² になり、液状ボードの含水率13%—含脂率5%のそれに相当する値を示している。この含水率20%での含脂率とはく離強さの傾向は、曲げ強さの傾向とよく対応しており、前記したように、マット含水率20%の場合、粉末接着剤が各パーティクルに付着しやすいこと、また熱圧時にパーティクル中の水分が接着剤の硬化とパーティクルの可塑剤として有効に作用し、パーティクル相互の密着性が良好となったことによると考えられる。液状ボードの場合は、含水率および含脂率の増加とともに、はく離強さが大きくなり、マット含水率10%の場合、含脂率5%から15%に増加すると、はく離強さは約7倍となる。なお、Lehmann³⁾ はダグラスファーのフレーク状パーティクルにユリア樹脂を用いてはく離強さに及ぼす含脂率の影響を検討しているが、それによると、曲げ強さは含脂率8%までは含脂率が増加するとともに増大するが、それ以上では頭打ちであること、またはく離強さは、本実験結果と同様、含脂率の増加とともに増大するとしている。

Fig. 6. は、吸水厚さ膨張率の結果を示している。一般に、マット含水率が適当に高い方がパーティクルに柔軟性を与え、パーティクル相互間の密着性が良好となり、接着剤の硬化作用を阻害しない範囲で寸法安定性を良好にするといわれており、含水率の増加とともにボードの吸水率および厚さ膨張率が減少する傾向を示す⁴⁾。また含脂率は、他のボード製造因子よりもボードの寸法安定性に著しい影響を及ぼすとされている⁵⁾。本実験においても、粉末ボードのマット含水率および含脂率が増加するとともに厚さ膨張率は低下し、特に含水率10~16%で含脂率が5%から8%に増加した場合の厚さ膨張率の低下割合が大きい。な

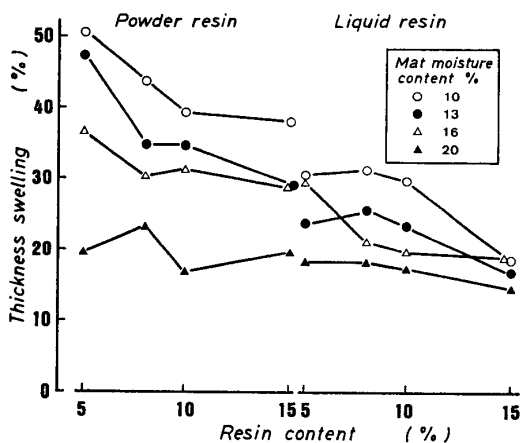


Fig. 6. Effects of resin content and moisture content on thickness swelling after 24 hours water soaking.

お、含水率20%の厚さ膨張率は最も低い値を示しているが、これははく離強さが大きかったことが原因しているものと考えられる。

液状ボードの場合も、粉末ボードと同様、マット含水率および含脂率の増加にともなって吸水厚さ膨張率は減少するが、含脂率5~10%のボードの場合のマット含水率の増加による厚さ膨張率の減少は、含脂率15%のそれに比べて顕著である。前記したように、液状ボードの場合は、風乾中にパーティクル内部に接着剤が一部浸透したと考えられ、また接触角の経時変化 (Fig. 4.) から明らかなように、含水率が高いほどパーティクル内部への接着剤の浸透が容易であると考えられる。したがって、マット含水率20%の場合、熱圧時の水分によりパーティクルが可塑化され、パーティクル相互の密着性が改善されて接着されると同時に、パーティクル内部に浸透した樹脂の硬化が吸水厚さ膨張率を抑制したものと考えられる。満久ら⁵⁾ はユリア樹脂接着剤の粘度を変えた場合の含脂率と吸水厚さ膨張率について検討している。それによると、含脂率の増加とともに厚さ膨張率が直線的に減少し、同一含脂率とした場合、粘度が低い接着剤ほど厚さ膨張率は小さくなる。そして、添加したユリア樹脂が、パーティクル相互間の接着剤としての役目を果たす他に、パーティクル内部に浸透した後、硬化して、スプリングバックの現象を抑制したとしている。

なお、吸水厚さ膨張率とはく離強さを比較してみると、粉末および液状ボードともに、はく離強さの大きいボードは吸水厚さ膨張率が小さいという傾向が認められる。

以上の結果より、粉末接着剤を用いてパーティクルボードを製造する場合には、マット含水率を約20%とすれば含脂率5%でも材質の良好なボードを製造可能で、材質的には液状ボードのそれに十分に匹敵するものである。このことは、含水率を20%にすれば、各パーティクル表面に粉末接着剤が均等に付着しやすいこと、熱圧時にパーティクルの水分が粉末接着剤の硬化とパーティクルの可塑剤として有効に作用していると考えられる。このように、粉末接着剤を使用する場合には、液状接着剤の場合のように、接着剤添加前のパーティクルを低含水率(2~4%)まで乾燥する必要もないので、乾燥に要するエネルギーの節約になり、また接着剤の保存性やその輸送の容易さなど有利な面を有している。しかし、粉末接着剤のパーティクルへの添加方法、あるいはパーティクル表面に接着に必要な分だけ接着剤をいかに均一に付着させるかなどの点についてさらに検討する必要がある。

なお、本実験に供した接着剤をご提供いただいた日本合板技術研究所岩田 優氏、豊年製油（株）山田哲夫氏、接着剤の分子量分布を測定していただいた東京大学農学部富田文一郎氏、また実験にご協力いただいた柳原一隆氏（現、インターフィールドコーポレーション日本支社）の各位に感謝の意を表す。

引用文献

1) Gottostein J. W. (1950) : Forest Products

- Research Society Proceedings, **4**. (original not seen, referred to by Kadita S. (1961) "Mokuzai Kohgaku", Yokendo, Tokyo, p. 718.)
- 2) Lehmann W. F. (1965) : For. Prod. J., **15** (4) 155-161
- 3) — (1970) : *ibid*, **20** (11) 48-54
- 4) Maku T. and Hamada R. (1955) : Wood Res., **15**, 38-59
- 5) —, — and Sasaki H. (1959) : *ibid*, **21**, 34-46

Summary

Ten-millimeter-thick single-layer particleboards were made with (a) powdered and (b) liquid phenolic resin adhesives, and the effects of moisture content of particles and resin content on physical and mechanical properties of the boards were investigated. The strand particles (0.5×3.2×48 mm) were prepared from thinnings of Sugi (*Cryptomeria japonica*). The press time was 8 minutes at 180°C and the pressure was 35 kgf/cm². Target density of the board was 0.7 g/cm³.

Values for MOR and MOE of the (a) boards increased sharply with increase in moisture content at all resin contents and the best results were attained with 20% moisture content (max.). This quantity of moisture is necessary to hold the

powdered resin on particles, to effect adequate bonding of particles by the adhesive and also to plasticize wood. On the other hand, those of the (b) boards increased sharply with increase in resin contents from 5% to 8~10% and reached optimum levels between 10 and 15% resin content. The same results were apparent for internal bond, except that the reveling-off tendency was less apparent. An advantage in using the powdered resin adhesive is that the moisture content of particles does not have to be lowered to 2 to 4% level. And also the powdered resin have many advantages: longer life, ease of transportation, *etc.*