

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 20 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560560

研究課題名(和文)高吸水性ポリマーを混和した低コスト・高耐久吹付けモルタルの開発

研究課題名(英文)Portland-cement based simple repairing mortar with modified inorganic admixtures and superabsorbent polymer

研究代表者

一宮 一夫 (ICHIMIYA, Kazuo)

大分工業高等専門学校・都市・環境工学科・教授

研究者番号：00176306

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：ポリマーセメントモルタルは施工性、強度、耐久性に優れた材料であり、コンクリート構造物の補修・補強のための吹付け工法の吹付け材として広く用いられている。しかし、一般的なモルタルと比べると高コストのため、一般の環境にある構造物に適用すると不経済となることもある。本研究では、普通ポルトランドセメントをベースとし、混和材にシリカフェームや高炉スラグを用いた低コストの吹付け材の開発に必要な基礎的な知見を収集することを目的とした。また、保水性に優れた高吸水性ポリマーの吹付け材ならびにコンクリートの混和材としての有用性についても検討した。

研究成果の概要(英文)：Polymer cement mortar(PCM) is widely used for repair and strengthening of concrete, due to its high performance in workability, strength and durability. But, it would be uneconomical to use it in the usual environment, because the cost of PCM is about 10 times of ordinary Portland cement(OPC). In this study, as material for repair and strengthening of concrete, OPC based silica fume or fly ash modified test mortar without dry polymer powder was manufactured, and the property of test mortar was compared with PCM on the market. And the basic properties of mortar and concrete which modified super absorbent polymer(SAP) was also examined.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート 補修・補強 ポリマーセメントモルタル 高吸水性ポリマー シリカフェーム フライアッシュ

1. 研究開始当初の背景

現在、橋梁床板等のコンクリート構造物の補修・補強工事には吹付けモルタル工法が広く採用されている。同工法は、型枠を必要とせず、高所作業にも適することからニーズは益々高まると予想される。

他方、吹付け材にはポリマーセメントモルタル(以下、PCM という)が用いられる。PCM には粉末樹脂、短繊維、特殊混和材、細骨材等がプレミックスされており、施工性、強度、耐久性のいずれにも優れている材料である。しかし、一般のモルタルと比べると材料単価が高く、吹付け工法では粉塵等として逸散するので材料コストはさらに上昇する。PCM の材料や配合に関する詳細なデータは公表されていないため、施工後に不具合が生じた場合に原因を特定しにくいことも難点である。また、上述のように PCM の優れたパフォーマンスは、苛酷でない一般的な環境にある構造物に対しては逆にオーバースペックとなる場合もある。

以上のように、大多数の一般の環境にある構造物の吹付け工法による補修・補強に適し、さらにシンプルな材料で構成された低コストの補修・補強材料の開発は、今後の社会インフラのメンテナンスのコスト縮減に大きく寄与すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は補修・補強材料に必要な最低限の強度と耐久性を有し、湿式の吹付け工法に適用でき、普通ポルトランドセメントをベースとするシンプルな材料で構成され材料単価を抑えた吹付け材の開発に必要な基礎データの収集を目的とする。

また、吹付け材は一般に低水セメント比のため自己収縮によるひび割れ対策が必要となること、橋梁床板の下面増厚等では施工直後から厳しい乾燥環境に曝されること、吹付け圧力によるエントレインドエアーの喪失に伴う耐凍害性の低下の恐れがあることなどに対応するために、高い吸水・保水能力を有する高吸水性ポリマー(以下、SAP という)を混和材として用いる工法の適用性についても検討した。

3. 研究の方法

使用した6種類のSAPの乾燥時の顕微鏡画像を図1に示す。なお、SAP名称の右横の数値はSAPの乾燥重量に対する吸水量で、各画像の全幅はおよそ2mmに相当する。

(1) 試作モルタルの配合の検討

表1と表2は市販のPCMを用いたモルタルと試作モルタルの使用材料の組合せである。表1では2種類のPCM(PCM-A, PCM-B)と2種類のSAP(SAP-A, SAP-B)を使用し、練混ぜ水(W1)にSAPの吸水量の応分(W2)を追加した。一方の表2の試作モルタルには、普通ポルトランドセメント(OPC)をベース

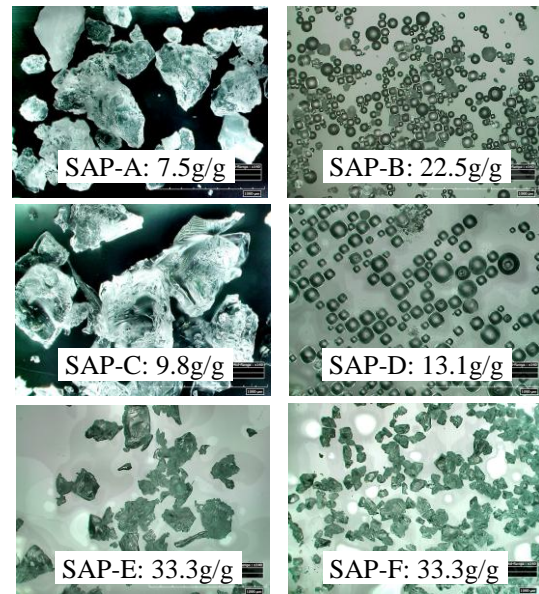


図1 乾燥状態のSAPの顕微鏡画像

表1 PCMの使用材料

配合	PCM-A	PCM-B	W1	W2	SAP
M1	●		●		
M2	●		●	●	A
M3	●		●	●	B
M4		●	●		

表2 試作モルタルの使用材料

配名	OPC	SF	FA	W3	W4	W5	S	SP	SAP
M5	●	●		●			●	●	
M6	●	●		●	●		●	●	
M7	●	●		●	●	●	●	●	A
M8	●	●		●	●	●	●	●	B
M9	●		●	●			●	●	
M10	●		●	●	●		●	●	
M11	●		●	●	●	●	●	●	A
M12	●		●	●	●	●	●	●	B

とし、混和材にシリカフューム(SF)またはフライアッシュ(FA)を用いた。練混ぜ水には水道水(W3)ならびに消泡剤1%希釈水(W4)、細骨材には4号ケイ砂と6号ケイ砂の1:1混合砂(S)、混和剤にはポリカルボン酸系高性能減水剤(SP)を使用した。SAPの吸水分(W5)は練混ぜ水(W3)に追加した。

練混ぜ直後の性状は、フロー値、空気量、凝結時間で評価した。なお、凝結時間の測定ではJIS R 5201の方法をモルタルに適用した。吹付けモルタルとしてのコンシステンシーの適否は、既往において筆者が提案したペン粘度計による方法で行い、市販のPCMモルタルと試作モルタルの羽根の回転角度(θ)に対するモルタルのせん断抵抗(τ)の変化曲線を比較した。

硬化後の物性は圧縮強度(JIS R 5201)、付着強度(JSCE-K 531-2010)、長さ変化(JIS A 1129)で評価した。付着試験では母材にモルタル板(300×300×30mm、6.38kg)を用い、仕上げ面

に試作モルタルまたは PCM をコテで塗布した。モルタル塗布後は、打込み上面をラップでカバーして水分の蒸発を防止し、さらに母材との接着圧力を一定にする目的で、ラップの上に母材と同種のモルタル板を載荷して締固めた。材齢 1 日で載荷板ならびにラップを取り除き、所定の材齢まで実施工を想定して乾燥環境 (20°C、60%RH) で養生した。

(2)SAP を混和したモルタルならびにコンクリートの基礎物性

①モルタルを用いた自己収縮抑制, 初期養生の簡略化, 初期ひび割れ抑制に関する検討

表 1 の M6, M7, M8 に準拠した配合 (SAP-A の代わりに SAP-C, SAP-B の代わりに SAP-D を使用) のモルタルに対して, ASTM C 1698-09 の方法で自己収縮ひずみを測定した。図 3 は同試験に用いた装置であり, 蛇腹を有するビニール製のチューブにモルタルを充填した後に両端に栓を挿して密閉状態にし, レーザー変位計で長手方向の変位を測定した。

初期養生の簡略化ならびに初期ひび割れ抑制効果は辻らが行った既往の研究を参考に行った。まず, 初期養生の簡略化実験では, 直径 5cm, 高さ 10cm の円柱供試体を用いて, (a)水中養生 (20°C), (b)封緘養生 (20°C), (c)10 分間の水中浸漬/日 (20°C, 60%RH), (d)気中養生 (20°C, 60%RH) の 4 パターンの養生方法での材齢 7 日における圧縮強度を比較した。初期ひび割れ抑制効果の確認は図 4 に示す型枠ならびに供試体 (長さ 22.5cm, 幅 7.5cm, 高さ 3.0cm) を用いて行った。型枠内にはひび割れ発生を促進する目的で鉄筋を配置しており, モルタルを充填した直後に 40°C の乾燥炉に入れて, 翌日に脱型した後に, 再び 3 日間乾燥させてひび割れの発生状況を比較した。

②コンクリートによる強度, ヤング係数, 物質浸透性, 凍結融解抵抗性に関する検討

OPC, 水道水, 海砂, 石灰石砕石, 高性能 AE 減水剤で製造したコンクリート (目標値: 圧縮強度 40N/mm², スランプ 12cm, 空気量 1.5%) (Non-SAP) を基本とし, それに AE 剤を添加して空気量を 5.0%にした配合 (Non-SAP+AE), Non-SAP に平均粒径が異なる SAP-E ならびに SAP-F を添加した配合 (それぞれ SAP-E, SAP-F) の合計 4 種類の配合に対して, 圧縮強度試験 (JIS A 1108), 割裂引張強度試験 (JIS A 1113), 静弾性係数試験 (JIS A 1149), 塩化物イオン浸透性試験 (JSCE-G 571), 凍結融解試験 (JIS A 1148) を行った。

4. 研究成果

(1)試作モルタルの配合の検討

①フレッシュ時の性状

図 5 にフロー値, 空気量, 凝結時間の比較を示す。まず, フロー値は PCM が 150~160

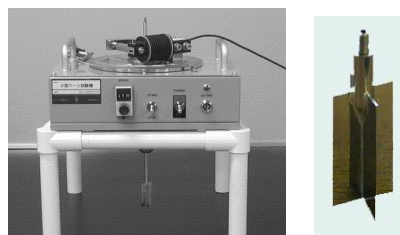


図 2 ベーン粘度計

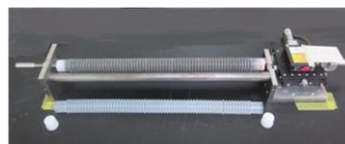


図 3 自己収縮ひずみ測定器

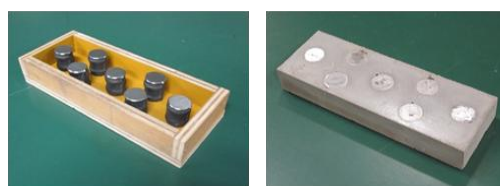


図 4 初期ひび割れ評価用型枠ならびに供試体

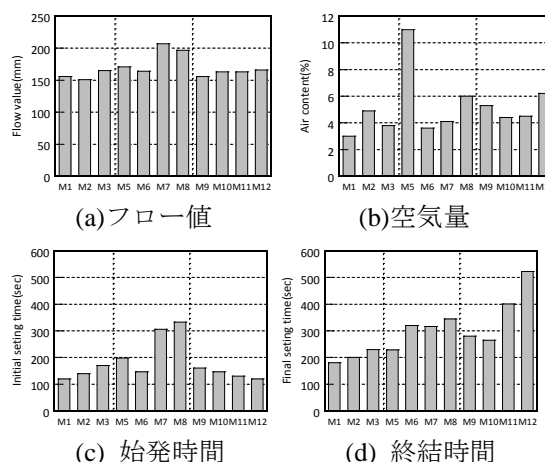


図 5 フレッシュ時の特性

であるのに対し, 試作モルタルは M7, M8 を除き PCM とほぼ同水準であることから, 流動性は適切な水準にあることを確認した。

空気量は OPC に SF を添加した試作モルタルの基本配合 (M5) が突出しているが, その他は 3.8~6.1% と PCM と同水準である。他の市販の PCM には練混ぜ直後の空気量を 10% 以上にしてポンプ圧送性を高め, 吹付けの際の衝撃圧で適切な空気量に低下させて耐久性を高めるように設計された製品もあり, 本試作モルタルでも化学混和剤の添加量を調整することで希望するタイプに調整できることが分かった。

凝結始発時間は M7 と M8 は PCM の 3 倍程度までに遅延しており, 総体的に SF を混和した配合の始発時間は長い。FA を混和した配

合の始発時間は PCM と同水準であり，SAP 添加で始発が遅れる傾向にある。他方，試作モルタルの終結時間は長く，M12 では M1 のおよそ 3 倍の 500 分となった。全体としては試作モルタルの終結時間は長い傾向にあり，終結時間の短縮が今後の課題である。

図 6 の τ - θ 曲線は配合で異なるものの，試作モルタル (M5, M6) は市販の PCM (M1, M4) の中間的であることから試作モルタルのコンシテンシーは吹付けモルタルに適するレベルにあると判断した。

②硬化後の性状

図 7 の圧縮強度は，試作モルタルでは PCM と同等またはそれ以上であり，試作モルタルの優位性を確認した。

図 8 の収縮ひずみは，試作モルタルでは PCM と同等またはそれ以下であることから試作モルタルは乾燥収縮においても実用的な特性を有していると言える。他方，SAP を混和した M7 と M8 は SAP 無混入の M5, M6 よりも収縮ひずみが大きいことから，SAP 混和は収縮ひずみ抑制には寄与しないことが分かる。

図 9 の付着強度は，試作モルタルと PCM は同等であり，試作モルタルの母材との付着性は補修・補強材として十分な性能を有することを確認した。

(2)SAP を混和したモルタルならびにコンクリートの基礎物性

①モルタルを用いた自己収縮抑制，初期養生の簡略化，初期ひび割れ抑制に関する検討

図 10 に自己収縮ひずみの測定結果を示す。同図から SAP を混和することで自己収縮ひずみがおよそ 50%に抑制されることが分かる。

図 11 は SAP-B/C = 0.4%における材齢 7 日の圧縮強度の比較である。一般にコンクリートの品質管理は標準養生下における強度で行われるが，同図は SAP を適量混和することで乾燥下においても標準養生と同水準の圧縮強度を得ることができ，このことが初期養生の簡略化に繋がると期待している。

SAP の初期ひび割れ抑制効果も確認された。図 12 はその一例であり，SAP を混和しない配合 (Non-SAP) では鉄筋から放射状に伸びるひび割れが観察されるが，SAP を混和した場合は同様なひび割れはほとんど見受けられない。

②コンクリートを用いた強度，ヤング係数，物質浸透性，凍結融解抵抗性に関する検討

図 13, 14, 15 に圧縮強度ならびにヤング係数，塩化物イオン拡散係数，凍結融解試験での質量減少率ならびに相対動弾性係数を示す。まず，圧縮強度とヤング係数は Non-SAP に対して AE 剤添加 (Non-SAP+AE) と SAP 添加 (SAP-E, SAP-F) で低下し，その低下率はほぼ同じである。このことから，

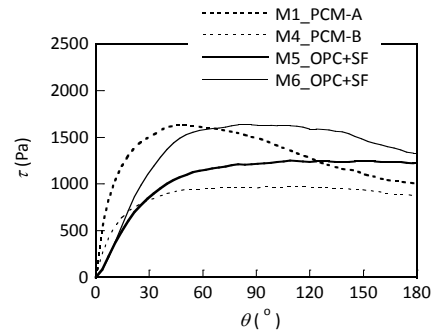
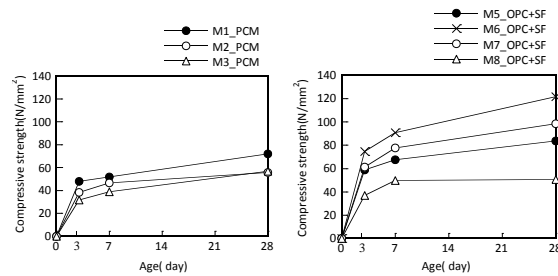


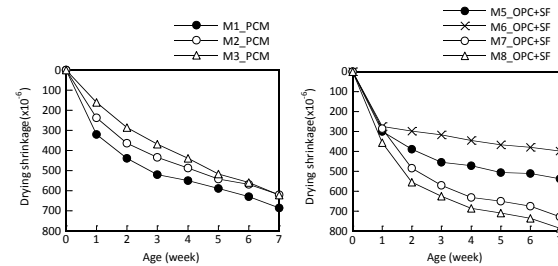
図 6 τ - θ 曲線



(a)PCM

(b)試作モルタル

図 7 圧縮強度



(a)PCM

(b)試作モルタル

図 8 収縮ひずみ

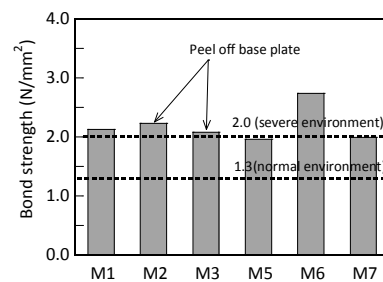


図 9 付着強度

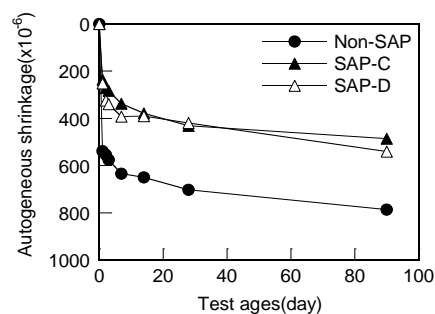


図 10 自己収縮ひずみ

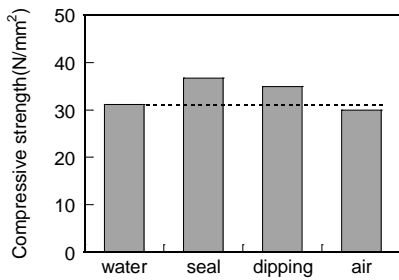


図 11 養生条件別の初期強度

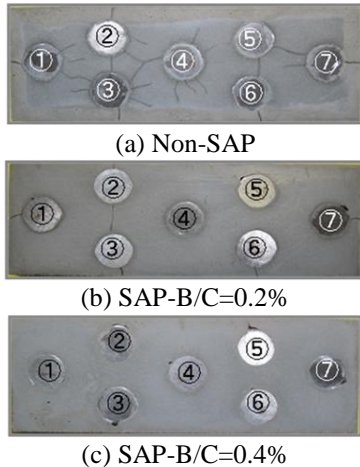
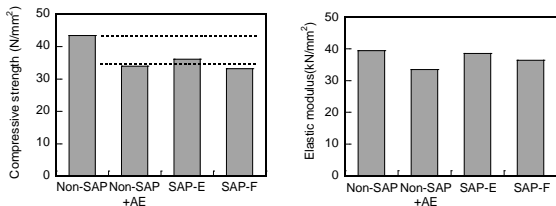


図 12 初期ひび割れの発生状況



(a) 圧縮強度 (b) ヤング係数

図 13 圧縮強度ならびにヤング係数

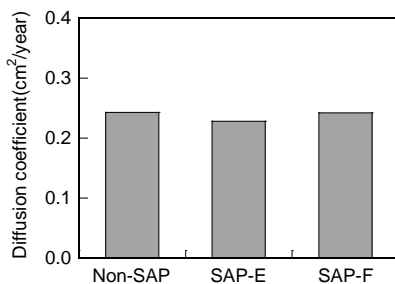
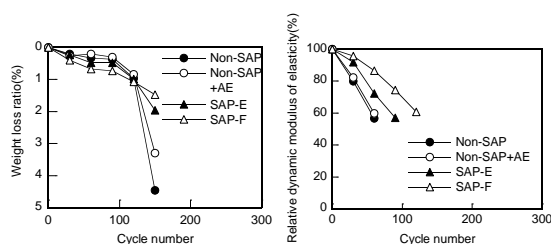


図 14 塩化物イオン拡散係数



(a) 質量減少率 (b) 相対動弾性係数

図 15 凍結融解試験の結果

Non-SAP+AE, SAP-E, SAP-F には同程度の空隙があると推察される。

図 14 の塩化物イオンの拡散係数は 3 配合とも同水準であり, SAP で形成される空隙が物質浸透性に及ぼす影響は小さいことが分かる。

図 15 の凍結融解試験の結果からは, SAP を混和した配合は無混入 (Non-SAP) よりも劣化速度が低く, SAP-E と SAP-F を比較すると平均粒径が小さい SAP-F の方がより劣化速度が低いことから, SAP-F の添加率を高める方法やより細かい SAP を使用することで耐凍害性の向上が期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Kazuo Ichimiya, H.W. Reinhardt and A. Assmann, Portland-cement based simple repairing mortar with modified inorganic admixtures and SAP, Proceedings of the 7th RILEM International Conference on Self-Compacting Concrete and of the 1st RILEM International Conference on Rheology and Processing of Construction Materials, pp.205-212(2013), 査読有
- ② Kazuo Ichimiya, Ryo Okamoto and Koichi Goto, Development of low cost portland-cement based repairing mortar, International Symposium on Technology for Sustainability, pp. 445-448(2012), 査読有
- ③ Kazuo Ichimiya, H.W. Reinhardt and A. Assmann, Effect of super-absorbent polymer on simplification of curing and prevention of micro-cracking of concrete at early age, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting 3, pp217-222(2012), 査読有
- ④ Kazuo ICHIMIYA, Kimiaki ZAITSU and Makoto ETOH, Measurement method for consistency of polymer-modified sprayed mortar with vane-type viscometer, Advances in Construction Materials through Science and Engineering, RILEM Publications s.a.r.l. PRO 79, Bagnaux, 2011, p. 60 (abstract book). Full text on CD-ROM(2011), 査読有

[学会発表] (計 3 件)

- ① 一宮一夫 他, 凍害抑制混和材としての高吸水性ポリマーの有効性, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会, 平成 26 年 3 月 8 日, 福岡大学 (福岡市)
- ② 後藤洗一, 一宮一夫 他, 普通ポルトランドセメントをベースとする低コスト補修モルタルの開発, 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会, 平成 25 年 3 月 9 日, 熊本大学 (熊本市)
- ③ Kazuo ICHIMIYA 他, Effect of super-absorbent polymers (SAP) on simplified curing technique and prevention of

initial cracking of mortar, 第 65 回セメント
技術大会, 平成 23 年 5 月 18 日, ホテルメ
トロポリタン池袋 (東京都豊島区)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

一宮 一夫 (ICHIMIYA, Kazuo)

大分工業高等専門学校・都市・環境工学

科・教授

研究者番号 : 0 0 1 7 6 3 0 6