

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2. 微細組織の成分解析

(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 正会員 中山 健一
 (一財) 日本建築総合試験所 非会員 丹羽 大地

1. はじめに

前報(その1)では、化学成分や物理的性質の異なる4種類のフライアッシュ(FA)を活性フィラーとしてジオポリマー(GP)硬化体を作製し、硫酸に浸せきさせた。FAに含まれるCaO量が多くなるほど強度は高くなり、成分の溶脱は抑えられるが、二水石膏の生成によりひび割れを生じる可能性のあることが分かった。

本報では、前報(その1)における各試験体の健全層、硫酸塩鉱物生成層、非晶質シリカ層を分析対象として、微視的な範囲を対象としたEPMA面分析を行い、微細組織の特徴を解析した結果を報告する。

2. 分析条件

前報(その1)で硫酸に28日間浸せきさせた試験体について、断面の研磨試料を作製し、健全層、硫酸塩鉱物生成層、非晶質シリカ層を対象として、EPMAにより微小部の面分析を行った。Al, Ca, Si, S, Naを対象とし、JSCE-G 574-2013(EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法(案))に従い、附属書1に示される比例法によってX線強度を濃度に変換した。分析条件は、各分析結果の図中に記す。

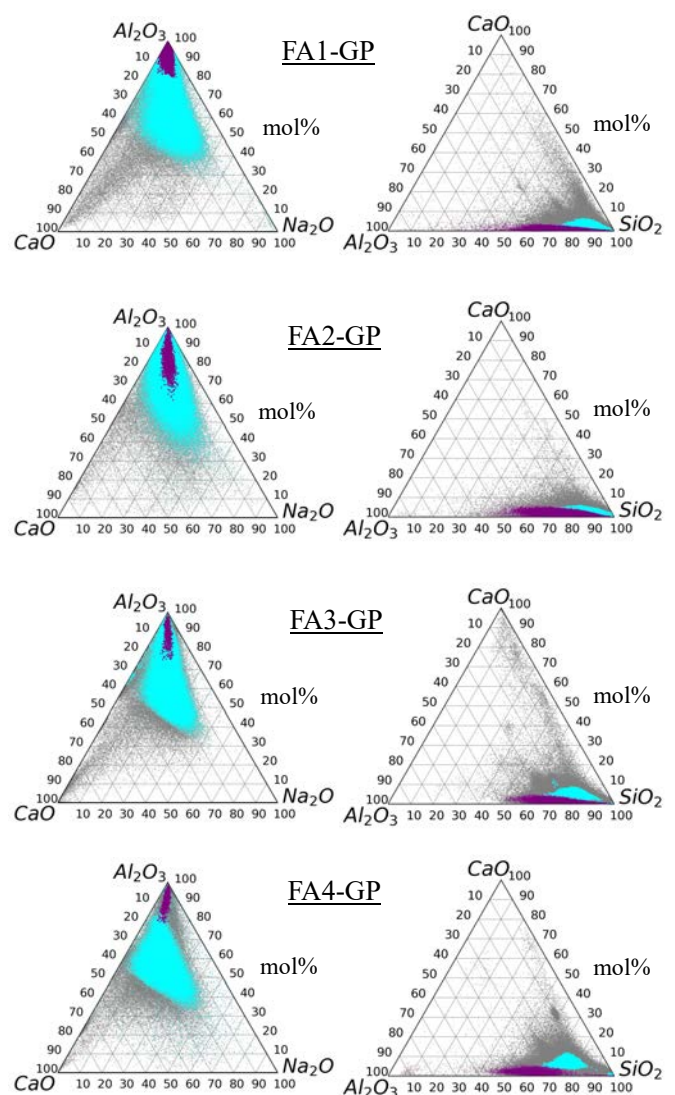
3. 分析結果および考察

(1) 健全層の解析

健全層の分析は、浸せき前の各試験体を対象として行った。解析結果を図-1に示す。菊池らの報告¹⁾を参考に、全データ(16万点)で Al_2O_3 -CaO- Na_2O と CaO - Al_2O_3 - SiO_2 の三角図を描いたのち、2次元ヒストグラムを作成して頻度が相対的に高い領域を判断し、色分けした。前者の三角図において、 Al_2O_3 量が100%付近で頻度の高い領域を紫色に、後者の三角図において、 SiO_2 量が100%付近で頻度の高い領域を水色に色分けし、それぞれのデータ群を他方の三角図にも同色で反映させた。紫色は未反応FA粒子の

組成、水色はジオポリマー水和物の組成を示す。

ジオポリマー水和物の組成について、Li et al.は、CaO量が50%以上をCaに富むN-C-A-S-H(C-A-S-H)、50%以下をNaに富むN-C-A-S-H(N-A-S-H)と大別している²⁾。 Al_2O_3 -CaO- Na_2O の



電圧: 15 kV, 電流: 50 nA, 測定時間: 40.0 msec/pixel, ピクセル数: 400×400, ピクセル寸法: 0.5 μm, 走査: ステージスキャン

図-1 健全層の解析結果

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

三角図から、各試験体の主たる水和物は N-A-S-H と分かる。本実験に用いた 4 種の FA は、相対的に CaO 量に差があるものの、主たる水和物に優位な差は認められなかった。

(2) 硫酸塩鉱物生成層の解析

硫酸塩鉱物生成層では、各試験体において、二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) の生成が確認された。解析結果を図-2 に示す。各試験体の反射電子像のうえに、二水石膏の組成 ($\text{CaO} : \text{SO}_3 \approx 1 : 1$) の箇所を赤に着色して示す。FA1-GP と FA2-GP では、気泡中で二水石膏が生成し、FA2-GP で顕著であった。いずれも強度が低く、溶脱が進行している試験体である。FA3-GP と FA4-GP は、空隙またはペースト中で二水石膏が生成しているように見える。ペースト中で生成した二水石膏がひび割れに関与した可能性がある。なお、FA1-GP から FA4-GP において、二水石膏が占める面積率は、それぞれ 8.5%、3.0%、9.4%、6.2%であり、生成量とひび割れの有無に相関は認められなかった。

(3) 非晶質シリカ層の解析

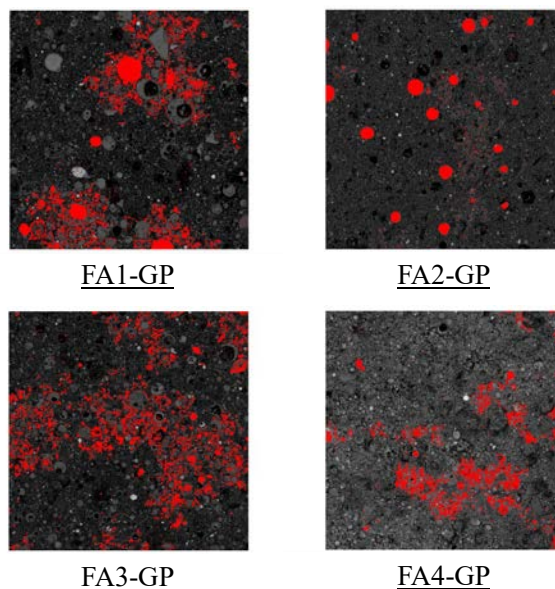
非晶質シリカ層の解析結果を図-3 に示す。いずれの試験体も、非晶質シリカが全面を覆っていた。

4. まとめ

- (1)FA に含まれる CaO 量が多いほど強度は高くなり、溶脱は抑制されたが、各試験体の健全層を分析した結果から、主たる水和物に有意差は認められなかった。
- (2)各試験体の硫酸塩鉱物生成層で、二水石膏が検出された。強度の高い試験体では空隙またはペースト中に生成している傾向が認められ、ひび割れに関与した可能性が考えられた。
- (3)非晶質シリカ層では、いずれの試験体も非晶質シリカが全面を覆い、有意差は認められなかった。

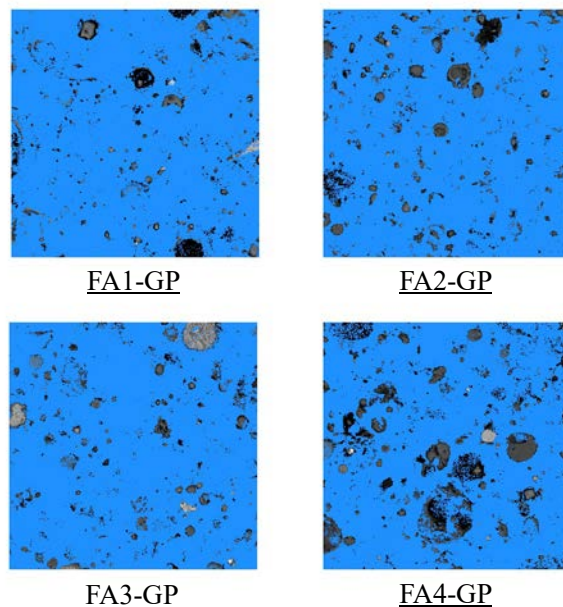
5. 今後の課題

本実験においては、FA を活性フィラーとした GP を硫酸に浸せきさせて化学的変化を分析し、FA に含まれる CaO 量が多いと二水石膏によるひび割れを生じる可能性が示唆されたが、硫酸浸せき後の物理的性質の変化は十分に検討しておらず、硫酸塩鉱物生成層と非晶質シリカ層における化学的性質と物理的性質の詳細な関係は明らかではない。今後、詳しく検討したいと考えている。



電圧: 15 kV, 電流: 50 nA, 測定時間: 40.0 msec/pixel, ピクセル数: 400×400, ピクセル寸法: 2.5 μm, 走査: ステージスキャン

図-2 硫酸塩鉱物生成層の解析結果



電圧: 15 kV, 電流: 50 nA, 測定時間: 40.0 msec/pixel, ピクセル数: 400×400, ピクセル寸法: 0.5 μm, 走査: ステージスキャン

図-3 非晶質シリカ層の解析結果

参考文献

- 1) 菊池道生, 山本武志, 大塚拓: 結合材種類および前養生が蒸気養生を施したジオポリマー硬化体の物理的性質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.2283-2288, 2016
- 2) Li, Z. et al.: Treatment technology of hazardous water contaminated with radioisotopes with paper sludge ash-based geopolymer -Stabilization of immobilization of strontium and cesium by mixing seawater, Materials, Vol.11, pp.1521-1542, 2018