

木粉・石膏複合ボードの製造と曲げ物性

上原 徹*・古野 毅*・城代 進*

Production of wood meal-gypsum composite board and its bending properties
Tohru UEHARA, Takeshi FURUNO and Susumu JODAI

To product a composite board tougher than a gypsum plaster board (GB) being brittle and fireproof, wood meal-gypsum composites were made from beta-type calcined gypsum and wood meal of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) or of Nara (*Quercus* spp.). The boards were tested in bending and fire resistance.

The composites have higher elasticity than GB in the ratio of wood meal content (WMC) up to 16%. Strain of composites was lower than that of GB in the ratio of up to 8% WMC for Hinoki and up to 14% WMC for Nara. Modulus of rupture (MOR) of the composites was higher than that of GB in the range from 10 to 16% WMC for Hinoki, but little change in MOR for Nara. Energy of rupture in bending (EOR) indicating the toughness increased in the ratio of over 10% WMC for Hinoki compared that of GB, whereas it decreased for Nara. By flame test, the composites ignited in the ratio of over 20% WMC. Temperature of the composites rose in proportion to WMC up to 20%. Since flammable organic materials of low molecular weight were removed from the wood meal by extraction with cold water, fire resistance of the composites increased.

Evaluating from all the factors of density, elasticity, MOR, strain, EOR and inflammability, the composites made with 10% wood meal content of Hinoki may be the best. Nara wood meal is useful only for an extender of the composites.

1. 緒 言

石膏は、ヨーロッパ各地、アメリカ、インド、中国などで多量産出される。しかも、脱硫処理の生成物としての化学石膏¹⁾もあり、石膏は原料資源としては豊富なものである。

わが国では、昭和24年4月建設省住宅局住宅建設課による“国庫補助住宅における不燃物性乾式材料の利用について”のなかで、天井および内壁用の不燃性板として6mm厚石膏ボードが指定された。これを契機とし、さらに、昭和30年“木材資源利用合理化方策”が国の政策として決定され、木材に代替しうる材料として取り上げられたため、石膏ボードの需要は全国的に増大した²⁾。

また2×4工法住宅の壁材に使われる材料で、断熱性、音響性、難燃性に加え、比較的安価なことによって、石膏ボードの需要が増加している。しかし、石膏はその性質上、木材など他の建築材料に比べて非常に脆く、その取り扱いに注意を要する。作業性向上のため、ボードの裏面に紙を貼付して利用している現状である。

本研究では、比較的加工がしやすく熱に強い石膏と、残廃材、屑材として廃棄されている木粉を複合させることにより、より靱性のある複合材料の可能性を追求した。

2. 実験方法

2.1 石膏および木粉

凝結硬化性を持つβ型半水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ を

* 生物材料工学講座

使用した。

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) およびナラ (*Querus* spp.) を用い、おのおの辺材、心材に分け、40~60メッシュの木粉を得た。一部の木粉については多量の水に2日間浸漬し、冷水抽出を行った。20°C、相対湿度60%で調湿後、使用した。それぞれの含水率および冷水抽出物量を Table 1 に示した。

2.2 ボードの作製法

所定量の石膏と木粉 150 g を混合させた。水 150 ml を加え、再び混合し、No. 2 濾紙を入れたブフナー漏斗 (内径 18.5 cm) 内の治具内に流し込んだ。ボード表面の水が認められなくなるまで、5分で水を吸引し、通過した。このとき、ボードの大きさは約 130×130×7 mm となる。

吸引し、通過後、ボードを取り出し、ポリエチレン板ではさみ、6 mm 厚のシムを添えて、5分間プレスした。20°C、相対湿度60%で1週間養生させた後、以下の試験に供した。上記の方法は、既報の繊維石膏板の製作法を参考にした。

2.3 曲げ試験

125×40 mm の大きさの試験片を用い、鳥津製作所製 AG-5000 A 型オートグラフによる3点曲げ破壊試験を行った。スパン長 100 mm、クロスヘッド速度 0.5 mm/min とした。

$$E = L^3 \cdot F / (4WT^2\Delta l),$$

$$\sigma = 3FL / (2WT^2),$$

$$\epsilon = 6\Delta lT / L^2 \text{ を求めた。}$$

ここで、 W は試験片の幅 (m)、 T はその厚さ (m)、 L は曲げスパン長 (m)、 F は荷重 (kgf)、 Δl は曲げたわみ量である。エネルギー (kJ) は、荷重-ひずみ曲線におけるボードの破壊点までの面積より求めた。なお、同一条件に試験片 9 枚を使用し、平均値を示した。

また、105°C 乾燥によって絶乾重量を求め、ボードの含水率を算出した。

2.4 耐火試験

耐火試験は、Fig. 1 に示したように、マイクロガスバーナー (TOP J-2397-01) を用いて行った。バーナーの先端から上 5.0 cm の所に、試験片 40×50 mm をクランプで固定した。ボードの裏面から炎をあて、10分以内にボードの表面が発火するか、または 450°C になるまでボード表面の温度を測定した。

3. 結果および考察

3.1 密度

一般的にボードの強度物性は密度と密接に関係しているため、まず密度との関係を Fig. 2 に示した。心材よ

Table 1 Moisture content and cold water extractives content of wood specimens. (%)

	Hinoki		Nara	
	Heartwood	Sapwood	Heartwood	Sapwood
Moisture content				
Unextracted	10.1	10.0	10.6	11.2
Cold water extracted	9.9	9.8	8.7	8.9
Cold water extractives content	3.01	0.52	2.86	2.20

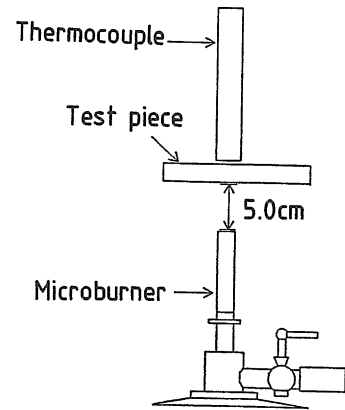


Fig. 1 Diagram of fire resistance test.

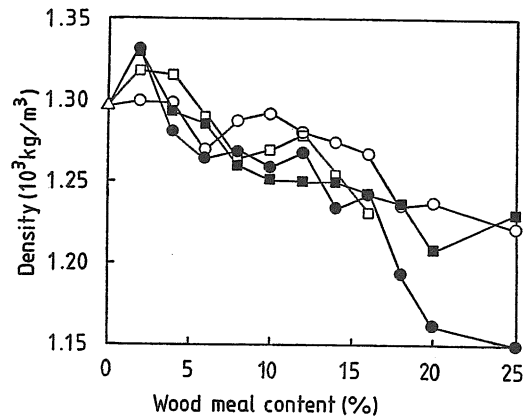


Fig. 2 Effect of wood meal content on density of composite board.

- Legend ○ : Hinoki sapwood, ● : Hinoki heartwood, □ : Nara sapwood, ■ : Nara heartwood, △ : Control (Gypsum plaster board).

りも辺材、ナラよりもヒノキの方が若干高い値である。いずれの場合も混合比が大きくなるにしたがい密度は低下した。石膏の真比重は2.59で、ヒノキ、ナラの気乾比重は、それぞれ0.34、0.76であるため、木粉の量が増えるとボードの単位体積当りの木粉の量も増加し、密度が低下する。ナラ辺材を用いたボードは混合比16%ま

で、それ以上の混合比では成型不能となった。

Fig. 2 において、辺材、心材あるいは樹種の違いによる密度の差が少ないのは、ボード製造時の圧縮にあると考えられる。すなわち、低比重材ほどよく圧縮されるため、圧縮後の木粉は、どれもほぼ同様の密度まで圧縮されたと考える。

石膏ボードを作製するにあたり、密度の減少は木材の比重もさることながらボードに含まれる水も大きく関係しているため、Fig. 3 に含水率の結果を示した。図から混合比が増加するにしたがい含水率は低下した。しかも辺材は心材より2~3倍吸水量が多いにもかかわらず辺材、心材、樹種に差異はほとんど認められず、含水率と混合比の相関は、 $Y = -0.128X + 24.99 (R = 0.95)$ となった。

石膏が水を取り込んで硬化し、二水石膏になるためには、結晶水に相当する水だけがあればよく、過剰な水は不用である⁵⁾。また、混水量が理論水和量に近いほど硬化後の強度は大きいとされている⁶⁾。木粉を混合させる場合、気乾木材は10~13%の含水率であり、石膏と木粉との間で水の奪い合いが生じるはずであるが、本作製法においては、多量の水を用いて混合し、滲過するため、水の奪い合いによって硬化を妨げられることはなかったと思われる。

3.2 弾性率

弾性率についての結果を Fig. 4 に示した。図より、樹種および辺材、心材に関係なく混合比が増加するにしたがい、弾性率は一旦増加した後直線的に低下した。混

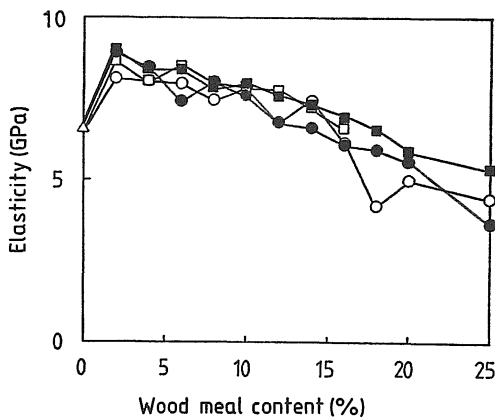


Fig. 4 Effect of wood meal content on elasticity of composite board.

Legend ○ : Hinoki sapwood,
● : Hinoki heartwood,
□ : Nara sapwood,
■ : Nara heartwood,
△ : Control (Gypsum plaster board).

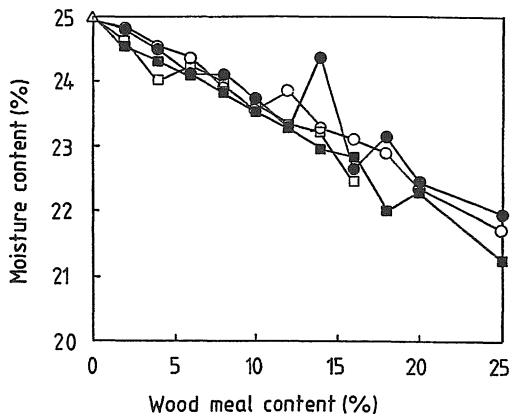


Fig. 3 Effect of wood meal content on moisture content of composite board.

Legend ○ : Hinoki sapwood,
● : Hinoki heartwood,
□ : Nara sapwood,
■ : Nara heartwood,
△ : Control (Gypsum plaster board).

合比が16%未満の時、弾性係数は、石膏のみの値より高い値を示した。木粉の種類による差異はほとんど認められない。

一般的に弾性係数の大きい材料は、外力を受けたときの変形量が小さく剛性が大きい⁷⁾。すなわち混合比が増加するにしたがい、ボードは一旦硬くなった後、ひずみやすいものとなった。

Fig. 4 の結果から、混合比14%以下の場合、石膏そ

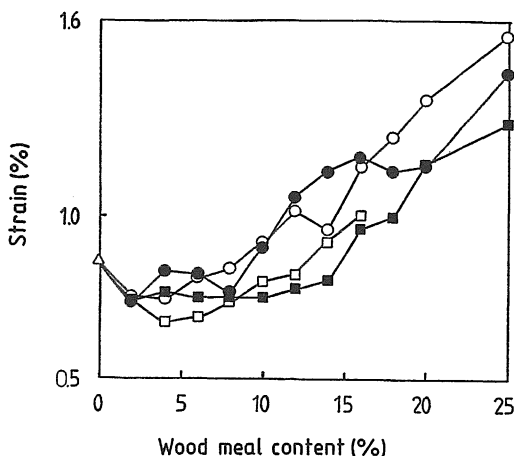


Fig. 5 Effect of wood meal content on strain of composite board.

Legend ○ : Hinoki sapwood,
● : Hinoki heartwood,
□ : Nara sapwood,
■ : Nara heartwood,
△ : Control (Gypsum plaster board).

のものよりも高い値を示していることにより、木粉と石膏間に結合が生成し、複合効果が現われたと考えられる。

3.3 ひずみ

ひずみについての結果を Fig. 5 に示した。ヒノキに関しては混合比8%，ナラに関しては14%までは、石膏よりわずかではあるが低い値を示し、それ以上の混合比で、ひずみ量は増加した。Fig. 4 の弾性率と逆の関係である。ナラより軟らかいヒノキ木粉の値がわずかに高いようである。

ヒノキに関しては8%，ナラに関しては14%までの混合比で、石膏そのものよりも強いボードとなった。

3.4 破壊応力

Fig. 6 に破壊応力の結果を示した。ナラを用いた場合は、石膏板そのものよりも全般に少し低い値を示したが、ヒノキでは破壊応力はいくぶん増加した。実験計画の段階では、混合比の増加とともに応力が直線的に低下すると予想したが、木粉と石膏間の相互作用が非常に良好なため、この図のように、混合比が増加しても応力が低下しなかったものと考ええる。

3.5 曲げ破壊エネルギー

曲げ破壊エネルギーは材料の靱性（ねばり強さ）を現わす⁷⁾。Fig. 7 にその結果を示した。本研究では、特にこの値を増加させることを目的とした。

混合比の増加とともに値が低下あるいは一定値を示し、混合比10%以上でエネルギーが増加した。木粉の種類による順は、ヒノキ辺材、ヒノキ心材、ナラ辺材、ナラ心材となった。

本研究の目的である、石膏ボードへの靱性付与から、木粉の混合比は、ヒノキで10%以上、ナラ心材では20%以上である。ナラ辺材を用いた場合は、ボード成型不能であるため、靱性の改善はできない。これらの混合比で、他の破壊応力 (Fig. 6) や弾性率 (Fig. 4) など考慮すると、ヒノキで10~16%，ナラ心材で20~25%となる。ナラ心材を用いた場合は、石膏板よりも強度低下することを承知しておかねばならない。一方、ヒノキを用いた場合は、本研究で行なった曲げ試験において、石膏板そのものよりも良好な値を示した。

3.6 冷水抽出木粉を用いた木質石膏板

木質セメント板を作製するとき、抽出成分の多い樹種では硬化阻害の起こることがある。そしてこの阻害物質は、冷水、熱水抽出物中の糖やフェノール類とされている⁸⁾。

熱水抽出を行うと、木粉自体の強度低下をきたすため、冷水抽出物の効果について検討することとし、冷水

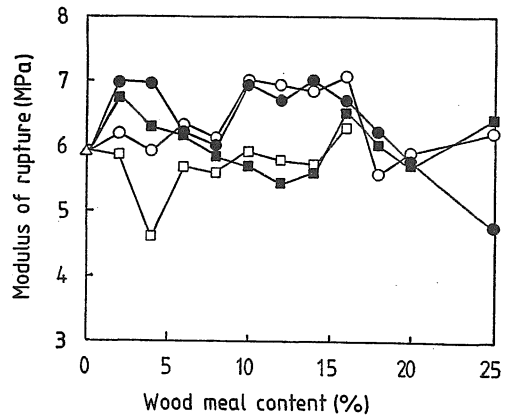


Fig. 6 Effect of wood meal content on modulus of rupture of composite board.

Legend ○ : Hinoki sapwood,
● : Hinoki heartwood,
□ : Nara sapwood,
■ : Nara heartwood,
△ : Control (Gypsum plaster board).

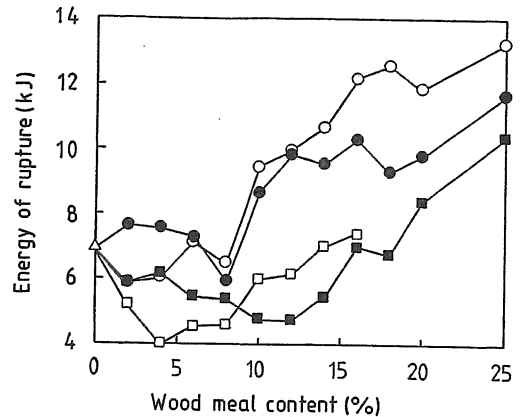


Fig. 7 Effect of wood meal content on energy of rupture of composite board.

Legend ○ : Hinoki sapwood,
● : Hinoki heartwood,
□ : Nara sapwood,
■ : Nara heartwood,
△ : Control (Gypsum plaster board).

抽出木粉を得、ボードを作成してその強度などを比較した。

その結果、ボードの密度は未抽出木粉の場合と同様の結果となった。冷水抽出成分を取り除いただけでは木粉の比重に大差がなく、ボードの密度は木材の比重に影響されるからである。

また、含水率および弾性率も未抽出木粉を用いた場合と同様の結果となった。

破壊応力について、ヒノキ、ナラとも低い混合比での

み、未抽出の場合よりも高い値を示した。ひずみも抽出により多少高い値を示した。エネルギーは、Fig. 8 および Fig. 9 に示すように、低い混合比で未抽出の場合よりも高く、高い混合比では、抽出による差異はほとんど認められない。

以上の結果、糖、フェノール類等の冷水可溶成分は石膏の硬化には影響をおよぼさないと思われる。ヒノキ、ナラの樹種間の差は冷水抽出物ではなく、他の因子が関係しているように思われる。

抽出木粉の場合、プレス成型に用いたポリエチレン板に石膏が付着して、ボードを破損することがあるため、

作製のしやすさから比較すれば、未抽出の木粉の方がボードを作製容易であった。

3.7 耐火性

石膏は結合水の蒸発中は温度が上昇しないので、耐火性にすぐれている。石膏ボードの熱伝導率は 75°C 、密度 0.87 で約 $0.111 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ である。

一般に低比重、低含水率の木材ほど、着火しやすいとされている。普通の建築部材が引火する温度（引火点）は、木材が急速に熱分解を開始する温度として 260°C とし、この温度は「一般設計用危険温度（危険温度）」として、各種の防火試験における許容温度値として採用さ

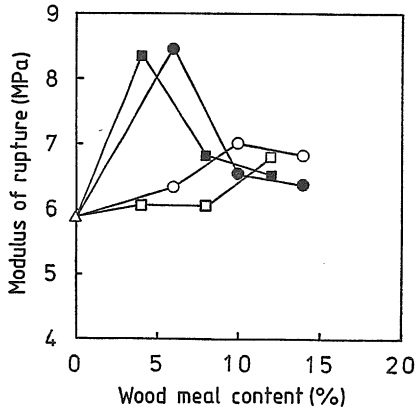


Fig. 8 Effect of extraction with cold water on modulus of rupture of composite board made with Hinoki wood meal.

Legend ■ : Sapwood extracted, □ : Sapwood unextracted, ● : Heartwood extracted, ○ : Heartwood unextracted.

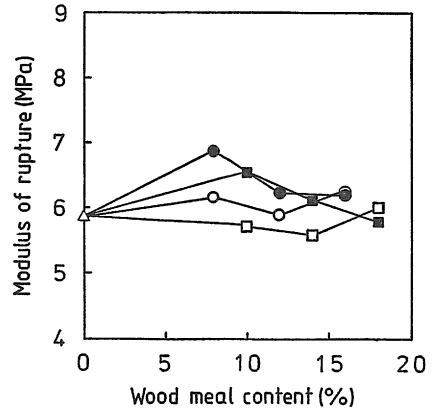


Fig. 9 Effect of extraction with cold water on modulus of rupture of composite board made with Nara wood.

Legend ■ : Sapwood extracted, □ : Sapwood unextracted, ● : Heartwood extracted, ○ : Heartwood unextracted.

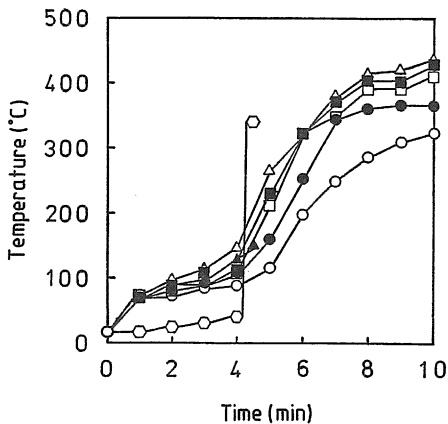


Fig. 10 Time-temperature curve of the composite board made with Hinoki sapwood.

Legend ○ : Gypsum plaster board, ● : 4%
□ : 8% ■ : 12% △ : 16% ▲ : 20%
○ : Hinoki solid plate.

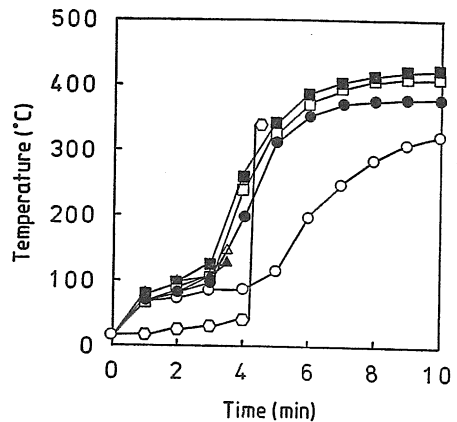


Fig. 11 Time-temperature curve of the composite board made with Nara heartwood.

Legend ○ : Gypsum plaster board, ● : 4%
□ : 8% ■ : 12% △ : 16% ▲ : 20%
○ : Hinoki solid plate.

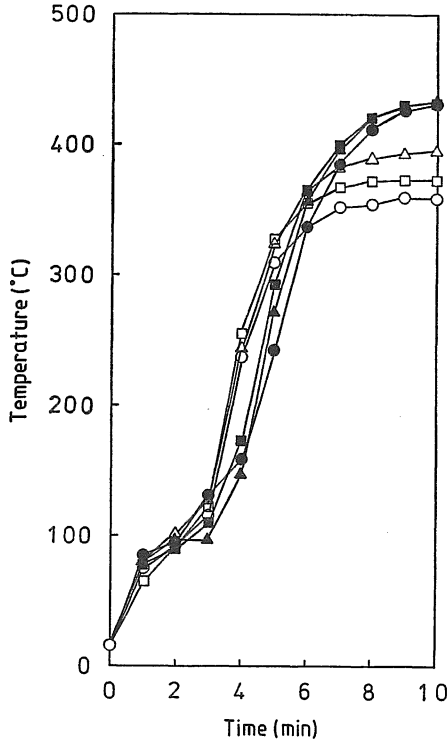


Fig. 12 Effect of extraction of wood meal with cold water on time-temperature curve of the composite board made with Hinoki heartwood.

Legend ○ : 4 % extracted, ● : 4 % unextracted,
 □ : 8 % extracted, ■ : 8 % unextracted,
 △ : 12 % extracted, ▲ : 12 % unextracted.

4) れている。またヒノキは 253°C で引火し、200°C で重量減少、300°C 近辺で急激な発熱をする。⁸⁾

本研究では、石膏ボードの最大の特徴である耐火性が、木粉との複合化によって、どのように変化するかを実験し、その結果を Fig. 10 および Fig. 11 に示した。

混合比が増加するにつれて、ボードの温度上昇が大きくなり、10分以内に発火する場合も生じた。ヒノキでは辺材の場合 (Fig. 10) の方が心材より良い値を示した。ナラの場合は心材 (Fig. 11) の方が良い値であった。

冷水抽出木粉についての耐火性の結果を Fig. 12 および Fig. 13 に示した。すべての種類の木粉で、冷水抽出によりボードの温度上昇が少なくなった。すなわち、燃えやすい有機低分子が一部ではあるが除去されたためである。混合比16%以上になるとボードによっては、木材とほぼ同じ時間で引火している。

木質石膏ボードの耐火性を考慮して木粉の混合比を検討すると、ヒノキで10%となる。ナラの場合は、強度低下を容認して20%となる。そして、木粉を複合させる場

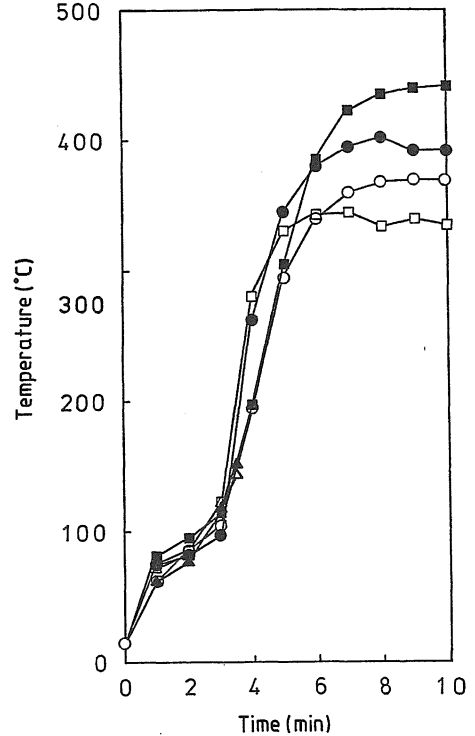


Fig. 13 Effect of extractoin of wood meal with cold water on time-temperature curve of the composite board made with Nara sapwood.

Legend ○ : 8 % extracted, ● : 8 % unextracted,
 □ : 12 % extracted, ■ : 12 % unextracted,
 △ : 16 % extracted, ▲ : 16 % unextracted.

合は、ただ単に水に浸漬するだけでも、わずかではあるが耐火性は向上する。

しかも本実験の得た結果から、ヒノキの辺材で混合比10%の木質石膏板を作製しても、強度に影響をあたえることはない。

4. 結 論

ヒノキを用いた場合、混合比10%がボードとして利用できると考えられる。また、ナラに関しては、増量剤として利用できそうであるが、石膏とナラとの結合をより強くする改良が必要であると思われる。

石膏は中性物質であるため、木質セメント板を作製するときのように、木材によるセメントの硬化阻害は殆どないと思われる。

ナラを用いた木質石膏ボードとヒノキを用いたボードの強度の差は、石膏と木粉間の結合の差異によるためである。どのような形で木粉と石膏とが結合しているのかを、木口、柾目、板目各断面への石膏の固着強度、そして、その3断面への石膏の浸入程度を調べる必要性があ

るかと思われる。

工業的利用となると、廃材は、辺材、心材にわかれて
いるのではなく、しかも樹種も一定でなく、大きさもまち
まちである。辺、心材による差異が少なかったことから、
後は樹種の差について詳細に検討すべきである。

文 献

- 1) 化学大辞典編集委員会編：“化学大辞典”，共立出版
東京 1958, p. 345-346.
- 2) 科学技術庁資源調査会編：“木材工業の廃材とその
利用”，三州社 東京 1971, p. 231.
- 3) Courts, R. S. P.: Journal of Materials Science,
21, 2959-2964 (1986).
- 4) 日本材料学会木質材料部門委員会編：“木材工学辞
典”，工業出版 東京 1982, p. 516, p. 615.
- 5) 高橋利男ら：“木質石膏ボードの製造試験(1)”，林産
試験場月報, p. 11-16 (1977, 10月).
- 6) 稲生謙次：“工業大辞典”，平凡社 東京 1961, p.
236-273.
- 7) 田村 恭：“建築材料要説”，産業図書 東京 1980,
p. 20.
- 8) 善本知孝：今村博之ら編，“木材利用の化学”，共立
出版 東京 1983, p. 175-188.
- 9) 浅野猪久夫：“木材の辞典”，朝倉書店 東京 1982,
p. 111.