

混和材を添加したセメント硬化体の硫酸反応性

広島大学大学院工学研究科 正会員 河合 研至
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 松井 康彦
 株式会社デイ・シイ 非会員 久保田 賢

1. はじめに

硫酸によるコンクリートの劣化が下水道処理施設等で顕在化している。このような劣化を抑制する対策として、混和材を併用した耐酸性材料の開発が行われている¹⁾。これにより、硫酸による劣化を軽減できることが確認されているが、そのメカニズムに対しての検討は十分行われていない。耐酸性材料の酸に対する抵抗メカニズムを把握し、耐硫酸性能を評価することは更なる耐酸性性能の向上につながるものと考えられる。セメント系材料の耐硫酸性を簡易的に評価する手法として、セメント硬化体を微粉碎した粉末試料と硫酸溶液との攪拌試験を行い、セメント系材料の耐硫酸性評価の適用性に関して検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

供試体はセメントペーストとし、結合材には普通ポルトランドセメント(NC)、高炉スラグ微粉末(BFS)、フライアッシュ(FA)、シリカフューム(SF)を使用した。使用した結合材の主要化学成分を表1に示す。

表1 使用した結合材の主要化学成分

	化学成分(%)		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
普通セメント	20.4	5.18	64.3
高炉スラグ微粉末	33.9	14.9	42.2
フライアッシュ	57.8	29.1	3.20
シリカフューム	96.3	-	0.30

2.2 試験方法

(1) 供試体概要

水結合材比を35%とし、40×40×160 mmの角柱供試体を作製した。供試体の配合を表2に示す。打設後24時間で脱型し、その後材齢28日まで水中養生を行った。養生後、遊星ミルを使用して微粉碎し粉末試料とした。また示差熱重量分析により、材齢28日における水酸化カルシウム生成量を定量した。

(2) 攪拌試験

ビーカーにpH1.0硫酸溶液100mlを入れ、スターラーを用いて攪拌した。pH1.0は下水道施設において存在すると報告されている硫酸濃度のうち最も厳しいと考えられる濃度である²⁾。そこに所定の量の粉末試料を加えpHメーターの電極を溶液に挿入し随時pHの変化を測定した。

2.3 試験結果および考察

示差熱重量分析による水酸化カルシウム生成量の測定結果を図1に示す。混和材を置換した各供試体では、混和材の置換率以上に水酸化カルシウム生成量が減少しており、潜在水硬性またはポゾラン反応によって、水酸化カルシウムが消費されていることがわかる。

表2 セメントペーストの配合

表記法	W/B(%)	NC(%)	混和材(%)		
			BFS	FA	SF
NC	35	100	-	-	-
BFS30		70	30	-	-
BFS50		50	50	-	-
FA30		70	-	30	-
FA50		50	-	50	-
SF20		80	-	-	20
SF40		60	-	-	40
TCR		20	30	20	30

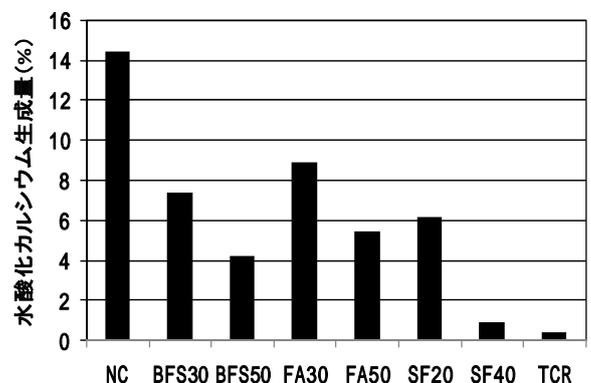


図1 材齢28日における水酸化カルシウム生成量

攪拌試験における硫酸溶液の pH の経時変化の一例を図 2 に示す。供試体の種類により経時変化が異なること、またいずれも攪拌時間 180 分で pH はほぼ一定となっていることがわかる。各結合材の水和による生成物の H⁺消費量を計算し、実験結果から攪拌時間 180 分までの pH 変化より求められる各試料の H⁺消費量と比較したグラフを図 3 に示す。水和生成物の H⁺消費量の計算は以下の通り行った。

- ・ 水酸化カルシウムによる H⁺消費量は示差熱重量分析により求めた値を使用した。
- ・ CAH は普通ポルトランドセメントからのみ生成したとし、H⁺消費量を考慮した。
- ・ CSH は普通ポルトランドセメント、潜在水硬性を有する高炉スラグ微粉末およびボゾラン活性を有するフライアッシュ・シリカフュームに分け生成量を考慮し、H⁺消費量を求めた。

図 3 よりフライアッシュ、シリカフュームの置換率が増加するほど実験値との差が大きくなっていることから、フライアッシュ、シリカフューム中または両結合材の水和反応による物質に硫酸との反応に寄与する物質が他に存在すると考えられる。

また、NC、BFS30 および BFS50 は実験値と大きな差があるが、図 2 よりこれらの供試体は pH の最終値がアルカリ性域に達しているため、試料中の物質が完全には硫酸と反応しなかったと考えられる。比較的酸性溶液との反応が遅いと考えられる CSH について、硫酸との反応が 40% しか生じなかったと考えたときの NC、BFS30 および BFS50 のグラフを図 4 に示す。図 4 より、硫酸と CSH との反応率が 40% であると考えたとき、実験値とほぼ等しい値を得る。ただし、図 2 でアルカリ性域へ推移した SF20 では、硫酸と CSH との反応が 100% として図 3 の結果を得る。これらのことから、混和材の種類によって、硫酸と CSH との反応に及ぼす pH の影響が異なることが考えられる。

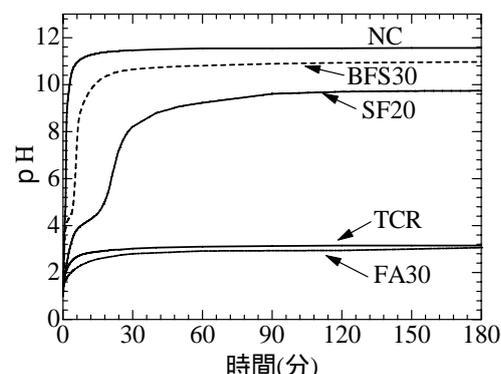


図 2 攪拌試験における溶液の pH の経時変化の一例

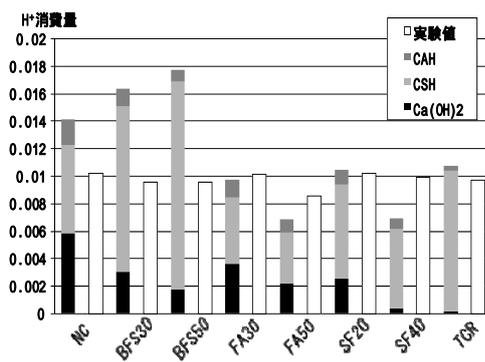


図 3 H⁺消費量の比較

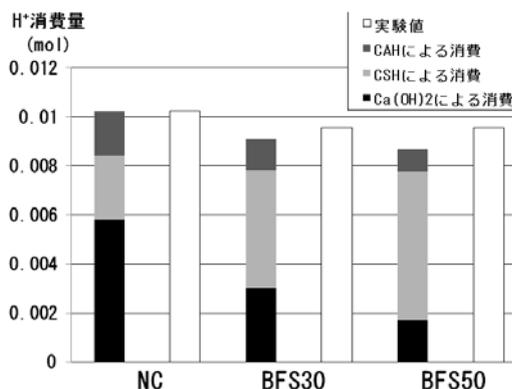


図 4 CSH と硫酸との反応率を 40% とした時の H⁺消費量の比較

3. まとめ

以上の結果より以下のことが明らかとなった。

- (1) 各結合材の水和生成物の生成量による H⁺消費量を考慮することにより、攪拌試験によってセメント系材料の耐硫酸性を評価できる可能性を示した。
- (2) 各結合材の水和生成物と硫酸との反応性は、結合材の種類によって異なり、pH の影響を強く受けることが推察された。

【参考文献】

- 1) 二戸信和ほか：生コン供給を可能にする耐酸性セメント系材料の開発、セメント・コンクリート、No.698、pp.45～51、Apr.2005
- 2) 日本下水道事業団技術評価委員会：下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書、日本下水道事業団、pp.3-6(2001.3)