

高炉スラグ微粉末を混和したセメントペースト中の C-S-H が硫酸劣化に及ぼす影響

広島大学	学生会員	○河合 優介
(株) トクヤマ	正会員	新見 龍男
広島大学	学生会員	内海健太郎
広島大学	正会員	小川由布子
広島大学	フェロー会員	河合 研至

1. はじめに

現在、下水道関連施設や温泉地帯において硫酸によるコンクリートの劣化が深刻な問題となっている。硫酸によるコンクリートの劣化メカニズムは徐々に明らかとなってきたものの、この劣化の進行予測に関しては未だに完成形を見るに至っていない。特に、混和材を用いない供試体では侵食深さに関する劣化予測を概ね再現できている¹⁾が、混和材を含む供試体では精度が不十分で劣化の進行を正確に再現できていない。その原因として、水和生成物である C-S-H の CaO/SiO₂ 比(以下, C/S 比)を混和材の有無にかかわらず一定と仮定していること、細孔構造の変化を考慮しきれていないことなどが挙げられる。

そこで、本研究では混和材として高炉スラグ微粉末(BFS)を混和し、これによる C-S-H の C/S 比の相違および細孔構造の変化がセメント硬化体の硫酸劣化に及ぼす影響を把握することを目的とした。

2. 実験方法

供試体は、内寸 30x30x10 mm の型枠に打設したペーストを用いた。水結合材比は 0.55 とし、結合材に普通ポルトランドセメントのみを使用した供試体(OPC)とそのセメント質量の 20%と 40%を高炉スラグ微粉末に置換した供試体をそれぞれ BFS20, BFS40 として準備した。供試体は 20°C の恒温室内において作製し、材齢 1 日に脱型後、C-S-H の C/S 比を変化させる目的で材齢 28 日まで 20°C, 40°C および 60°C にて封緘養生を施した。

浸漬前の供試体について、佐川ら²⁾の検討を基に未反応スラグを、須田³⁾の検討を基に粉末 X 線回折分析・リートベルト解析、示差熱重量分析(TG-DTA)の結果を用いて、反応物と生成物の物質収支により相組成および C-S-H の C/S 比を算出した。養生後の供試体は、20°C の恒温室内において濃度 5%の

硫酸溶液 200 mL に浸漬した。溶液は、浸漬開始後 1 か月間は 1 週間に 1 回、その後は 2 週間に 1 回交換した。浸漬期間は 1, 2, 4, 6 週間とし、浸漬終了後は供試体に付着した硫酸溶液の乾燥を目的に 24 時間の真空乾燥を実施した後、以下のとおり各種分析を行った。

質量測定は浸漬前後の各供試体に対して最小表示 0.1 mg の電子天秤を用いて行った。供試体長さは 30x30 mm の各辺 5 点ずつを最小表示 0.01 mm の電子ノギスを用いて測定し平均した。質量および長さを測定した後、供試体を 1.5 mm 角に割裂し、アセトンによる水和停止を実施した。この作業が終了した試料を用いて水銀圧入式ポロシメーターによる細孔径分布試験(測定範囲は 3 nm~30 μm)を行った。また、TG-DTA および粉末 X 線回折分析の試料は、真空乾燥終了後の供試体をそれぞれ粒径 90 μm 以下および 150 μm 以下に粉碎したものとした。

3. 実験結果および考察

材齢 28 日の各供試体における C-S-H の C/S 比算定結果を図-1 に示す。C-S-H の C/S 比は OPC で約 1.5~1.6, BFS20 で約 1.4, BFS40 で約 1.3 となった。BFS

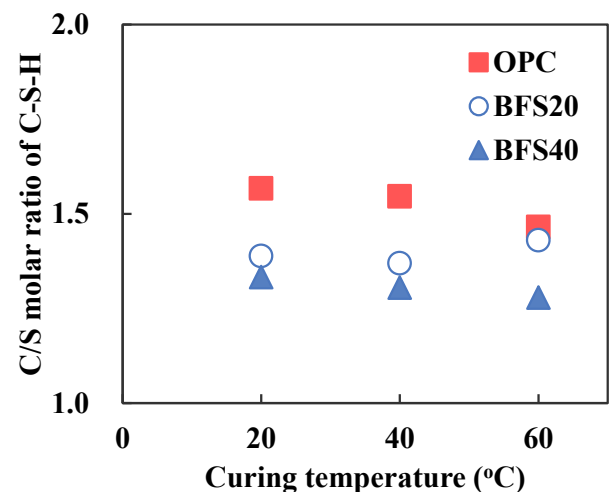


図-1 材齢 28 日の C-S-H の C/S 比算定結果

キーワード 硫酸, 混和材, C-S-H, C/S

連絡先 〒39-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院先進理工系科学研究科 構造材料工学研究室
TEL 082-424-7786

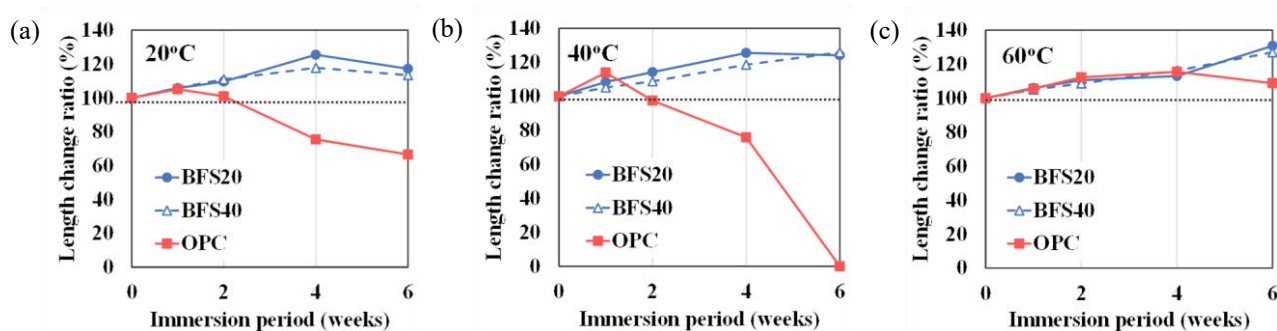


図-2 硫酸浸漬に伴う長さ変化率

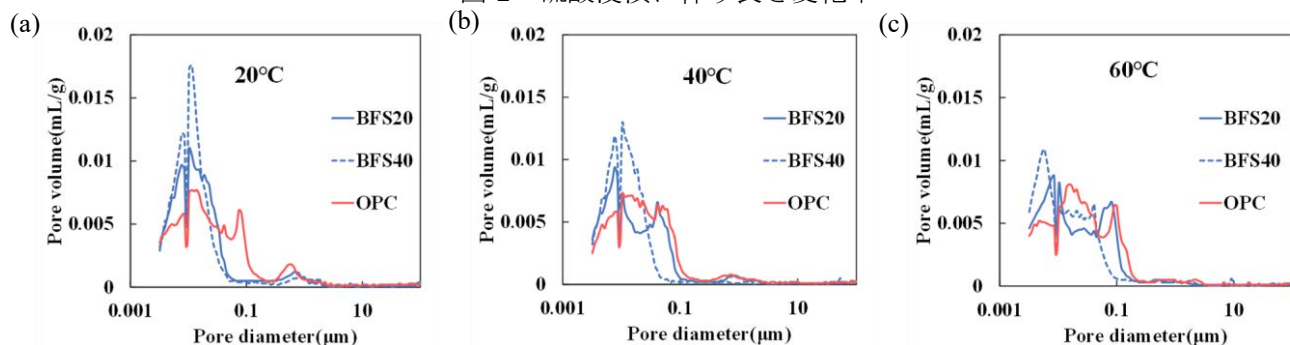


図-3 各養生温度における材齢 28 日の細孔径分布

を使用した場合、また養生温度が高い場合に C-S-H の C/S 比は低下した。養生温度の変化が C/S 比に及ぼす影響は OPC と比較して BFS20, BFS40 では小さかった。

浸漬前に対する浸漬後の供試体長さを百分率で表した長さ変化率を、養生温度ごとに図-2 に示す。浸漬 6 週では、C-S-H の C/S 比が 1.5 以上であった OPC の 20°C 養生および 40°C 養生においてのみ侵食が進行し、それ以外の供試体では膨張している。図-1 の結果も併せて考慮すると、C-S-H の C/S 比が 1.5 以下の供試体の侵食が抑制されることが示唆された。これは、C/S 比が低下することにより C-S-H 中の CaO 量が減少し、二水石膏生成量が減少したためと考えられる。

図-3 に各養生温度における材齢 28 日の細孔径分布を示す。BFS を使用すると養生温度にかかわらず 0.1~10 μm 程度の空隙が減少し、0.1 μm 以下の微小な空隙が増加する傾向にあった。二水石膏が充填する空隙径は 0.1~10 μm であるという報告⁴⁾を考慮すると、BFS を使用した供試体は二水石膏が充填する空隙が少なくなり、OPC よりも早期に侵食が進行する可能性がある。一方で、BFS を混和したことによるセメント量の減少により、セメントの水和反応により生成される水酸化カルシウム量の減少に伴い

二水石膏生成量が減少し、浸漬 6 週間の範囲では侵食が進行しなかったと考えられる。

4. 結論

- (1) BFS を使用した場合、また養生温度が高い場合にセメントペースト中の C-S-H の C/S 比は低下し、この C/S 比が 1.5 以下の供試体では侵食が抑制される傾向にあった。
- (2) BFS を使用すると、二水石膏が充填しうる空隙は減少するが、二水石膏生成量が減少するために浸漬 6 週の範囲内では侵食は進行しなかった。

参考文献

- 1) 河合研至ほか：簡易試験法を用いたセメント系材料の耐硫酸性評価，セメント・コンクリート論文集，Vol.65，pp.368-375，2011。
- 2) 佐川孝広，名和豊春：高炉セメントの水和反応に及ぼす養生条件と炭酸化の影響，コンクリート工学論文集，Vol.18，No.3，pp.23-35，2007。
- 3) 須田裕哉：C-S-H の組成と物理的性質の関係に基づいたセメント硬化体の性能評価に関する研究，新潟大学学位論文，2013。
- 4) 新見龍男ほか：硫酸浸漬初期におけるエーライト水和物の性状変化に関する検討，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.74，V-460，2019。