木質セメント複合材の吸水特性[†]

茅 原 正 毅* 中 川 宏**

Characteristics of Water Absorption of Wood-Cement Composites

by

Masaki KAYAHARA and Hiroshi NAKAGAWA

(Wood Products Research Institute Toyama Prefecture, Toyama)

The characteristics of water absorption of wood-cement composites were investigated, comparing with those of particle board.

The results obtained are as follows:

(1) The water absorption of wood-cement composites was smaller than that of particle board. But up to about ten hours the water absorption of wood-cement composites was larger than that of particle board.

(2) The coefficient of thickness swelling of wood-cement composites was $1/2 \sim 1/3$ of particle board. The reasons why that of wood-cement composites was small, are considered as follows: ① The wood content of wood-cement composites is smaller than that of particle board. ② The pressure intensity of pressing for making wood-cement composites is lower than that for making particle board. ③ On absorbing water, the recovering force of compressive strain in wood-cement composites is smaller than that of particle board, because the wood moisture content of wood-cement composites is high at the time of making them.

(3) On absorbing water, the bond durability between wood and cement is a little smaller than that between wood and synthetic resin adhesive such as phenolic resin adhesive.

(Received Dec. 8, 1982)

キー・ワード：木質セメント複合材，パーティクルボード，吸水率，厚さ膨張率

1 緒 言

木質系建築材料にとって，水分を吸収したさいの寸法変化は，反り，曲り，ひび割れなどの原因になるため，外装材料としてはもちろんのこと，内装材料としても寸法安定性の良さが要求されている。

木毛，木片セメント板，木片セメントブロックなど，木質セメント複合材は従来から防火性，断熱性，吸音性などに優れた特長をもつことが知られている。さらに最近，商品名センチュリーボード，ドリパネルなどの硬質木片セメント板が普及するにつれ，このような特性に加えて木質セメント複合材の水に対する寸法安定性，耐久性の良さが認められるようになってきた。このような木質セメント複合材は各種形状の削片をセメントを結合剤として圧縮成型したものであるが，一方セメントの代りに合成樹脂系接着剤を用いたものはパーティクルボードと呼ばれる。この両者の吸水特性

は結合剤の特性，原料木材（削片）との混合率，成型圧縮圧などの相違から考えてかなり異なることも予想される。パーティクルボードの吸水時の寸法変化，特性などに関する報文は数多いが¹⁾，木質セメント複合材を対象としたものは非常に少い^{2,3)}。ここでは木質セメント複合材の1例として木質セメントボードをとりあげ，この吸水現象，特性をパーティクルボードと比較し，両者の相違点，およびその原因などを検討する。

2 実験方法

2・1 供試材料の作製

エゾマツ (*Picea jezoensis* Carr., シベリア産，全乾比重 0.40)，セメント（S社製普通ポルトランドセメント，ジェットセメント），水（イオン交換水）を Table I の条件でひょう量し，普通型枠 35cm×25cm (WCC-P, WCC-A, WCC-J, A₁~A₄, B₁~B₃, C₁ 用) および⁴⁾ 高圧用型枠 28cm×19cm (C₃~C₅ 用) を用いて既報と同様の方法で厚さ 16mm を目標とし，木質セメント複合材を作製した。またこれと比較のため市販パーティクルボード（E社製，フェノール系接

[†] 原稿受理 昭和57年12月8日

* 富山県木材試験場 富山県射水郡小杉町黒河新

** 正 会 員 富山県木材試験場 富山県射水郡小杉町黒河新

Table I. Conditions of making wood-cement composites.

Symbols	WCC-P	WCC-A	WCC-J	A ₁	A ₃	A ₄	PB-P
Wood (g)	280	280	280	300	265	250	—
Wood thickness (mm) (length 100, width 5)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	—
Cement (g)	*PC 420	PC 420	*JC 420	PC 300	PC 530	PC 625	—
Wood/Wood+cement	0.40	0.40	0.40	*0.50	*0.33	*0.29	—
Water (g)	280	280	310	260	300	310	—
Additional reagent AlCl ₃ ·6H ₂ O (g)	0	*20.8	0	0	0	0	—
Pressure (kgf/cm ²)	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	—
Board density	0.63	0.63	0.64	0.55	0.72	0.76	0.71
Symbols	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₃	C ₄	C ₅
Wood (g)	280	280	280	190	230	280	333
Wood thickness (mm) (length 100, width 5)	*0.3	*0.5	*0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
Cement (g)	PC 420	PC 420	PC 420	PC 285	PC 345	PC 420	PC 500
Wood/Wood+cement	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Water (g)	350	310	295	200	210	220	240
Pressure (kgf/cm ²)	3.3	3.3	3.3	*1.6	*7.4	*11.0	*25.0
Board density	0.66	0.64	0.62	0.52	0.83	0.89	1.15

PC; Portland cement JC; Jet cement *; Point of condition
PB-P; Commercial particle board

着剤使用, 厚さ 15.3 mm) を供試した. ここでフェノール系接着剤使用のものを選んだのは水分による接着剤の化学的劣化が少いからである. 以下, 木質セメント複合材を WCC, パーティクルボードを PB と略する.

2・2 試験方法

作製した供試材を 20℃, 65%RH の条件で調湿し, 恒量に達してから 50 mm×50 mm の試片を採取し, 次の試験を行った. なお試片個数は同一条件で各々 9 個とし, 平均値を求めた.

2・2・1 吸水試験 JIS A5908-1977PB 吸水試験方法に準じて試片記号 WCC-P, WCC-A, WCC-J, PB-P に対して, 4, 24, 48, 72, 120, 168 時間後の吸水率, 厚さ膨張率を求め, A, B, C 試片に対しては 24 時間後の吸水率, 厚さ膨張率を求めた.

2・2・2 減圧吸水, 乾燥繰返し処理試験 WCC-P, WCC-A, WCC-J, PB-P 試片に減圧 (−760 mm Hg, 40 min) 吸水⇒乾燥 (60℃, 20 hr) の処理を 1, 2, 5, 10 サイクルで行い, さらに 20℃, 65%RH で再調湿後, 試片厚さ, はく離強度を測定した. なお吸水時の試片含水率は 80~90%, 乾燥時は約 6% であった. また, はく離強度残留率の値は試片に多少比重のばらつきがあるため, これを補正する意味で,

$$\text{はく離強度残留率} = \frac{\text{処理試片のはく離強度/比重}}{\text{標準試片のはく離強度/比重}} \times 100(\%)$$

とした.

2・2・3 伸縮変形を与えた試片のはく離強度残留率の測定 WCC-P, PB-P 試片に対し, 厚さ方向に 0.1 mm の引伸し変形, あるいは 3, 6, 9% の圧縮変形を与えたさいのはく離強度を測定し, 上式より はく離強度残留率を求めた.

3 結果と考察

2・2・1 項の実験方法により WCC および PB の吸水率, 厚さ膨張率を測定した. その結果を Fig.1 に示す.

ここで吸水率は吸水初期において WCC の方が PB

Fig. 1. Relation of immersion time to thickness swelling and water absorption.

を上まわっているが、10時間程度で逆転し、その後 WCC の方が PB より小さくなっている。厚さ膨張率は WCC の場合、4 時間でほぼ一定値を示すが、PB の場合は漸増傾向を示し、168 時間後の値では前者は後者の約 1/3 である。これより WCC は PB より厚さ膨張率が小さい。すなわち寸法安定性が良好であると言える。また、WCC-P、WCC-A、WCC-J 共にほぼ同一値を示し、セメントに添加剤を加えても、セメントの種類を変えてもあまり吸水傾向に差が出ていない。

Fig.1 における WCC と PB の傾向の相違は両者の製造条件、さらに原料木材（削片）とセメント、あるいは合成樹脂系接着剤との結合性の相違などによるものと考えられる。以下、順次予想される原因を検討しながら WCC の吸水特性を見出したい。

まず第 1 の原因としてボード全体に占める原料木材の比率の相違が考えられる。すなわち WCC 中に占める木材比率は重量で通常 20～50% 程度であるが、一方 PB 中の木材比率は 85～95% 程度であり、WCC 中の木材量は少い。そこで WCC 中の木材比率が厚さ膨張率に与える影響を検討するため、2・2・1 項の実験方法により A₁、WCC-P、A₃、A₄ の試片を用いて木材/木材+セメント比と吸水率、厚さ膨張率との関係を求めた。その結果を Fig. 2 に示す。

Fig. 2. Relation of wood-cement ratio to thickness swelling and water absorption.

ここで木材比率の増加に伴い、吸水率、厚さ膨張率は共に増大し、ほぼ比例関係を示す。前述のとおり、WCC は木材を原料とし、セメントを混合して圧縮成型したものであるから、木材（削片）は圧縮ひずみを受けている。元来木材は吸水膨潤性があるため、浸水により WCC 中の削片は膨潤し、圧縮成型で生じた圧縮ひずみを回復させ、WCC の厚さ膨張をおこす。したがって WCC の吸水率、厚さ膨張率は木材比率の増加に伴って増大すると推定される。さらにこれに加え、一方木材比率が高まれば逆に結合剤であるセメント比率は減少し、この結果として内部結合力も低下し、削

片のひずみ回復の拘束力も低下するという相乗作用が現れていると考える。以上のことから木材比率の低いことが WCC の吸水率、および厚さ膨張率の小さい原因の一つと言える。

第 2 の原因として、WCC 製造時の圧縮圧の相違が考えられる。すなわち、WCC の圧縮圧は通常 2～20 kgf/cm² 程度、PB は初期圧で 20～40 kgf/cm² 程度であり、WCC はかなり低い。そこで圧縮圧が吸水率、厚さ膨張率に与える影響を 2・2・1 項の実験方法に従って C₁、WCC-P、C₃～C₅ の試片を用いて検討した。この結果を Fig. 3 に示す。なお併せて圧縮圧と比重の関係も示す。

Fig. 3. Relation of pressure to thickness swelling, water absorption and board density.

ここで圧縮圧の増加に伴い吸水率は減少し、厚さ膨張率は増加している。これは圧縮圧の増加に伴う WCC 中の空けき率の減少、および削片個々の圧縮応力、ひずみの増加によるものと思われる。この圧縮応力が WCC の吸水時に圧縮ひずみを回復させる力となり、WCC の厚さ膨張がおこるものと考えられる。このように吸水厚さ膨張の主因の一つとみられる圧縮時の圧縮ひずみの回復力について、WCC と PB では製造方法から考えて次のような大きな相違点がある。WCC と PB の製造時の削片の含水率を比較すると、WCC 削片は通常 60% 以上、PB 削片は 10% 程度であり、WCC 削片は高含水率状態でセメントと混合され、圧縮成型される。したがって WCC では圧縮工程以前に削片は十分に膨潤していると思われるが、このままセメントの硬化が進み、一定期間養生後、気乾状態になるにつれ、WCC 中の削片個々は乾燥収縮しようとする。ところが WCC 製造における圧縮解圧時のボード厚さと養生後の気乾状態でのボード厚さを比較しても大差がない

ことから、WCC 中の削片の収縮変動は拘束されているとみられ、そのため削片個々の内部の圧縮応力は低下しており、WCC の吸水時の圧縮ひずみ回復力はPBにくらべて小さいものと推定される。ここで Fig. 3 において圧縮圧 25 kgf/cm² の厚さ膨張率をとれば8.8%であり、同圧縮圧の PB の厚さ膨張率の値よりかなり低い。これには上述のような両者の製造方法の相違も一因となっているものと考えられる。

また Fig. 3 でもみられるように通常、圧縮圧が高まれば比重も大きくなる。さらに比重はボード中の空げき率、削片の圧縮率と直接関係し、前者とはほぼ反比例、後者とはほぼ比例関係にある。したがって空げき率、削片圧縮率は比重から推定が可能であり、そこで Fig. 3 および比較のため Fig. 2 を比重との関係で書き改め、一括して Fig. 4 に示した。

Fig. 4. Relation of board density to thickness swelling and water absorption.

ここで比重が小さい状態では WCC 中の空げき率は大きく、削片個々の圧縮率は小さい。したがって吸水量は多いが、削片の圧縮ひずみが小さいため吸水によるひずみ回復量も少く、厚さ膨張量も少い。一方、比重が大きくなると WCC 中の空げき率は小さくなり、削片の圧縮率は大きくなる。これより吸水量は少くなるが、削片の圧縮ひずみが大きいいためその回復力も大きく、厚さ膨張量は増大傾向を示すものと考えられる。したがって、削片の圧縮率、すなわち WCC 製造時の圧縮圧が低いことも WCC の厚さ膨張率が小さいことの一因となっていると推定する。なおこのとき、削片の圧縮ひずみ量に対するひずみ回復力は WCC の場合、PB より小さいことは前述した通りである。またここで、高比重域において厚さ膨張率の増大傾向がやや鈍化するのには吸水率の減少と高比重化にともなう WCC の内部結合力（はく離強度）の増加が関与しているよ

うに考えるが、この厚さ膨張率と内部結合力の関係については後述する。

ところで比重は圧縮圧のほか、木材-セメント比によっても左右される。すなわち、木材比率が減少し、セメント比率が増加すれば比重も増加する。このとき吸水率、厚さ膨張率共に減少傾向を示すことは Fig. 2 のところで述べた通りである。なおこの場合、比重と空げき率、圧縮率はあまり関係がない。以上のことから、WCC において吸水率は通常比重とほぼ反比例の傾向、厚さ膨張率は圧縮圧変化に伴ってほぼ正比例、木材-セメント比の変化に伴ってほぼ反比例、との対傾向を示すものとみられる。

第4の原因として結合剤（セメントあるいは合成樹脂系接着剤）の削片に対する表面被覆量の相違が考えられる。ところで、通常、硬化したセメントはほぼ水を通さない⁷⁾とされている。また一般に PB の接着形態は点状接着であると言われるが、WCC の場合は結合剤（セメント）の量が PB にくらべ非常に多いことから、面状接着に近いものと推定され、さらに面状接着の度合、すなわち単位表面積あたりの被覆結合剤量は削片の厚さに概ね比例する。そこで 2・2・1 項の実験方法により、B₁、B₂、B₃、WCC-P の試片を用いて削片厚さと吸水率、厚さ膨張率との関係を求めた。この結果を Fig. 5 に示す。

Fig. 5. Relation of wood thickness to thickness swelling and water absorption.

ここで吸水率は削片厚さが厚くなるにつれて減少する。これは厚い方が削片全体の表面積が減少するため単位表面積当りのセメント量が増加し、水に対する被覆効果が現れたものと推定される。PB の場合はこのような被覆効果はほとんど期待できず、WCC よりも吸水率が上まわる一因になっていると考える。また厚さ膨張率はほぼ横ばいであり、吸水率の傾向と異なるが、これは製造条件が削片量、セメント量、圧縮圧共に同一であるためであり、圧縮圧があまり高くない場合はたとえ吸水率が高くても厚さ膨張にはほとんど影響しないものとみられる。

第5の原因として、WCCとPBの吸水時における内部結合力の変化が考えられる。前述の通り厚さ膨張と内部結合力（はく離強度）は密接な関係をもつとみられ、これを明らかにするため、2・2・2項の実験方法に基づき、WCC-P、WCC-A、WCC-J、PB-Pの試片に対し、減圧吸水、乾燥繰返し処理をし、そのときの厚さ膨張率とはく離強度残留率を測定した。その結果をFig.6に示す。なお、あらかじめ、60℃の加熱が強度残留率に及ぼす影響を20℃の場合と比較したが、WCC、PB共に大差がなかった。

Fig. 6. Relation of number of cycles to thickness swelling and internal bond retention.

ここで厚さ膨張率、はく離強度残留率共にWCCはPBより小さい。またセメント添加剤の混入、さらにセメントの種類を変えてもあまり差が出ていない。なお、ここでの厚さ膨張率は前述までの厚さ膨張率とは異なり、吸水した水分を除去して元の状態にもどしたときに残留する厚さの増加率、いわゆるスプリングバックであり、圧縮ひずみが回復したときの接着層のゆるみが現れているものと考えられる。またはく離強度残留率はこのときの残存内部結合力であることから、WCCはPBにくらべて吸水時の内部結合力の低下度が小さく、換言すれば木材-セメント間の結合性は木材-合成樹脂接着剤間の結合性よりも一見、安定しているようにみえる。これを確認するためFig.6をはく離強度残留率と厚さ膨張率との関係で表してみた。これをFig.7に示す。

これよりはく離強度残留率は厚さ膨張率が大きくなるにつれ指数曲線的に漸減している。ここで両者の回帰曲線を求めると次式のようになる。

$$\text{WCCの場合} \quad \log Y = 2 - 0.072X \quad (1)$$

Fig. 7. Relation between internal bond retention and thickness swelling.

$$\text{PBの場合} \quad \log Y = 2 - 0.043X \quad (2)$$

ただし、Y：はく離強度残留率(%), X：厚さ膨張率(%)

齊藤らは既にPBの場合、このような関係において、 $\log Y = 2 - 0.039X$ の関係式を導き出している。この関係式と式(2)はほぼ一致するが、式(1)とは多少係数に差があり、傾向は同じでもその値の大きさが異なることを示している。したがってセメントを結合剤とするWCCと合成樹脂接着剤を結合剤とするPBとの厚さ膨張量に対する内部結合力の低下度は前者の方がやや大きいと言える。このような相違を生ずる原因として木材-セメント、および木材-合成樹脂接着剤間の結合の外力変化に対する追従性の差が考えられる。そこでこれを追試するため、2・2・3項の実験方法によりWCC-P、PB-P試片の厚さ方向に伸縮変形を与え、そのはく離強度残留率を測定した。まず引き伸び変形を与えたさいのはく離強度残留率は次のようであった。

WCCの場合 88.7%

PBの場合 100% (強度低下なし)

さらに圧縮変形を与えたさいのはく離強度残留率はWCCの場合、圧縮変形率の増加と共に低下し、9%の圧縮変形に対しては79%であった。一方、PBの場合は強度低下が非常に少く、圧縮変形9%で強度残留率は95%であり、引伸び変形の場合とはほぼ同様の傾向を示した。これから木材-セメント間の結合（はく離強度）は木材-合成樹脂接着剤間の結合にくらべて、よりよろしく、吸水によるスプリングバック変形挙動に対して前者は後者にくらべ、より追従できにくいものと推定される。これらの結果からFig.6においてWCCのはく離強度残留率が一見、PBより高く、結合性が安定しているようにみえるのは木材-セメント間の結合力の変化が小さいのではなく、WCCの厚さ膨張率が小さいこと、すなわち圧縮ひずみの吸水時の回復変形が小さいことから結合性があまり損われなためであると推察できる。

ここであらためてFig.1にもどり、WCCとPBの

吸水現象を比較してみる。WCC および PB を浸水させるとまず最初に最も大きくて水が入りやすい削片相互間のマクロな空げきに浸入する。このマクロな空げき⁸⁾、その他の空げきから毛管現象を通じて浸入した水によって削片は膨潤を開始し、成型圧縮のさいに与えられた圧縮ひずみを回復しようとする。したがって WCC 中ではマクロな空げきが PB より多いため、初期 4 時間では WCC の吸水率、厚さ膨張率は PB を上まわっており、マクロな空げきの少ない PB では小さな空げきを通して水が徐々に浸入し、少しずつ膨潤を始め、10 時間程度で WCC を上まわるようになったものと推定する。ここで厚さ膨張は吸水時の削片の圧縮ひずみの回復力によっておこるものと考え、WCC の場合、PB とは異なり、Fig. 3 のところで述べたように削片内部の圧縮応力が低下しているため、圧縮ひずみの回復力に直接影響するのは圧縮ひずみ量ではなく圧縮応力の大きさであると言える。したがって回復力の大きさは主として圧縮応力と削片量によって決まるものとする。一方、このような回復力に抗して内部結合力がこれを拘束するように作用し、この拘束力より回復力が上まわれれば両者のバランスがくずれ、厚さが増大する。これと同時に回復力は減少するが、一方内部結合力も破壊され、また新たな空げきの増加により吸水量も増加し、また同様のサイクルを繰返して厚さ膨張が促進されるものとする。このことから内部結合力、換言すれば削片-セメント間の結合力と回復力との関係において、前者の強度低下が小さくなり、また後者の力も小さくなり、最終的に前者が後者を上まわる状態になるまで厚さ膨張が続くものと推定される。PB においても厚さ膨張は膨潤力（圧縮ひずみ回復力）と小片結合力（内部結合力）のつりあい状態⁵⁾¹⁰⁾がくずれ、前者が大きくなったときに発生するとされており、上述の推察とはほぼ一致する。

以上のことから、WCC の厚さ膨張率の小ささ、すなわち寸法安定度の高さは、WCC 中の木材比率が小さいこと、製造圧縮圧が低いこと、および製造時における削片の含水率が高いことから成型後の圧縮ひずみ

回復力が低下していることなどに起因するものと推定される。またセメントの削片表面への被覆作用は WCC の吸水率が PB より小さくなる一因となっている。さらに加えて、吸水時の木材-セメント間の結合性は木材-合成樹脂系接着剤間の結合性に比較し、多少安定性に乏しい、と結論付けられる。

4 結 論

WCC の吸水特性を明らかにするために PB と比較検討した。その結果、次のような結論を得た。

- (1) 初期（10 時間程度）の WCC の吸水率は PB にくらべてやや大きい、それ以後は PB より小さくなる。
- (2) WCC の厚さ膨張率は PB にくらべて約 1/2～1/3 であり、寸法安定性が非常によい。このように厚さ膨張率が小さい原因として次のことが見出された。
① WCC 中の原料木材（削片）の比率が PB より小さい。
② WCC の成型圧が PB より低い。
③ WCC 製造時の削片の含水率が高いため、PB にくらべ、WCC の吸水時の圧縮ひずみ回復力が小さい。
- (3) 吸水時の木材-セメント間の結合は木材-合成樹脂系接着剤（フェノール系のもの）間の結合にくらべてやや安定性に乏しい。

参 考 文 献

- 1) 例えば、J. Brumbaugh, For. Prod. J., **9**, 243 (1960).
- 2) 波岡保夫, 高橋利男, 穴沢 忠, 北沢政幸, 北林産試研究報告, No. 65, 94 (1976).
- 3) F. W. Broker and M. H. Simatupang, Holz als Roh- und Werkstoff, **32**, 150 (1974).
- 4) 茅原正毅, 田近克司, 中川 宏, 木材誌, **25**, 552 (1979).
- 5) 斉藤藤市, エンダンサストラデマジア, 宮田雄二, 木材誌, **27**, 782 (1981).
- 6) 満久崇麿, 浜田良三, 木材研究, **15**, 55 (1956).
- 7) A. M. Neville, “コンクリートの特性”, p. 331 (1979) 技報堂
- 8) 北原寛一, “パーティクルボード”, p. 71 (1963) 楨書店
- 9) 岩下 睦, 第29回日本木材学会要旨集, p. 253 (1979).
- 10) K. Ernst, Holztechnol., **8**, 41 (1967).