

準微視的スケールでのモルタルの物理・化学的 性質に及ぼす硫酸濃度の影響

北海道大学 学生員 ○渡部 孝彦
北海道大学大学院 正会員 佐藤 靖彦

1. はじめに

我が国では、下水道処理施設や温泉地で硫酸による劣化が進行しているという現状があり、とくに下水道処理施設は地下埋設物であるため、劣化度の判断や、補修・補強を行うことが容易ではない。そのため計画的な管理が求められており、そのために構造物の劣化予測が必要となっている。コンクリート標準示方書によると化学的侵食は劣化の侵食深さによって照査されると定められており、硫酸による劣化もこの考え方に整合される。これは定性的な評価であり、硫酸劣化によるコンクリート構造物の性能を評価する定量的な照査は行われていない。従来の研究により、その劣化メカニズムは解明されつつあるものの、それは微視的スケールでの評価にとどまっており、構造耐力などを推定する巨視的な視点での検討には至っていない。そのため本研究では準微視的な、さらには巨視的なスケールにおいて硫酸劣化したコンクリートの構造性能評価を目指し、準微視的なスケールでのモルタルのセメント水和物量の強度変化の予測を試みた。

2. 実験概要

3種類の濃度の硫酸溶液に対する浸漬実験を行った。セメントには普通ポルトランドセメントを用い、AE剤は使用していない。配合には粗骨材は使用せず、水、セメント、細骨材を1:2:6と設定した。なお細骨材は1.7mmふるいを通したものを使用した。本実験では、40×40×160mmの型枠を使用し、打設2日後に脱型したのち2カ月間水中養生させた。その後、厚さ5mm、長さ7mm、幅30mmの供試体を作製した。硫酸溶液は濃度98%の硫酸とイオン交換水により作製し、濃度はA:250mg/L、B:1500mg/L、C:4000mg/Lとした。ただし濃度Aは途中の段階で濃度を4000mg/Lへと変化させ、250mg/Lの部分を実験A1、4000mg/Lの部分を実験A2と名付けた。浸漬には30mLのポリ容器を使用し、1つの容器につき6体を浸漬させ、6体あたり9Lの硫酸溶液に浸漬させた。期間は濃度A、Bが約2カ月、濃度Cが約1カ月とした。

浸漬後の供試体は真空デシケータにより1日以上乾燥させたのち、三点曲げ試験を行った。載荷点直下と支点で1μmまで測定可能なLVDTを使用した。また力学試験後の供試体からセメント水和物であるCH、CSHの定量分析を行った。

3. 実験結果

3.1 劣化による曲げ強度、水和物の変化

供試体に対する三点曲げ試験から算出した曲げ強度の推移を図-1に示す。濃度の違いにより、曲げ強度の低下に違いが生じていることがわかる。さらに曲げ強度の低下には線形的な挙動が見て取れる。実験結果の近似直線の傾きを劣化速度とすると、濃度の増加に伴って、劣化速度が上昇していることがわかった。さらに濃度A2と濃度Cの傾きを比べると濃度A2の傾きの方が1.6倍以上大きくなった。つまり濃度A2では濃度Cより劣化速度が1.6倍以上速いということがわかった。ここから既に硫酸により劣化が起こっているモルタルでは、ある硫酸濃度に対してそれに対応する劣化速度が決まるというわけではないことが確認できた。次にそれぞれの劣化速度と濃度の比較を行った結果を図-2に示す。

キーワード 硫酸劣化, 硫酸濃度, 曲げ強度, セメント水和物

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目

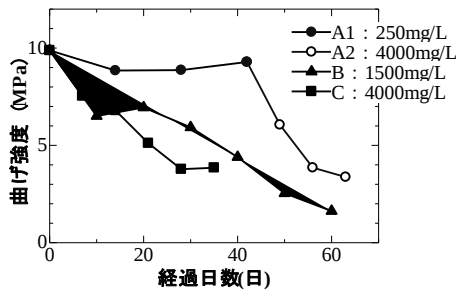


図 - 1 曲げ強度の推移

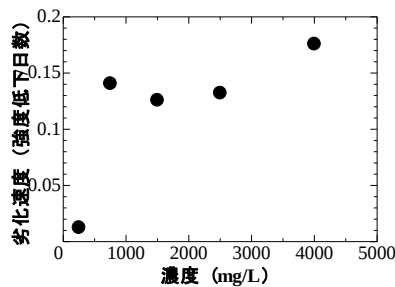


図 - 2 濃度 - 劣化速度の関係

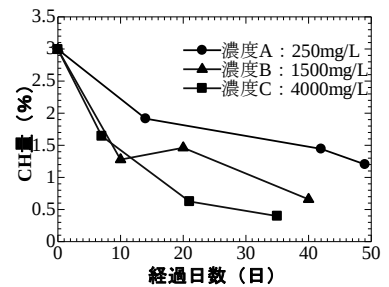


図 - 3 CH量の推移

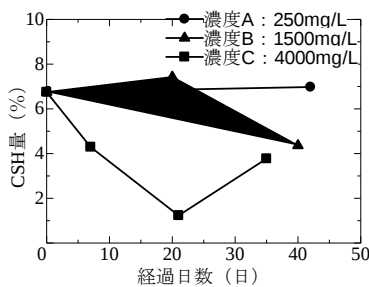


図 - 4 CSH量の推移

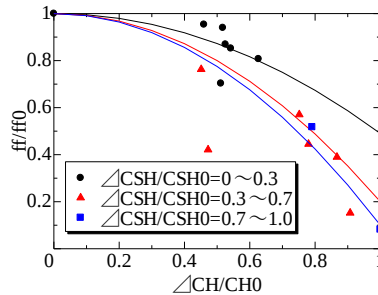


図 - 5 曲げ強度と水和物の関係

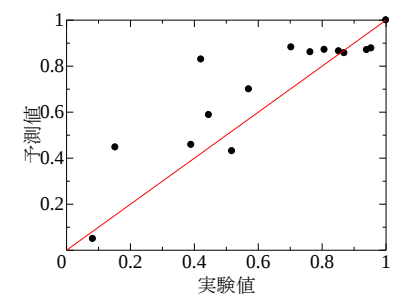


図 - 6 実験値と予測値の比較

濃度が高いものと低いものでは劣化速度の変化の仕方に違いがあるように見受けられる。特に濃度 1000mg/L を境にその変化が起こっていると見る事ができる。これは劣化メカニズムの違いによるものと推定できる。既存の報告によれば濃度 1000mg/L を境に支配的劣化要因がエトリンナイトと二水セッコウで異なることが知られている。図 - 3, 図 - 4 に CH, CSH 量の推移を示す。CH 量は時間経過に対して安定して低下していることが見て取れるのに対し、CSH 量では濃度 4000mg/L のみ顕著に低下している。

3.2 水和物量による曲げ強度の予測

水和物量の減少から曲げ強度の予測の作成を試みた。導いた予測式を式(1)に示す。図 - 5 に示したように、CH 量と曲げ強度の関係は 2 次関数近似によってよく表すことができ、さらに CSH 量によって係数部分を変化させることで、実験値との相関が高くなる形になっている。

$$\frac{f_b}{f_{b0}} = 1 - \left(0.5 \frac{\Delta CSH}{CSH_0} + 0.5 \right) \left(\frac{\Delta CH}{CH_0} \right)^2 \quad (\text{式 - 1})$$

ここで、 f_b : 劣化後の曲げ強度、 f_{b0} : 初期の曲げ強度。この予測式による予測値と実測値を比較したものを図 - 6 に示す。予測値と実験値の比の平均値は 0.92, 決定係数は 0.77 であった。

4. まとめ

- (1)濃度の違いによって曲げ強度やセメント水和物の変化の仕方に違いが生じることが確認できた。
- (2)劣化を一度経験したモルタルと健全なモルタルを同じ濃度に浸漬させた場合、劣化のあったモルタルの劣化速度が著しく速くなった。
- (3)曲げ強度をセメント水和物である CH, CSH 量からから予測する予測式を提案した。