

発ぼうせっこうの利用に関する研究

青山 幹
森下 和仁

Study of Foamed Gypsum as a Fireproofing Material

Tsuyoshi Aoyama
Kazuhito Morishita

Abstract

In recent years, a necessity has been rising for effective utilization of byproduct gypsum. This study is on the feasibility of using foamed gypsum as a fireproofing material with the object of making up for the weak points of neat gypsum, for example, deformation caused by heat dehydration. Improvements needed on foamed gypsum were also considered, such as reinforcement by impregnation of synthetic resins.

As a result, it was determined that the flammability of polymer-impregnated foamed gypsum is influenced by the type of synthetic resin used and the percentage of resin impregnated. As for fire-resisting performance of foamed gypsum, it is adequate when considered on the basis of thermal behavior.

概 要

近年脱硫酸せっこうの有効な利用の必要性が高まって来つつある。本研究はせっこう単味の防火材料としての弱点、たとえば加熱脱水に伴う変形破壊の対策として断熱性を付与した発ぼうせっこうの形での有効利用を目的とし、難燃性能および耐火被覆材としての可能性を検討したものである。また必要に応じて合成樹脂の含浸も考え、その改良すべき点についても考察しようとするものである。

試験方法は、難燃性については、JIS A 1321 に準じ、耐火性能については JIS A 1304 に準じた。

結果として、難燃性については、その含浸した合成樹脂の種類および含浸率による影響が判明した。また耐火性能については、裏面温度の検討によりじゅうぶんに耐火性能ありと認められるが、物理強度を施工に耐えうるようにする補強方法を考える必要がある。

1. まえがき

近年建築物の超高層化に伴い、諸建材の不燃化は強く要求されて来ている。ことに昭和46年の建築基準法改正以来、施行令等によって建築物の不燃化の促進は義務づけられつつある。著者らは不燃材としてのせっこうに着目し、せっこうの防火材料としての利用についての検討を行なった。せっこうは128°Cでその結晶水の4分の3を放出し約4.6kcal/molのエネルギーを吸収する。この長所は在来よりせっこうボード等として用いられて来ているものであるが、せっこうボードの両面の紙を省略すると、加熱時に収縮きれつ・温度ひずみによる割れ等をおこし、建材としての使用に耐えない。そこで非構造材料として強度の点はさておき

断熱マトリックスとして、発ぼうせっこうの形をとりこれらの収縮きれつ・温度ひずみによる全体の割れなどを改善することを考えた。あわせて、せっこうを発ぼうさせることにより、当然のことながら、軽量化・断熱性能の向上など多くの長所も生まれてくる。

また、せっこうは公害防止のための排煙脱硫酸における副産せっこうとして、原料の面でも今後ますます大量に生産される傾向にあり、このため用途面での開発の要望も高まって来つつある。

本報告は、発ぼうせっこうの製造方法の改善、表面硬度の向上などの目的で合成樹脂含浸も考慮し、それに伴う難燃性の変化、および耐火材料としての火災時における性質の3点について検討し、あわせて発ぼうせっこうの今後について述べたものである。

2. 製造方法の検討

2.1. 発ぼう方法

一般に水硬性材料に気ほうを含ませることは比較的容易であるが、その気ほうを均一に安定させることは困難である。気ほうを含ませる方法には、空気連行方式（A. E. 剤等を用いる方法）気体発生方式（スラリー中に気体を発生させ発ぼうさせる方法）等があることが知られている。本実験に用いた方法は後者に属するが、用いた発ぼう剤と比重の関係を示せば、図-1のごとくである。

2.2. 可使時間

半水せっこうに適量の水を混入すると約8分で凝結する。ところが、前節で述べた方法、あるいはその他の方法であっても、発ぼうに要する時間は明らかにそれ以上であることが知られている。発ぼう剤の有効な用法など安定した発ぼう体の製造のためには、せっこうの可使時間を適当に長くしなければならない。一般に、酸・アルカリ・塩・タンパク質などにより、せっこうの凝結時間が長くなることは知られており、本実験の結果は、図-2に示す如くである。ただし本実験では、ピーカー間の移しかえ可能な時間を測定する方

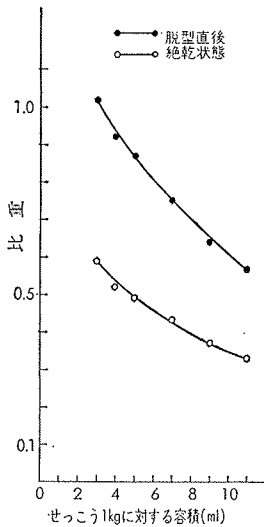


図-1 発ぼう剤の効果

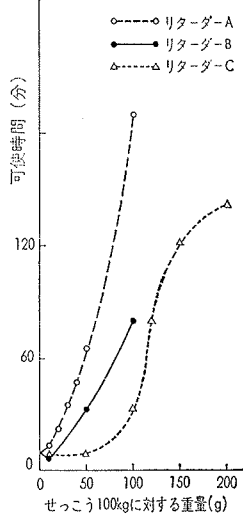


図-2 リターダの効果

		材 料	重 量 比
粉 体	1	焼せっこう	100
	2	分 解 剤	0.3
液 体	1	凝結遅延剤	0.1
	2	界面活性剤	0.05
	3	水	75
	4	発ぼう剤	0.72

表-1 配合表

法をとった。

2.3. 配合の決定

前節までに述べたほか、水/せっこう比・界面活性剤等に検討を加え、比重とのかねあいから、配合を決定した。表-1に示す。

3. 合成樹脂含浸時における難燃性の検討

発ぼうせっこう自体の表面硬度は一般に小さくなるので合成樹脂を添加して改善を計ったが、合成樹脂の添加に伴う素材の難燃性の変化をまえもって調査しておくことが必要となる。そこで、数種の合成樹脂を含浸した発ぼうせっこうの難燃性試験を行ない、使用した合成樹脂の種類・添加量等の差異による影響を検討した。

3.1. 試験体

試験体は表-1に示した配合で、かさ比重0.6の板を作成した。大きさはJIS A 1321-1970に指定された寸法で、厚さ10mm、30mmのものに対し、3種類の合成樹脂を含浸させたものである。含浸用樹脂、含浸率等については、表-2に示した。

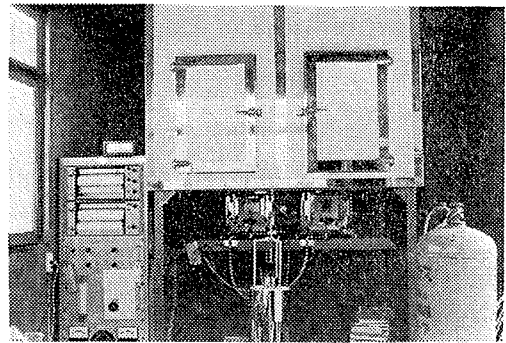


写真-1 JIS A 1321 試験機

3.2. 試験方法

試験方法は、JIS A 1321-1970「建築物の内装材料および工法の難燃性試験方法」のうち、3.表面試験に準拠した。装置は写真-1に示す。

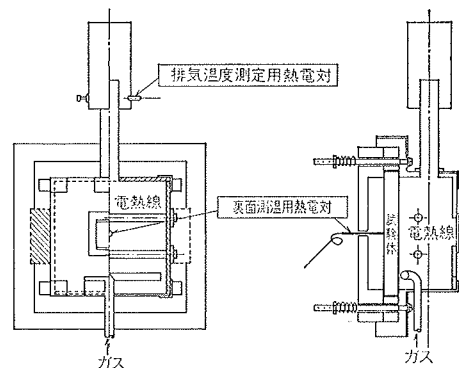


図-3 温度測定点説明図

項目 No.	材 料			検 討 項 目																	
	樹脂種類	含浸率	板厚	溶 融	亀 裂	変 形	★2 残 炎	ガ ス 等	排 気 温 度		★4 発煙係数	裏面最 高温度	★5 裏面ピー ク温度								
									★3 3分以内	温度時間 面 積											
1	アクリル	5%	10mm	少なし	★1 ○	割れ	<	そり大	×	なし	○	希薄	○	超えず	○	—	—	16.5	不	—	—
2	同上	5%	10mm	少なし	○	割れ	×	そり大	×	なし	○	希薄	○	超えず	○	0.0	不	25.0	不	135°C	180°C
3	同上	10%	10mm	少なし	○	割れ	×	そり大	×	なし	○	希薄	○	超えず	○	60.0	準	12.0	不	175°C	—
4	同上	10%	10mm	少なし	○	割れ	×	そり大	×	なし	○	希薄	○	超えず	○	270.6	難	5.0	不	160°C	265°C
5	同上	10%	30mm	少なし	○	微細	○	そり小	○	なし	○	希薄	○	超えず	○	658.0	×	30.0	不	90°C	—
6	同上	10%	30mm	少なし	○	微細	○	そり小	○	なし	○	希薄	○	超えず	○	591.4	×	21.0	不	95°C	105°C
7	同上	20%	10mm	少なし	○	割れ	×	そり大	×	7'30"	×	希薄	○	超えず	○	900.0	×	58.5	準	210°C	355°C
8	ポリエステル	10%	10mm	少なし	○	割れ	×	そり大	×	なし	○	希薄	○	超えず	○	0.0	不	70.5	難	175°C	—
9	メラミン	10%	10mm	少なし	○	割れ	×	そり大	×	なし	○	希薄	○	超えず	○	0.0	不	27.0	不	190°C	—

注 ★1 検討項目中 ○：合格，×：不合格，不：不燃材料としての値をみたとす。準：準不燃材料としての値をみたとす。
 難：難燃料としての値をみたとす。
 ★2 加熱終了後30秒以上の炎のある火気を意味する。
 ★3 加熱開始より3分以内に標準温度を超えることを意味する。
 ★4 J I S A 1321-1970 の3を参照のこと。
 ★5 加熱終了後放置したときの裏面温度の最高値。

表一2 難燃性試験結果一覧

また参考までに、試験体の裏面温度も測定した。測定箇所は、裏面のほぼ中央一個所に、外径1.6mmのシーズ型クロメル・アルメル熱電対を設置し実線記録式の電子管式平衡記録温度計を用いた。なお試験炉の概要図を図一4に示す。

3.3. 結果および考察

試験結果は、表一2に示すとおりである。各件についての考察は以下のとおりである。

(a) 溶融・亀裂・変形に関するもの 観察によれば、加熱変形等の応力集中によるきれつ破壊は、発泡せっこう自体には起っておらず、すべての破壊は加熱による結晶水の発散に起因する表面収縮と強度低下の結果と考えられる。

(b) 残炎（加熱源をとり除いた後自ら炎を出して燃焼する現象であり可燃性の度合いの目安）に関するもの 30秒以上の残炎は、アクリル樹脂を20%含浸させたものに見られただけであり、10%以下の添加量ではせっこうリッチのためか残炎はみられず燃焼が妨げられたと考えられる。したがって残炎の面から言えば樹脂10%までの含浸は可能であると言える。

(c) 温度時間面積・発煙係数に関するもの アクリル樹脂については含浸率を変化させたが、この結果によれば、含浸率と温度時間面積（材料から発生する熱量の指標である）の関係は含浸率を増すと温度時間面積は飛躍的に大きくなり、ついには、可燃性を持つようになった。同樹脂について、含浸率と発煙係数については、特別な関係は見つけられなかった。また板

厚と発煙係数の関係では、板厚がより大きくなると、発煙係数も大きくなる。ただし試験体が少ないため増大のようすをつかむことはできなかった。概してアクリル樹脂について言えることは、含浸率を増して樹脂量を増加させることにより発熱量は多くなるが、発煙は余り変化しないということである。含浸させる合成樹脂の種類による差異は、10%含浸のデータのみではあるがはっきり認めることができる。アクリル樹脂では確かに煙は少ないが、発熱量はきわめて大きくなる。ポリエステル樹脂やメラミン樹脂においては、発熱量は小さいが、発煙量は大きい。

(d) ガスの発生に関して 臭覚による調査では、排気中に樹脂が燃えたことが判然と確認できる程度であった。

(e) 裏面温度に関するもの 裏面温度の上昇の状況を調べると、厚さ10mmのものは一般に4～5分で100°Cに到達し、後は樹脂の種類、含浸率によって異なるが、数分でこの域を脱し上昇してしまう。これに対し、30mmのものは10分をすぎても100°Cを超えないことが認められた。今回の実験結果から、厚さを増せば、かなりの耐火性が得られることが類推された。すなわち、発泡せっこうによる耐火材料の性能について考えると厚さがかなりのファクターとなることがわかった。

4. 耐火加熱試験における性能の検討

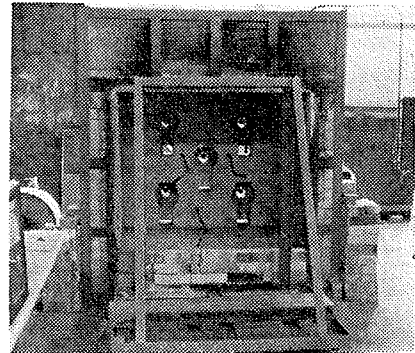
前章においては、厚みに対する考察を行なったが、

本章では耐火材料としての性能を検討し、加熱時および加熱後の発ぼうせっこうの変化を調査した。

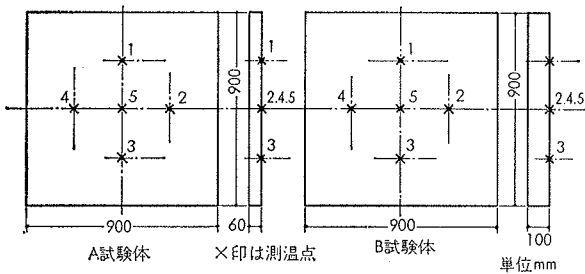
4.1. 試験体

試験体は表一に示した配合により、図一に示す形状に平打ちで成形したものである。

養生は脱型まで室温で3日間放置し、その後室温20℃ R. H. 65%の養生室内で約5か月間乾燥した。



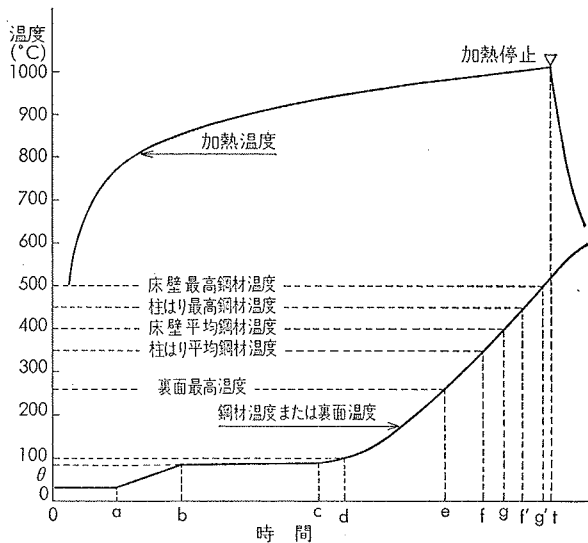
写真一 耐火加熱試験炉



図一 試験体の形状

4.2. 試験方法

試験方法は、JIS A 1304-1965「建築構造部分の耐火試験方法」の5.加熱試験に準拠して行なった。加熱試験炉は、写真一に示す形状である。加熱中は炉裏まどからも、観察を行なった。裏面温度変化の検討項目として図一に示す点を考えた。また加熱後の試験体に対し、X線解析により結晶の変化を見ることにより火害を受けた程度も調査した。



a: 温度上昇開始時刻, b: 温度停帯開始時刻, c: 温度再上昇開始時刻,
 d: 100°Cをこえる時刻, e: 260°Cをこえる時刻, f: 350°Cをこえる時刻,
 g: 400°Cをこえる時刻, h: 450°Cをこえる時刻, g': 500°Cをこえる時刻,
 i: 加熱停止時刻, θ: 停帯温度

図一 検討項目

4.3. 結果および考察

加熱試験のグラフは、図一に示し、検討項目各項についての値は、表一に示す。

加熱試験における観察は10cm厚のものを用い、主としてきれつが発生の挙動を調べた。加熱後20分頃に全面に細かいきれつが発生し、80分頃に比較的深いものが発生するのが認められた。

本実験では、比重0.5の発ぼうせっこうの耐火性能の詳細を把握した。予備実験で行なった耐火試験において同様な比重の発ぼうせっこうの厚さ10mmのものが、10分以内で破壊しているのに、本実験での試験体は形状が相似するため、30分程度で破壊するのではないかと予想した。しかるに、実験開始後30分経過したとき、ようやく裏面温度が60°Cに達し、形状の変化は見られなかったためそのまま試験体を加熱し続け70分後に終了した。(加熱装置に不備な点があったため) 試験体にはこの時点で破壊した部分は認められず、脇のすきま(すきまをうめたトムレックスが破壊したため)からの炎のまわりによって3辺部が火害を受けた。そのため周辺部約5cmのみが移送時に破壊した。以上は厚さ6cmのものについてであるが、厚さ10cmのものについても加熱時間に関する以外の条項に関しては大略同じであった。

そこで、裏面温度について、他の耐火材料と比較すると、比較的低温(100°C以下と考える)を維持する時間が長いことが判明した。たとえば、川砂モルタル厚さ50mmでは60分後に100°Cを越える。また軽量コンクリート厚さ50mmでは、70分後に越える。普通コンクリート厚さ50mmでは、30分後にすでに越えてしまう。しかるに発ぼうせっこう50mm厚では、70分後であっても70°Cである。しかしながら、今回の実験は耐火被覆の試験としてよりも、耐火性能をもった壁板の性能チェックのような方法であったため、せっこうがすべて半水または無水せっこうとなった時点では、全体が破壊してしまう恐れがあり、また加熱後の各

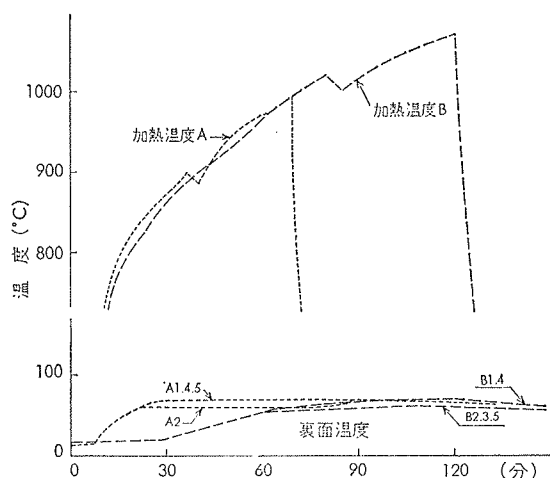


図-6 加熱試験結果

部分の影響を調べるためにも破壊する以前の段階で終了する必要があった。このゆえに本試験体では100°Cを越えるまでの時間は測定していないので、他材料との時間的比較はできなかつた。きれつ状況については、表-3を参照のこと。粗大きれつはⅢ部まで、また微細きれつはⅠ部のみである。これに比べ予備実験における比重0.8の試料では、裏面まできれつが貫通しているが、これは加熱変化による応力の集中によるものと考えられる。この点発ぼうせっこうの低密度(比重)のものは加熱変形が表層のみで起こり、応力分散がなされて全体の破壊に至らないものと予想される。

耐火試験後における各部分の結晶は、表-3に示すⅠ～Ⅲ部が、硬せっこう、Ⅳ～Ⅴ部が、せっこうである。Ⅰ～Ⅲ部は250～400°C以上の高温にさらされたと考えられるが、Ⅳ～Ⅴは100～130°C以下であったと考えられる。なお今回の解析では、半水せっこうは見出されなかつた。

一般に発ぼうせっこうは、加熱により表面から侵されるが、含水率・結晶の転移・結晶水の発散等による発ぼう体の断熱効果の変化で、厚さが大なるにつれて、耐火時間はいちじるしく向上して来る。試験体各部深さの温度測定を行なわなかつたため壁体の温度分布は得られなかつたが、いずれにせよ、火災時の熱エネルギーは当初せっこうからの結晶水放出のエネルギーとして、あるいは水の気化潜熱などに変換させられ、結晶水放出後の部分は保温断熱材として働くため全体の厚さが厚くなるほど耐火性能は急激に増加するものと考えられる。

今回は、壁体を自立させて耐火試験を行なったため壁柱被覆材としての性能評価はある程度できたが、応力を生ずるような部位に対する使われ方の場合の評価

項目	試験体	試験体	
		A 6 cm厚	B 10 cm厚
加熱時間	t-o	70分間	120分間
裏面温度上昇開始時間	a	5分後	30分後
裏面温度停滞時間	b-a	40分間	45分間
上記裏面温度	θ	70°C	65°C
裏面最高温度	—	70°C	70°C
上記到達温度	—	30分後	120分後
試験後の亀裂の深さ(最大)	—	25mm	45mm
微細亀裂の状態	—	全面	全面

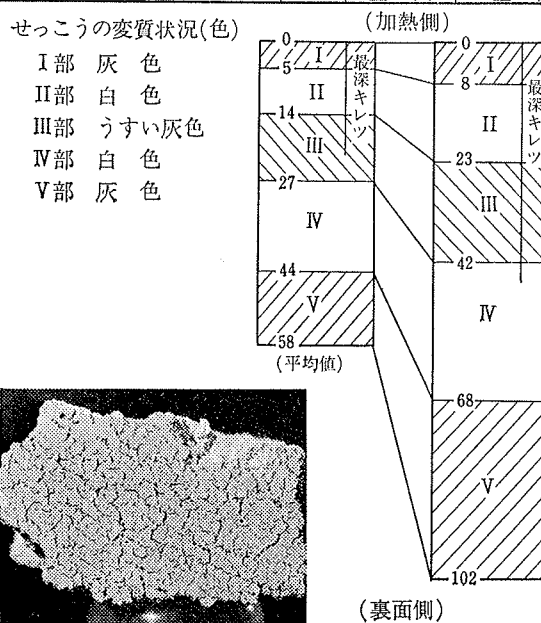


表-6 耐火試験結果(各項目)

も必要となる。

5. あとがき

耐火設計を行なうにあたり、被災後の再使用を考えると、構造材料自体が耐火性能を持つものより、構造材料を耐火材料で被覆する方が補修上容易であろうと考える。また耐火被覆工事を行なうにあたり、成形材を用いる工法と吹きつけ材を用いる工法とでは前者の方が安定した性能を得ることができる。

発ぼうせっこうについては、本実験素材のままでも使用は可能であるが、建材としては一層の改良を加える必要がある。特に強度についての改良は最重点項目であろう。さらに耐火材料の施工法を、性能の安定化省力化の見地からより一層開発しなければならないことを痛感する。たとえば、成形板相互あるいは、構造体へのはりつけ方法について理想的な工法のないのが現状だからである。

おわりに、本研究にあたっての、建設省建築研究所の今泉勝吉先生の御指導に対し深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新訂建築学大系 21 建築防火論