

希硫酸溶液に浸漬させたモルタルの物理・化学・力学的性質

北海道大学 学生会員 ○渡辺 亘司
 名古屋大学 正会員 三浦 泰人
 北海道大学 正会員 佐藤 靖彦

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期にコンクリート構造物が大量に建設され、社会基盤が成熟した。そして今、大量に建設されたコンクリート構造物の補修・補強の必要性が高まってきている。その合理的な実施には、既設構造物の構造性能の定量評価が欠かせない。

下水道処理施設や温泉地などの硫酸が存在する環境において、酸劣化および硫酸塩劣化が問題視されている。これまで、硫酸による劣化予測手法について多くの研究がなされてきた¹⁾。しかしながら、硫酸劣化による力学特性の変化を捉えた手法は未だ希少である。そこで、本研究では、短期間、希硫酸溶液に浸漬させたモルタルの曲げ試験およびせん断試験を実施し、物理・化学的性質との関連性について検討した。

2. 実験概要

2.1 薄片供試体作製

使用したセメントは普通ポルトランドセメントであり、AE剤は使用していない。水とセメントと細骨材(最大寸法1.7mm)の割合が1:2:6としたモルタルを作製した。モルタルの寸法は40×40×160mmである。本研究では、メソスケールでの評価を行うために厚さ5mm、長さ70mm、幅30mmのメソスケールの供試体を、湿式コンクリートカッターを用いて切り出した。

2.2 浸漬条件

浸漬溶液は、硫酸イオン濃度750mg/Lの希硫酸溶液を作製した。実験には容量30Lのポリ容器を使用し、1つの容器につき10体の供試体を投じた。浸漬期間は0, 7, 14, 21, 28, 42, 56日間とした。

2.3 曲げ試験とせん断試験

曲げ試験とせん断試験の様子を図-1に示す。曲げ試験時の

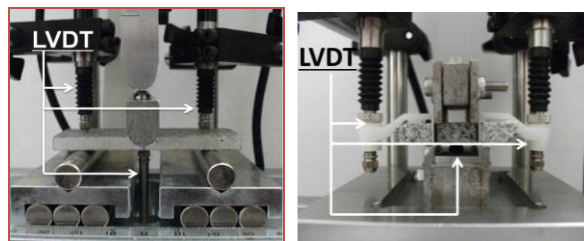


図-1 曲げ試験(左)とせん断試験(右)

スパンを50mmとし、スパン中央部に集中荷重を与えた。せん断試験は、図-1の右に示すような治具を用いて行った。両試験ともに載荷速度は1μm/sとし、支点と載荷点直下には1μmまで測定可能な変位計(LVDT)を設置した。

2.4 化学分析

曲げ試験およびせん断試験後に、供試体から粉末試料を作製し、TG-DTA(示差熱重量同時測定装置)による熱分析によりCHを、重液分離法とサリチル酸メタノール法によりCSHを測定した。さらに、XRDによって析出物を定量的に同定した。

2.5 空隙率

曲げ試験およびせん断試験後の供試体から、一辺が5mmのサイコロ状のサンプルを、糸鋸を用いて切り出し、アルキメデス法により空隙率を求めた。

2.6 引張軟化曲線の同定

曲げ試験より得られた荷重-変位曲線から、引張軟化曲線を同定した。本研究において同定に使用した解析プログラムは、JCI-S-001-2003(多直線近似法による引張軟化曲線の推定)である。

3. 結果と考察

3.1 化学的性質の変化

キーワード 硫酸、水和物、空隙率、エトリンガイト、曲げ強度、弾性係数

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究院 維持管理システム工学研究室
 TEL 011-706-6220

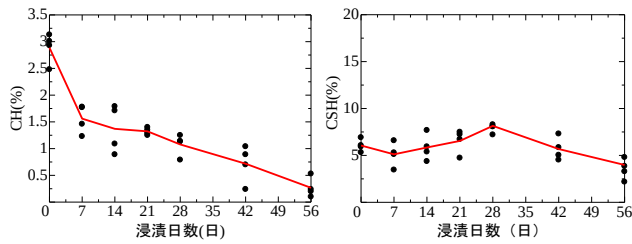


図-2 水和物量の経時変化(左:CH, 右:CSH)

希硫酸溶液に浸漬させた薄片供試体中のCHおよびCSHの経時変化を図-2に示す。浸漬7日までにCHは浸漬前と比べ半分程度まで減少したが、その後は穏やかに減少した。CSHには大きな変化は見られない。なお、XRDにより浸漬7日から膨張破壊の原因とされるエトリンガイトの析出が確認できた。したがって、薄片供試体における劣化で支配的なものはエトリンガイトの生成による膨張破壊であると考えられる。

3.2 力学特性の変化

各浸漬日数の曲げ応力-変位曲線を図-3に示す。浸漬期間が長くなるにつれて曲げ強度が低下している。その低下の割合は、浸漬28日までは2割程度であったが、浸漬42日、56日ではおよそ4割程度になっている。これは、エトリンガイトの生成に伴う膨張破壊により強度が著しく低下したものだと思われる。

図-4に、せん断強度の経時変化を示す。せん断強度は浸漬42日までほぼ変化がなく、浸漬56日において試験ができないほど劣化した供試体が多くあらわれた。すなわち、浸漬42日から浸漬56日の間に急激にエトリンガイトの生成による膨張破壊が進行したものと考えられる。図-5に浸漬42日と浸漬56日の同一供試体の外観性状を示す。その違いが明らかである。

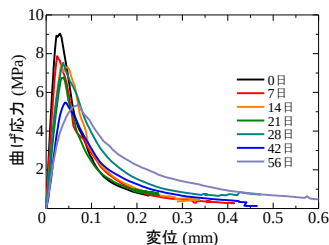


図-3 応力-変位曲線

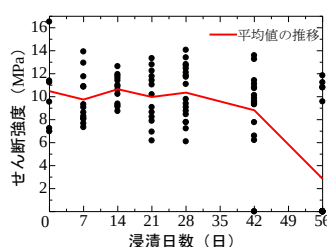


図-4 せん断強度の経時変化

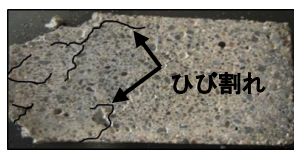


図-5 浸漬42日(左)と浸漬56日(右)

3.3 材料特性の変化と力学特性の関係

CHと空隙率の関係を図-6に示す。図-6によれば、CHと空隙率は線形関係にあることがわかる。図-7、図-8、図-9にそれぞれCHに対する曲げ強度、弾性係数、破壊エネルギーの関係を示す。それぞれCHの減少に伴って初期は緩やかに低下し、CHが初期の半分程度になったあたりから線形的に低下していく様子が見て取れる。

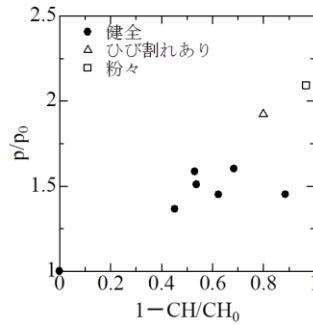


図-6 CHとpの関係

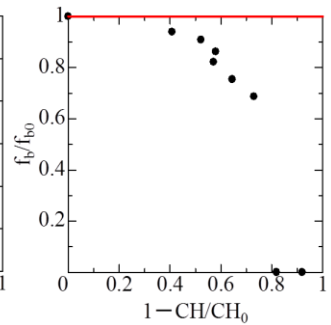


図-7 CHとfbの関係

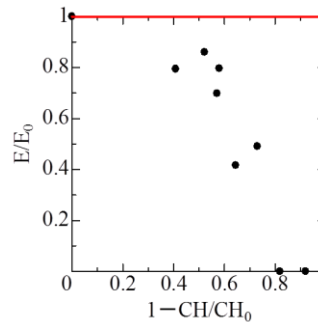


図-8 CHとEの関係

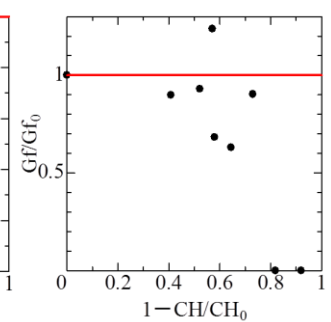


図-9 CHとGfの関係

5. まとめ

本研究のまとめを以下に要約する。

- (1) 浸漬日数に伴ってCHは減少したが、CSHは変化がなかった。
- (2) 浸漬42日から浸漬56日にかけて、薄片供試体はエトリンガイトの生成による膨張圧によって急激に劣化した。
- (3) CHと空隙率は互いに線形関係にあった。
- (4) 弾性係数、破壊エネルギー、曲げ強度はCHの減少に伴って低下し、CHが初期の半分程度になったあたりから線形的に低下した。

参考文献

- 1) 三浦泰人：化学的に劣化したセメント系複合材料の力学の性質，北海道大学修士論文，2010
- 2) 久田誠，松谷竜一：酸性雨成分の作用によるセメント硬化体の物性変化，土木学会論文集，No.746/V-61，197-204，2003.11