

ジオポリマーの部分吸水に伴う膨張現象と表層劣化の関係

大分高専専攻科 学生会員 ○仲町 征将, 大分高専 正会員 一宮 一夫
大分高専 非会員 亀井 菜央, 西松建設(株) 正会員 原田 耕司

1. はじめに

ジオポリマー(以下, GP)は表層部にはエフロレッセンス(白華)が発生し, 固化体内部では湿潤部と乾燥部の境界でサブフロレッセンス(析出物の結晶圧による劣化)が生じる可能性がある. 両者の発生条件や劣化速度は従来の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及びその対策が求められている.

本研究では, フライアッシュ(以下, FA)を基本とし, 強度増進のために高炉スラグ微粉末(以下, BS)を併用した(以下, FA-BS 併用系) GP モルタル供試体を用いた部分吸水試験を行い, 供試体下端からの部分吸水に伴う膨張現象と表層劣化の関係を調べた.

2. 実験概要

2.1 配合と養生方法

配合を表1に示す. GP はアルミナシリカ粉末の FA を基本とし, BS を内割り置換(置換率は 0%, 10%, 20%, 30%とし, 以下それぞれを BS0, BS10, BS20, BS30)した. アルカリ溶液である GPW は水ガラス, 苛性ソーダ, 水の混合液を使用した.

練混ぜにはホバート型ミキサーを用いて, 長さ変化測定用供試体型枠(4×4×16cm, ゲージ穴付き)または, 円筒型枠(φ5×10cm)にテーブルバイブレーターで振動を与えながら充填した. 図1の条件で蒸気養生をし, 材齢1日で脱型した.

2.2 GP 内部の吸水状態の可視化 GP モルタル供試体を材齢7日で図2(a)のように下部1cmを水に浸漬させた状態で部分吸水試験を行い, 材齢14日で供試体を縦方向に2分割し, 破断面に水漏れ発色検査剤を塗布し, 内部の吸水状況を観察した.

2.3 表面含浸材の効果 GP モルタルを用い, 表面含浸材(以下, 含浸材)の有無や, 養生条件の差異による表面含浸材の効果を調べるため, 恒温室内で図2(a)のように供試体下部1cmを水に浸漬させた状態で部分吸水試験を行い, 試験材齢16週までの外観の変化を観察した. 図3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. 含浸材は脱型後3日目に刷毛を用いて供試体全面に塗布した.

2.4 BS 添加率と吸水膨張量の関係 GP モルタルを材齢7日で, 冷蔵庫(2℃, 30%RH)にて図2(b)に示すように供試体下部2cmを水に浸漬させた状態で吸水試験を行い, JIS A 1129に準拠して GP モルタルの長さ変化と質量変化率を調べた.

3. 実験結果

3.1 GP 内部の吸水状態の可視化 図4に円柱供試体の外観と割裂断面の状態を示す. 上段から BS 置換率が増えるほどエフロレッセンスは減少する事が分かる. 発生範囲も BS 置換率が高いほど狭くかつ下方に位置

表1 GP モルタルの配合(kg/m³)

記号	BS 置換率 (vol.%)	GPW	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

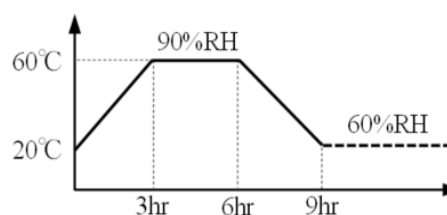


図1 蒸気養生の条件

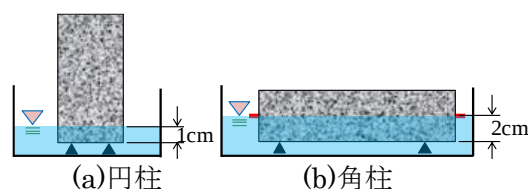


図2 部分吸水試験の様子

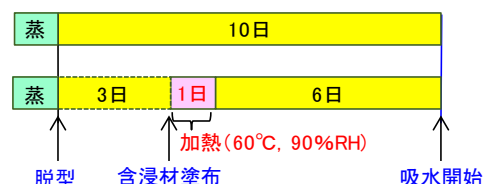


図3 含浸材無塗布(上段)と塗布(下段)の養生条件

する。下段から含水分布は上に凸となり、BS で置換した場合は BS 置換率の増加に伴い最大高さは低下する事が分かる。図 5 は Zhang らの研究¹⁾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の発生場所の関係である。エフロレッセンスは表面の含水部と乾燥部の境界付近の乾燥部に発生し、図 5 の白色の析出物の発生位置と一致する。また、図 6 は図 4 で示したモルタルから細骨材を除いた配合のペースト供試体の外観と割裂断面である。モルタル供試体とは大きく異なり、BS20, BS30 でひび割れが生じた。この結果は供試体内部での膨張力の作用を示唆するものである。

3. 2 表面含浸材の効果 図 7 に含浸材無塗布ならびに塗布での BS 置換率ごとの外観を示す。無塗布ではいずれの配合においてもエフロレッセンスま

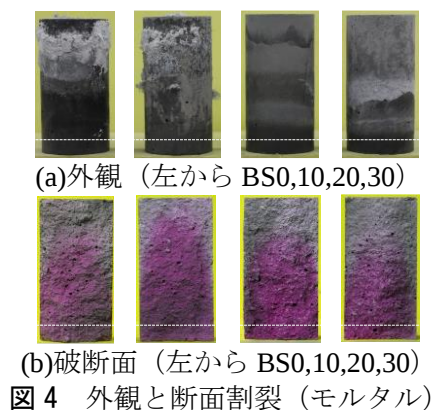


図 4 外観と断面割裂 (モルタル)

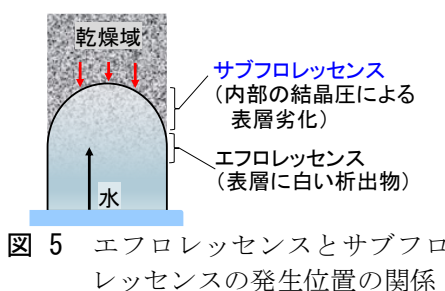


図 5 エフロレッセンスとサブフロレッセンスの発生位置の関係

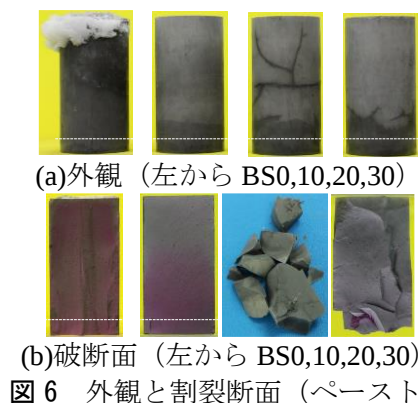


図 6 外観と割裂断面 (ペースト)

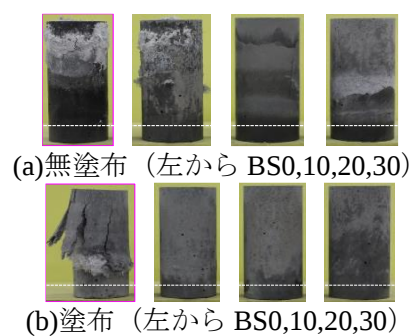
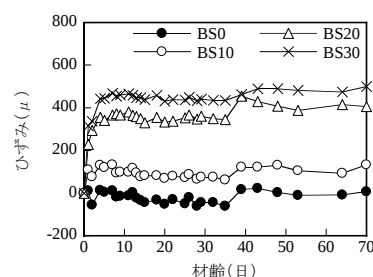
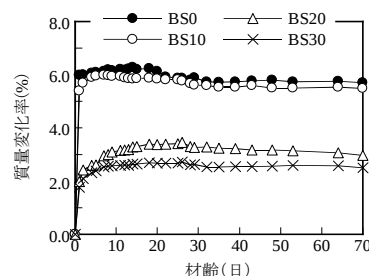


図 7 含浸材の有無による外観



(a) 長さ変化



(b) 質量変化率

図 8 部分吸水試験の長さ・質量の変化

たは皸模様などの変状が認められる。一方で、表面の変状の程度は BS20 以上で抑制される。塗布では BS0 で供試体上端から 2cm 付近を基点に、サブフロレッセンスが原因と考えられる膨張ひび割れを生じた。

3. 3 BS 添加率と角柱供試体の部分吸水膨張量の関係 図 8 に吸水試験の結果を示す。長さ変化は、BS0 ではほとんど見受けられないが、BS を添加した配合では吸水により膨張し、膨張量は BS 添加率が高いほど大きい。その一方で、質量増加は BS 置換率が高いほど小さい。FA-BS 併用系 GP では、Na 由来の N-A-S-H と Ca 由来の C-A-S-H が生成され、BS 置換率が高いほど Ca が増加することで C-A-S-H の割合が高くなる。C-A-S-H の構造は、吸水により膨張する粘土鉱物のスメクタイトの構造に近く、同様のメカニズムにより膨張した可能性がある。

4. まとめ

GP モルタル供試体内部の下端からの吸水高さの分布は中央部が最も高い上に凸の状態であり、表層劣化は乾燥部と吸水部の境を中心に発生することが分かった。また、GP ペースト供試体の部分吸水に伴う変状は GP モルタルとは大きく異なり、BS 置換率が高い場合 (BS20, BS30) は、内部に無数のひび割れが生じ自己崩壊した。この原因は吸水膨張性の高い C-A-S-H の生成量の増加の可能性がある。表面含浸材を塗布した場合は、サブフロレッセンスによる膨張ひび割れが発生することがあることが分かった。

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) 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