

けい酸カルシウム系人造木材に関する研究

青山 幹 堀 長 生

Study on Inorganic Wood-like Materials Mainly Composed of Calcium Silicate Compounds

Tsuyoshi Aoyama Nagao Hori

Abstract

Wood had previously been a representative building material for interior finish work. Recently, however, fire resistance has been demanded of buildings and little use has been left for wood in interior finishing.

Inorganic wood-like materials are composed principally of Xonotlite, and composites of glass fiber and polymer emulsion.

This report describes the performances required of inorganic wood-like materials, constituents, characteristics, and application in building construction.

概 要

木材は、その優れた特性から、内装用材料として代表的な建築材料であった。しかし、近年建築物の高層化に伴い、内装用材料も不燃化が要求されるようになって、防火性に優れないものは使用できないのが現状である。

人造木材と呼称した本材料は、けい酸カルシウムの結晶であるゾノトライトを主要構成物質とし、ガラス繊維および有機高分子系重合体エマルジョンで複合化した木材にちかい特性をもつ材料で、優れた加工性を有し、しかも防火性能と寸法安定性に優れた特性を有する建築内装用材料として開発されたものである。

本報告では、人造木材の要求される性能、構成物質、特性および建築用途への利用について述べるものである。

1. はじめに

建築材料のうちで、内装材は、内面仕上げとして意匠・装飾の目的によることが多く、従来デザイン性、居住性を要求されるエレメントであった。このような要求に対して木材は、大いに親しまれ、その特性から、内装材として中心的な建築材料であった。しかし、建築物の高層化に伴ってその機能は多様化し、内部で活動する人間も従来と比べて格段に増加している現状で、内装材の位置づけと、その要求される性能は、大きく変化してきたといえる。すなわち、内装材の要求性能に防火性が強く要求されるようになって建築用内装材料の構成が大きく変わったように思われる。防火材料とは、燃えにくさ、燃焼による煙や有害ガスを発生させない程度を測定して、基準に合格したものを建設大臣から認定された材料で、各々、法令によって適用部位が定められている。したが

って、建築用内装材料では、防火性に優れないものは利用できないのが現状である。一方、造作工事では、より複雑な形状の加工が要求され、防火性と加工性に優れた材料の開発が待たれているところである。

けい酸カルシウム系化合物は、建築用材料として広く用いられている工業素材である。その内、ALC やけい酸カルシウム板は、軽量壁材、断熱材などとして使用されており、その主要構成物質は、トベルモライトやゾノトライトで代表される熱水合成（オートクレーブ養生）による反応生成物である。無機系材料は、脆性であり、加工性の良い木材のような靱性は得られなかった。近年の建築事情では、軽量で不燃の無機系材料に対する需要が高まっており、高靱性で加工性の良い材料の研究開発が多くの分野で要望されてきた。この要求に対して、ゾノトライトを主要構成物質とし、ガラス繊維およびポリマーディスパージョンで複合化した木材にちかい特性を

もつ不燃材料を開発し、我々は、人造木材と呼称することとした。

本報告は、人造木材の要求性能について整理するとともに、構成物質、特性および建築用途への利用について述べるものである。

2. 人造木材の要求性能

木材は、物性的に軽量で比強度が大きく、適度の吸放湿性、断熱性を有し、加工法が容易などの特性を有しており、古くから建築物の主要構成材である。これらは、天然の産物であるために計画的な植林伐採のサイクルを繰り返せば無限に再生が可能である。しかし、実際には、乱伐などによって枯渇しており、合成材料より高価となっているのが現状である。

従来、合成木材という呼び方があるが、これには、二つの考え方があろうかと思われ、一方は、木材の主に物理的な性質を代替しようとするもので、もう一方は、外観を代替しようとする考え方である¹⁾。合成木材は、そのほとんどが合成高分子系のウレタン樹脂、エポキシ樹脂あるいはフェノール樹脂などを利用したものであって、木材のもつ良好な加工性に加えて、優れた耐久性や等方性を付加したもので擬似木材ともいえるものである。これらは、有機物を主材料としているために防火材料には適用されず、したがって建築用材料としてほとんど利用されていない。

木材は、どのような特性をもった材料であるかをその得失によって整理すると次のようである。

〔長所〕

- (1) 比重が比較的小さく、軽量で身近な材料である。一般に木材の比重は、常用樹種の80%が0.4~0.7である。
- (2) 比強度と比剛性が大である。
材料の比強度と比剛性とは、単位重量当りの強度とか剛性をいうが、表-1に主要な建築用構造材料の力学的性質の比較を示す。
- (3) 加工性に優れており、釘、シベルが使用できるなど施工が容易である。
- (4) 断熱性に富む。
- (5) 水分の吸放湿性がある。

材料に吸放湿性があるため、表面結露しにくく、また湿度調節機能がある。

(6) 乾燥材は、電気抵抗が大きい。

(7) 自然の木目の美しさや風合は、感覚的に贅沢である。

〔欠点〕

(1) 可燃性である。

(2) 材質が不均一で、非等方性である。

節などによって強度のバラツキがあり、信頼性が低い。また、水分の影響を受けやすく、乾燥湿潤時の寸法安定性に欠ける。

(3) 腐りやすい。

白蟻等の虫害も受けやすい。

木材は、先に示したような多くの利点を有している反面、三大欠点といわれる「燃える」「狂う」「腐る」性質のために現代建築のなかで、その用途が徐々に少なくなってきたともいえる。

我々が、人造木材の開発目的としたものは、先の木材の長所を有しながら、木材の三大欠点をなくした材料である。

多孔質の無機材料を主材料として検討すれば、寸法安定性、耐腐食性といった性能は、比較的容易に発揮できる。一方で、木材の柔軟性や加工性を確保するためには有機材料の特性を利用すべきであって、多機能材料の開発を目的として、複合化が必要とされる。高分子材料は金属、セラミックスなどの無機材料に比べて、本質的に強度も小さく、耐熱性も良くない。高分子材料は、その柔軟性に優位さがあり、成型時の流動特性も容易に調整できるといった特徴がある。したがって、無機材料の耐熱性と耐久性および有機高分子の柔軟性と加工性を複合化すれば目的とするような人造木材が得られるものと考えられる。

3. 人造木材の特性

3.1. 構成物質

人造木材の主要構成物質は、ゾノトライト、ガラス繊維および有機高分子系重合体エマルジョン（ポリマーディスパーション）から成る。

主材料のけい酸カルシウムは、 $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系のオートクレーブ（熱水合成）による含水カルシウムけい酸塩と定義される²⁾。これらは、多くの種類が知られているが、一般的な建築用材料としては、トベルモライト（Tobermorite）とゾノトライト（Xonotlite）が利用されており、人造木材では、加熱時の重量変化が少ない、すなわち、寸法安定性の

項目	単位	木 材			軽 量 コンクリート	普 通 コンクリート	ガラス	アルミ ニウム	鋼
		ス ギ	ケヤキ	レッドワウ					
比 重	—	0.38	0.69	0.58	1.7	2.3	2.5	2.7	7.9
圧縮強度	kgf/cm ²	350注)	500注)	500注)	200	250	1,000	2,000	4,500
比 強 度	kgf/cm ³	920	720	860	120	110	400	740	570
弾性係数	kgf/cm ²	8×10 ⁴	12×10 ⁴	11×10 ⁴	18×10 ⁴	21×10 ⁴	75×10 ⁴	70×10 ⁴	210×10 ⁴

注) 平均圧縮強度

表-1 主要構造材料の力学的性質の比較

高いゾノトライトを採用している。

ゾノトライトの結晶系は、一般に擬斜方格子 ($a = 17.07, b = 3.69, c = 6.99 \text{ \AA}, B = 89.6^\circ$) で化学式は, $\text{Ca}_6(\text{Si}_6\text{O}_{17})(\text{OH})_2$ である。ポリマーディスペーションは、ゾノトライトおよびガラス繊維複合材の靱性を発現させる重要な構成物質である。ゾノトライト結晶寸法 (太さ $0.1 \mu\text{m}$ 以下, 長さ数 μm) を考慮して, 均一にポリマー粒子を分散し, 定着させることが必要である。そのためには, ポリマー粒子 ($0.2 \mu\text{m}$ 以下) の乳化剤による分散, 安定化と, ゾノトライト粒子表面への定着のための乳化剤の離脱を界面活性剤により順番に行なわれることが必要となる³⁾。写真-1には, ゾノトライト結晶の透過電顕写真を, 写真-2は, ポリマー無添加の材料, 写真-3には, ポリマーを添加したすなわち人造木材の例を示してある。

図-1には, 人造木材の実験室的製造フローを示す。シリカ原料と, ライム原料を CaO/SiO_2 モル比が, 1になるように調合し, 水を加えてスラリー (約4~8倍水) を作り, いったん, 90°C で反応させ, C-S-H を合成する。これをオートクレーブにて20気圧で数時間反応させゾノトライトを合成する。このゾノトライトスラリーへガラ

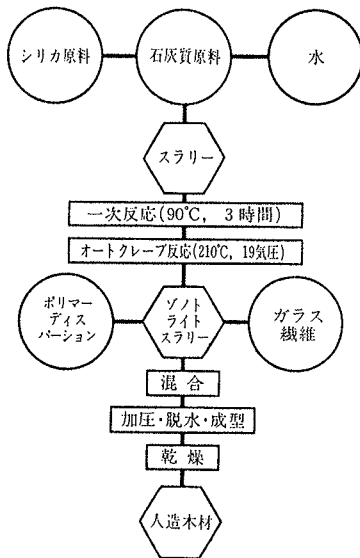


図-1 人造木材の製造フロー

ス繊維, 界面活性剤, ポリマーディスペーション等を添加, 混合し, 型枠で加圧脱水成型を行なう。これを脱水乾燥し, 含水率2%以下として人造木材を製造する。

3.2. 防火特性

人造木材では, 無機材料の脆性を改善するため, ポリマーディスペーションを添加しており, これが, 加工性や物性の改良には重要なポイントである。しかし, ポリマーの添加量が多くなると防火性が低下する結果となるため, 建設省告示第1828号に規定されている「不燃材料」に適合できるポリマー添加量を確認するため, ポリマー添加量を調整した人造木材を試作し, 難燃性試験を実施した。

試験の方法は, 先に示した告示に規定されている表面加熱試験方法に準拠する。ポリマーの添加量は, 3, 8, 12%とし, 試験体の種類は, 表-2に示す。試験は, 図-2に示す加熱炉を用いて, 10分間の加熱試験を行なう。

告示より不燃材料の判定規準を抜粋すると次のようである。

- (1) 加熱終了後, 30秒以上残炎がないこと,
- (2) 試験結果の排気温度曲線は, 標準温度曲線を超えないこと。
- (3) 次の式によって求めた単位面積当たりの発煙係数 (C_A) が30以下であること。

$$C_A = 240 \log_{10} I_0 / I$$

ここに, I_0 は, 加熱試験開始時の光の強さ (I_x)

I は, 加熱試験中の光の強さの最低値 (I_x)

試験の結果を図-3, 表-3に示す。図-3に示されている標準温度曲線とは, 標準板 (厚さ 10 mm の 0.8 石綿パーライト板) を規定通り温度上昇するように調整された加熱炉で加熱したときの, 各経過時間ごとの排気温度にそれぞれ 50°C を加えたものである。ポリマーの添加量が防火性に大きく影響していることは, 写真-4の加熱後の試験体からも明らかであるが, ポリマー添加量8%では, 加熱開始後4分で標準温度曲線をわずかに超えるため, 不燃材料として不適であった。しかし, 発煙量は, 比較的少なく, ポリマーの添加量の増加にしたがっ

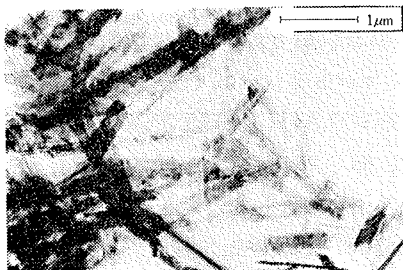


写真-1 ゾノトライト結晶の透過電顕写真 ($\times 20,000$)

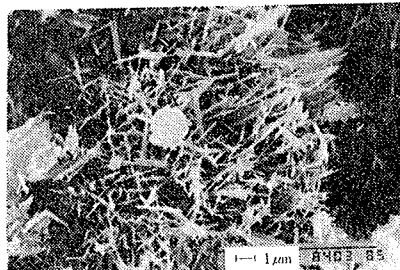


写真-2 ゾノトライト結晶の電顕写真 ($\times 5,000$)

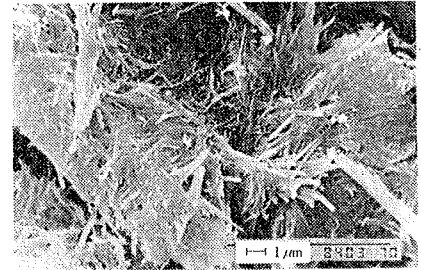


写真-3 人造木材の電顕写真 ($\times 5,000$)

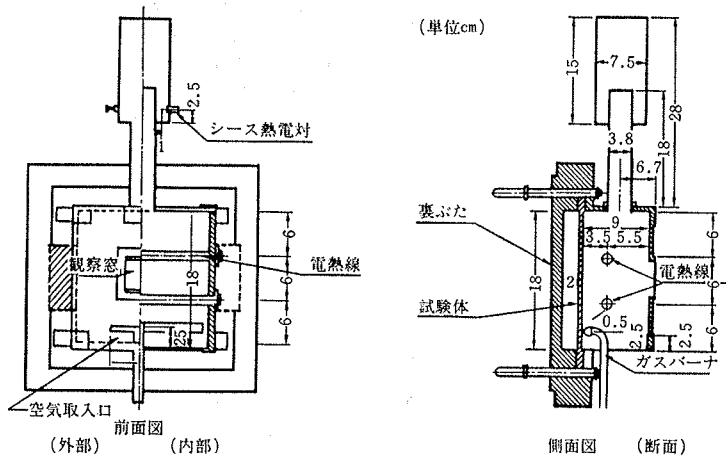


図-2 加熱炉

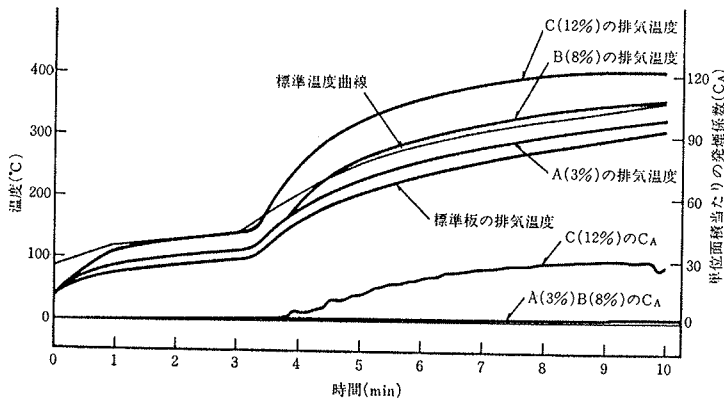


図-3 難燃性試験結果

試験体の種類	温度時間面積 (tdθ)	発煙係数 (C _A)	残炎時間 (Sec)	観察事項	判定	
A (3%)	1	0	1.5	16	異常なし	不燃材料
	2	0	2.1	15		
	3	0	0.9	14		
B (8%)	1	58.8	3.3	30	異常なし	準不燃材料
	2	67.5	2.1	23		
	3	53.8	1.8	14		
C (12%)	1	395.0	29.1	120以上	異常なし	不可

表-3 難燃性試験結果

て防火性能に影響を与えるファクターは、着火による温度上昇が最も大きいことを示している。

これらの結果より、人造木材のポリマー添加量は、6～7%とすべきであり、不燃材料としての適用を図っている。

3.3. 強度特性

一般にガラス繊維などを混入した複合材では、繊維による補強効果が期待されるが、人造木材では、すでにゾノトライト結晶が形成されたものにガラス繊維を添加しフィルタープレスによって製造するため、繊維とマトリックスとは、機械的に絡み合っているにすぎない。したがって、補強効果はあまり期待できず、むしろガラス繊

記号	試験体の形状	ポリマー添加費	比重
A	220×220×30mm	3%	0.52
B	220×220×30mm	8	0.53
C	220×220×30mm	12	0.51

表-2 難燃性試験体の種類

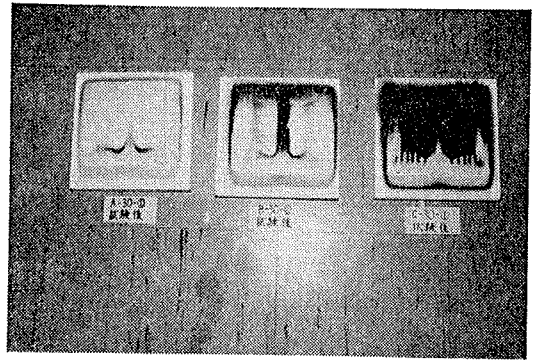


写真-4 表面加熱試験後の試験体

項目	ポリマー添加量	比重	強度	比強度
曲げ試験 (JISZ2113)	0 (%)	0.616	45.2(kgf/cm ²)	73.4(kgf/cm ²)
	3	0.501	63.8	127.3
	8	0.473	85.2	180.1
	10	0.536	101.5	189.4
圧縮試験 (JISZ2111)	0	0.613	33.2	54.2
	3	0.504	70.0	138.9
	3	0.495	83.4	168.5
	10	0.534	100.6	188.4

表-4 ポリマーの添加量と物性の関係

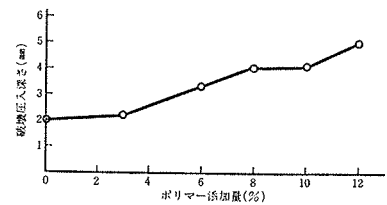


図-4 人造木材のポリマー添加量と表面硬度の関係

維は、製造時のろ水性を高める働きをしていると考えられる。けい酸カルシウム板の製造時におけるろ水性は、製造能率や、水抜けが悪いために起こる層間剝離など、製品の品質上重要なポイントであり、石綿が最も適しているため、従来より利用されているが、作業者の健康上の配慮もあって、人造木材ではガラス繊維を利用している。

人造木材に添加されたポリマーディスペーションは、ゾノトライト結晶およびガラス繊維などの絡み合った接点に対する接着剤としての効果があり、強度特性には、大きく作用している。

ポリマーディスペーションの添加量と物性の関係につ

項 目	単 位	物 性 値	試 験 方 法
カ サ 比 重		0.50~0.55	JIS Z 2102
曲 げ 強 度	kgf/cm ²	81.0	JIS Z 2113
曲げ弾性係数	kgf/cm ²	2.0×10 ⁴	JIS Z 2113
圧 縮 強 度	kgf/cm ²	83.5	JIS Z 2111
熱 伝 導 率	kcal/m·hr·°C	0.085±0.0001 θ	JIS A 1412
吸 水 率	%	150±5	JIS Z 2104
吸水・熱・伸縮性	%	± 0	JIS A 1129 160°C加熱
釘引抜抵抗性	kgf/本	30	JIS Z 2121 ℓ45, φ 2.5
木ねじ保持力	kgf/本	20	JIS A 5908 ℓ16, φ 2.7

表-5 人造木材の各種物性

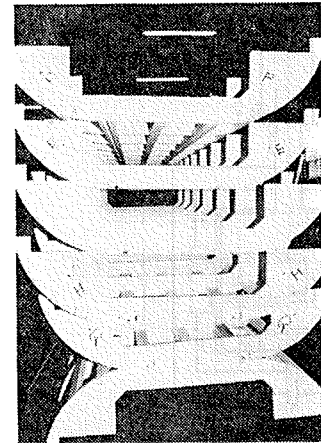


写真-5 化粧天井用に加工された人造木材

いて、表-4に示す。また、ポリマー添加量は、材料の硬度にも大きく影響している。図-4は、直径10mmの鋼球を1mm/minで圧入したときの破壊圧入深さを示したもので、ポリマー添加量の増加にしたがって無機材料の脆性が改善されていることがわかる。しかし、その効果は、添加量に比例はしておらず、3%の添加量では、ポリマーを添加していないものと比べてほとんど効果のないことがわかる。加工性の良否を定量化することは難しいが、6%添加のものでは、鉋がけや切削加工が容易であるところから、この試験における破壊時の圧入深さが、加工性を判断する一つの指標になると考えられる。

これらの結果より、ポリマーの添加量は、人造木材の物性に大きく係っており、物性と加工性の点では、ポリマー添加量が多いほど優れているといえる。しかし、防火性との関連もあり、両者が両立するポリマーの添加量として、現在は、7%添加で実用化を図っている。これらの各種物性については、表-5に示す。

4. 建築用途への利用

人造木材は、その物理強度を勘案すれば、現状では不燃の内装用下地材や胴縁材などの造作用材として適している^{4),5)}。下地材について不燃材の使用を義務づけられている場合、従来は、けい酸カルシウム板や軽量鉄骨によっているが、施工が容易でなく、加工性が良くないため平面的なディテールしかできないなど、凝った意匠は不可能であった。その点、人造木材は、加工性に優れるために、写真-5に示すような自由度の高い納まりが可能である。

木材は、節などの欠点部分があったり、乾燥時のひび割れの発生などによって、実際に工事に使用できる量、すなわち歩留りは、原木の50%程度であるといわれている。人造木材は、工業製品で所定の厚みのボードに製造

できるために、歩留りが、75~80%と極めて高いことや、木材のような含水率調整のための乾燥工程を必要としないなどのコスト面でのメリットも認められる。

建築用途としては、不燃胴縁、パネル類の枠材、照明ボックス、カーテンボックス、天井板、面縁類、羽目板、防火扉などが考えられる。

5. おわりに

木材のもつ特性は、建築材料として利用する上で優れたものであるが、建築物の不燃化が要求される現代ではこのような特性と防火性を兼ね備えた建築材料の開発は極めて重要なテーマであると考えられる。今回、開発した人造木材は、不燃で耐腐朽性や寸法安定性に優れ、しかも木材と同様な加工が可能であるなど、内装用建築材料として用途は広い。しかし、その強度は、木材と比較するとまだまだ及ばず、今後、構造材としての適用を図れるよう、高強度人造木材の検討を進めている。

最後に、人造木材の開発プロジェクトとして、数々の御助言、御助力を頂いた小野田セメント(株)、関連製品事業部、新製品開発研究所、小野田化学工業(株)、内外木材工業(株)開発部の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 村山: 多元複合材料, *Plastics Age* (1978.9~1979.1)
- 2) Taylor, 光田訳: 含水カルシウム酸塩, *鉱物学雑誌*, (1979. 9)
- 3) 山口, 青山, 堀, 他: けい酸カルシウム系人造木材に関する研究, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, (昭和59. 10)
- 4) 青山, 堀: 人造木材の開発と建築用途利用について, *建築仕上技術*, (1983. 12)
- 5) 青山, 堀: 人造木材の開発と建築への利用, *材料技術*, (1984. 10)