

フライアッシュと高炉スラグ微粉末を併用するジオポリマーの吸水膨張特性

大分高専専攻科 学生会員 ○藤原 怜司, 大分高専 正会員 一宮 一夫
大分高専 非会員 佐藤 光亮, 西松建設(株) 正会員 原田 耕司

1. はじめに

ジオポリマー (GP) は、セメントクリンカーを原料としないことから製造時の CO_2 を大幅に削減できる次世代の材料として実用化が期待されている。フライアッシュ (FA) 等のアルミナシリカ粉末を水ガラス等のアルカリシリカ溶液で固化させる方法が基本であるが、フライアッシュの一部を高炉スラグ微粉末 (BS) で置換させることで、従来のコンクリートと同程度またはそれ以上の強度を得ることができる。また、耐酸性の高い材料を製造できる点も特徴である。

他方、部分吸水に伴う表層劣化が発生することも指摘されている。図1は大分県別府市の明礬温泉に設置された歩車道境界ブロックに発生した劣化の事例である。従来のコンクリートの白華や塩類風化に類似した形態であるが、発生メカニズムの詳細は不明である。

本研究では、GP の部分吸水に伴う表層劣化のメカニズムの解明を目的に、FA をベースとし、容積の 0% から 30% を BS で置換した GP モルタルならびに普通ポルトランドセメント (OPC) で製造したモルタルに対して部分吸水試験を行い、吸水時間と長さならびに質量の変化から劣化メカニズムとの関係を検討した。



図1 ブロックの表層劣化の例

表1 使用材料

分類	項目	記号	材料
GP モルタル	活性 ファイバー	FA	フライアッシュ 1 種, 密度 2.36 g/cm^3 比表面積 $5327\text{ cm}^2/\text{g}$
		BS	高炉スラグ微粉末, 密度 2.92 g/cm^3 比表面積 $4009\text{ cm}^2/\text{g}$
	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
OPC モルタル	セメント	OPC	普通ポルトランドセメント, 密度 3.15 g/cm^3
	水	W	水道水
	細骨材	S	混合珪砂, 密度 2.64 g/cm^3

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表1に、配合を表2に示す。GP はアルミナシリカ粉末の FA を基本とし、硬化促進のために BS を内割り置換 (置換率は 0%, 10%, 20%, 30%) し、OPC は水セメント比 (W/C) を 50% とした。

練り混ぜにはホバート型ミキサー (容量 5L) を用い、長さ変化測定用供試体型枠 ($4\times 4\times 16\text{ cm}$, ゲージ穴付き) にテーブルバイブレータで振動を与えながら充填した。

2.2 養生方法

GP は反応促進のために加熱を行う必要があり、一般的に蒸気養生が施される。それに倣い本研究では、最高温度 60°C 、湿度 90%RH の給熱養生を 3 時間施し、翌日に脱型後、恒温恒湿室 (温度 20°C 、湿度 60%RH) で材齢 7 日まで静置させた。

OPC は脱型後水中で 7 日及び 28 日間養生を行った後、1 日間乾燥炉で乾燥させ、室温まで冷ました後に実験に供した。

2.3 実験方法

養生後、図2に示すように供試体下部を半分水に浸漬させた状態で冷蔵庫 (2°C , 30%RH) で部分吸水試験を行い、JIS A 1129 に準拠してモルタルの長さ変化と質量変化を調べた。

表2 配合

GP モルタル (kg/m^3)

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

OPC モルタル (kg/m^3)

W/C(%)	W	C	S
50	396.8	793.7	1247.0



図2 部分吸水試験の様子

3. 実験結果

図3 (a) に長さ変化の結果を示す。GP と OPC の供試体はどちらも膨張傾向にあり、GP ではBS 置換率が高いほど、OPC では水中での養生期間が短い7日の供試体の方が顕著であった。

GP では、BS0 と BS10 は $0 \sim 100 \mu$ 以下で膨張量はわずかであるのに対して、BS20 と BS30 のひずみは $400 \sim 500 \mu$ と大きい。また、OPC の7日、28日では、BS20、BS30 と同程度のひずみが認められた。

図3 (b) に質量変化率の結果を示す。全ての供試体で試験材齢1日から2日にかけて急速に吸水し質量が増加している。

GP ではBS0 と BS10 は高水準、BS20 と BS30 は低水準で二極化しているが、全体的にBS 置換率が高いと質量増加が少ない傾向にあることが分かる。

OPC では材齢7日に比べて28日の方が質量変化率大きい。また、7日はBS0、BS10 の変化率とBS20、BS30 の変化率のほぼ中間に位置しており、28日はBS20、BS30 よりも2%ほど質量変化率大きい。

一般にFA-BS 併用系GP ではBS 置換率が高いほど高密度で長さ変化は小さいと予想していたが、部分吸水の結果は逆である。FA-BS 併用系GP では、N-A-S-H と C-A-S-H が生成され、BS 置換率が高いほどCaの割合が高くなるためC-A-S-Hの生成量が増える。一方、OPC ではC-S-H と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が生成される。C-A-S-Hの構造は、図4のように粘土鉱物のスメクタイト構造に近い。つまり、中間層に H_2O 等が入り膨潤/収縮することから、BS 置換率が高いほど吸水による膨張ひずみが大きくなった予想される。

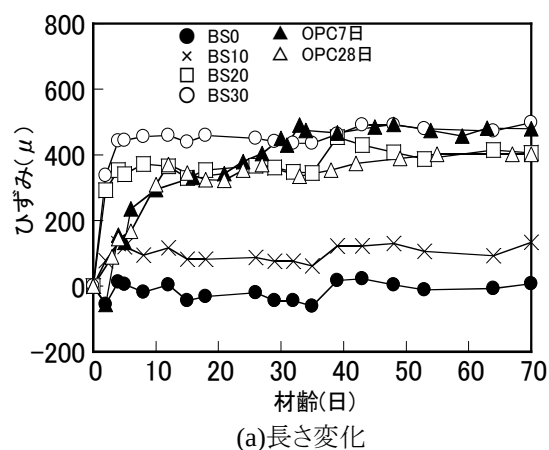
C-A-S-H ならびに C-S-H の生成量と膨張ひずみとの関係を見るためにOPCのCa量を100%、BS0、10、20、30のCa量を0、10、20、30%と仮定した場合のひずみとCa量の関係を図5に示す。GPではほぼ線形の関係があること、BS30とOPCはほぼ同程度のひずみであることが分かる。膨張ひずみはひび割れ発生の原因ともなることがあるので、ある一定値以下に抑えるべきであるが、BS30までであればOPC同様に使用できるようである。

4. まとめ

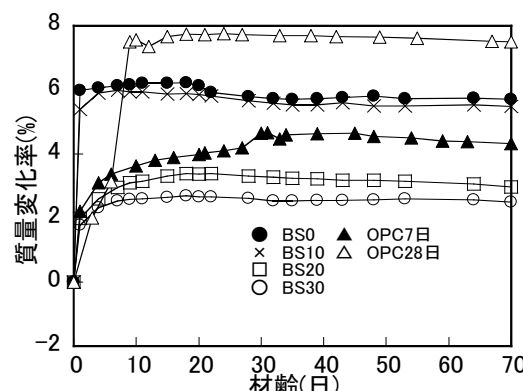
本研究の結果、FA-BS 併用系GPでは部分吸水に伴い膨張が生じるが、GPではBS 置換率が高いほどひずみが大きいこと、BSを30%置換した配合とOPCは同程度であることなどが分かった。

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) Privis, J. L. and Bernal, S. A.: Geopolymers and Related Alkali-Activated Materials, Annual Review of Materials Research, 44(3), pp.3-29, 2014



(a)長さ変化



(b)質量変化

図3 室内実験の結果

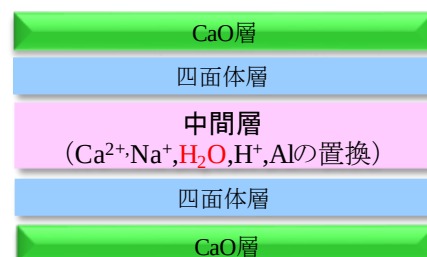


図4 C-A-S-Hの構造模式図

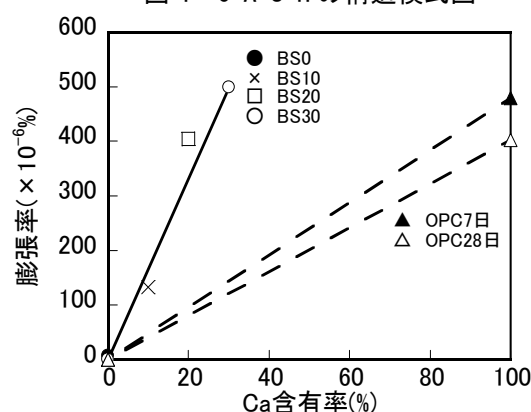


図5 Ca含有率と膨張率の関係 (材齢70日)