

NaOH 刺激による FA-GGBS-SF 混合型ジオポリマーにおける反応相組成

一般財団法人 電力中央研究所 正会員 ○山本 武志, 菊地 道生, 大塚 拓

1. はじめに

ジオポリマーの製造では、水ガラス (NaSi) を用いる事例が多く、NaOH 等の水酸化アルカリ溶液のみを用いる場合は強度発現性が劣ることが課題であった。そこで、本研究ではフライアッシュ (FA) を主な結合材料として、微細組織の緻密化を進めるために高炉スラグ微粉末 (GGBS) とシリカフューム (SF) を混合使用することとした。その場合、FA が系内で反応せずに骨材のような存在になることが懸念されたため、粒子周囲の組成分析、形態観察を行い、FA の反応性を評価することにした。

2. 目的

刺激剤として水ガラス使用しないFA-GGBS-SF系と水ガラスを使用するFA-GGBS系のジオポリマーの反応相の比較を行う。そして、反応速度がGGBS, SFに比べて緩慢と考えられるFAの反応性を把握する。

3. 実験概要

(1) 使用材料

FA は、強熱減量, ブレーン値, SiO_2 量, 非晶質量が各々 [2.3%, 4390 cm^2/g , 62.2%, 79.4%], [4.9%, 4230 cm^2/g , 63.6%, 69.4%]となる2種類を用いた。GGBS は、JIS A6206における高炉スラグ微粉末 4000 (セッコウ無添加) である。SF は、JIS A6207 適合品を用いた。水ガラスは、濃度 52.0-57.0%の試薬を用いた。NaOH はペレット状の特級試薬を用い、練混ぜ前日に所定濃度の溶液として調整した。

(2) 配合, 打設, 養生

表-1 に示す配合として、5Lの二軸遊星ミキサーを用いて十分に混練し、 $\phi 50\text{mm}$ の円柱型枠に流し込んだ後に振動テーブル上で2分間の締固めを行った。NaOH 刺激型 FA-GGBS-SF 試料は、打設後に 20°C, R.H.60%下で 24 時間の前養生を施し、さらに 80°C蒸気養生を 24 時間施した。NaSi 刺激型 FA-GGBS 試料は、打設後に 80°C蒸気養生を 8 時間施した。

表-1 ペースト試料の配合 (kg/m^3) および圧縮強度

試験体	FA	SF	GGBS	NaSi	NaOH	Water	減水剤	圧縮強度(MPa)
NaOH 刺激型 FA-GGBS-SF	990	71	354	-	212	396	49.4	69
NaSi 刺激型 FA-GGBS	800	-	533	204	178	360	39.9	88

4. 実験結果

養生後に室温まで冷却し、圧縮強度を測定した。NaOH 刺激型試料は NaSi 刺激型試料に比べて 19MPa 低いが、69MPa と十分な圧縮強度である (表-1)。圧縮強度に大きな影響を及ぼしたのは、混練直後に各材料粒子間の空隙に析出、形成された反応相の充填状態であると考えられるため、細孔径分布を測定した。両試料の細孔径分布測定結果を対数微分空隙量として図-1 に示す。NaOH 刺激型試料 (図-1, ●) は、NaSi 刺激型試料に比べて孔径 8~100nm における空隙量が多く、孔径 8nm 以下の空隙量が少ない。NaOH 刺激型では、空隙充填効果を高めるために SF を添加したが、NaSi 型の方が空隙充填性に優れることを確認した。次いで、NaOH および NaSi 刺激型試料中に形成された反応相の形態を FE-SEM にて観察した。各試

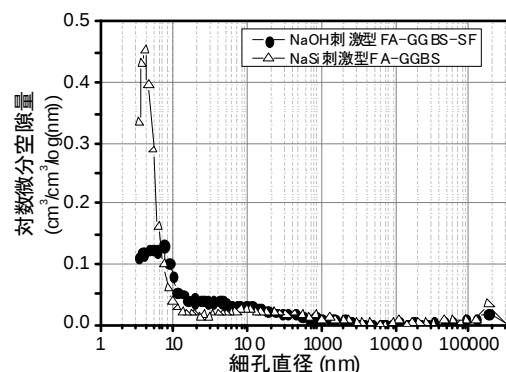


図-1 細孔径分布の比較

料中で FA および GGBS 粒子周囲に形成された反応相の形態の比較を図-2 に示す。いずれの硬化体においても未反応粒子間に十分量の反応相が形成されていた。しかし、NaOH 刺激型試料においては、FA 粒子周囲 (図-2, b) および GGBS 粒子周囲 (図-2, c) はセメント水和物相と同様に粒径 30-50nm のコロイド状析出物が

キーワード ジオポリマー, NaOH, 蒸気養生, 反応相, 組成

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財) 電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

密集した状態であるが, NaSi 刺激型試料においては, 粒径 20-30nm の微細な粒状体の集合体 (図-2, e, f) が形成されており, NaSi 由来のゲルを基調にした反応相が形成されていた. 各粒子周囲に形成された反応相の構成粒子径の相違が微細空隙量の相違 (図-1) をもたらしたと考えられる. NaOH 刺激型試料を対象とした EPMA による元素濃度分布状況の解析結果を図-3 に示す. FA 粒子周囲は C-A-S-H 相 (領域 B: Ca:5-10%, Al:20-50%, Si:40-70%), GGBS 粒子周囲も同様に C-A-S-H 相であるが, 高 Ca/Si 比となる相 (領域 D: Ca:20-50%, Al:3-30%, Si:40-65%) が形成されていた. そして, 各粒子間は低 Ca/Si 比の相 (領域 C: Ca:5-15%, Al:10-20%, Si:60-80%) で充填されていた. これらの偏在する相が長期的にどのように変遷するか今後調査する必要がある.

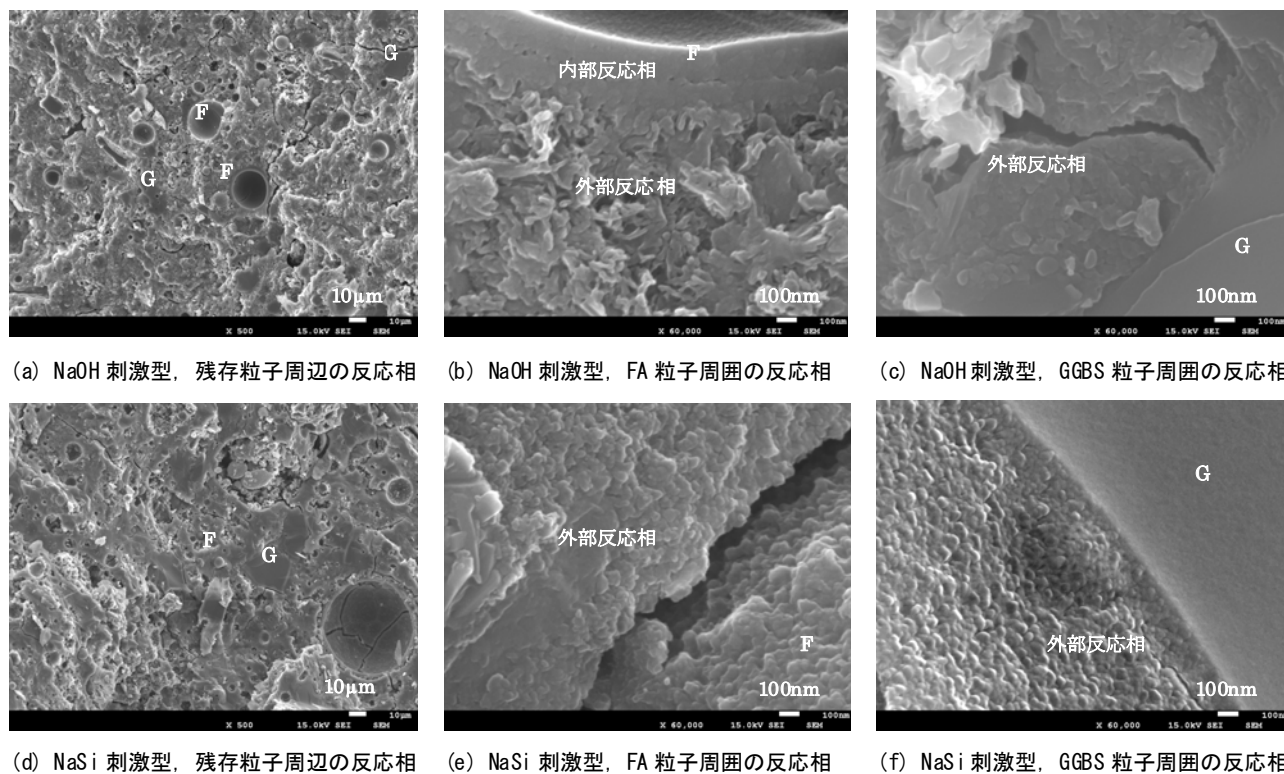


図-2 NaOH 刺激型および NaSi 刺激型試料で FA (F), GGBS (G) 粒子周囲に形成された反応相の形態の比較

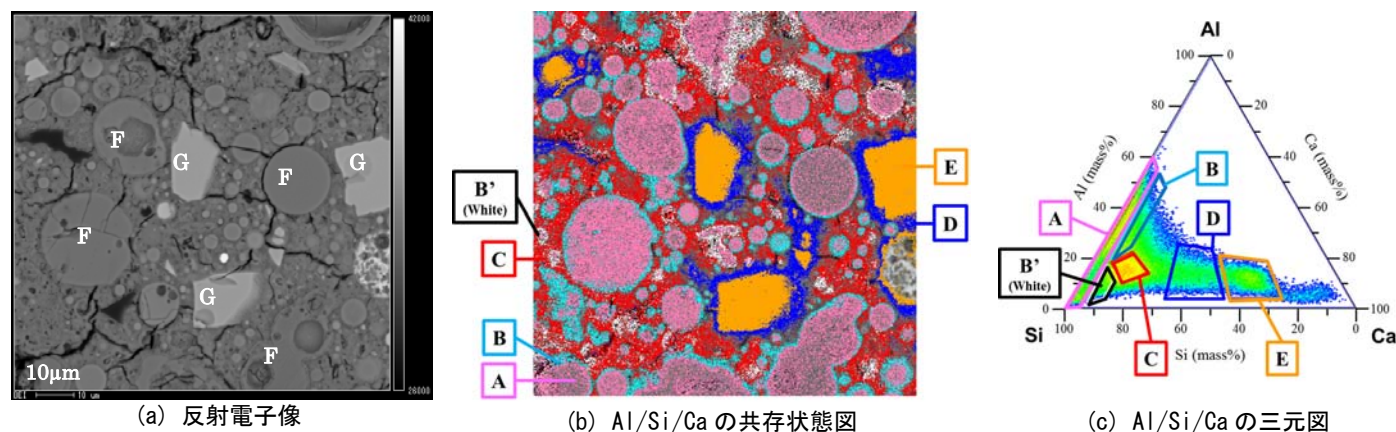


図-3 NaOH 刺激型試料における元素濃度分布解析結果

4. まとめ

NaOH 刺激型の FA-GGBS-SF 系ジオポリマーの反応相組成分析を行い, 組成の構成比率が偏在していることを明らかにした. 今後は, その偏在している組成分布が長期的にどのような安定相に至るかを調査する.

5. 謝辞

本研究は, 経済産業省資源エネルギー庁の石炭利用技術振興費書補助金「石炭灰の有効利用技術に関する研究」の援助の下に実施しました. 経過審議委員の諸先生方, 各社代表の方々を含めて多くの方にご助言を頂きました事, 感謝申し上げます.