

セメント系材料の耐硫酸侵食性を評価する一指標

東京大学大学院 学生会員 蔵重 勲
東京大学生産技術研究所 フェロー会員 魚本 健人

1. はじめに

下水道施設や温泉地などで問題になっているコンクリートの硫酸腐食に関して、近年その対策方法や材料開発、または性能照査設計に向けた劣化予測手法の確立に向けて力が注がれている。既報^{1,2)}では普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの硫酸侵食特性について実験的に検討した結果を示した。本報告ではセメント種類が異なる供試体の侵食程度を実験的に把握し、侵食メカニズムの解明を図った。実験結果から水和物が侵食に与える影響は水酸化カルシウムによるものが大きいことが分かり、水酸化カルシウム量とセメント硬化体の細孔空隙量の関係および硫酸濃度を用いて重量減少速度を表すことができた。つまり、重量減少速度は反応後体積膨張する水酸化カルシウムの量が少ないほど、また膨張を受容できる細孔空隙の量が多いほど小さくなり、水酸化カルシウム量を総細孔量で除した指標 α を用いて重量減少速度を定量的に評価することができた。

2 実験概要

2.1 供試体作製と浸漬試験

表-1に示すポルトランドセメントおよび混合セメントを使用したセメントペースト供試体($\phi 5 \times 10$ cm)を作製し、材齢28日まで20℃の水中養生を施した。その後、供試体上下面を耐酸性樹脂で被覆し、侵食が側面だけから進行する状態で、4種類の濃度(pH 0.5, 1.0, 1.5, 3.0)の20℃硫酸溶液(静水)に材齢91日まで浸漬した。配合は水セメント比を30, 40, 55, 70(%)と変化させた。侵食程度の評価は毎週の重量変化から算出した重量変化率を用いた。なお、本実験の範囲内ではpH 1.5および3.0では顕著な侵食が見られなかった。したがって、pH 0.5および1.0の結果について報告する。

2.2 水酸化カルシウム量および総細孔量の測定

実験結果の考察および各種セメント系材料の耐硫酸侵食性評価のため、浸漬前の供試体の水酸化カルシウム量と総細孔量をそれぞれ測定した。水酸化カルシウム量はTGにより、また総細孔量は水銀圧入式ポロシメータを用いて測定した。それぞれの測定値はセメントペースト単位体積当たりの体積(ml/ml)で表示した。

表-1 使用したセメントの種類

セメントの種類		略号
普通ポルトランドセメント	密度 3.16 g/cm ³ , 比表面積 3080 cm ² /g)	OPC
低熱ポルトランドセメント	密度 3.22 g/cm ³ , 比表面積 3280 cm ² /g)	LHC
耐硫酸塩ポルトランドセメント	密度 3.22 g/cm ³ , 比表面積 2920 cm ² /g)	SRC
フライアッシュセメント	密度 2.27 g/cm ³ , 比表面積 3630 cm ² /g のフライアッシュを OPC に 30 vol.% で置換)	FAC
高炉セメント	密度 2.91 g/cm ³ , 比表面積 5200 cm ² /g の高炉スラグ微粉末を OPC に 70 vol.% で置換)	BSC

3 実験結果および考察

3.1 浸漬試験結果について

浸漬試験結果の中で重量減少が大きかった W/C=30(%)の結果を pH 別に図-1, 2に示す。重量減少率は直線的に変化し、明らかに pH 0.5 の濃度の高い硫酸溶液で重量減少率が大きく、侵食が進行していることが分かる。ここで pH 0.5~1.0 程度の場合、重量減少率と実測した侵食深さは線形関係にあることを予備実験により確認した。また、高炉スラグ微粉末を高い割合で置換し、水酸化カルシウム量が極端に少ない BSC では重量減少が見られなかったことや水酸化カルシウム生成量の少ない LHC で重量減少率が小さいことから、水酸化カルシウム量の影響が大きいも

キーワード 耐久性, 化学的腐食, 硫酸, 水酸化カルシウム, 細孔空隙

連絡先 :〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学 生産技術研究所 物質・生命大部門 魚本研究室

TEL (03)5452-6098 ex.58090 FAX (03)5452-6392

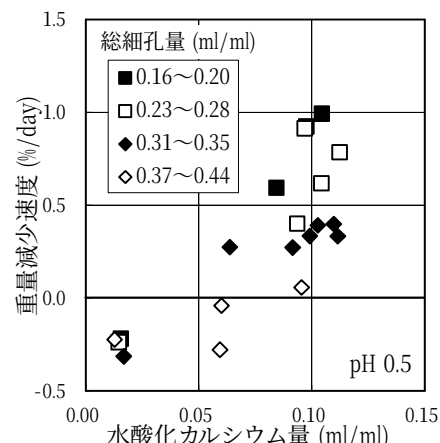
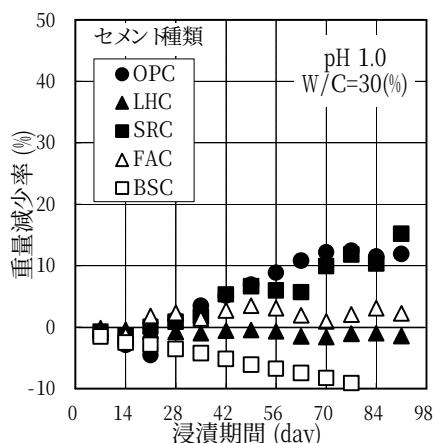
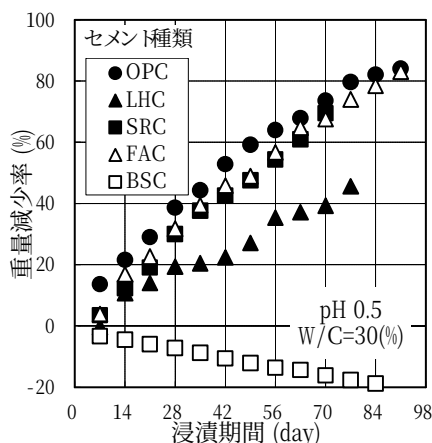


図-1 重量減少率の経時変化 (pH 0.5) 図-2 重量減少率の経時変化 (pH 1.0)

のと考えられる。なお $W/C=30(\%)$ での各種セメントペースト供試体中の水酸化カルシウム量は $OPC:LHC:SRC:FAC:BSC=98:84:105:97:16$ ($\times 10^{-3}$ ml/ml) であった。図-3は全ての配合について、水酸化カルシウム量と浸漬試験後の重量減少率を浸漬期間で除した重量減少速度(%/day)との関係を示したものである。総細孔量別に示したのは、既報^{1,2)}で示したように硫酸と水酸化カルシウムの反応で体積膨張を生じることから、硬化体の細孔空隙も影響すると考えたからである。図より各範囲の総細孔量において水酸化カルシウム量が多いと重量減少速度が大きくなることが明らかとなった。一方、図-4に示す総細孔量の影響については総細孔量が多くなるほど重量減少速度は小さくなった。

3.2 耐硫酸侵食性の評価指標

硫酸による侵食は硫酸濃度のほか、セメント硬化体中の水酸化カルシウム量および総細孔量の影響が大きいことを示した。重量減少速度は水酸化カルシウム量が多いほど、総細孔量が少ないほど大きくなることから、セメント硬化体の性質として水酸化カルシウム量(ml/ml)を総細孔量(ml/ml)で除した指標 $\alpha = \text{水酸化カルシウム量} / \text{総細孔量}(\text{ml/ml})$ を定義し、重量減少速度との関係を調べた(図-5)。pH毎に見ると指標 α と重量減少速度との間には強い相関関係があることが明らかとなった。また、その直線の傾きは pH 値の低い、高濃度の硫酸溶液に浸漬した場合に大きくなっていることが分かる。以上の結果から、セメント系材料の耐硫酸侵食性は硫酸濃度および新たに定義した指標 α を用いて簡易的に表すことができると考えられる。厳密に言えばその他のセメント水和物の量や硫酸との反応性も考慮されるべきであり、今後の検討課題である³⁾。しかしながら、今回の実験結果から分かるように水酸化カルシウムが大きく影響していることは明らかである。

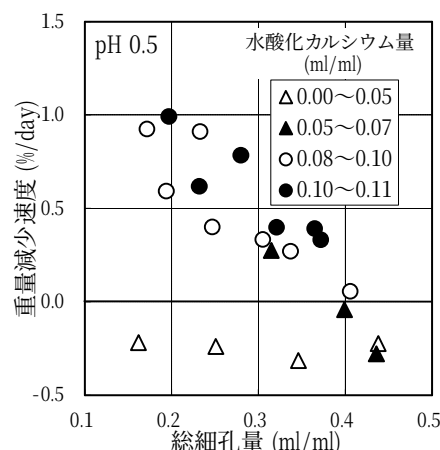


図-4 総細孔量の影響

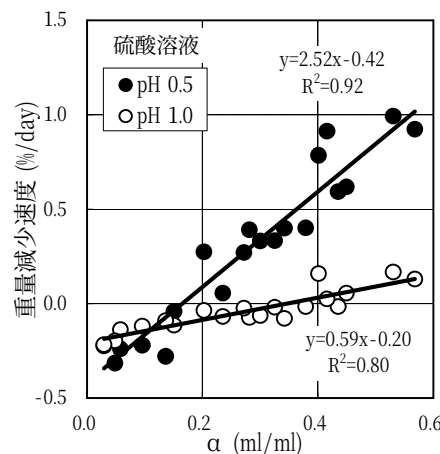


図-5 耐硫酸侵食性評価指標 α

4. まとめ

セメント種類が耐硫酸侵食性に及ぼす影響について検討した結果、以下に示すことが明らかとなった。

- (1) 耐硫酸侵食性はセメント硬化体中の水酸化カルシウム量が少なく、総細孔量が多いほど優れている。
- (2) 重量減少速度は水酸化カルシウム量を総細孔量で除した指標 α と線形関係にある。

硫酸による腐食劣化に関しては侵食の他に中性化やイオン浸透等も考慮する必要があることを付記する。

【謝辞】 本実験の実施にあたり芝浦工大卒業生佐藤雄二君に多大な御協力を頂きました。ここに記しまして深く謝意を表します。

【参考文献】1)蔵重勲, 魚本健人 :硫酸腐食環境におけるコンクリートの劣化特性, JCI 年次論文集, vol.22, No.1, pp.241-246, 2000

2)蔵重勲, 魚本健人 :コンクリートの硫酸腐食劣化に関する考察, セメント・コンクリート論文集, No.54, pp.383-389, 2000

3)坂井悦郎ほか :セメント系水和物と硫酸の反応および膨張コンクリートの耐酸性, Gypsum & Lime, No.249, pp.23-29, 1994