

海水と各種塩化物水溶液の作用を受けるモルタルの水分の挙動が スケーリングに及ぼす影響について

Effects of Moisture Behavior on Scaling of Mortar Subjected to Sea Water and Various Chloride Solutions

北見工業大学工学部土木開発工学科 ○正会員 加藤利菜
北見工業大学工学部土木開発工学科 フェロー 鮎田耕一
北見工業大学技術部 正会員 猪狩平三郎

1. はじめに

寒冷地の海洋コンクリート構造物は凍結融解の繰返し作用を受けて劣化しやすい。さらに、海水による浸食作用や波浪による磨耗作用を受け劣化は促進される。これらのコンクリート構造物の主な劣化形態はスケーリングとして現れる。

これまで筆者らは細孔中における水分の凍結挙動がスケーリングに及ぼす影響について検討した結果から、水分の凍結している時間がスケーリングの発生を左右すること¹⁾のほか、凍結融解試験の冷却速度が遅い場合には海水がセメントペーストに浸入しやすくセメントペーストの飽水度が高くなること²⁾を明らかにした。これらから解明されたのは海水の凍結挙動がスケーリングの発生に及ぼす要因であり、海水の成分がセメントペーストにおける水分の挙動に及ぼす影響について明らかにされていない。そこで、本研究では海水、濃度が異なる NaCl 溶液と MgCl₂ 溶液を用いて凍結融解試験を行いセメントペーストの水分の挙動がスケーリングに及ぼす影響について検討した。

2 実験内容

2.1 供試体

φ1×2cm のモルタル供試体を使用した。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は JIS R 5201 に規定された標準砂を使用した。目標フロー値は 170±5mm とし、配合を表1に示した。

練混ぜは JIS R 5201 に準拠し機械練り用練混ぜ機を使用して行った。

供試体は型詰め後、恒温恒湿室（温度 20±2℃、相対湿度 90±5℃）に 24 時間静置した後脱型し、材齢 28 日まで約 20℃の海水、淡水、NaCl 溶液（濃度 1%、3.5%、7%）、MgCl₂ 溶液（濃度 1%、3.5%）に浸した。

表1 配合

| W/C (%) | 単位量 (kg/m ³) | | |
|------------|--------------------------|-----|------|
| | セメント | 水 | 細骨材 |
| 50 | 508 | 254 | 1527 |

2.3 凍結融解試験

材齢 28 日まで海水、淡水、NaCl 溶液（濃度 1%、

3.5%、7%）、MgCl₂ 溶液（濃度 1%、3.5%）に浸漬した供試体を用いてそれぞれの浸漬液中で凍結融解試験を行った。凍結融解試験槽の最高温度を+10℃、最低温度を-30℃、凍結速度を 0.25℃/min とし、10 サイクルまで行った。

2.4 試験項目

(1) 細孔構造

凍結融解試験後の供試体の質量が定量になるまで常温で減圧乾燥を行った。その後供試体を 2.5mm から 5.0mm の大きさに粉碎し、水銀圧入式ポロシメータによって半径 3.75nm から 5.62×10⁴nm の範囲の細孔構造を測定した。

(3) 質量

海水あるいは淡水浸漬供試体の凍結融解試験開始時の材齢 28 日の表乾質量(W₁)、凍結融解試験後の表乾質量(W₂)を測定後、質量が定量になるまで常温で減圧乾燥を行い乾燥質量(W₃)を計量し、式 (1) から総細孔容積(V)当たりの含水率（以下、細孔水率と表記）(S)を求めた。なお、総細孔容積は細孔半径 3.75nm から 5.62×10⁴nm の範囲の細孔の容積とした。さらに、凍結融解作用によって発生したスケーリング片を気乾状態で一日間乾燥させた後質量(W₄)を計量し、式 (2) から凍結融解試験前の表乾質量当たりのスケーリング片の質量（以下スケーリング率）(C)を求めた。

$$S = \frac{W_2 - W_3}{V \times \rho} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここに、

S：細孔水率 (%)

W₂：凍結融解試験後の供試体の表乾質量 (g)

W₃：凍結融解試験後の供試体の乾燥質量 (g)

V：総細孔容積 (mm³/g)

ρ：水の密度 (1.0×10⁻³ g/mm³)

$$C = \frac{W_4}{W_1} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

ここに、

C：スケーリング率

W₁：凍結融解試験前の供試体の表乾質量 (g)

W₄：スケーリング片の気乾質量 (g)

3. 実験結果及び考察

図1に海水、淡水、各種塩化物水溶液に浸漬した供試体の凍結融解 10 サイクル後のスケーリング率を示した。

海水浸漬供試体の場合に最もスケーリング率が大きく、次いで NaCl3.5%溶液と MgCl₂3.5%溶液を使用した場合にスケーリング率が大きい。このことから海水の作用を受ける場合と塩化物水溶液の濃度を 3.5%とした場合にスケーリングが発生しやすい状態になるといえる。

図2に海水、淡水、各種塩化物水溶液に浸漬した供試体の凍結融解 10 サイクル後の細孔構造を示した。

海水に浸した供試体、NaCl3.5%溶液、MgCl₂3.5%溶液に浸した供試体ではばらつきはあるものの半径が大きいほうに細孔が分布する傾向にある。このことから海水あるいは濃度を 3.5%にした塩化物水溶液に供試体を浸漬するとセメントペーストが多孔化しやすい状態になると思われる。

図3に海水、淡水、各種塩化物水溶液に浸漬した供試体の凍結融解 10 サイクル後の細孔水率を示した。

海水に浸した供試体の細孔水率が大きくなったことから海水の作用を受けるとセメントペーストへ水分が浸入しやすい状態になることが考えられる。一方、塩化物水溶液に浸した供試体の細孔水率に大幅な変化は見られないものの塩化物水溶液の種類に関わらず濃度を 3.5%とした場合に細孔水率が大きくなる傾向にある。このことから塩化物水溶液の種類に関わらず濃度を 3.5%とした場合にセメントペーストに水分が浸入しやすい状態になることが考えられる。

図4に各種浸漬液に浸した供試体の細孔水率とスケーリング率の関係を示した。

細孔水率の増加に伴いスケーリング率が増加した。特に、海水に浸した供試体や NaCl3.5%溶液や MgCl₂3.5%溶液に浸した供試体では細孔水率とスケーリング率の増加が大きい。

このことから海水の作用を受ける場合や塩化物水溶液の濃度を 3.5%とした場合ではセメントペーストへ水分浸入しやすくスケーリングの発生を助長される状態にあることが考えられる。

4. 結論

- 1) 海水、NaCl3.5%溶液、MgCl₂3.5%溶液中で凍結融解の繰返し作用を受ける場合ではセメントペーストが多孔化しやすい。
- 2) 海水と NaCl3.5%溶液、MgCl₂3.5%溶液中で凍結融解の繰返し作用を受ける場合ではセメントペーストへ水分が浸入しやすくスケーリングが多く発生する。

参考文献

- 1) 加藤利菜ほか：海水の凍結挙動がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、No.58、pp.295-300 (2004)
- 2) 加藤利菜ほか：海水による凍結融解作用を受けたモルタルのスケーリング発生要因に関する熱分析に基づく検討、セメント・コンクリート論文集、No.59、pp.291-296 (2005)

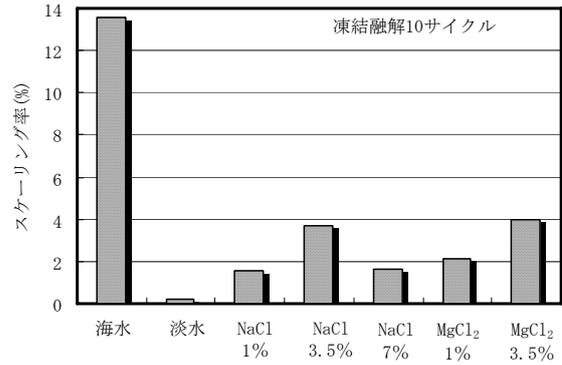


図1 海水、淡水、各種塩化物水溶液に浸漬した供試体の凍結融解 10 サイクル後のスケーリング率

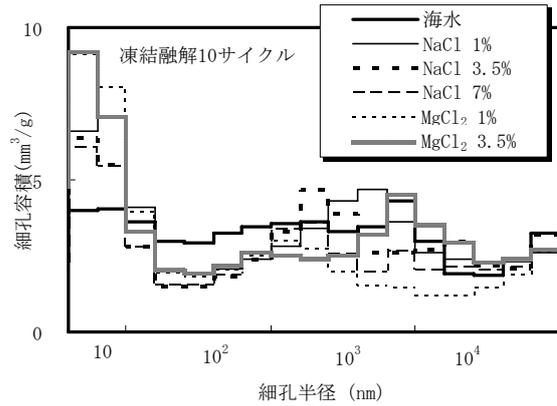


図2 海水、淡水、各種塩化物水溶液に浸漬した供試体の凍結融解 10 サイクル後の細孔構造

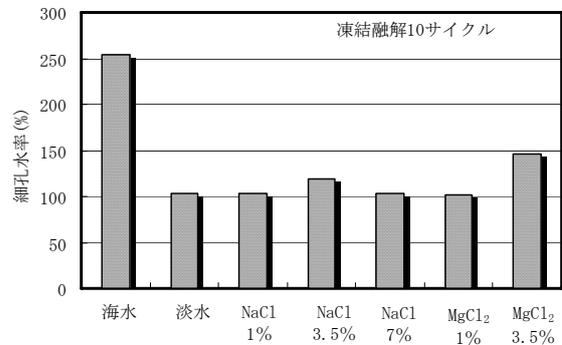


図3 各種浸漬液の作用を受ける場合の凍結融解 10 サイクル後の細孔水率

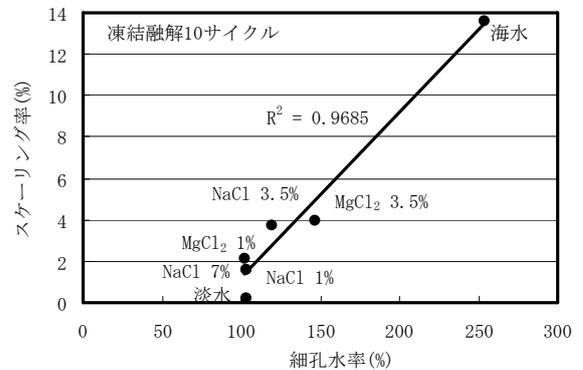


図4 凍結融解 10 サイクル後の細孔水率とスケーリング率の関係