

延焼防止性能と軽量化を両立する新規耐火パテの開発

Development of Lightweight for Fire-Resistance Putty

用瀬 英順^{*1}
Hidenobu Mochigase鈴木 裕^{*1}
Yutaka Suzuki三木 栄治^{*2}
Eiji Miki光宗 将太^{*2}
Shota Mitsumune大庭 啓彦^{*2}
Yoshihiko Ohba井上 幸彦^{*2}
Yukihiko Inoue

〈概要〉

建築物におけるケーブルや配管の壁・床貫通部の防火措置工法（開口部塞ぎ）には、耐火性の材料を使用することが防火法規上必要である。しかし一般的に普及している耐火性のパテ材は比重が大きく重いため、工事の際の持ち運びや作業性の面から軽量化のニーズが高かった。そこで従来品の約半分という大幅な軽量化を実現した耐火パテ「ダンシール-KP」を新たに開発した。各種の壁・床貫通部の防火措置工法として、建築基準法で定められる耐火性能の国土交通大臣認定も取得済みである。

1. はじめに

建造物では、各種ケーブルや配管などが配線・配管される際に、各設備や部屋を区分けする壁や床に貫通孔（開口部）が生じる。この開口部が防火上適切に塞がれていない状態で火災が発生すると、ケーブル被覆などが延焼して導火線のように隣室へと火災を拡大してしまうことから、建築基準法では所定の耐火性能が必要とされ、公的認定を取得した材料・工法にて防火措置をすることが義務化されている¹⁾。

一般的な方法としては、耐火性を持つパテ材を開口部に充填する工法が多く用いられる（図1）。この耐火パテは液状ゴムやオイルなどの樹脂と無機充填材と難燃剤からなり、施工後に硬化する硬化型のパテと非硬化型のパテがある。

硬化型のパテは施工後の開口部を強固に保持できるが、解体が困難なため、建物のリフォームや設備の増設（ケーブルなどの再通線）に伴う再施工には対応できない欠点がある。一方、非硬化型のパテはケーブル再通線時にも解体・再施工が容易であるため、工事・設備業者には好まれているが、十分な耐火性を維持するために比重の大きい難燃剤が多量に使用され、硬化型に比べて比重が大きく重い製品が多い。天井裏など高所や狭所での作業が多い開口部の防火措置において、重いパテは持ち運びや施工作業にてデメリットとなるため軽量化のニーズが存在していた。

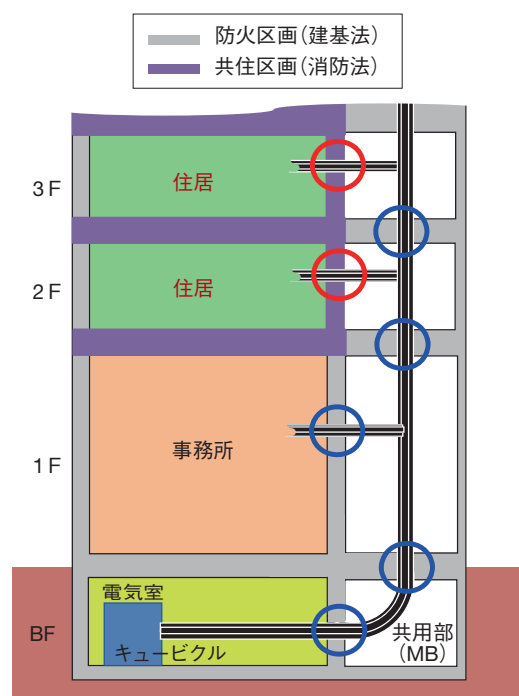


図1 耐火パテの使用例
Usage example of fire-resistant putty.

加えて、冬季低温下の工事現場でも硬くならず楽に作業できること、ケーブルや建材との密着性が良く脱落しにくいこと、絶縁性や防水性、長期安定性があることなどの諸ニーズも考慮の上、耐火性については防火基準に定める1時間の耐火試験において焼失や型崩れすることなく、開口部を有効に閉塞できる性能を目指し組成の検討を重ねた。その結果、パテの比重が1.0以下とこれまでになく軽量化かつ耐火性に優れたパテの開発に成功した。

^{*1} 古河電気工業（株） 研究開発本部 高分子技術研究所

^{*2} （株）古河テクノマテリアル 防災事業部

2. 他社品調査

近年、新たな耐火パテメーカーが参入し類似品を扱うようになった。当社の主力製品は非硬化型耐火パテだが、耐火性だけで差別化することが難しくなっている。そこで他社と差別化できる領域を見つける目的で他社製耐火パテの使用量当たりの価格と比重についての分布を調査した(図2)。その結果、非硬化型パテで比重1.0未満かつ価格が安い領域にはライバル製品がないことが分かった。そこでこの領域に入る性能のパテを開発することを目標とした。

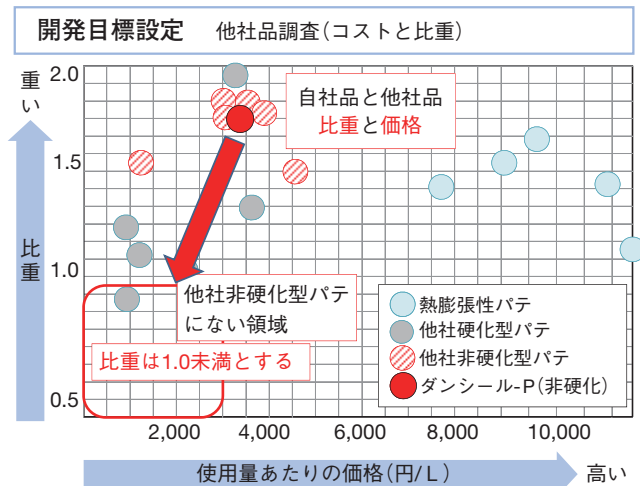


図2 他社品調査結果(使用量当たりの価格と比重の関係)
Investigation result of competitor's products
(Relationship between price per usage and specific gravity).

3. 軽量化材の検討

軽量化のため、軽量化材についての調査結果を表1にまとめた。軽量化効果(比重)、耐シエア性(潰れにくさ)の観点から人造無機中空フィラー L3と有機中空フィラー L4の2種類を候補材料として検討を進めた。

表1 軽量化材の物性一覧
List of weight-saving materials.

軽量化材	材質	粒径(μm)	比重	耐シエア性	形状
L1 (人造無機中空フィラー)	無機	15-135	0.1-0.5	×	真球
L2 (天然無機中空フィラー)	無機	150 (平均)	0.5-1.0	×	不定形
L3 (人造無機中空フィラー)	無機	5-300	0.5-1.0	△	真球
L4 (有機中空フィラー)	有機	50-70	0.1-0.2	◎	真球

◎：潰れない △：部分的に潰れる ×：潰れる

表2に示すように両軽量化材の軽量化効果、耐火性について調べるために、オイルと無機充填材と軽量化材を混練し、パテ状に加工したものについて評価を行った。無機充填材としては、過去の検討においてパテ燃焼後の形状安定性に効果がみられたものを用いた(表3のM2)。耐火性が高い人造無機中空フィラー L3のみを軽量化材とした場合、計算上のパテ全体の比重は0.99となるはずであったが、実際の比重は1.16となった。このことから、L3は潰れやすく、混練加工に耐えられないと考えられる。一方、軽量化材として有機中空フィラー L4のみを使用した場合、混練後の比重は計算通りであった。このことから、L4は混練加工をしても潰れにくいことが確認できた。しかし火災時に有機物であるL4は燃えてしまうため、耐火性能は不十分であった。この2種類の中空フィラーの長所を活かし短所を補うため、2種類の中空フィラーの混合組成についても実験を行った結果、比重は計算通りであり、火災時にも燃え残る耐火パテとして成立することが確認できた。以上の結果から、2種類の軽量化材を複合添加することで軽量性、耐火性を両立するパテが得られることが分かった。

表2 軽量化材検討実験一覧
List of experiment for weight-saving material examination.

●人造無機中空フィラー L3	●有機中空フィラー L4	L3+L4混合組成
重量% (オイル, L3, M2) 30.2%, 32.1%, 37.7% 計算比重: 0.99 実測比重: 1.16	重量% (オイル, L4, M2) 42.4%, 4.5%, 53.1% 計算比重: 0.99 実測比重: 0.99	重量% (オイル, L3, L4, M2) 41.0%, 3.8%, 3.8%, 51.3% 計算比重: 0.99 実測比重: 0.99
×中空フィラー潰れる →軽量化効果なし ◎燃えない	◎中空フィラー潰れない ×燃えてしまう 	◎中空フィラー潰れない ○燃え残る

表3 無機充填材一覧
List of inorganic fillers.

無機充填材	比重	難燃特性	燃焼後のパテの崩れにくさ
M1 (金属水酸化物)	2.0-3.0	◎	△
M2 (天然鉱物)	2.0-3.0	○	◎
M3 (金属水酸化物)	2.0-3.0	◎	△
M4 (天然鉱物)	2.0-3.0	△	×

◎：優れる ○：良い △：やや悪い ×：悪い

4. 耐火パテ組成の最適化実験

耐火パテの構成材料としては上記で述べたオイル、軽量化材のほかに無機充填材を使用する。この無機充填材の最適配合量の検討を行った。表3に今回取り扱った無機充填材の一覧を示す。無機充填材の中でも金属水酸化物であるM1(水酸化アルミニウム)とM3(水酸化マグネシウム)は燃焼時に脱水吸熱反応により難燃効果を示すことからいずれも有用である^{2)~4)}。

今回は材料コストがより低いM1を無機充填材の一つとして採用した。またM2をパテに添加することで燃焼時にパテの残留物が崩れにくくなる効果が確認できた。したがってM1とM2を組合せて使用することとした。次に基本構成材料をオイル、軽量化材、無機充填材M1、M2として無機充填材配合割合の最適化実験を行った。

耐火試験の簡易的な評価は電気炉を用いて行った。評価方法は下記の通りである。

- ①得られた組成を立方体に成形する。
- ②あらかじめ熱しておいた電気炉中に上記立方体を投入し、一定時間放置する。
- ③一定時間経過後、炉から取り出して観察する。

評価は加熱後の残留物の形状、及び、触った時の残留物の崩れやすさを目視で判定した。

試験前後の外観写真から分かるように、加熱試験後の残留物の状態には大いに差が見られた(図3)。この評価で、電気炉から取り出した時点で崩れている組成や触ると簡単に崩れてしまう組成は実際の施工状態を模擬した燃焼試験を行った場合においても耐火性に乏しいものであった。一方でこの試験を経ても崩れずに形状を保ち、収縮などが起きていない場合は施工状態の燃焼試験においても耐火性が高くなる傾向を確認できた。評価結果を図4にまとめた。無機物割合(人造無機中空フィラーL3、無機充填材M1、M2の体積の合計)が25 vol%以上、無機充填材のうちのM2の割合が0.4以上(M1とM2を足して1となるようにする)であれば耐火パテとして成立することを見出した。

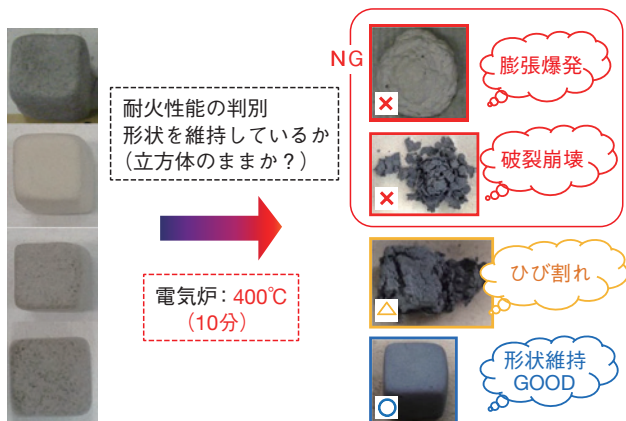


図3 電気炉試験による判定方法
Judgment criteria of the electric furnace test.

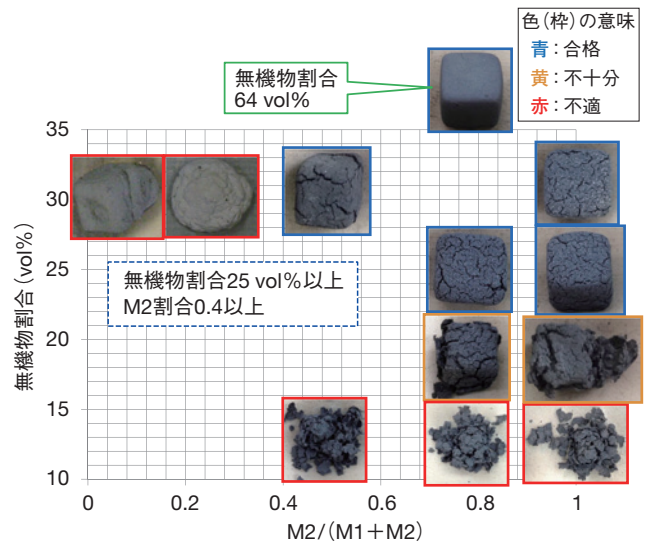


図4 無機充填材配合割合の最適化実験
Optimization experiment for inorganic filler mixing ratio.

5. 低温時の施工性評価 (パテの硬さの温度依存性)

耐火パテは耐火性能のほかに、冬季低温下の工事現場でも硬くならず楽に施工できることが要求される。従来のパテは低温時に硬くなってしまうものが多かったため、通常は一度温めてから使用されていた。したがって本開発品についても低温時の硬さ特性を調べる必要があった。そこで所定温度ごとにパテの圧縮しやすさ(潰しやすさ)を調べる試験を実施して、他社品との比較を行った。試験方法を以下に示す(図5)。

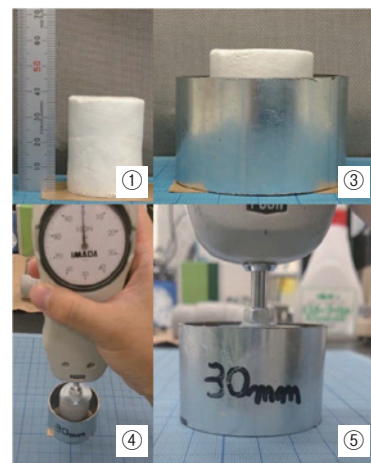


図5 圧縮試験の手順
Testing method of compression.

- ① パテを円筒形に成形する。
- ② 測定温度にて一定時間静置する。
- ③ サンプルを写真のようにサンプルより背が低く、径に余裕のある鋼管の中央に置く。
- ④ 試料の真上からプッシュプル計を押し付け、一定の速度で押し潰していく。
- ⑤ パテの高さが鋼管と同じ高さになるまで潰し、その時の力の最大値を読み取る(パテを潰すのに必要な力(N)を測定する)。

他社品 A, B は 0℃ で手練り困難である 100 N 以上となった。一方、開発品であるダンシール-KP は最適な樹脂成分の組み合わせより、-10℃ においても硬くなりにくく (70 N 程度)、低温時の施工性に優れたパテであることが確認できた (図 6)。

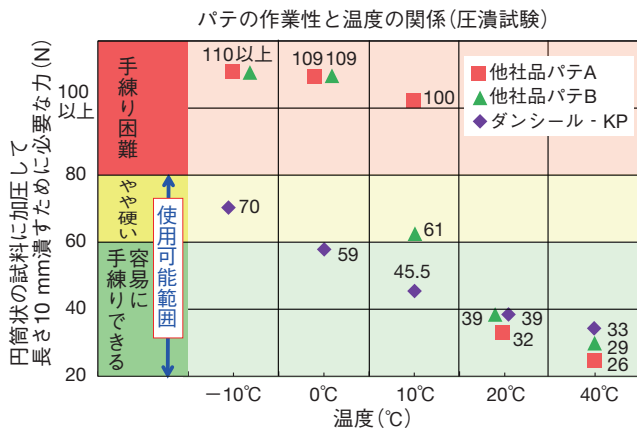


図 6 パテの作業性と温度の関係
Relationship between workability of putty and working temperature.

6. 耐火パテ組成の難燃性向上検討

最も厳しい難燃性レベルの指標の一つとして UL-94 垂直燃焼試験の V-0 が挙げられる。このレベルの難燃性をもたせるための検討を行った。試験方法は図 7 のように带状に成形したパテを下から所定時間炎であぶり、燃焼時間を測定し規定秒数以内に炎が消えるかの判定を行うものである。



図 7 UL-94 垂直燃焼試験
Vertical flame test (UL-94).

難燃剤の種類と量を振ったサンプルを用意し、燃焼実験を行った。V-0 レベルを達成するのはリン系難燃剤である F2 と F4 であった。F2 は一部の地域で危険物として扱われているため管理に注意が必要な材料である。よって、今回は F4 を樹脂に重量割合で 5% 以上添加し難燃剤として採用した。

表 4 難燃剤の物性一覧
Physical property list of flame retardant materials.

難燃剤	比重	難燃性
F1 (リン系難燃剤)	1.0-2.0	×
F2 (リン系難燃剤)	2.0-3.0	○
F3 (無機難燃剤)	2.0-3.0	×
F4 (リン系難燃剤)	1.0-2.0	○

○：合格 ×：不合格

7. 耐火性試験

実際に使用される状況を想定し、厚さ 75 mm の軽量気泡コンクリートパネルに φ 160 mm の丸穴開口を設け、図 8 のように、ケーブルと配管を貫通させた試験体に耐火パテを施工して国土交通大臣認定の試験法に準じた 60 分の耐火試験を実施した。加熱は図 9 の ISO834 に準じた標準加熱曲線に従って行い、最大 945℃ まで加熱した。パテ落下防止用のバックアップ材として、セラミックブランケットを不織布で包んだブロックを開口内に充填し、その上に本開発品を 10 mm、20 mm、50 mm の厚さで充填した。耐火試験 (図 10) を実施した結果、充填厚 10 mm でも十分な耐火性を有することが確認できた (表 5)。これは従来パテ工法と比べると 1/3 の充填厚である。これらの試験の結果、ベースとなる樹脂成分にブレンドされた軽量化材、無機充填材、難燃剤を最適配合した本開発品は耐火性が良好で、かつ比重が 1.0 以下という、耐火性と軽量化を両立したパテであることが確認された。

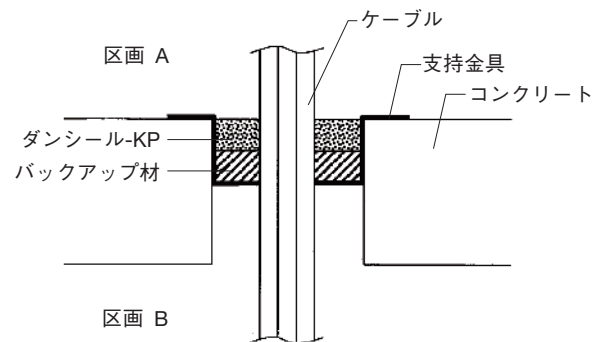


図 8 丸穴床工法の図面
Example of construction method.

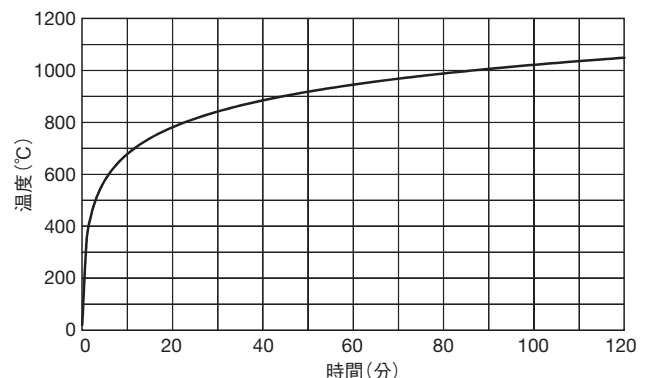


図 9 ISO834 に準じた標準加熱曲線
Standard heating curve based on ISO834.

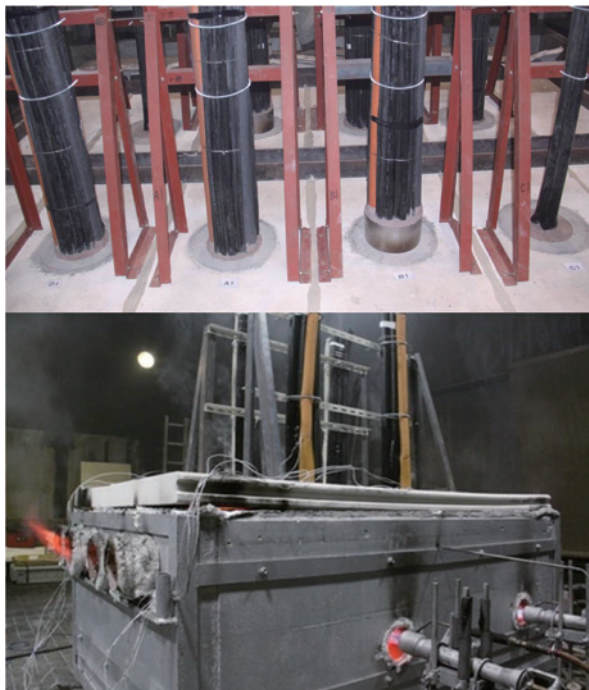
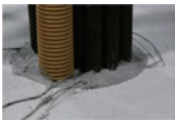
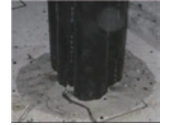


図10 耐火試験写真(上：上面，下：全体)
Picture of fire-resistant test.

表5 工法の検討・パテの充填厚検証
Optimization of putty thickness.

使用パテ	ダンシール - KP		
充填厚 (mm)	10	20	50
試験前 写真			
試験後 写真			

8. おわりに

本開発により，現在市場に存在しない比重1.0以下の非硬化型の耐火パテが完成した。この開発品は，低温においても硬くなりにくい性質があり，冬季・寒冷地でも施工しやすいという長所を有している。本開発品は丸穴壁工法と丸穴床工法において使用することが可能であり，建築基準法に定められる耐火性能の国土交通大臣認定が取得できている。製品としてはイチジカンパット，イチジカンマルユカのキット品の一部として既に発売されている。今後は様々な用途に使用できるように他の工法の認定についても取得に努めていく予定である。

参考文献

- 1) 建築基準法施行令第129条の2の5第1項第七号
- 2) 西澤仁：難燃剤・難燃材料活用技術，シーエムシー出版，(2004)，119.
- 3) 西澤仁：高分子材料難燃化技術の新しい展開－最新技術・材料・リサイクル・評価・特許・規制－，技術教育出版社，(2006)，125.
- 4) 西沢仁：ポリマーの難燃化＝その化学と実際技術＝，大成社，(1989)，71.