

耐火性を有するかぶり厚さ補修用 ポリマーセメントモルタルの開発

田中淳一* 野中 英* 金森誠治* 三谷和裕*

RC 建築構造物のかぶり厚さ補修に用いるポリマーセメントモルタルには耐久性、耐火性が求められる。一方で、ポリマー等の有機物は耐火性を低下させることがわかっている。そこで、総有機物量を変化させた耐火試験から調査を選定した。この調査にもとづいて製造したプレミックスポリマーセメントモルタル材のフレッシュ・硬化性状が選定時と相違しないかを品質基準から確認しその適用範囲を定めた。さらに、製品としての耐久性を確認するために模擬試験体の曝露試験を実施し、材齢1年経過後においても品質管理値を満足している事を確認した。

キーワード：かぶり厚さ、補修材、ポリマーセメントモルタル、耐火性、耐久性

1. はじめに

ポリマーセメントモルタル（以下、PCM）は、建物の補修に必要な材料であるが、構造体を使用する場合には耐久性、耐火性が必要となる。しかし、現状の PCM は耐久性や耐火性の性能を示しているものが少ない。このことから、PCM を構造体の補修材料として使用する場合に関する研究が行われ¹⁾、「かぶり厚さ確保のための補修材料・工法選定マニュアル（案）」²⁾等も示されたが、要求品質を満たす材料が少ないのが現状である。

本研究では、総有機物量をパラメータとした4種類の単位ポリマー量 35kg/m³の PCM を実験ケースとして、加熱前の施工性、仕上がり性、加熱時の耐爆裂性、遮熱性について上記マニュアルに従った評価を行い、その妥当性を確認した。

本稿では更に、この評価結果をもとにプレミックス PCM 材を製造し、その品質管理・検査、力学性状、耐久性性状、および屋外曝露（1年）した試験施工供試体の表面観察結果について述べるものである。

2. 実験概要

2.1 実験ケースおよび PCM の品質

Table 1 に実験ケースおよび PCM の品質を示す。実験ケースは、ポリマーとしてアクリル酸エステル共重合樹脂 35kg/m³の添加を共通仕様とし、その他の添加剤の増減により総有機物量を変化させた4種類の調査とした。本実験で使用した PCM の品質試験結果を Table 1 に示す。

2.2 加熱試験体の作製²⁾

試験体寸法は Fig. 1 に示す高さ 1100mm×幅 1100mm×厚さ 150mm とし、厚さは 120mm の基板コンクリートに 30mm の PCM 補修とした。

Fig. 2 に PCM の補修条件を示す。基板コンクリートの下地処理は PCM の補修日より前にグラインダで目荒しを行い、PCM の補修直前にプライマを塗布した。PCM による補修はこて塗りで行い、補修厚さは 10mm×3層の 30mm とし、1 日目に付着性を高めるための下ごすり（3～5mm の厚さ）を行った後に1層目を施工し、翌日に2、3層目を施工した。また、3層目には Table 2 に示す材料を用いて Fig.2 に示す様に剥落防止措置を施した。

Table 1 実験ケースおよび PCM の品質

試験体記号	実験ケース		PCM の品質				
	ポリマー種類	単位ポリマー量 kg/m ³	総有機物量 kg/m ³	モルタルフロー mm	単位容積質量 kg/m ³	圧縮強さ N/mm ²	曲げ強さ N/mm ²
A	アクリル酸	35.0	54.5	142	2181	58.4	8.83
B	エステル共		47.8	142	2166	56.0	7.72
C	重合樹		44.3	146	2170	56.4	7.63
D	脂		40.5	156	2159	58.8	7.88

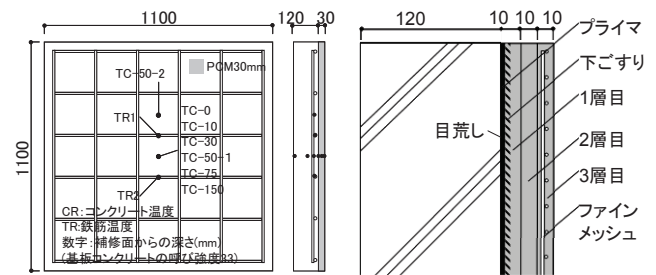


Fig. 1 加熱試験用試験体

Fig. 2 PCMの補修条件

Table 2 剥落防止措置に使用した材料

材料	名称等	材種
アンカ	P レスアンカ L=75mm	SUS410
ワッシャ	Φ40mm ワッシャ	SUS410
補強用メッシュ	ファインメッシュ Φ1.2mm P-25 (目開き 23.8mm)	SUS304

2.3 試験体の養生

コンクリート基板は打込み後約8ヶ月間屋内で養生を行い、その後PCM補修施工を行った。またPCM補修施工後は約3.5ヶ月間20℃、60%RHで気乾養生を行い、さらにPCMの含水率を平衡状態に近づけるために、加熱試験前に約9日間約60℃で強制乾燥を行った。

* 技術研究所 建設材料研究グループ

2.4 加熱試験²⁾

加熱は、試験体を壁状に立てた状態で加熱炉に設置し、ISO834 に規定される標準加熱曲線に従い実施した。加熱時間は耐力壁での仕様規定を考慮して3時間とし、試験体は加熱終了後から内部の温度が最高となるまで加熱炉内に設置した状態で静置した。

耐爆裂性は、ひび割れ、剥落、爆裂の状況を確認した。試験体の損傷状態の評価は文献²⁾を参考にし、Table 3 に示す PCM の損傷状態の分類に従った。

内部温度の測定位置を Fig. 1 に示す。遮熱性は内部温度により確認し、内部温度の評価は鉄筋位置を想定した深さ 30, 50mm の最高温度が、同一条件で加熱を実施した無補修の試験体¹⁾の温度 (30mm : 約 700°C, 50mm : 約 540°C) 以下であることとした。

Table 3 PCM の損傷状態の分類および評価基準

区分	損傷状態	評価基準
I	ひび割れ	
II	金網より表層のみの剥落	区分 I, II, III であること
III	金網より表層のみの剥落・爆裂	区分 II, III の場合には遮熱性の確認を行うこと
IV	部分的な内部の爆裂	
V	全面的な内部の爆裂	

3. 試験結果

本試験の結果は文献²⁾に従い評価を行った。また、評価基準は Table 5 に示すとおりである。

3.1 施工性・仕上がり性

施工性としては、全ての PCM においてだれは認められず平坦に仕上がった。仕上がり性としては、外観およびひび割れは PCM 硬化後の全ての試験体で認められず、また、浮きは試験体 A, B, D の隅角部において各 1箇所ずつ発生したが、いずれも 1%以下で評価基準を満たした。

3.2 耐火性

Photo. 1 に加熱試験後の試験体の状況を示す。損傷状態は試験体 A(総有機物量 54.5kg/m³)が区分 V で全面的な内部爆裂、試験体 B(同 47.8kg/m³)が区分 IV で部分的な内部爆裂、試験体 C(同 44.3kg/m³)が区分 III で金網より表層のみの剥落・爆裂、試験体 D(同 40.5kg/m³)が区分 I でひび割れのみとなり、総有機物量が少なくなるのに伴い、損傷は小さくなる傾向となった。耐爆裂性としては試験体 C, D が評価基準である区分 I, II, III を満足した。

Fig. 3 に試験体 C, D の経時温度変化を示す。剥落・爆裂のなかった試験体 D の最高温度は、剥落、爆裂が生じた他の試験体の最高温度よりも低い結果となった。これは PCM の剥落で遮熱効果が低減したためと考えられる。

Table 4 に測定位置深さ 30mm, 50mm における試験体の最高温度を示す。最高温度は同一条件で加熱試験を実施した無補修試験体¹⁾の測定位置 30mm の温度(約 700°C)および測定位置 50mm の温度(約 540°C)と比較して全ての試験体で低くなった。内部温度としては全ての試験体で評価基準である無補修試験体の温度以下を満足した。

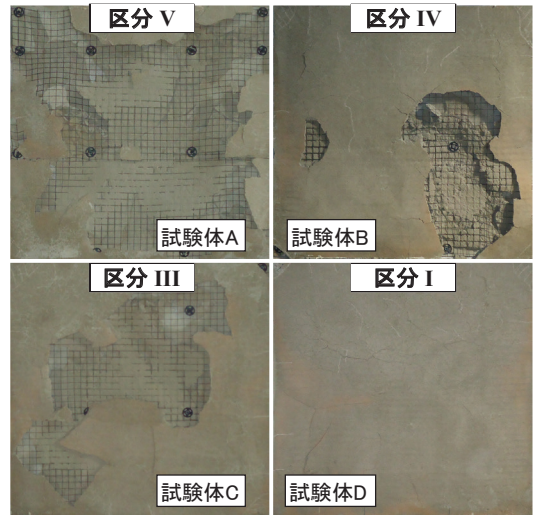


Photo. 1 加熱試験後の試験体の状況

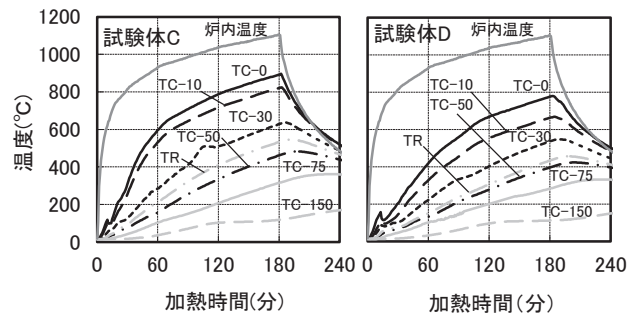


Fig. 3 内部温度の経時変化

Table 4 深さ 30mm, 50mm における最高温度

測定位置	最高温度 (°C)			
	試験体 A	試験体 B	試験体 C	試験体 D
30mm	597	585	637	548
50mm	479	461	497	423

Table 5 試験結果の評価および評価基準

評価項目	試験体記号				評価基準		
	A	B	C	D			
総有機物量	54.5	47.8	44.3	40.5	単位: kg/m ³		
仕上がり性	施工性	○	○	○	○	施工性がよいこと、平坦に仕上がる	
	外観	○	○	○	○	全面に微細なひび割れがないこと	
	浮き	○	○	○	○	内部に浮きがなく、外周部の浮きが生じた場合には 10%以下であること	
耐爆裂性	ひび割れ	○	○	○	○	0.2mm 超のひび割れがないこと、0.1mm 以上のひび割れを対象としてひび割れ係数が 0.2m ² 以下であること	
	耐爆裂性	×	×	○	○	Table 3 に示す区分 I, II, III であること 区分 II, III の場合には遮熱性の確認を行うこと	
耐火性	内部温度	30mm	○	○	○	○	無補修試験体温度以下であること
		50mm	○	○	○	○	○
総合判定	×	×	○	○	○	すべての項目が○であること	

以上から、施工性、仕上がり性、耐火性を評価した結果を Table 5 に示す。総合判定では耐爆裂性以外の全ての項目で性能が良好であったため、耐爆裂性で評価を行うこととなり、耐爆裂性で基準をクリアした試験体 C, D では全ての評価項目を満足し、かぶり確保の補修材料としての品質を確保した。特に試験体 D は加熱試験における耐爆裂性の区分 I であり内部温度の最も低く、全てにおいて高い性能を示した。

4. プレミックス PCM 材の品質管理・検査

先の試験体 D の調査をもとにプレミックスの PCM を製造した。製造した PCM は、内容量 20kg/袋、標準添加水量 3.10/袋のプレミックス材で、施工性からコンシステンシー調整として上下限添加水量を 3.3~2.90/袋の範囲に設定した。また、補修対象は普通強度コンクリート ($Fc36N/mm^2$ 以下) とし、品質管理・検査事項として建築研究所の報告書³⁾の管理値を採用した。

4.1 フレッシュ性状

本材料は添加水量 3.10/袋、環境温度 20℃とした時のモルタルフロー155mm (於 15 打フロー)、モルタルスランプ 65mm を目標品質として製造した。

Table 6 にフレッシュ性状を示す。水量を一定で練り上り温度を 5~30℃とした場合、モルタルフロー、モルタルスランプとも温度が高くなるに従い大きくなる。一方で、空気量は逆に小さくなっており、これに呼応して単位容積質量が大きくなっている。

実際のプレミックス PCM 材の使用時には、モルタルフロー、モルタルスランプ等のフレッシュ性状の調整は、添加水量においてのみ可能である。そこで、温度の高低等によるフレッシュ性状の調整は、設定した上下限添加水量の範囲で水量を調整する仕様とした。

Table 6 フレッシュ性状の試験結果

温度条件	モルタルフロー(mm)		スランプ(mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m^3)	モルタル温度 (°C)
	無打	15 打				
5℃	107	147	46	7.3	2144.4	9.9
20℃	117	157	65	6.4	2170.5	24.8
30℃	113	167	86	5.9	2173.9	34.3

4.2 圧縮強度 (封かん養生)

圧縮強度の確認は養生温度 5, 20, 30℃の基準値 3.10/袋に加えて、養生温度 20℃では上下限添加水量を考慮して 3.5 l/袋 (安全をみて上限水量を割り増し)、2.90/袋についても確認した。なお、試験材齢 7, 28, 91 日とし、養生条件は封かん養生とした。

Table 7 および Fig. 4 に圧縮強度の結果 (封かん養生) を示す。環境温度が 20℃の時、標準水量 3.10/袋において圧縮強度は $53.7N/mm^2$ であったが、5, 30℃の場合はそれぞれ 43.2, $51.3N/mm^2$ となった。また、同じく環境温度が 20℃において水量を 2.9, 3.50/袋とした場合には、それぞれ 57.6, $46.8N/mm^2$ となった。

このプレミックス PCM 材料における仕様として、設定添加水量、環境温度の可変とあわせて、施工誤差等による圧縮強度の変動を考慮すると、目標とした普通強度コンクリート ($Fc36N/mm^2$ 以下) への適用に限定される。高強度コンクリートへ適用する場合には製造、施工条件を十分検討した上で、試験施工を行うなどして所用の強度が得られることを確認する必要がある。

Table 7 圧縮強度の結果 (封かん養生)

養生温度 (°C)	水量 (l/袋)	圧縮強度 (N/mm^2)		
		7 日	28 日	91 日
5	3.1	27.2	43.2	53.6
	2.9	45.2	57.6	67.1
20	3.1	41.1	53.7	62.1
	3.5	35.8	46.8	55.8
30	3.1	42.3	51.3	57.8

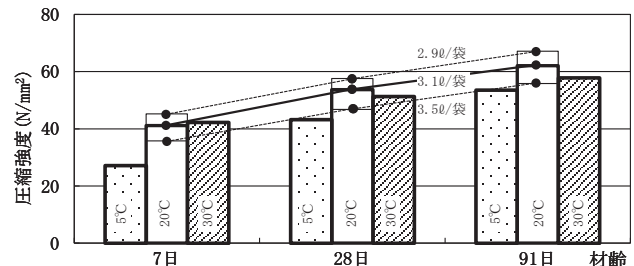


Fig. 4 圧縮強度の結果 (封かん養生)

4.3 力学性状等の品質基準

Table 8 に本材料における強度等、力学性状および品質基準とその結果を示す。各基準値は、平成 13 年国土交通省告示第 1372 号における強度等の基準値に、日本建築学会における断面修復用 PCM 品質基準⁴⁾での吸水量、透水量、長さ変化を加えた項目とした。その結果は、吸水量を除き基準値を満足するものであった。

小川ら⁵⁾はセメントに対するポリマーの増加に伴い吸水量が低下することを示しており、吸水量はポリマー量の指標となることが窺える。PCM 品質基準⁴⁾において強度等、力学性状に加えて吸水量を加えているのも同じ理由と推察される。

断面修復用 PCM 品質基準⁴⁾が耐火性を考慮していないこと、既往の研究⁶⁾にて耐火性を考慮して総有機物量を設定したことから、ポリマー量を増やして吸水量を満足することはできないものと考察する。

Table 8 力学性状等の品質基準と実測値

項目	試験方法	基準値	実測値	
曲げ強さ (N/mm^2)*	JIS A1171	6.0	12.2	
圧縮強さ (N/mm^2)*	JIS A1171	20.0	64.2	
接着強さ、ブライマ有 (N/mm^2)*	標準時	JIS A1171	1.0 以上	2.8
	耐久性	JIS A1171	1.0 以上	1.9
吸水量 (g)**	JIS A1171	20.0	24.4	
透水量 (ml/hr)**	JIS A6916	0.5 以下	0.4	
長さ変化、28 日 (%)**	JIS A1171	0.15 以下	0.08	

*: 平成 13 年度国土交通省告示第 1372 号

** : 平成 13 年度国土交通省告示第 1372 号および日本建築学会断面修復用 PCM 品質基準⁴⁾

4.4 耐久性指標

耐久性指標として Table 9 および Fig. 5 に、促進中性化深さおよび塩分浸漬による塩化物イオン浸透深さを示す。促進中性化期間 26 週において下地コンクリート (W/C=55%) の中性化が 17mm 程度であるのに対して PCM 補修材の中性化は 3mm 程度となった。また、材齢 28 日での塩化物イオン浸透深さは 6mm であり他の市販品 PCM の 3.0~8.2mm⁷⁾と同程度の結果であった。

Table 9 中性化および塩化物イオン浸透深さ

項目		試験方法	4週	26週	
中性化深さ (mm)	補修材単体	JIS A1153	0.3	2.9	
	補修材 1cm		補修材側	0.2	3.0
			コンクリート側	8.0	17.6
	補修材 3cm		補修材側	0.0	1.4
			コンクリート側	8.5	16.8
塩化物イオン浸透深さ 28日 (mm)		JIS A1171	6	—	

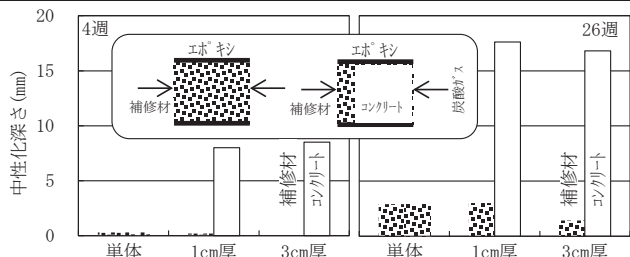


Fig. 5 促進中性化深さ (4週, 26週)

4.5 屋外曝露試験体の表面観察

Photo. 2, および Photo. 3 に屋外曝露試験体の外観を示す。試験体は、2000mm×2000mm のコンクリート壁に、Fig.2 に示す様に、下擦り (約 3mm 厚) +1 層目 (約 7mm 厚) +2 層目 (約 10mm 厚) +メッシュ筋+3 層目 (約 10mm 厚) の総厚 30mm で PCM を左官施工した。なお、試験体は、建屋に近接しているが雨掛りのある屋外に曝露し、性状観察を継続中である。

施工後 1 年経過した時点では検診ハンマーによる打音診断では隅角部を除いて浮きは認められなかった。また、外周部に 0.05mm 以下のひび割れが認められるが、PCM 層を貫通していない表面ひび割れであることが確認されており、曝露 1 年としては良好な状態であった。



Photo. 2 曝露試験体 (施工直後)



Photo. 3 曝露試験体 (1年後)

5. まとめ

単位有機物量の異なる 4 種類調合の PCM の実験を行

い下記の結果が得られた。

- (1) 施工性および仕上がり性は全て評価基準を満たした。
- (2) 耐爆裂性では総有機物量の減少に伴い PCM の損傷が小さくなり、試験体 C, D が評価基準を満たした。
- (3) 内部温度は、全て評価基準を満たした。
- (4) (1)~(3)の結果より試験体 C, D はかぶり厚さ確保のための補修材料における部材試験、耐火試験における品質を満足した。

また、開発したプレミックス PCM 材の物性は、

- (5) 異なる環境温度においても施工可能なコンシステンシーが得られることを確認した。
- (6) 設定した上下限添加水量の範囲 (2.9~3.30/袋) において目標強度以上であることを確認した。
- (7) 強度等、力学性状および品質基準は、吸水量を除き満足した。
- (8) 吸水量の増加は、耐火性向上のためにポリマー量を低減させたことによると考えられる。
- (9) 耐久性は中性化深さにおいて基準コンクリートより小さいことを確認すると共に、塩化物イオン浸透深さは市販の PCM と同程度の結果であった。

参考文献

- 1) 梶田, 山田ほか: 補修用ポリマーセメントモルタルの耐火性評価に関する実験(その 1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 1105-1108, 2012.9
- 2) 濱崎ほか: 鉄筋コンクリート造建築物のかぶり厚さ確保に関する研究, 建築研究報告 No. 147, pp. 127-148, 2013.3.1
- 3) 同 2), pp. 124-125
- 4) 日本建築学会: 付 1.1 断面修復用ポリマーセメントモルタルの品質基準 (案), 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針 (案)・同解説, pp. 173-177, 1997
- 5) 小川ほか: 高曲げ強さを有するポリマーセメントモルタルの基礎物性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, pp. 115-120, 1999
- 6) 三谷ほか: 補修用ポリマーセメントモルタルの施工性および耐火性に関する実験, 日本建築学会学術講演会梗概集, pp. 801-802, 2013
- 7) 同 2), p. 24

Development of polymer modified cement mortar for cover repair with fire resistance

Junichi TANAKA, Akira NONAKA, Seiji KANAMORI, and Kazuhiro MITANI

Abstract

Polymer modified cement mortar which is applied on RC building structure for cover repair is required for fire resistance properties, whereas that organic content containing the polymer commonly diminishes its property. For this reason, design mix was specified with the results where testing of fire resistance had been conducted under the different organic content. The blended product subject to the specified design mix subsequently arranged in order to confirm the properties of fresh and hardened mortar, whether the product had been properly functioned from the designated specification or not; then directions for the application were also determined. Moreover, one year later, durability of the mortar is moreover confirmed with the demonstrated model blocks which are prepared in order to assure the long life quality of the mortar.

Keywords: Cover depth, Repair, Polymer modified cement mortar, Fire resistance, Durability