

## 各種超微粉末を混和材料に用いたモルタルの硫酸塩劣化に関する検討

(株)デイ・シイ 正会員 ○築地 優  
 同上 正会員 帖佐 智行  
 同上 正会員 藤原 了  
 同上 正会員 二戸 信和

## 1. はじめに

コンクリートの化学的腐食のひとつとして、ナトリウム、マグネシウムなどの硫酸塩を含む無機化合物によって著しい膨張を引き起こす硫酸塩劣化が知られている。硫酸塩劣化の一つの要因として、硫酸塩が侵入するとセメントの水和生成物のモノサルフェートと硫酸塩が反応して生成するエトリンタイトの結晶成長圧力により膨張破壊する現象がある。高炉スラグ微粉末などを用いた混合セメントは、混和材料で希釈することにより C3A の含有量を減少させることで硫酸塩劣化を抑制している。本実験では、様々な材料を超微粉末として用いて、混和したときの混合セメントのモルタルでの硫酸塩劣化に対する抵抗性を比較した。

## 2. 実験概要

## (1) 使用材料

使用材料を表 1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(OPC)を使用し、細骨材には、乾燥珪砂またはスラグ砂を使用した。混和材として高炉スラグ微粉末(BF1)は高炉スラグ微粉末 4000(セッコウなし)を使用した。高炉スラグ超微粉末(BF2)はシングルミクロンの高炉スラグ微粉末であり、初期強度を改善する効果がある。フライアッシュ超微粉末(FA)は FA II 種を粉砕により 9,000cm<sup>2</sup>/g 程度まで粉末度を大きくしたフライアッシュである。

## (2) 実験水準および練混ぜ

実験水準を表 2 に示す。モルタルの配合、練混ぜは、これまでの筆者らの研究<sup>1)</sup>と同様とし、結合材と砂の割合はそれぞれ質量比で B : S=1 : 1.4, 水結合材比は 30% とした。BB は一般的にポルトランドセメントより硫酸塩劣化の抑制効果に優れているとされているため、比較の基準とした。各 TCR の水準は、既往の研究<sup>1)</sup>を参考とした組成であり、TCR2 は TCR1 の初期強度改善を目的に SF を BF2 に変更し、TCR3 は TCR2 の BF1 の部分を FA に変更した。また、耐酸性は結合材として TCR2 と骨材としてスラグ砂を組み合わせた配合が優れていたため、本実験においてもスラグ砂を組み合わせた水準も実施した。

## (3) 実験項目および測定方法

15 打フローは、170±10mm の範囲となるように SP 添加量によって調整し、空気量はモルタルエアメーターにて測定を行い、3.0%以下を目標とした。

硫酸塩劣化に対する抵抗性は、材齢 28 日まで 20℃水中養生を行った後、試験材齢(最大 3 年)まで飽和硫酸ナトリ

表 1 使用材料

名称	材料名(物性)	記号	密度
結合材	普通ポルトランドセメント	OPC	3.16
	高炉スラグ微粉末4000 (ブレン比表面積4,450cm <sup>2</sup> /g、D <sub>50</sub> 14.2μm)	BF1	2.90
	高炉スラグ超微粉末 (ブレン比表面積21,600cm <sup>2</sup> /g、D <sub>50</sub> 1.81μm)	BF2	2.91
	フライアッシュ超微粉末 (ブレン比表面積9,130cm <sup>2</sup> /g、D <sub>50</sub> 3.92μm)	FA	2.57
	シリカフェーム (BET比表面積18.5m <sup>2</sup> /g、D <sub>50</sub> 0.39μm)	SF	2.25
細骨材	乾燥珪砂(吸水率1.22%、粗粒率2.95)	S1	2.63
	乾燥スラグ砂(吸水率2.56%、粗粒率2.76)	S2	2.50
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	—
消泡剤	有機ポリマー系(粉末)	DF	—

表 2 実験水準

配合 No.	W/B (%)	SP/B (%)	DN/B (%)	結合材(B)割合(%)					細骨材の種類
				OPC	BF1	BF2	FA	SF	
TCR1	30	0.12	0.10	36	48			16	珪砂
TCR2		0.05		36	48	16			珪砂
TCR2'		0.10							スラグ砂
TCR3		0.07		36		16	48		珪砂
TCR3'		0.12							スラグ砂
BB		0.09		50	50				珪砂

キーワード 耐硫酸塩, 超微粉末, 高炉スラグ微粉末, 圧縮強度, 長さ変化, 質量変化

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 TEL 044-333-0618 FAX 044-355-4010

ウム溶液に浸漬し、圧縮強度の変化、長さ変化、および質量変化の変化率から総合的に評価した。圧縮強度は  $\phi 50 \times 100\text{mm}$  の円柱供試体とした。長さ変化率、および質量変化率は  $40 \times 40 \times 160\text{mm}$  の供試体とし、材齢 28 日を基準とし、各浸漬期間において JIS A 1129-3(ダイヤルゲージ法)に従って長さおよび質量を測定し、それぞれの変化率を算出した。供試体体積 0.2L に対し、1.3L の飽和硫酸ナトリウム溶液に浸漬した。

表 3 実験結果

配合 No.	15打フロー (mm)	空気量 (%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )					
			水中 28日	28日	91日	0.5年	1年	3年
TCR1	160	1.9	76.4	84.7	98.4	117	129	124
TCR2	173	1.8	94.7	97.0	105	109	112	53.0
TCR2'	161	2.0	75.5	85.2	91.2	98.0	99.7	87.3
TCR3	162	1.2	89.8	90.2	94.7	106	112	119
TCR3'	177	1.3	69.8	71.7	73.3	78.5	80.2	83.0
BB	167	1.8	93.1	96.0	103	105	111	46.5

### 3. 実験結果

フレッシュ性状、圧縮強度結果を表 3 に、浸漬期間と長さ変化率の関係を図 1 に、浸漬期間と質量変化率の関係を図 2 に示す。表 1 よりすべての水準において浸漬 1 年までは強度は増加し、浸漬 3 年では混和材として FA を用いた TCR3、TCR3'の水準を除いて低下することが分かった。とくに、BB、TCR2 の強度低下の割合が大きい。しかし、骨材にスラグ砂を用いた TCR2'の結果より、強度低下を改善できることが分かった。図 1、図 2 より、浸漬期間とともにすべての水準において各変化率が増加し、供試体の体積膨張が考えられた。とくに、圧縮強度の低下割合が大きかった BB、TCR2 の浸漬 1 年から 3 年までのそれぞれの変化率が大きかった。写真 1 に示す TCR2 を光学顕微鏡で観察したところ、白色結晶が見受けられた。また、写真 2 に示す TCR2 を SEM-EDS で観察し組成を測定したところ、ナトリウムが検出された。よって、ひび割れ部には硫酸ナトリウムが生成していると推測される。

以上より、浸漬 1 年から 3 年の圧縮強度の低下割合は BB が一番大きく、硫酸塩劣化の抑制効果は、TCR3、TCR3'、TCR1、TCR2'、TCR2、BB の順で優れていることが分かった。これは、エトリンガイト及び硫酸ナトリウムの生成量の違いによると考えられ、これら生成物の定量評価が今後の課題である。

### 4. まとめ

各種超微粉末を用いた TCR のモルタルでの硫酸塩に対する抵抗性を比較した結果、硫酸ナトリウムの生成が劣化の一つの要因として考えられた。さらに、以下の知見を得た。

- (1) BB と比較し、各種超微粉末を用いることで硫酸塩劣化の抑制効果は向上し、高炉スラグ微粉末よりポゾラン系混和材の方がその抑制効果は大きい。
- (2) 高炉スラグ微粉末を用いる場合、骨材としてスラグ砂を用いることで、硫酸塩劣化に対する抵抗性が改善できる。

#### 【参考文献】

- 1) 藤原了ほか：微粉末による耐硫酸性セメント系材料の初期強度および耐硫酸性の改善，セメント・コンクリート論文集、Vol.73, pp.87-94, 2019

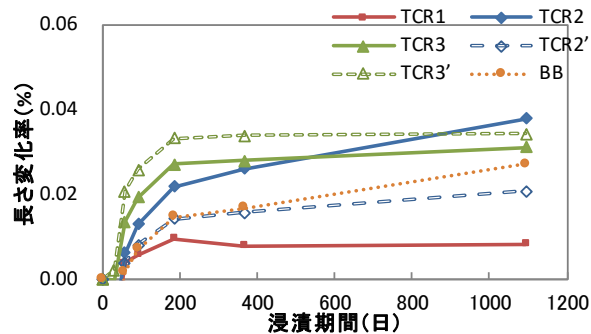


図 1 長さ変化率

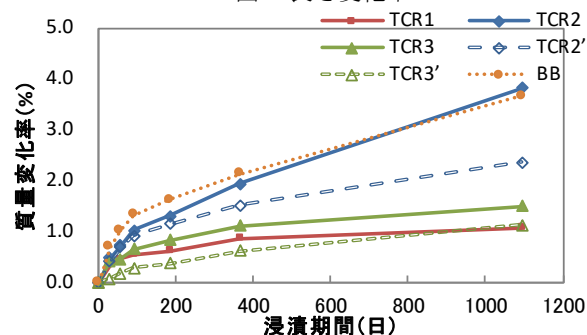


図 2 質量変化率



写真 1 TCR2 ひび割れ部分

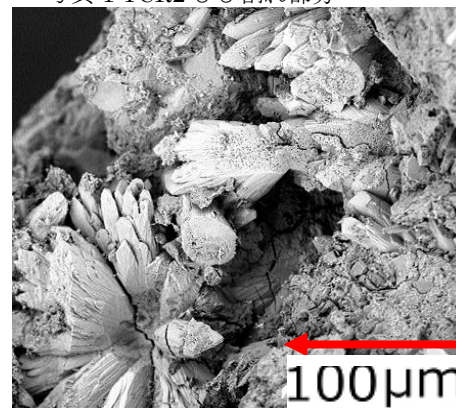


写真 2 TCR2 ひび割れ部 SEM 画像