

ジオポリマーの部分吸水に伴う表層劣化に与える表面含浸材塗布後の加熱の影響

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
日本興業株式会社 非会員 津郷 俊二, 山口大学名誉教授 非会員 池田 攻

1. はじめに

強酸性温泉地（大分県別府明礬地区）に設置したフライアッシュ系ジオポリマー（以下、FA ならびに GP という）製の歩車道境界ブロック（以下、ブロックという）に、設置後間もなくエフロレッセンス（白華）等の表層劣化が発生した。その対策としてシラン系表面含浸材（以下、含浸材という）を塗布したが、図1のような表層劣化が生じた。筆者らは既報において、その原因の一つに活性フィラーに含まれる Ca とアルカリ溶液の反応生成物である C-A-S-H が影響している可能性を示した。

本報告では、含浸材の防水性能向上を期待して含浸材塗布後の供試体を加熱（60℃，1 日間）した場合の結果とともに、表層劣化とサブフロレッセンスの関係についても言及した。

2. 実験概要

使用材料と配合を表1と表2に示す。モルタルの練り混ぜにはホバート型ミキサー（容量 5L）を用いた。練り上がったモルタルは直ぐにセメント強さ試験用型枠（圧縮強度測定用，4×4×16cm）と円筒型枠（部分吸水試験用，φ5×h10cm）にテーブルバイブレータで振動を与えながら充填した。その後、蒸気養生（最高温度 60℃，持続時間 3 時間）を施し、翌日に脱型した。図2に脱型後の供試体の養生条件ならびに含浸材の塗布時期を示す。含浸材はシラン系の市販品を使用し、脱型後3日目に刷毛を用いて供試体全面に塗布した。

供試体表層部の変化を調べるために部分吸水試験を行った。部分吸水試験では供試体下端部 1cm を浸水させ、試験材齢 16 週までの外観の変化を観察した。

3. 実験結果

図3に材齢7日における BS 置換率ごとの圧縮強度を示す。この結果より、BS 置換率と圧縮強度は強い正の相関関係にあり、強度水準は土木用構造材料として適用可能な範囲にあることを確認した。

図4に含浸材無塗布ならびに塗布での BS 置換率ごとの供試体外観の比較を示す。表層の変状は、無塗布ならびに BS0 において認められ、無塗布シリーズ（図中の最上段）では BS0 と BS10 でエフロレッセンスが生じ、BS20 と BS30 では色調に変化がある。



図1 設置から1年後の状況
（左：無塗布，右置：塗布）

表1 GP モルタルの使用材料

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	AW	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

表2 GP モルタルの配合 (kg/m³)

記号	BS 置換率 (vol.%)	AW	FA	BS	S
BS0	0	295.0	640.3	0.0	1311.2
BS10	10	295.0	576.4	79.2	1311.2
BS20	20	295.0	512.3	158.4	1311.2
BS30	30	295.0	448.2	237.7	1311.2

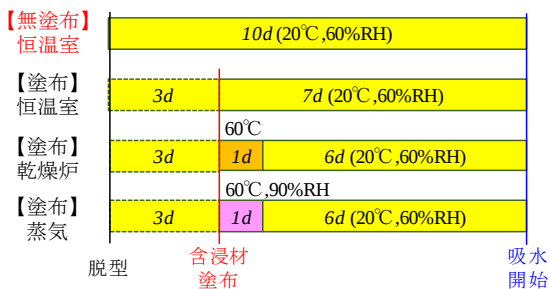


図2 脱型後の供試体の養生条件

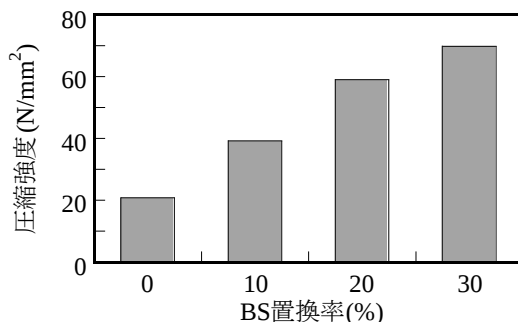


図3 BS 置換率ごとの圧縮強度（材齢7日）

キーワード ジオポリマー，エフロレッセンス，サブフロレッセンス，表層劣化，部分吸水，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

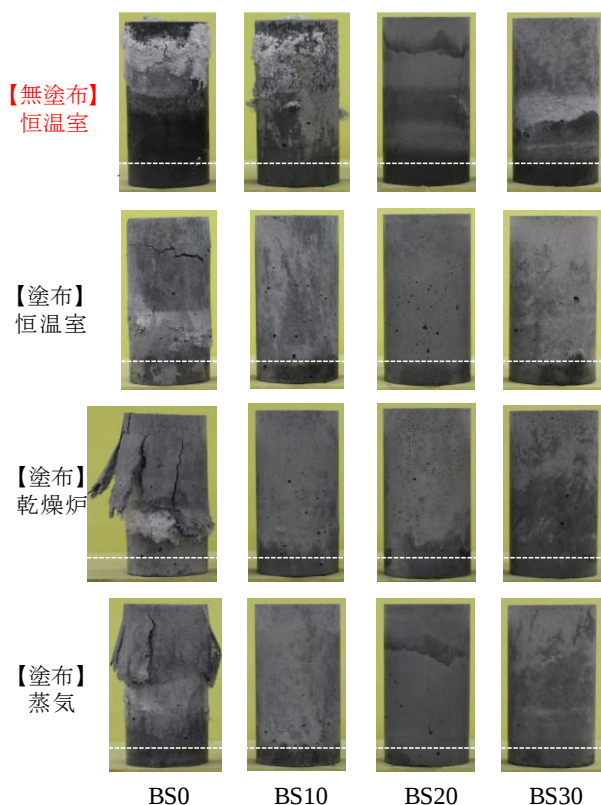


図4 BS置換率ごとの外観の比較

一方、BS0（図中の最左列）の含浸材塗布ではひび割れが発生し、特に含浸材塗布後に60℃で加熱した場合は供試体上端から1, 2cmを起点とした膨張性ひび割れが生じた。

図5はZhangらの研究²⁾からの引用図で、エフロレッセンスとサブフロレッセンスは湿潤部と乾燥部の境界において同じメカニズムで発生することが説明されている。

図6は同じくZhangらの研究²⁾を参考に作成した結晶圧力(p)と細孔径の関係図である。図中の横方向の破線は、BS30とBS0の引張強度の推定値で、 p がGPの引張強度を上回るとサブフロレッセンスが発生する。なおGPの引張強度の推定値算出においては南らの研究³⁾を参考に引張強度/圧縮強度=1/17と仮定した。図7は既報の筆者らによるOPCとGPの細孔径分布の測定結果⁴⁾である。図6と図7の結果の対応性についてはさらに詳細の検討が必要であるが、細孔径100nm以下で p が引張強度を上回っており、最も引張強度が低いBS0においてサブフロレッセンスの影響が顕在化したものと考えられる。また、加熱による含浸材の透湿性(透気性)の低下が膨張ひび割れの原因となった可能性もある。

4. まとめ

含浸材無塗布ではBS置換率20%以上で部分吸水に伴う表層劣化を抑制できた。他方、シラン系表面含浸材を塗布した場合は、BS置換率10%以上での表層劣化は認められなかったが、BS置換率0%ではサブフロレッセンスによる膨張ひび割れが発生した。ひび割れは含浸材塗布後に60℃で加熱した場合に顕著であり、特に低強度の配合において、含浸材塗布後の温度が表層劣化抵抗性に大きく影響することが分かった。

謝辞 本研究はJSPS科研費17H03291の助成を受けたものです。

参考文献 1) 一宮一夫, ほか3名: 別府明礬温泉におけるジオポリマー製歩車道境界ブロックの表層劣化対策, 土木学会第73回年次学術講演会, pp.563-564, 2018, 2) Z. Zhang, ほか4名: Efflorescence and subflorescence induced microstructural and mechanical evolution in fly ash-based geopolymers, Cement and Concrete Composites, pp.165-177, 2018, 3) 南浩輔, ほか2名: ジオポリマー硬化体の諸物性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1987-1992, 2013, 4) 一宮一夫, ほか2名: ジオポリマー硬化体の諸物性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.2047-2052, 2017

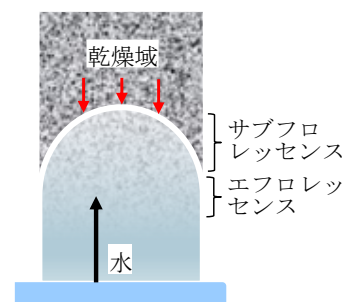


図5 サブフロレッセンスの発生メカニズム

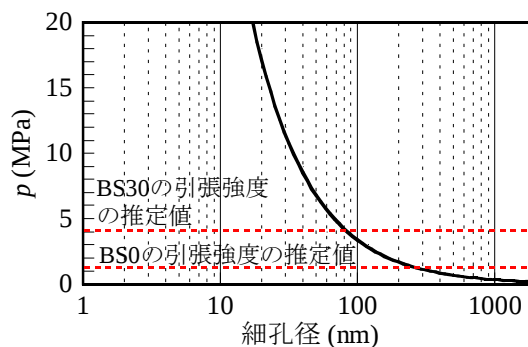


図6 GP生成物の結晶圧力と細孔径の関係

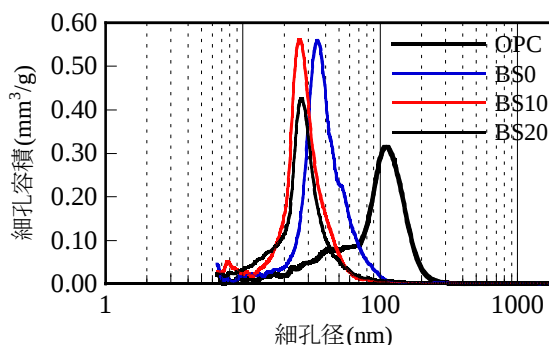


図7 BS置換率ごとの細孔径分布