

耐酸性セメント系材料の硫酸抵抗メカニズムに関する基礎的研究

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○松井 康彦

広島大学大学院工学研究科 正会員 河合 研至

東京都 正会員 佐古 明弘

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、下水道処理施設をはじめとして顕在化している。酸性劣化に対して早急な対策が必要となっており、そのためには安価で高い耐酸性能を有する補修材料等の普及が望まれている。近年になって、各種の耐酸性材料が開発されてきており、ここで取り上げる耐酸性セメント系材料もその一つである。優れた耐酸性能を有する耐酸性材料を開発するためには、耐酸性材料の硫酸抵抗メカニズムを明らかにすることが不可欠であり、またそれによって耐酸性材料の劣化進行予測も可能になるものと考えられる。

本研究では、耐酸性セメント系材料を用いたコンクリートの硫酸劣化進行予測手法を確立することを目的とし、耐酸性セメント系材料が高い硫酸抵抗性を有するメカニズムを明らかにするための基礎的研究として、耐酸性セメント系材料および各種混和材を使用したセメント硬化体の硫酸反応性について実験的検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 供試体概要

水結合材比を 35% とし、寸法が 40mm×40mm×160mm の角柱セメントペースト供試体を作製した。打設後 24 時間で脱型し、その後 28 日間水中養生を行った。結合材には普通ポルトランドセメント(NC)、耐酸性セメント系材料(TCR)、高炉スラグ微粉末(BSF)、フライアッシュ(FA)、シリカフューム(SF)を使用した。

2. 2 実験方法

(1) 混和材による硫酸反応性の違いに関する実験

上記の各種混和材を添加した供試体と硫酸との反応特性を把握することにより、各混和材を添加した供試体の硫酸に対する抵抗性を検討した。2.1 で作製した供試体を水中養生後に微粉碎し、これを粉末試料とした。ビーカーに pH1.0 の硫酸 100ml、粉末試料 1.5g を入れスターラーを用いて攪拌し、攪拌開始から 180 分経過時まで随時硫酸溶液の pH を測定した。また、攪拌前には、示差熱重量分析により、粉末試料の水酸化カルシウム含有量を定量した。

(2) 水和反応生成物と硫酸との反応に関する実験

水和生成物と硫酸との反応特性を把握することを目的として、(1)と同様の攪拌試験を水和生成物に対して実施した。ここで用いた水和生成物は、合成した C-S-H ($C_{1.4}SH_{1.4}$)、C-A-H (C_3AH_6)、エトリンガイト、モノサルフェートである。

3. 実験結果

3. 1 セメントペースト硬化体における実験結果

攪拌試験における硫酸溶液の pH の経時変化を Fig. 1 に示す。ここで、NC、TCR はそれぞれ結合材として普通ポルトランドセメント、耐酸性セメント系材料を使用した供試体、BFS30、BFS50 はそれぞれ普通ポルトランドセメントの 30%、50%を高炉スラグ微粉末で置換した供試体、FA30 は普通ポルトランドセメントの 30%をフライアッシュで置換した供試体、SF20 は普通ポルトランドセメントの 20%をシリカフュームで置換した供試体を表わす。TCR、FA30 を除き、いずれも攪拌開始後 30 分以内に硫酸溶液の pH はアルカリ側へ変化している。一方、攪拌開始前の試料中の水酸化カルシウム含有量の測定結果を Fig. 2 に示す。水酸化カルシウム含

キーワード：コンクリート 硫酸劣化 耐酸性セメント系材料 混和材 硫酸反応性

連絡先：〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科構造材料研究室 082-424-7786

有量が多い試料ほど、Fig. 1 における pH の変化が大きい傾向がみられるが、FA30 のみこれに反する結果となっている。FA30 における pH の増加分が水酸化カルシウムの消費によるものであるとすると、それ以外の供試体における pH の増加は、水酸化カルシウム以外によってもたらされていると考えることができる。なお、いずれの試料においても、pH がアルカリ側まで変化している試料では、pH が 4~5 付近において、いったん pH の上昇が緩慢となる箇所が存在する。硫酸の解離度の影響がこの原因として考えられるが、本実験の範囲ではこの原因を明らかにするまでには至らなかった。

3. 2 水和生成物における攪拌試験結果

水和生成物について攪拌試験を行った際の pH の経時変化を Fig. 3 に示す。既往の研究⁽¹⁾において、水和生成物の中で C-A-H と硫酸との反応性が高いことが示唆されていたが、ここで水和生成物のなかでも C-A-H の硫酸反応性が高いことが実験的にも示された。このことから、3.1 において、FA30 以外の供試体について水酸化カルシウム以外の要因によってもたらされる pH の増加には、C-A-H が大きく関与しているものと推察される。NC、BFS30、BFS50 では、普通ポルトランドセメントや高炉スラグ微粉末の Al_2O_3 含有量が比較的高いため、pH の増加に対する C-A-H の関与が高いことは十分に考えられるが、SF20 ではシリカフュームの大半が SiO_2 であるため、上記の理由は考えにくい。C-S-H が pH 増加に寄与しているものとする、FA30 においても同様の pH 増加がみられるべきと判断されることから、粉末度の極めて高いシリカフュームそのものが硫酸と反応し酸を消費したものと考えられる。この点に関しては、今後の実験によって確認を要する。

4. 結論

本研究では、耐酸性材料の硫酸抵抗メカニズムを明らかにするための基礎的研究として、近年になって開発された耐酸性セメント系材料ならびに各種の混和材を使用したセメント硬化体を用いて、硫酸反応性に関する実験的検討を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 硬化体の微粉碎試料と硫酸を反応させ、そのときの硫酸溶液の pH 変化を追跡することにより、硬化体の硫酸反応性を把握することができる。
- (2) 耐酸性セメント系材料の硫酸反応性は、極めて低いことが明らかとなった。
- (3) 高炉スラグ微粉末やシリカフュームを添加した硬化体と比較して、フライアッシュを添加した硬化体の硫酸反応性は低いことが明らかとなった。
- (4) 硬化体の硫酸反応性には、水酸化カルシウムとともに C-A-H の生成量が大きく関与することが示唆された。

参考文献

- (1) 樋口晋作：耐酸性セメント系材料を用いた硬化体の硫酸抵抗性に関する実験的検討，広島大学卒業論文（2005）

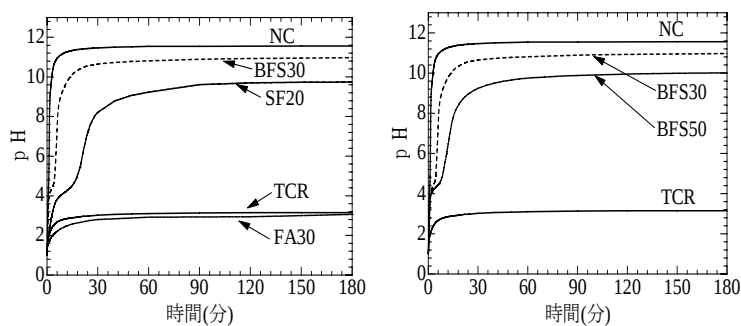


Fig.1 pHの経時変化

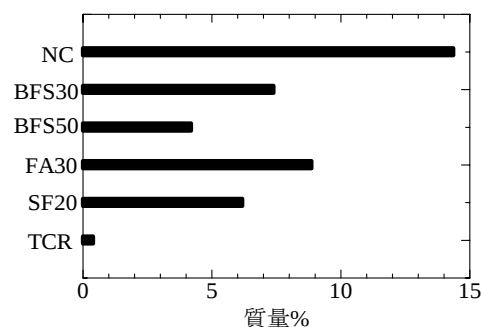


Fig.2 水酸化カルシウム含有量測定結果

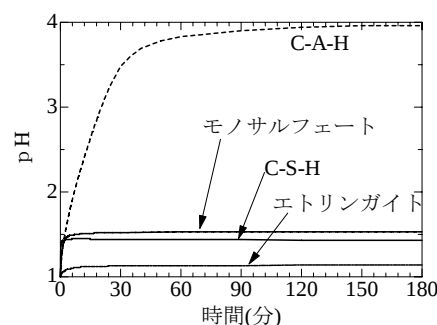


Fig.3 水和生成物における攪拌試験結果