

フライアッシュの性質がジオポリマーの耐硫酸性に及ぼす影響 その1. 深さ方向への組織変化

(一財) 日本建築総合試験所 正会員 ○中山 健一
 (一財) 日本建築総合試験所 正会員 吉田 夏樹
 (一財) 日本建築総合試験所 非会員 丹羽 大地

1. はじめに

硫化水素が多く発生する下水関連施設では、微生物の働きにより硫酸が生成し、コンクリートが侵食される。本研究では、酸性環境に有効な特殊材料として期待されるジオポリマー (GP) に着目した。

GP の耐硫酸性に関し、Ca が豊富な水和物では劣化が大きく、N-A-S-H ゲルでは劣化はほぼ生じないことが報告されている^{1),2)}。そこで本研究では、フライアッシュ (FA) を活性フィラーとした GP (N-A-S-H が主生成物) について、その耐硫酸性を検討した。この際、FA の品質は一定しないことが知られているため、4 種の FA を入手し、FA の性質の違いが GP の耐硫酸性に及ぼす影響を検討することとした。

2. 実験方法

2. 1 試験体の作製および浸せき方法

FA の物理的性質および化学組成を表-1 に、各試験体の配合条件を表-2 に示す。FA1 および FA2 は、相対的に CaO 量が少なく、SiO₂ 量が多い。また、FA2 は比表面積が相対的に大きい特徴が見られた。試験体の作製方法について、JIS R 5201 に準じて練り混ぜ、

2×2×2cm の型枠に打ち込んだ。60°C の環境下で 24 時間の封緘養生を行った後に脱型し、ラッピングした状態で浸せき開始 (材齢 39 日) まで 20°C の環境下で封緘養生を行った。なお、同一条件で作製した FA1-GP~FA4-GP の圧縮強度 (浸せき開始時) は、それぞれ 18.0N/mm²、23.3N/mm²、43.3N/mm²、42.9N/mm² であり、相対的に Ca 量が多い FA3-GP および FA4-GP は、FA1-GP および FA2-GP と比較して 2 倍程度大きい値を示した。浸せき溶液には、0.1mol/L 硫酸水溶液 (pH の実測値は約 1.0) を用い、20°C の環境下で 28 日間の全面浸せきを行った。なお、溶液は浸せき開始後 7 日目に全量交換し、浸せき期間中の pH を 1.0 付近に保った。

2. 2 分析方法

浸せき期間において、外観観察および質量変化率の測定を行い、浸せき後の試験体について、電子線マイクロアナライザ (EPMA) による分析を行った。EPMA 分析について、試験体の断面を分析対象として研磨試料を作製し、表面から中心部まで Na, Al, Ca, Si, S の面分析を行った。

表-1 FA の物理的性質および化学組成

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	化学組成 (%)											
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	LOI
FA1	2.21	3425	65.2	20.2	5.0	2.3	0.7	1.5	0.7	1.2	0.5	0.1	0.5	1.8
FA2	2.23	4690	60.0	23.3	4.4	2.5	1.0	1.7	0.6	1.3	0.7	0.1	0.5	3.2
FA3	2.31	3530	53.6	24.0	7.5	4.2	1.4	1.8	1.1	1.2	0.9	0.1	1.4	2.4
FA4	2.24	3170	51.7	26.1	6.3	5.1	1.6	1.2	1.2	1.4	0.5	0.1	1.2	3.0

表-2 各試験体の配合条件

試験体名称	FA (kg/m ³)	アルカリ刺激剤				水/粉体 (体積比)
		7mol NaOH (kg/m ³)	JIS3 号水ガラス (kg/m ³)	AL/W モル比	Si/AL モル比	
FA1-GP	1217	398	216	0.15	0.30	0.66
FA2-GP	1239	389	211			
FA3-GP	1241	388	211			
FA4-GP	1224	395	215			

キーワード ジオポリマー, フライアッシュ, 耐硫酸性, 溶脱, 二水石膏

連絡先 〒565-0873 大阪府吹田市藤白台 5-8-1 (一財) 日本建築総合試験所 建材部 材料試験室 TEL 06-6834-0271

3. 実験結果および考察

3. 1 外観観察および質量変化率測定結果

浸せき後の各試験体の外観を写真-1 に示す。FA1-GP, FA2-GP, FA4-GP に変状は見られなかった。一方で FA3-GP には試験体の中央部にひび割れが認められた。

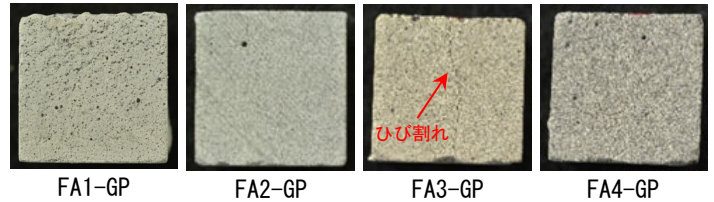


写真-1 28日間浸せき後の各試験体の外観

次に、質量変化率の測定結果を図-1 に示す。FA3-GP と FA4-GP の質量減少率が大きかった。

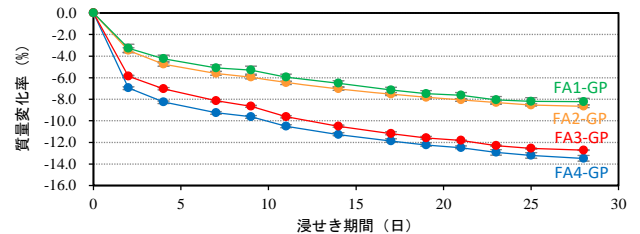


図-1 浸せき期間における質量変化率測定結果

3. 2 EPMA 分析結果

EPMA 面分析結果を図-2 に、各試験体の組織の特徴を図-3 に整理する。Na および Al について、FA1-GP と FA2-GP は試験体の中心まで溶脱が進み、FA3-GP は約 5mm, FA4-GP は約 5.5mm まで溶脱した。圧縮強度が低く、よりポーラスな試験体で溶脱が進んだ。次に、Ca の分布について、FA1-GP~FA4-GP で、それぞれ約 4.0mm, 約 4.5mm, 約 2.0mm, 約 2.5mm まで溶脱した。溶脱域を越えると Ca と S の分布は一致し、そのモル比から二水石膏 (CaO:SO₃≒1:1) が生成している (硫酸塩鉱物生成層と呼ぶ)。FA1-GP および FA2-GP は、試験体の中心まで二水石膏が生成していた。一方で FA3-GP は約 5mm まで、FA4-GP は約 5.5mm までで、それ以降は硫酸の影響を受けず健全と考えられる (健全層と呼ぶ)。二水石膏層はひび割れを導く可能性があり、CaO 量が相対的に多い FA3-GP では、ひび割れを導いた可能性がある。なお、表面から二水石膏層までの領域では、SiO₂ が主たる成分であり、N-A-S-H が分解し、非晶質シリカが生成していると考えられる (非晶質シリカ層と呼ぶ)。

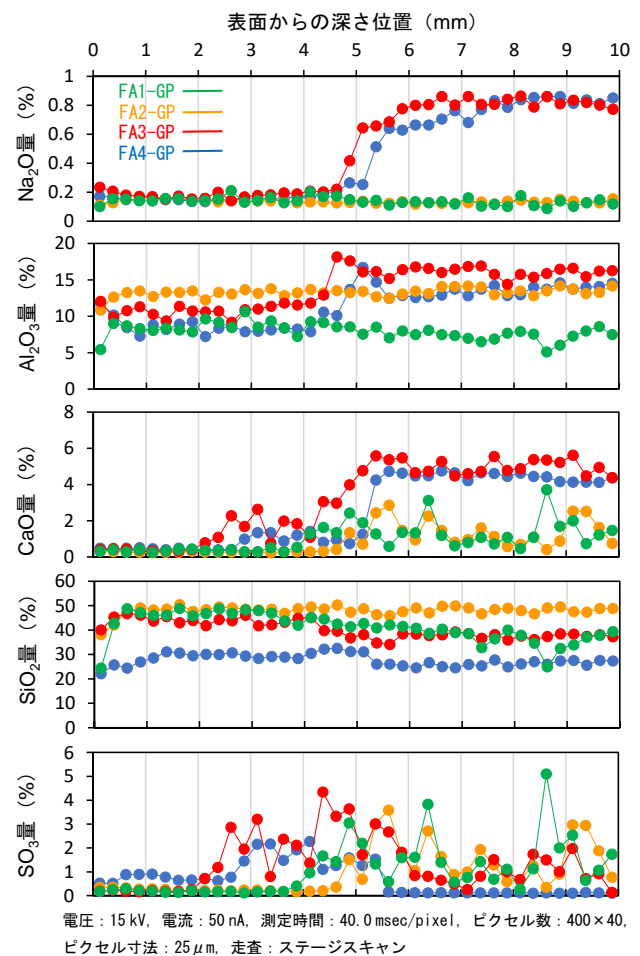


図-2 各種元素の濃度分布の測定結果

4. まとめ

- (1) FAの種類により GP 試験体の圧縮強度が異なり、CaO 量が多いほど圧縮強度は高くなった。
- (2) 圧縮強度が低い試験体では、溶脱の進行が早く、硫酸は深くまで浸透する結果となった。
- (3) 圧縮強度が高い試験体では、硫酸の浸透深さは浅いが、二水石膏の生成によりひび割れを導いた可能性が考えられた。

参考文献

- 1) Ariffin, M.A.M et al.: Sulfuric acid resistance of blended ash geopolymer concrete, Constr. Build. Mater., Vol.43, pp.80-86, 2013
- 2) Sturm, P. et al.: Sulfuric acid resistance of one-part alkali-activated mortars, Cem. Concr. Res., Vol.109, pp.54-63, 2018

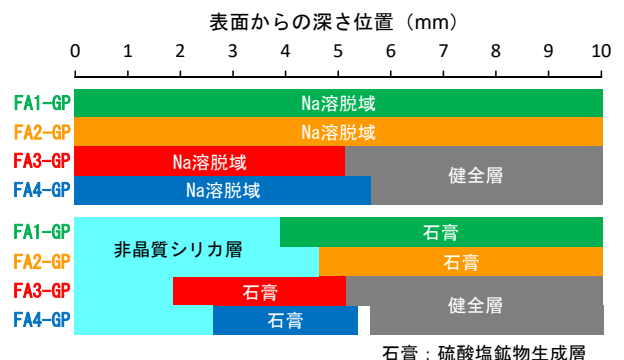


図-3 各試験体の組織の特徴