

石膏による木造耐火床の評価解析

Wooden Fireproof Floors Experiment Using Recycled Gypsum

藤野 毅^{1*}、大西 克則²
Takeshi Fujino¹, Katsunori Onishi²

¹ 埼玉大学 大学院理工学研究科 環境科学領域
Div. of Environmental Science, Graduate School of Sci. & Eng., Saitama University

² 積水化学工業株式会社 住宅カンパニー 技術部
Technology Department, Housing Company, Sekisui Chemical Co., Ltd

Abstract

The growing problem of hydrogen sulfide resulting from the disposal of waste gypsum boards has yet to find an effective solution. Recent years have brought urgent calls for a means of recycling waste gypsum boards. This study focused on applications in floors, which among major structural parts are subject to particularly severe conditions. The author examined the form of gypsum after pouring, as well as the formwork and pouring methods, employing the properties of gypsum hemihydrate recycled from waste gypsum boards. The study has established specifications that overcome the problem of afterflame following a fire involving wooden fireproof construction.

Key Words: Gypsum board, Recycle, Gypsum hemihydrate, Wooden, Fireproof, Floor

1. 目的

木造建造物において、鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同様の耐火構造を確立することは困難である。特に、火災終了後の残炎対策は木造建造の大きな課題である。その為、一般的に認められている準耐火構造の条件は、火災の発生から定められた時間における非損傷性と遮熱性・遮炎性を保証することであり、火災終了後の残炎対策は求められていない。

一方、耐火構造は定められた時間の火災後も非損傷性と遮熱性・遮炎性を保証することとされており国土交通省の「木質複合建築構造技術の開発」の事例などでも火災後の残炎があり、試験方法で求められている火災時間の3倍まで残炎に耐えられる仕

様に強化することで耐火構造に対応している^[1]。しかし、構造部材に残炎があると二次災害を招く可能性があり火災終了後の構造部材の温度が上昇しない木造耐火構造が求められているものの未だに解決されていない^[2]。

そこで本研究では、火災終了後の温度上昇をより低く抑える機能を有する部材を選定し、実証試験を試みた。温度を低く抑える機能として、熱伝導率だけでなく、高温時に部材内部で水を発生させ、さらにその水が蒸発する機能も期待される石膏に着目した。

建築材料として石膏ボードは広く用いられているが、新築時や解体時に廃棄物としても大量に発生している。2006年度の石膏ボード廃材の排出量は、新築時に端材として発生する比較的損傷の少ない廃材が25万t/年、1970年代以降の石膏ボードを大量に使用した建物の解体時に発生する仕上げ材

* 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255
電話 : 048-858-9574 FAX : 048-858-9574
Email : fujino@post.saitama-u.ac.jp

の付着など損傷の多い廃材が 120 万 t / 年あり増加傾向である^[3]。これらは最終処分場で硫化水素が発生するなどの問題を抱えているにもかかわらず、その再資源化には有効な対策がなされていないのが現状である。

本研究では、まず、石膏ボード廃材の再資源化から検討を行い、再原料化手段を研究した。次に、その石膏を木造建造の中でも直火や積載荷重など、条件の厳しい床部に適用を試み、非損傷性と遮熱性・遮炎性、および非残炎性に関する実験を行った。

2. 石膏ボード廃材の再資源化

2.1 原料化の方法

まず、回収した石膏ボード廃材を付着物や紙から二水石膏を分離した。分離により得られた石膏は 2 分子結晶水を持つ硫酸カルシウム（二水石膏）である。これに 120℃以上の熱を加えると 4 分の 3 の結晶水を失って半水石膏になる。逆に、半水石膏に水を加えて固化すると二水石膏に戻る。このように、石膏は水硬性能がある為、定型建材などへ応用が考えやすい。但し、190℃以上に加熱すると全ての結晶水を失って無水石膏になり、水硬性能は無くなる。

以上の特性を踏まえ、二水石膏を 3mm 以下の粒径に粉碎したのち、スクリーコンベアを用いて攪拌しながら移動させ、同時に遠赤外線照射によって加熱した。輻射加熱量はスクリーコンベア出口側の石膏の温度が 120℃～190℃の範囲となるように調整した。ここで、加熱温度とその時間に応じて半水石膏の割合が異なると予想されるため、出口側の石膏の温度を 135℃（条件 A）、145℃（条件 B）および 164℃（条件 C）とした。その後、X 線回折分析により試料の組成を調べた。

2.2 石膏の組成分析

Table 1 に、X 線回折による石膏の組成分析結果を示す。半水石膏へ変換は加熱時間を長く、出口温度を高くするほど増大し、164℃では残存する二水石膏が 2%以下になった。石膏ボードに介在していた

無水石膏が 3%あり、分離時に残存したパルプ分との合計はどのケースでも 10%以下であった。

本研究では、形状の維持が必要な定型建築材料を対象とするので、後の試験においては、半水石膏の割合が最大となる試料 C を用いることとした。

Table 1 X 線回折分析結果

		単位	試料 A	試料 B	試料 C
加熱出口側石膏温度		℃	135	145	164
石膏加熱時間		分	13.00	13.43	14.33
組成	半水石膏	%	65.2	87.3	89.2
	二水石膏	%	25.5	5.4	1.8
	無水石膏+パルプ	%	9.3	7.3	9.0

3. 再資源化した半水石膏を用いた木造耐火構造床の検討

3.1 木造耐火構造床の構成

木造の標準的な床の層構成では、床根太間に空間ができることで火災時に燃え広がりやすくなる。そこで、この空間を石膏で充填し、防火区画材としての機能を評価した。再原料化した半水石膏のまま空間に充填しても、含まれる水分量が少ないため気化熱による防火機能が働かない。そこで、半水石膏に水を含ませ、さらに気泡を混ぜて（以後：混練石膏）空間に流し込む。ここで、気泡を混ぜる理由は、i) 木造建築の重量負担の低減の観点から硬化・乾燥後の二水石膏の比重を小さくすること、ii) 空隙を増やすことで、加熱による水の相変化を速やかにするためである。これより、混練石膏のもともとの比重は 0.9 であったが、最小量の水と大量の気泡を混練して製作した結果、最も軽量の仕様として比重が 0.3 となったため、これを充填する。

次に、充填した混練石膏は流動化する為、木造建築現場において施工可能な型枠として、Fig. 1 のように 3 種類設定した。

- ・ タイプ I：鋼板型枠（アーチ形状）
- ・ タイプ II：鋼板型枠（フラット形状）
- ・ タイプ III：石膏ボード型枠（フラット形状）

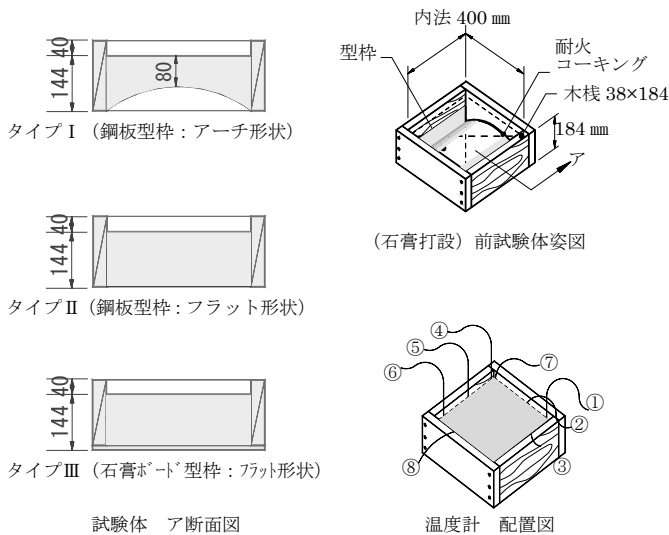


Fig. 1 加熱試験体の構造

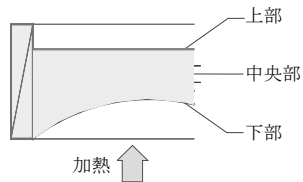


Fig. 2 サンプル採取位置

3.2 加熱実験と加熱後の組成分析

型枠タイプ毎に床の試験体を製作し、加熱実験を行った。加熱実験の方法は、実験炉に試験体を型枠材が下になるように設置し、ISO834 標準加熱曲線に準じ 60 分加熱して 20 分放置した。加熱実験時における各部分の温度挙動を測定するため、Fig. 1 に示すように熱電対を木枠の内側面（側壁：①～③及び④～⑥）、型枠裏面（中央加熱面：⑦）、石膏上面（中央裏面：⑧）にそれぞれ設置した。

加熱後、Fig. 2 に示す上、中、下部それぞれの石膏と床根太の非残炭性状態を比較した。加熱後の石膏組織の状態は、それぞれの部位の石膏を採取し、350℃で 60 分加熱による熱灼減量試験を行い、二水石膏、半水石膏、無水石膏それぞれの結晶水量から逆算して、それぞれの割合および自由水の量を求めた。

4. 結果

4.1 加熱実験による遮熱性

Table 2 に加熱実験中の側壁、中央加熱面、中央裏面の最高温度の結果をそれぞれ示す。ここで、遮熱性の条件は、裏面の最高温度が初期温度よりも

Table 2 各測定点の温度(単位：℃)

測定点	タイプ I	タイプ II	タイプ III
側壁の最高温度 (①～⑥の平均)	677.6	468.1	493.0
中央加熱面(⑦)の最高温度	900.5	897.0	926.5
中央裏面(⑧)の最高温度	78.6	72.3	43.3

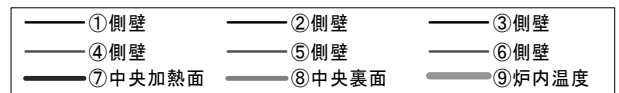
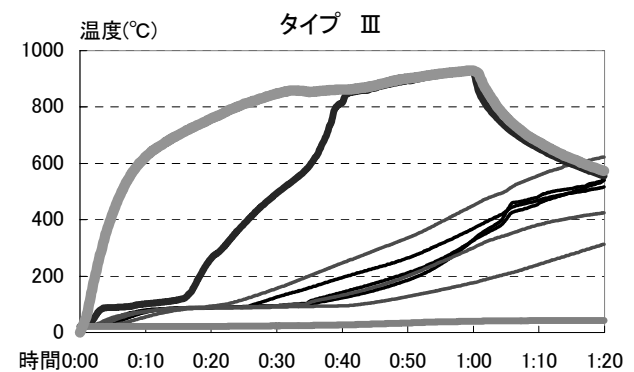
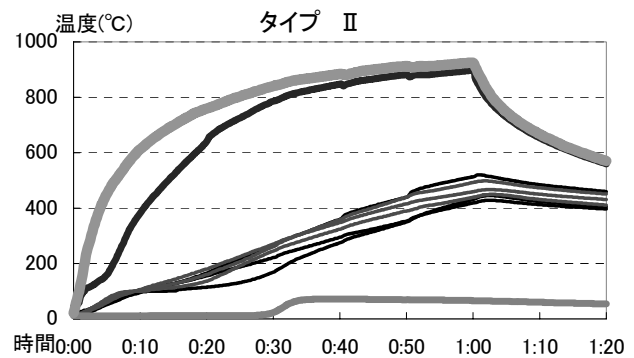
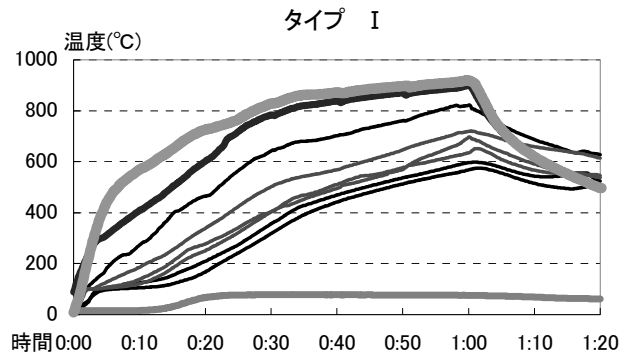


Fig. 3 各タイプ温度の変化

180℃を超えないことであるから、すべての型枠形状において条件を満たした。

4.2 加熱後の残炎性

Fig. 3 に側壁温度①～⑥の結果を示す。タイプ I とタイプ II は加熱終了後に木棧の温度が低下し残炎対策の効果が確認されたが、タイプ III では木棧の温度は上昇し続けた。なお、石膏の量の少ないタイプ I は側壁温度が他のタイプより約 200℃上昇しているにもかかわらず、加熱後の木棧の温度低下が顕著である。

下面から加熱することにより、石膏の組成は Fig. 4 のように、下部から無水石膏と半水石膏の混合、中央部は半水石膏と二水石膏の混合、上部は二水石膏と自由水となることが予想された。石膏の各組成における 1 モル当たりの重量は、二水石膏=172g、半水石膏=145g、無水石膏=136g であり、それらの差が結晶水量であることから、熱灼減量分の水量を各組成の結晶水量に割り当てて各組成の割合を算出した。

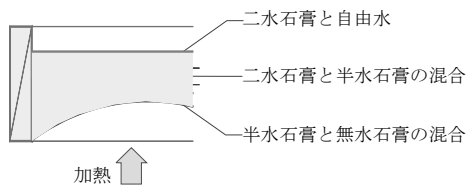


Fig. 4 加熱後の石膏組成の状況

5. 考察

Fig. 3 に示したタイプ III の温度変化グラフにおいて、⑧中央表面温度が、加熱後 15 分～40 分にかけて急激に上昇していることから、型枠の石膏ボードが加熱によって破損した事がわかる。このことから加熱により二水石膏から放出された水分が加熱炉内に発散して木棧へ水分供給が十分にされなかった事が残炎の原因と考えられる。一方、鋼板型枠であるタイプ I とタイプ II は、木棧が直接熱を受けるため、型枠の石膏ボードで表面を保護されたタイプ III の木棧よりも炭化が進行したにもかかわらず、実験炉の加熱停止後の炉内温度の下降に伴い、側壁の温度は下降している。これは、型枠を兼ねた鋼板により、二水石膏から放出された水分が加熱炉内へ発散することを防止していると考えられる。以上から、型枠材としては鋼板仕様が有効である。

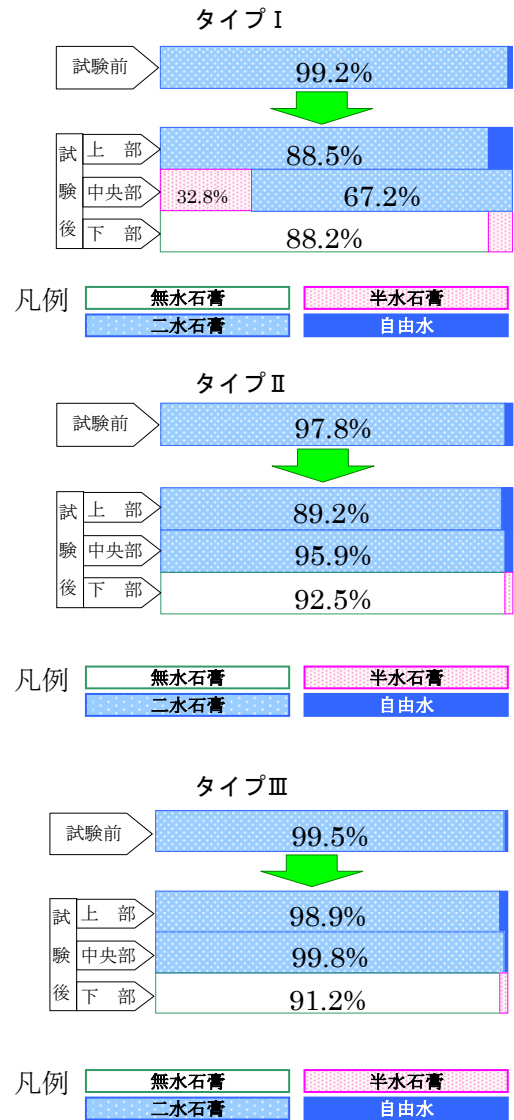


Fig. 5 石膏組成の分析結果

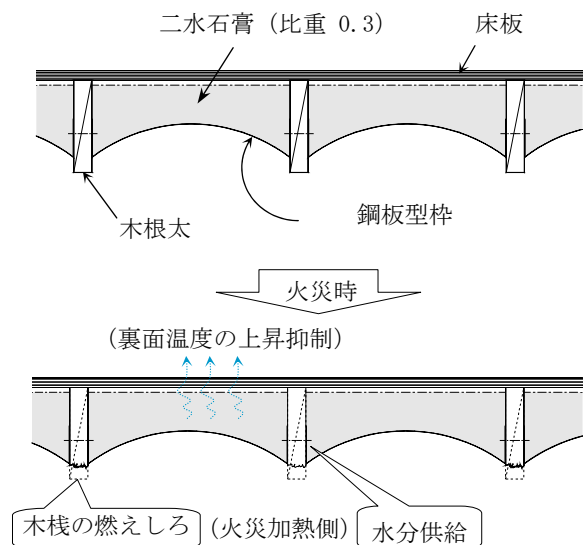


Fig. 6 アーチ形状木造耐火構造床の耐火機構

次に、タイプⅠとタイプⅡの側壁の温度を比較してみると、二水石膏の層が厚いタイプⅡの方が約200℃低く抑えられていることから、多量の水分が放出したことが予想される。しかし、加熱停止後の側壁の温度下降度合いについてはタイプⅠのほうが顕著である。これは、型枠がアーチ形状であるため、二水石膏から放出された水分が木棧側へ流れ易く、水分供給を促進したことが推測される。

Fig. 5は加熱後の組成分析結果を示す。加熱を直接受ける下部は結晶水が放出され、各タイプ共通で層のほぼ1/3の二水石膏が無水石膏に変化している。この無水石膏は加熱に対して断熱材として機能している。一方、各タイプ共通で上部の二水石膏は熱の影響も受けず、下方からの放出水分で湿潤状態にあった事から、下方からの結晶水の発散防止に機能したと判断できる。

二水石膏の層が厚いタイプⅡとⅢでは、中央部の二水石膏は熱の影響を受けていないが、層の薄いタイプⅠでは下部の石膏層による断熱効果が少ないため、中央部の二水石膏の約1/3が結晶水を放出して半水石膏へと変化している。このことからタイプⅠの二水石膏の量は耐火性能に対し、余裕はあるが過剰とは言えないレベルである。

以上のことから、二水石膏量の最も少ないタイプⅠの構成で十分な耐火区画性能が確認でき、鋼板型枠による水分発散防止性能と、アーチ形状による木棧への放出水分の供給効果により火災後の残炎の防止ができ、**Fig. 6**のような火災時の耐火メカニズムが明らかとなった。

6. まとめ

耐火構造の主要構造部の中で課題の多い床部位において、従来から木造の課題であった残炎を、再資源化した石膏で解決し、鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同様に火災終了直後から温度低下する安定した耐火構造を確立する事ができた。

本研究においては床部位に限定したが、今後は本研究による成果を活かして壁と屋根部位における木造耐火構造の研究を進め、さらに各主要構造部相互の接合部における耐火処理等の研究に展開して行く。

最終的には各主要構造部の耐火構造認定を取得し、木造耐火建築物を成立させる事で木造住宅の需要と供給において重要な役割を担うことになるであろう。

また、石膏ボード廃材から原料化した半水石膏について、今後も研究開発を推進し、多種多様なリサイクル用途を拡大することで、これからも大量に発生し続ける石膏ボード廃材に対応して行きたい。

参考文献

- [1] 須藤昌照ほか4名：木造床の耐火性能評価，日本建築学会大会学術講演概要集(A-2)，pp. 41-42，(関東) 2001. 9
- [2] 西田一郎ほか2名：木質複合構造の耐火性能その5，燃え止まり火害調査，日本建築学会大会学術講演概要集(関東)，pp. 77-78，2006. 9
- [3] 環境省廃棄物・リサイクル対策部：廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する報告書，pp. 1-2 pp. 20-24，p36，2002. 12