

3. 補修用ポリマーセメントモルタルの耐久性に関する実験

Experiments on Durability of Polymer-Modified Mortar

立松 和彦*¹

要 旨

市販品および既知の調合のポリマーセメントモルタルを対象に、乾燥収縮、促進中性化、塩化物イオン浸透深さ、凍結融解の耐久性に関する実験を行った。その結果、実験に使用した市販のポリマーセメントの中性化速度は、実施工を想定した養生条件においても一般的なコンクリート (W/C=55%) よりも小さいこと、市販材料の多くが凍結融解に対する抵抗性を有することなどを確認できた。

キーワード：ポリマーセメントモルタル／耐久性／補修／中性化／乾燥収縮／塩化物イオン浸透深さ／凍結融解

1. はじめに

ポリマーセメントモルタルは、建物の補修・補強等において必要不可欠な材料であるが、耐久性に関する知見が少ないことから、それらに関するデータの蓄積¹⁾および評価が必要である。本報告では、市販品および既知の調合のポリマーセメントモルタルを対象に、乾燥収縮、促進中性化、塩化物イオン浸透深さ、凍結融解の耐久性に関する実験結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用した市販のポリマーセメントモルタルの特性を表-1に示す。表中のA～JおよびN～Oは文献¹⁾に示した材料と記号を合わせている。ポリマー種類は、エチレン・酢酸ビニル共重合樹脂 (略称：EVA)、酢酸ビニル・バーサテート共重合樹脂 (略称：VVA)、アクリル酸エステル共重合樹脂 (略称：PAE) が使用されている。ポリマー量は、市販品についてはポリマーセメント比 (P/C) で表し、各材料の混入量はメーカーからの情報提供の通り記載している。調合既知のモルタルについては、P/Cと単位ポリマー量 (kg/m³) を併記している。

既知の調合のポリマーセメントモルタルについては、セメントは、普通ポルトランドセメント、細骨材は、大井川産川砂 (粗粒率：2.97、表乾密度：2.63g/cm³、吸水率：1.81%) を使用した。ポリマーは、JIS A 6203に規定されるEVAを使用した。それぞれの特性値は文献¹⁾に示されている。調合は、水セメント比 50%、セメント砂比 (質量比) を 1:3 とした。

躯体保護効果の確認のために使用した下地コンクリートは、水セメント比 55%、目標スランプ 18cm、目標空気量 4.5%のレディーミクストコンクリートを使用した。使用材料を表-2に、調合および促進中性化開始時 (材齢 42 日) の圧縮強度を表-3に示す。

表-1 ポリマーセメントモルタルのポリマー種類・量およびフレッシュ・強度性状

区別	記号	ポリマー種類	ポリマーセメント比 ()は単位ポリマー量	モルタルフロー(mm)	空気量 (%)	圧縮強さ (N/mm ²)
市販品	A	EVA	4～8%	128	5.8	50.6
	C	EVA	約2%	197	8.5	75.2
	D	VVA	5～10%	168	6.4	55.0
	E	PAE	4～10%	150	8.5	51.5
	F	PAE	約4%	161	7.7	81.0
	G	PAE	4～5%	147	5.2	67.4
	I	PAE	4%以下	161	15	48.1
	J	PAE	5～10%	152	5.2	65.3
	K	PAE	1～5%	192	10.2	43.3
	L	PAE	2～5%	171	4.8	74.8
	M	PAE	2～6%	177	13.5	55.6
調合既知	N	無し	—	188	3.5	66.4
	O	EVA	4.2%(20kg/m ³)	193	3.2	61.5
	P	EVA	10.5%(50kg/m ³)	192	3.6	57.0

表-2 下地コンクリートに使用した材料

セメント	普通ポルトランドセメント (密度:3.15g/cm ³)
粗骨材	茨城県つくば市産砕石 (表乾密度:2.69g/cm ³ ・実積率:60.0%)
細骨材	茨城県行方市産陸砂、栃木県佐野市産砂砕混合 (表乾密度:2.61g/cm ³ ・粗粒率:2.69)
混和剤	リグニンスルホン酸塩系AE減水剤 (標準型 I 種)

表-3 下地コンクリートの調合と圧縮強度

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					圧縮強度 (N/mm ²)
		C	W	S	G	AE	
55.0	46.6	324	178	821	968	3.47	32.7

2.2 試験体

(1) 中性化試験

中性化の試験体は、ポリマーセメントモルタルのみの試験体 I と、コンクリート片面にポリマーセメントモルタルを 10mm または 30mm 施工した試験体 II の 2 種類と

*¹ 技術研究所環境・生産研究担当

した。試験体の形状・寸法を図-1 に、実験の要因を表-4 に示す。試験体Ⅱは、材齢 7 日まで試験体をビニールシートで覆って急激な乾燥を防止し、下地コンクリートの材齢 14 日にポリマーセメントモルタルを施工した。

(2) その他の試験

中性化以外の試験項目は、乾燥収縮、塩化物イオン浸透抵抗性、凍結融解抵抗性とし、表-5 に試験方法および試験体の寸法を、表-6 に試験体の要因と水準を示す。試験体の前養生は、表-6 に示す通りとした。

2.3 試験方法

(1) 促進中性化試験

促進中性化試験は、JIS A 1153 に従い、試験開始材齢を 28 日として、20℃・60%R.H.、炭酸ガス濃度 5%の条件で 1, 4, 8, 13, 26 週経過時点の中性化深さを測定した。中性化深さの測定は、試験体Ⅰは、割裂面の両面を計 10 点測定し、試験体Ⅱは、コンクリート面とポリマーセメントモルタル面の各 5 点ずつ測定した。

(2) 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験は、前養生後、JIS A 1129-2（コンタクトゲージ方法）に従い、20℃・60%R.H.の恒温恒湿室で試験体の基長を測定し、その後の保存期間 1, 2, 4, 8, 13, 26 週に測長して、長さ変化率を求めた。なお前養生は、表-6 に示すように JIS A 1171 による方法（JIS 養生）とシート養生との 2 種類とした。

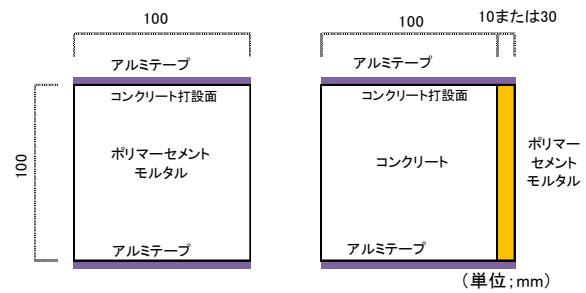
(3) 塩化物イオン浸透深さ試験

塩化物イオン浸透深さ試験は、JIS A 1171 に従い、前養生後、温度 20℃で JIS A 6205 の付属書 1 に規定する塩分溶液に浸せきし、28 日、56 日経過した後に取り出した。塩化物イオン浸透深さの測定は、割裂面に 0.1%フルオレセインナトリウム水溶液および 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧して、蛍光を発する部分を塩化物イオン浸透域とし、塩化物イオンが浸透した 1 側面 5 か所ずつ、計 10 か所を測定した。なお前養生は、JIS A 1171 に従い、材齢 2 日で脱型の後 5 日間水中養生し、その後 21 日間 20℃・60%R.H.の恒温恒湿室で静置した。

(4) 凍結融解試験

凍結融解試験は、JIS A 1148 に従い、前養生後、試験体の水中凍結水中融解を 300 サイクル行い、凍結融解に対する抵抗性を評価するために相対動弾性係数を求めた。前養生は、JIS A 1171 に従い、材齢 2 日で脱型の後 5 日間水中養生し、その後 21 日間 20℃・60%R.H.の恒温恒湿室で静置した。動弾性係数は、測定器により試験体長手方向の縦超音波の伝搬時間から超音波の音速を測定し、式(1)により簡易的に算出した。

$$E_d = \rho V_p^2 \quad (1)$$



試験体Ⅰ 試験体Ⅱ
図-1 中性化試験体の形状・寸法

表-4 中性化試験体の要因と水準

試験体種類	試験体Ⅰ：ポリマーセメントモルタルのみ 試験体Ⅱ：コンクリート+ポリマーセメントモルタル		
使用材料	14種類（表-1のA～P）		
養生方法	試験体Ⅰ	JIS A 1171	2日脱型(湿空)+水中5日+21日気中
	シート養生		2日脱型(湿空)+気中26日
	試験体Ⅱ	実施工養生	2日脱型(湿空)+シート養生5日+21日気中
施工厚さ	試験体Ⅱ	10mmおよび 30mm	

表-5 その他の試験項目・試験方法および試験体寸法

試験項目	試験方法	試験体の寸法* (mm)
(ア) 乾燥収縮	JIS A 1129-2	40×40×160
(イ) 塩化物イオン浸透抵抗性	JIS A 1171	100×100×100
(ウ) 凍結融解抵抗性	JIS A 1148	40×40×160

* 試験体の寸法は、JIS A 1171 に従った

表-6 その他の試験体の要因と水準

使用材料	14種類（表-1のA～P）		
前養生方法	(ア)	JIS A 1171	2日脱型+水中5日（試験開始材齢7日）
	シート養生		2日脱型（試験開始材齢2日）
	(イ)(ウ)	JIS A 1171	2日脱型+水中5日+21日気中（試験開始材齢28日）
測定期間（サイクル）	(ア)	JIS A 1129	乾燥期間1、2、4、8、13、26週
		JIS A 1171	乾燥期間28日
	(イ)	JIS A 1171	浸せき期間28日（56日を追加）
	(ウ)	JIS A 1148	300サイクル
		JIS A 1171	ただし、200サイクル

ここに、 E_d : 動弾性係数(N/m²)

ρ : 試験体密度(kg/m³)

V_p : 超音波音速(m/s)

3. 実験結果および考察

3.1 促進中性化試験の結果

図-2 に、養生条件ごとのポリマーセメントモルタルおよび下地コンクリートの中性化速度係数を示す。中性化速度係数は、各材齢での試験結果を(2)式に代入し、最小二乗法により求めた。なお、試験体Ⅱの実施工養生については、10mm 厚と 30mm 厚の平均値で、下地コンクリ

ートは全試験体の平均で表した。

$$C = A\sqrt{t} \quad (2)$$

ここに、 C : 中性化深さ(mm)
 A : 中性化速度係数(mm/week^{0.5})
 t : 試験材齢(week)

中性化速度係数は、ポリマーセメント種類により大きく異なっており、ほとんど中性化が進行しないものから、最大で約 3.5mm/week^{0.5} となるが、いずれの材料も下地としたコンクリート (W/C=55%) よりも小さい値である。また、普通モルタル (記号 N) と同等かそれ以下のものが多い。養生条件の影響は、全般的な傾向として、JIS 養生に比べ、シート養生の中性化速度係数は、1.5~2 倍程度大きくなり、初期養生による影響が大きいたことが確認される。また、実施工養生は、JIS 養生とシート養生の間かシート養生程度となる材料が多い。

3.2 躯体保護効果の評価

コンクリート面に施工したポリマーセメントモルタルの中性化に対する躯体保護効果について、李らの文献²⁾における考え方に基づき評価を行った。李らの考え方では、表層部のモルタルでの CO₂ の拡散に着目し、モルタル層の厚さ(d)、モルタルとコンクリートの Ca(OH)₂ 量の比より(3)式を用いて中性化抵抗 $R(\text{week})$ を求め、(2)式 ($C \leq d$ の場合) および(4)式 ($C > d$ の場合) で中性化深さを推定している。

$$R = \left(\frac{A'}{A} \right)^2 \cdot (H / H_m) \cdot \frac{d}{A'} \quad (3)$$

$$C = A' \left(\sqrt{(t-T) + R^2} - R \right) \quad (4)$$

ここに、 A' : コンクリートの中性化速度係数
 (mm/week^{0.5})

d : モルタル厚さ(mm)

T : モルタル層全てが中性化する時間(week)

H/H_m : Ca(OH)₂ 量比

(ここでは材料 P の単位セメント量比 0.66)

図-3 に、コンクリートのみ (W/C=55%) と、最も中性化速度係数の大きい市販品の K および調査既知の P をそれぞれ 10mm および 30mm 塗り重ねた場合の中性化深さの推定結果を示す。市販品の K においても、下地のコンクリートと比較すると中性化速度は小さいため、10mm 厚であっても中性化の進行は (若干であるが) 抑制できていることが分かる。また、実験においては、試験体 D および試験体 K の 10mm 厚施工のものは試験材齢 13 週においてモルタル層が全て中性化し、コンクリート部分が中性化し始めた。図-3 中において、K-10mm は試験材齢

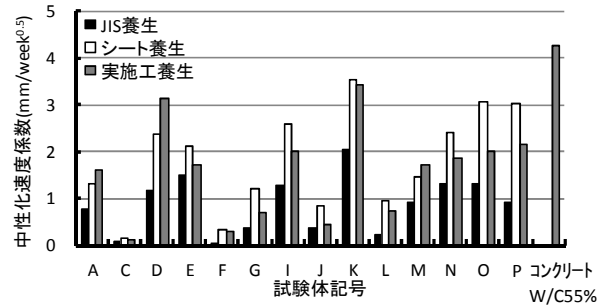


図-2 促進中性化試験の結果

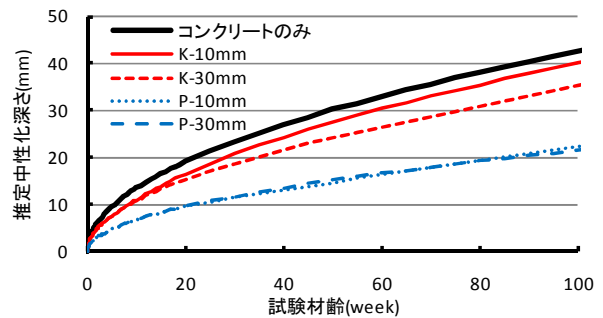


図-3 中性化深さの推定結果

13 週で推定中性化深さが塗り厚の 10mm を超えて約 14mm になっていることからそのことがわかる。その他の材料については、中性化がモルタル層で留まっており、その前にコンクリートが中性化することはなかった。

3.3 乾燥収縮試験の結果

図-4 および図-5 に、ポリマーセメントモルタル種類および養生条件毎の乾燥収縮率を示す。調査既知の材料 (N, O, P) において、乾燥収縮率は、ポリマーの添加により大きくなるが、O, P の差はなく、ポリマー量による影響は認められない。一方市販品では、乾燥期間 28 日では、 $195 \times 10^{-6} \sim 859 \times 10^{-6}$ 、乾燥期間 182 日では、 $654 \times 10^{-6} \sim 2043 \times 10^{-6}$ の間にあり、W/C=50%、セメント砂比 (重量比) 1:3 のプレーンモルタル (試験体記号 N) と比較して、試験体によって (すなわちポリマーセメントモルタルの種類により) 収縮が大きいものと小さいものと差が大きかった。JIS 養生 182 日を例に取ると、C, E, K, L の 4 種類が N より収縮が小さく、F, G, J, M の 4 種類が N と同程度、A, D, I, O, P の 5 種類が N より大きな収縮を示した。

養生条件の違いとしては、一部を除いて、乾燥期間 28 日、182 日共に JIS 養生の結果が大きくなった。その理由として、乾燥開始材齢が 2 日であるシート養生の場合には、基長測定時点で脱型時 (材齢 2 日) までの乾燥が含まれており、脱型後標準養生して材齢 7 日から乾燥を開始する JIS 養生と比較して相対的には収縮量が小さくなったものと推測される。

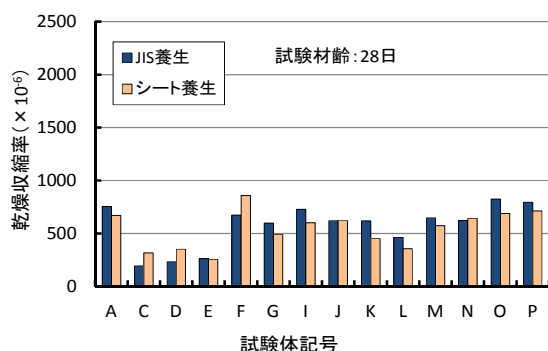


図-4 乾燥収縮試験の結果 (28 日)

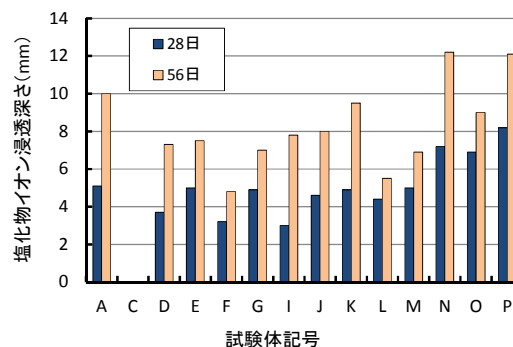


図-6 塩化物イオン浸透深さ試験の結果

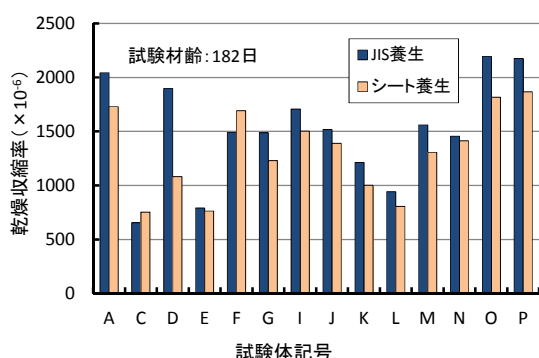


図-5 乾燥収縮試験の結果 (182 日)

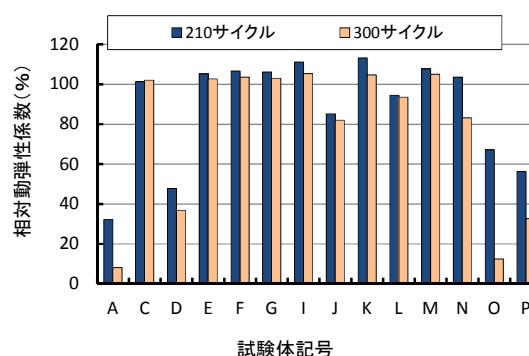


図-7 凍結融解試験の結果

JIS A 1171 では、長さ変化を測定する材齢を 28 日と規定している。今回の実験において材齢 28 日の場合では、記号 N のプレーンモルタルを含めどのポリマーセメントモルタルでも乾燥収縮率は 900×10^{-6} 以下となっている。しかし、乾燥期間 182 日での乾燥収縮率は、最大で約 2200×10^{-6} に達するものもあり、面積の大きい箇所等で使用する場合には、乾燥収縮によるひび割れ等の影響を検討する必要があると考えられる。

3.4 塩化物イオン浸透深さ試験の結果

図-6 に、ポリマーセメントモルタル種類毎の塩化物イオン浸透深さを示す。調査既知の材料(記号 N, O, P)では、ポリマー添加量が 20 kg/m^3 (記号 O) の浸漬期間 56 日において塩化物イオン浸透深さは小さくなるものの、それ以外の影響はほとんどみられない。市販品では、浸透深さ 0mm の試験体記号 C を除くと、浸漬期間 28 日で 3.0 ～ 8.2mm、浸漬期間 56 日で 4.8 ～ 12.2mm で、既調合モルタルでは浸漬期間 28 日で 6.9 ～ 8.2mm、浸漬期間 56 日で 9.0 ～ 12.2mm の範囲にあり、ポリマーセメントモルタルの種類による違いは少ない。

また、市販品(試験体記号 A～M)とプレーンモルタル(試験体記号 N)との比較では、浸漬期間 28 日および 56 日とも、全ての市販品の塩化物イオン浸透深さがプレーンモルタルより小さくなった。

3.5 凍結融解試験の結果

図-7 に、ポリマーセメントモルタル種類毎の相対動弾性係数を示す。JIS A 1171 では、200 サイクルでの比較となっているが、本実験では 30 サイクルごとに測定したため、210 サイクルで評価することとした。調査既知の材料(記号 N, O, P)において、210 サイクルの相対動弾性係数は、試験体記号 N を除き全てで 85%以下となった。210 サイクルではポリマー添加量の増加により低下する傾向が認められた。しかし、300 サイクルまでのサイクル数と動弾性係数の関係では、記号 N のプレーンモルタルと比較して相対動弾性係数は低下するものの、添加量による大きな差はなかった。一方、市販品の 11 種類のうち、相対動弾性係数が 85%を下回ったものは、210 サイクルで試験体記号 A, D の 2 種類、300 サイクルで A, D, J の 3 種類となり、それ以外の 8 種類は 300 サイクルまで相対動弾性係数が 85%以上であった。市販品の多くが凍結融解に対する抵抗性を有することが確認できた。

4. まとめ

本実験により得られたポリマーセメントモルタルの耐久性についての知見は以下のとおりである。

- (1) 実験に使用した市販のポリマーセメントモルタルの中性化速度は、実施工を想定した養生条件においても一般的なコンクリート ($W/C=55\%$) よりも小さか

った。また、このような材料を表層に施工することによりコンクリートの中性化の進行が抑制できることが確認された。

- (2) 乾燥収縮率は、乾燥期間 28 日で 900×10^{-6} 以下となったが、乾燥期間 182 日では最大で約 2200×10^{-6} と大きい材料も存在した。
- (3) 塩化物イオン浸透深さは、プレーンモルタルと比較して小さくなった。
- (4) 相対動弾性係数は、市販品 11 種類のうち 3 種類で 85% を下回ったものの、それ以外の 8 種類は 85% 以上であった。

なお、本研究は、(一社)日本建設業連合会内に設けたかぶり厚さ確保研究会と(独)建築研究所の共同研究として実施したものである。かぶり厚さ確保研究会は、鹿島建設、東洋建設、竹中工務店、大林組、大成建設、間組、銭高組、熊谷組、長谷工コーポレーション、鴻池組、清水建設、浅沼組、五洋建設、佐藤工業、東亜建設工業、戸田建設、西松建設、前田建設工業、安藤建設、大木建設、西武建設、大末建設、大日本土木、東急建設、飛島建設、三井住友建設、奥村組、鉄建建設、ピーエス三菱、フジタの 30 社が参画した。なお、本報の内容は、文献 3) と文献 4) に掲載済みである。

また、共同研究全体を通した報告書が(一社)日本建設業連合会と(独)建築研究所から、それぞれ下記の URL で公開されている（どちらも無償でダウンロード可能）ので、参考にされたい。

(一社)日本建設業連合会版ダウンロード URL :

<http://www.nikkenren.com/publication/pdf/89/rckennchikubutunokaburiatusanosinnraiseikoujyounikannsurukenkyuu.pdf>

(独)建築研究所版ダウンロード URL :

<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/report/147/index.html>

[参考文献]

- 1) 濱崎仁ほか: 補修用ポリマーセメントモルタルの力学性状および発熱性状に関する実験(その1~2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp.145-148、2010.9.
- 2) 李ほか: 表層コンクリートの品質と中性化進行に関する解析的検討、日本建築学会構造系論文報告集、No.649、pp.499-504、2010.3.
- 3) 濱崎仁ほか: 補修用ポリマーセメントモルタルの耐久性および発熱特性に関する実験(その1~3)、日本建築学会大会

学術講演梗概集、A-1、pp.277-282、2011.8.

- 4) 高橋祐一ほか: 補修用ポリマーセメントモルタルの耐久性に関する検討およびその評価、日本建築学会技術報告集、Vol.19、No.43、pp.813-818、2013.10.