

高炉スラグ超微粉末およびフライアッシュ超微粉末を用いたモルタルの耐硫酸性

(株)デイ・シイ 正会員 ○小菅 太朗
同上 正会員 藤原 了
同上 正会員 二戸 信和
同上 久保田 賢

1. はじめに

維持管理が必要とされる下水道内の劣化として代表的なものに、セメント中の水酸化カルシウムと硫酸が反応し、表面に脆弱な二水石膏の膜が形成される硫酸劣化がある。具体的な対策として、結合材に高炉スラグ微粉末(以下、BFS)やシリカフューム(以下、SF)を使用し、硬化体中の水酸化カルシウムを減らし、二水石膏の生成を抑制する方法がある。¹⁾ しかし、SFを用いた場合、初期強度発現性が BFS より低下する。本実験では、SF と同じポゾラン反応物質であるシングルミクロン領域に超微粉末化したフライアッシュ(以下、FA)および、同様に超微粉末化した高炉スラグ微粉末を結合材に使用し、モルタルでの耐硫酸性や初期強度発現性を確認した。

2. 実験概要

(1) 使用材料

本実験で使用した材料を表 1 に示す。初期強度改善を目的に、微粉末化した FA を使用した。BFS についても 10,000 ブレーンを超える JIS 規格より大きい比表面積である BF2 を使用した。混和材の粒度は、レーザー回折式粒度分布測定器(Microtrac MT3300EX II)によって測定した。ここで表 1 の D₅₀ は 50%累積体積通過径である。

表 1 使用材料

名称	材料名	記号	密度 (g/cm ³)	D ₅₀ (μm)
結合材	普通ポルトランドセメント	OPC	3.16	16.6
	シリカフューム (BET比表面積18.5m ² /g)	SF	2.25	0.39
	高炉スラグ微粉末4000 (ブレーン比表面積4,450cm ² /g)	BF1	2.90	14.2
	高炉スラグ超微粉末 (ブレーン比表面積21,600cm ² /g)	BF2	2.91	1.81
	フライアッシュ超微粉末 (ブレーン比表面積9,130cm ² /g)	FA	2.57	3.92
細骨材	乾燥珪砂(粗粒率2.95)	S	2.63	-
混練水	上水道水	W	1.00	-
高性能減水剤	ポリカルボン酸系(粉末)	SP	-	-

(2) 実験水準および練混ぜ

本実験で比較した水準を表 2 に示す。既往の研究¹⁾で耐硫酸性が優れていた SF-16 を基準として、SF を BF2 に代替えした BF-16、結合材の CaO 量の違いによる耐硫酸性の確認のため、OPC と FA の割合を変化させた 3 水準の計 5 水準について実験を行った。モルタルの配合は、結合材と珪砂の割合を質量比で B : S=1 : 1.4 とし、水結合材比は 30%とした。練混ぜは、空練 30 秒→注水→90 秒練混ぜ→掻き落とし→90 秒練混ぜとし、回転数 139rpm(低速)にて行った。

表 2 実験水準

配合No.	W/B (%)	結合材(B)割合(%)					CaO (%)
		OPC	BF1	BF2	FA	SF	
SF-16	30	36	48			16	42.9
BF-16		36	48	16			49.6
FA-48		36		16	48		30.4
FA-32		52		16	32		40.1
FA-16		68		16	16		49.9

(3) 実験項目および測定方法

15 打フローは JIS R 5201 に準拠し、170±10mm となるように SP 添加量によって調整した。圧縮強度は JIS A 1108 に準拠し、φ 50×100mm の円柱供試体とした。養生は標準水中養生とし、材齢 3 および 28 日で圧縮試験を実施した。耐硫酸性試験は、材齢 28 日まで標準水中養生した φ 50×100mm 円柱供試体を、質量濃度 5%硫酸水溶液に 28 日間浸せきにより、耐硫酸性の評価をした。なお、浸せきした硫酸水溶液は供試体 1 本に対して 1.3L 使用して、7 日毎に全量を取替えた。質量変化率は、浸せき後の供試体を水で洗浄し、水をふき取った後の供試体の質量を浸せ

キーワード 耐硫酸性,シングルミクロン,フライアッシュ微粉末,高炉スラグ微粉末,質量変化率

連絡先 神奈川県川崎市川崎区浅野町 1-17 (株)デイ・シイ 技術センター TEL044-333-0618 FAX044-355-4010

き前の質量の変化から質量変化率を算出した。硫酸浸透深さは、質量測定後の供試体を乾式カッターで半分に切断した面に、フェノールフタレイン 1%溶液により赤く呈色した部分の直径を、浸漬前の直径から差し引いた値の 1/2 を硫酸浸透深さとした。

3. 実験結果および考察

表 3 にフレッシュ性状と圧縮強度の結果を示す。15 打フローを調整するための SP 添加率は、いずれの水準も SF-16 より少ない添加率となった。BF2 は SF より比表面積が小さいため、SP の吸着量が減少により、SP 添加率が低減できたと推測される。FA 置換率違いでは、FA 置換率の増加に伴い SP 添加率が増加した。これは、FA 置換率の増加で未燃カーボンが増加し、SP の吸着量が増加したと推測される。

圧縮強度は、同一の混和材置換率の場合、BF2 の方が SF より 3 および 28 日ともに圧縮強度が大きくなった。これは、混和材の反応特性の違いによると考えられる。FA 置換率違いでは、FA 置換率の増加に伴い圧縮強度が小さくなった。また、BF-16 と FA-48 の比較で、FA は粉末度を大きくしても高炉スラグ微粉末と比べて反応特性が異なるため、初期の反応は低かったと思われる。

質量変化率の結果を図 1、硫酸浸透深さの結果を図 2 に示す。質量変化率、硫酸浸透深さともに SF より BF2 を用いた方が向上することが分かった。BF1 を FA に置換した場合は、硫酸浸透深さが同等で質量変化率が減少した。粒度が細かい BF2 により硬化体が緻密であるため硫酸浸透深さが小さくなり、硫酸浸漬による二水石膏の生成量が減少したためと考えられる。FA 置換率違いでは、FA 置換率増加に伴い、質量変化率および硫酸浸透深さは、良好になる傾向となった。これは、FA 置換率増加に伴い、結合材中の CaO 量が低下し、水酸化カルシウム生成を抑制したことで、耐硫酸性が向上したと推測する。写真 1 は、FA 置換率違いの硫酸浸透深さの写真である。写真 1 の上段の数値は断面の直径であり、下段の数値は、フェノールフタレインで呈色した数値である。FA 置換率が低いほど、断面の直径とフェノールフタレインで呈色した数値の差が小さくなった。これは、FA 置換率の低下に伴い結合材中の OPC 量が増加するため、硫酸浸漬による二水石膏が増加し、生成された脆弱な二水石膏の膜が脱落したためと推測される。

4. まとめ

超微粉末化した高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを結合材に用いたモルタルでの耐硫酸性や初期強度発現性について以下のことが分かった。

BF2 を SF と代替することで、強度発現性および耐硫酸性が改善できた。FA を用いた場合、その置換率が OPC に対して増加するほど、初期強度発現性は低下したが、耐硫酸性は向上した。また、フライアッシュを 9000 ブレーン程度まで超微粉末化したが、4000 ブレーンスラグを用いた場合より、圧縮強度は小さい。

【参考文献】

- 1) 大澤友宏ほか：耐酸性セメント系材料の化学成分による細孔構造と耐硫酸性への影響,コンクリート工学年次論文集,Vol.31,No.1,pp.883-888 (2009)

表 3 フレッシュ性状および圧縮強度

配合No.	SP/B (%)	15打フロー (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	
			3日	28日
SF-16	0.120	168	27.6	76.4
BF-16	0.060	180	45.6	94.7
FA-48	0.100	175	39.7	75.5
FA-32	0.080	167	53.2	91.4
FA-16	0.065	162	66.0	98.3

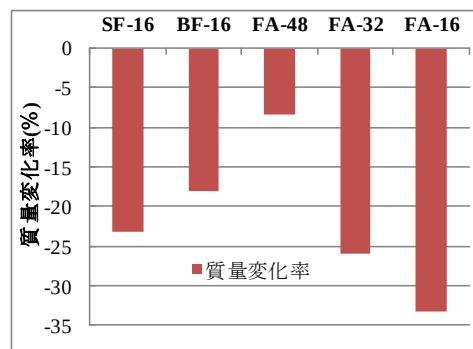


図 1 水準毎の質量変化率

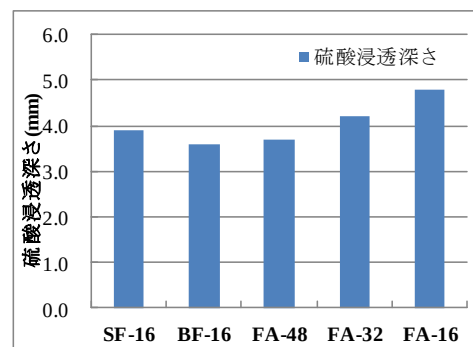


図 2 水準毎の硫酸浸透深さ

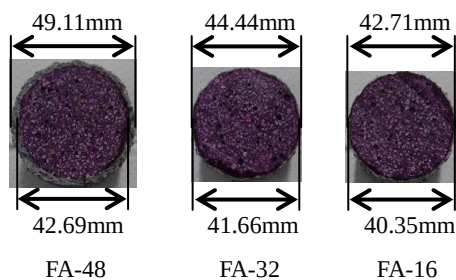


写真 1 FA 置換率違いの硫酸浸透深さ