

高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを前駆体とした AAM の硫酸劣化

(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 丹羽 大地

1. はじめに

環境負荷低減などの観点から注目される AAM (Alkali-Activated Material) は、耐火性、耐酸性などに優れていることが知られている¹⁾。本研究では、下水関連構造物などで求められる「耐硫酸性」に着目して検討を行った。過去に AAM の耐硫酸性は幾つか検討されているが²⁾、硫酸に侵食された組織の特徴は十分に分析されていない。国内では、前駆体に高炉スラグ微粉末 (BFS) およびフライアッシュ (FA) を単独または混合した AAM の研究が多くなされているが、耐硫酸性に優れた材料設計を行うには、劣化メカニズムを詳細に検討しておく必要がある。本論では、BFS 単独、FA 単独を前駆体とした AAM を硫酸溶液に浸せきさせ、分析した結果を報告する。

2. 実験条件

2. 1 試験体の作製

前駆体に BFS と FA を用いて AAM ペースト試験体を作製し、比較用として、普通ポルトランドセメント (OPC) を用いてセメントペースト試験体を作製した。BFS, FA, OPC の物理試験および化学分析結果を表-1 に、配合条件を表-2 に示す。1×1×1cm の大きさに成形したのち、浸せき試験に供するまで、OPC は水中養生、AAM は湿空養生を行った。

2. 2 硫酸溶液への浸せき方法

材齢 28 日以上が経過した試験体を、pH1 に調整した 20℃の硫酸水溶液中に浸せきさせた。試験体 1 個あたりの硫酸溶液の量は 200mL とし、1 週間に 1 回の頻度で溶液交換を行った。

2. 3 分析方法

8 週間浸せきさせた試験体について、断面を対象として EPMA (電子線マイクロアナライザ) により微小部の面分析を行い、得られた定量的データを視覚的に解析した。面分析条件は全て同一であり、図-1 中に示す。目視観察および EPMA による線分析により、pH1 の硫酸の浸透で組織が化学的に変化している「侵食領域」と、硫酸による侵食を受けていない「健全領域」を判断し、それぞれを分析対象とした。

3. 実験結果

3. 1 OPC 試験体の分析結果

侵食領域において、 $26.07 \times 26.07 \mu\text{m}$ の範囲を面分析し、 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO 量の三元図を描いた結果を図-1 に示す。これより、データ群は CaO と SiO_2 を結んだ直線上に分布することが分かる。 CaO 近傍のデータ群は主に二水石膏と判断され、データ群の S/Ca モル比は約 1.0 であった。さらに、頻度が比較的高い 2 つのデータ群を反射電子像に重ねると、二水石膏の

表-1 BFS, FA, OPC の物理試験および化学分析結果

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	化学成分 (%)												
			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	
BFS	2.90	4530	29.6	13.4	0.3	46.4	6.1	0.4	0.2	0.6	0.0	0.2	2.0	0.3	
FA	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	
OPC	3.16	3420	20.9	5.4	2.9	65.2	1.5	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1	2.1	0.6	

表-2 ペースト試験体の配合条件

試験体名	粉体 (kg/m ³)			アルカリ刺激剤 (kg/m ³)		
	BFS	FA	OPC	蒸留水	7mol NaOH	JIS1 号水ガラス
BFS 試験体	1506	-	-	90	377	176
FA 試験体	-	1161	-	90	376	176
OPC 試験体	-	-	1223	612	-	-

キーワード AAM, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, 硫酸, EPMA

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 TEL06-6834-0271

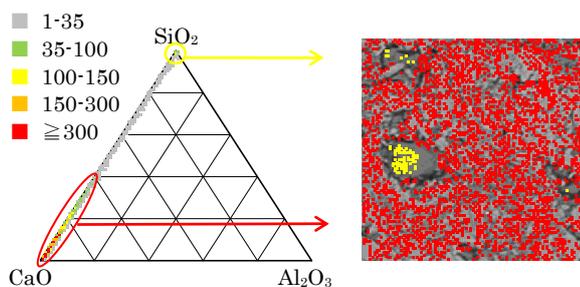


図-1 OPC 侵食領域の元素分析結果

電圧：15kV，電流： 5×10^{-8} A，測定時間：40.0msec/pixel，ピクセル数：100×100pixel，ピクセル寸法：260.7nm，走査：ビームスキャン

中に SiO_2 を主成分とした物質（非晶質シリカと思われる）が点在していることが分かった。

3. 2 BFS 試験体の分析結果

健全領域を前節と同様に分析した結果を図-2 に示す。データ群にピークが 2 つ認められ、反射電子像に重ねると、片方は未反応の BFS 粒子，他方は AAM の水和物と分かる。

次に、侵食領域を分析した結果を図-3 に示す。BFS の粉末は Ca を多く含むため、OPC と同様に二水石膏が生成し、それと共に非晶質シリカが生成していた。なお、OPC と比較すると、BFS 粉末の CaO 量はやや低く、 SiO_2 量が高いため、BFS 試験体の二水石膏生成量は少なく、非晶質シリカ量は多いことが明らかである。

3. 3 FA 試験体の分析結果

健全領域の分析結果を図-4 に示す。データ群のう

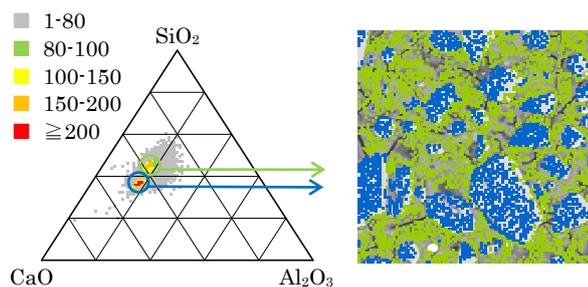


図-2 BFS 健全領域の元素分析結果

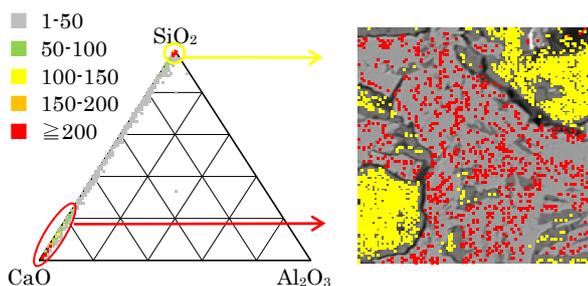


図-3 BFS 侵食領域の元素分析結果

ち、最も大きなピークは水和物（N-A-S-H）のもと考えられる。

次に、侵食領域を分析した結果を図-5 に示す。OPC、BFS と異なる点は、FA の粉末は CaO 量が低く、 SiO_2 量が高いことであり、これに対応するように、二水石膏の生成は認められず、非晶質シリカを主体とする物質が大部分を占め、その中に FA 粒子が残存していた。一方で、OPC、BFS と同様に、健全領域の主要水和物は、侵食領域では残存していなかった。

今後、本手法を用いて、さらに詳しく組織の化学的特徴を明らかにし、前駆体に BFS および FA を単独または混合した系の AAM の硫酸劣化メカニズムを解析したいと考えている。

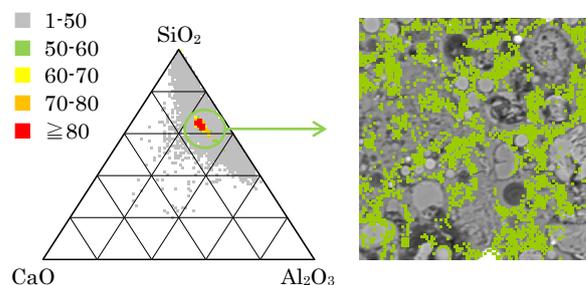


図-4 FA 健全領域の元素分析結果

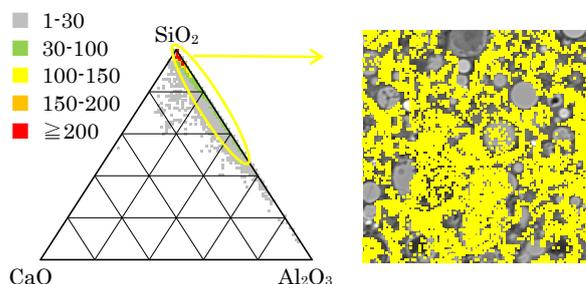


図-5 FA 侵食領域の元素分析結果

4. まとめ

pH1 の硫酸に浸せきさせた AAM の EPMA 分析データを解析し、以下の知見を視覚的に示した。

- (1) BFS の AAM が pH1 の硫酸と反応すると、OPC と同様に二水石膏と非晶質シリカを生成する。
- (2) FA の AAM では、OPC や BFS と異なり、二水石膏は生成しない。非晶質シリカを主体とする物質が生成し、大部分を占める。

参考文献

- 1) Provis, J.L., Deventer, V. (Eds.), RILEM TC 224-AAM, Springer/RILEM, 2014.
- 2) Allahverdi, A., Škvára, F., Journal Ceramics-Silikáty, Vol.49, No. 4, pp. 225-229, 2005.