

部分吸水に伴うジオポリマーの表層劣化メカニズムと表面含浸材の効果

大分工業高等専門学校 正会員 ○一宮 一夫

西松建設株式会社 正会員 原田 耕司

山口大学名誉教授 非会員 池田 攻

1. はじめに

ジオポリマー（以下、GP とする）では、図 1 のような表層部に白華ならびにスケーリングなどの変状が生じる場合がある。普通ポルトランドセメント（以下、OPC という）製コンクリートの白華や塩類風化に類似した現象¹⁾であるが、発生条件や劣化速度は OPC コンクリートとは異なる点もあり、発生メカニズムの解明や対策が求められている。

このような背景のもと、本研究ではフライアッシュ（以下、FA とする）と高炉スラグ微粉末（以下、BS とする）を併用した GP モルタル製供試体による部分吸水試験を行い、表層劣化のメカニズムならびにコンクリート用表面含浸材（以下、含浸材という）の有効性について検討した。

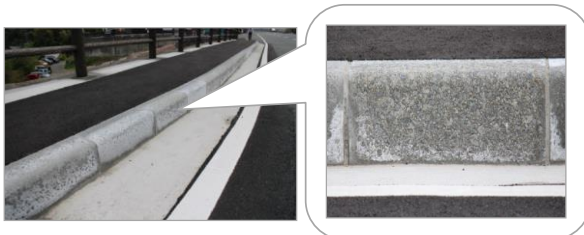


図 1 GP ブロックの表層劣化の例

表 1 使用材料

項目	記号	材料
活性 フィラー	FA	フライアッシュ 1 種, 密度 2.36g/cm ³ 比表面積 5327cm ² /g
	BS	高炉スラグ微粉末, 密度 2.92 g/cm ³ 比 表面積 4009cm ² /g
アルカリ 溶液	GPW	水ガラス, 苛性ソーダ, 水の混合液 A/W (Na/H ₂ O) 0.126 Si/A (Si/Na) 0.613
細骨材	S	混合珪砂, 密度 2.64 g/cm ³

2. 実験概要

表 1 に使用材料, 表 2 にモルタルの配合を示す。活性フィラーは FA を基本とし, BS を内割り置換（置換率 0, 10, 20, 30%）（以下, それぞれを F100B0, F90B10, F80B20, F70B30 とする）した。アルカリ溶液には水ガラス, 苛性ソーダ, 水の混合液, 細骨材には珪砂を JIS 標準砂を参考に粒度調整して使用した。供試体形状は円柱（表層劣化メカニズム実験: $\phi 5 \times 10$ cm）と角柱（含浸材実験: $4 \times 4 \times 16$ cm）, 養生方法は蒸気養生（室温 $\rightarrow 60^{\circ}\text{C}$: 3 時間, 60°C : 3 時間, $60^{\circ}\text{C} \rightarrow 20^{\circ}\text{C}$: 3 時間）とし, プログラム式恒温恒湿装置で行った。打設の翌日に脱型し, その後は材齢 1 週まで恒温（ 20°C , 60%RH）で貯蔵した。含浸材には OPC コンクリート用のシラン系の市販品を用い, 刷毛を用いて供試体全面に均等に塗布し, 3 日間恒温室内で乾燥させた後に実験に供した。

図 2 に部分吸水試験の様子を示す。供試体は長手方向に縦置きにし, 下端部 1cm を水浸させた。部分吸水試験は, 恒温室（温度 20°C , 湿度 60%RH）と冷蔵庫（温度 4°C , 湿度 30%RH）において, 吸水期間 8 週まで行った。

表 2 GP モルタルの配合 (kg/m³)

記号	BS 置換率 (%)	GPW	FA	BS	S
F100B0	0	295.0	640.3	0.0	1311.2
F90B10	10	295.0	576.4	79.2	1311.2
F80B20	20	295.0	512.3	158.4	1311.2
F70B30	30	295.0	448.2	237.7	1311.2

3. 実験結果

3.1 表面劣化メカニズム

図 3 に恒温室, 図 4 に冷蔵庫における BS 置換率ごとの外観の比較を示す。まず, 図 3 の恒温室では, F100B0, F90B10, F80B20 で変状が認められるが, 変状は BS 置換率が高いほど少なく, 位置も低くなる。なお, F90B10 では白色の析出物

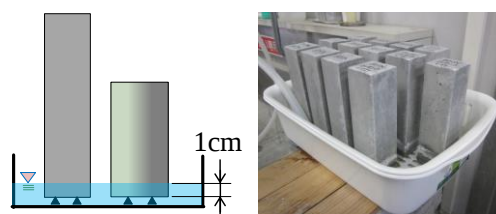


図 2 部分吸水試験の様子

キーワード ジオポリマー, フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末, 表層劣化, 白華, 表面含浸材

連絡先 〒870-0152 大分市牧 1666 番地 大分高専 都市・環境工学科 TEL 097-552-7664

が著しく生じているが、その原因は未解明である。

一方の冷蔵庫の場合は、いずれの BS 置換率においても析出物が認められる。全体的に、図 3 と図 4 の変状位置はほぼ同じであることから、変状メカニズムは同様で、図 3 の状態も吸水期間を長くすると図 4 の状態に近づくと予想される。また、冷蔵庫では析出物に加えてスケーリングも生じており、BS 置換率が低いほど顕著である。

白華は OPC コンクリートでは乾燥環境で生じやすいが、GP でも冷蔵庫で劣化が促進されることから湿度や温度に大きく影響されることが分かる。一方、スケーリングの原因は、OPC コンクリートでは結晶圧によるのに対して、GP の場合は溶解に伴うもので、両者のメカニズムは異なると考えられる。析出物の粉末 X 線回折による分析の結果、炭酸ナトリウムに由来する鉱物のトロナ、テルモナトライト、パーカイトが確認された。いずれも水溶性の結晶であり、GP のスケーリングは大気中の湿分による風解の可能性が高い。

3.2 含浸材の効果

図 5 は含浸材を塗布した F90B10 と F70B30 の切断面の画像であり、含浸材の浸透深さはいずれも 4mm 程度である。

図 6 に外観の比較、図 7 に質量変化の比較を示す。図 6 からは、含浸材を塗布することで表層の変状が少なくなっており、市販のコンクリート用含浸材を適用することで GP の表層劣化をある程度抑制できることが分かる。

図 7 の質量変化は、F90B10（無塗布）は吸水開始から 10 日ほどまで質量が増加し、その後は安定している。それに対して、F90B10（塗布）は 5 日まで質量変化はなく、含浸材の防水効果が認められるものの、それ以降は質量が増加していることから徐々に吸水しているものと考えられる。一方の F70B30 は無塗布、塗布ともに質量増加はなく、逆にわずかに質量が減少傾向にある。このような質量変化の原因として、シラン系撥水剤を塗布したコンクリートや高強度コンクリートでは、液体としての水の侵入を抑制し、気体（水蒸気）としての水の発散を許容するので、それに類似した現象が生じている可能性もある。

4. まとめ

本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) OPC コンクリートでは、白華とスケーリングのメカニズムは異なるが、FA 系 GP の部分吸水で生じる両者のメカニズムは同じと考えられ、炭酸ナトリウムに由来する水溶性の析出物が関与している可能性が高い。
- (2) シラン系含浸材を塗布することで表層劣化の速度を低減させることはできるが、物質移動は完全に遮断されないことから、効果の持続性は別途確認する必要がある。

参考文献

- 1) 吉田夏樹, 松浪良夫, 永山勝, 坂井悦郎: 温度条件が硫酸ナトリウムによるモルタルの塩類風化に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, 2010

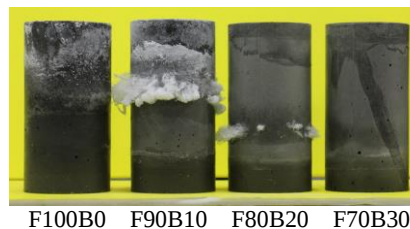


図 3 BS 置換率ごとの外観の比較
(恒温室, 吸水期間 8 週)

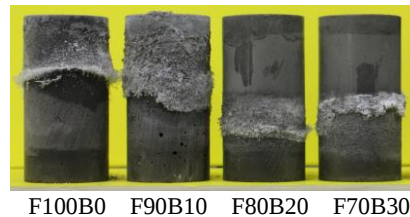


図 4 BS 置換率ごとの外観の比較
(冷蔵庫, 吸水期間 8 週)

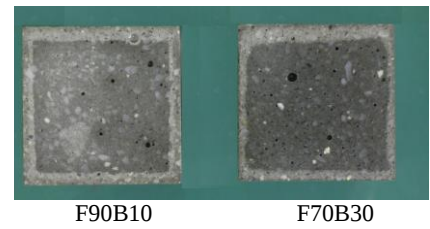


図 5 含浸材の浸透状況

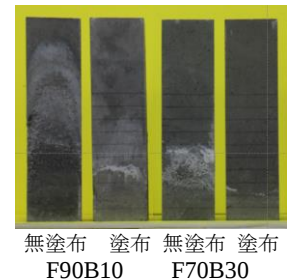


図 6 含浸材の有無による外観の比較(冷蔵庫, 吸水期間 8 週)

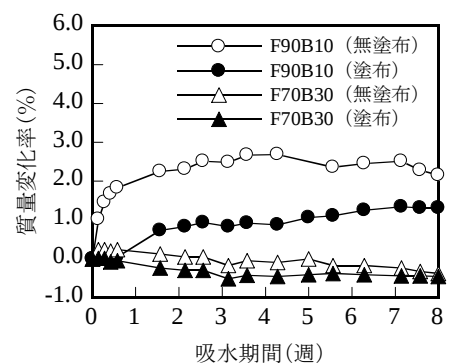


図 7 含浸材の有無による質量変化の比較(冷蔵庫)