

海水中で凍結融解作用を受けるモルタルの凍結時間が スケーリングに及ぼす影響

Effect of Freezing Time of Mortar Subjected to Sea Water on Scaling

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、その主な劣化はスケーリングとして現れる。

筆者はこれまで冷却速度がスケーリングの発生に及ぼす影響¹⁾についてセメントペースト中の水分の挙動を中心に検討した結果、冷却速度が遅い場合にセメントペーストへ水分が浸入しスケーリングが多く発生することや最低温度での保持時間が長い場合にスケーリングが発生しやすい状態になることを明らかにした。冷却速度が異なる場合では氷点以下で制御される時間が異なるため氷点以下で制御される時間がスケーリングの発生に及ぼす影響については未解明である。そこで、本研究では冷却速度が異なる凍結融解試験に加えて氷点以下で保持される時間を一定とした凍結融解試験を行いスケーリングの発生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℃の海水あるいは淡水に浸した。

表 1 配合

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

2.2 凍結融解試験

材齢 28 日まで海水あるいは淡水に浸漬した供試体を用いて凍結融解試験を行った。凍結融解試験の概要を以下に示した。

(1) 氷点以下で制御される時間が異なる場合

凍結融解試験槽の最高温度を+10℃、最低温度を-30℃とし最低温度保持時間を 30 分間とした。冷却速度を 0.25℃/min とした場合では氷点以下で制御される時間を 218 分間、0.5℃/min とした場合では 158 分間とした。昇温速度は 0.4℃/min とし凍結融解 6 サイクルまで行った。

(2) 氷点以下で制御される時間を一定とした場合

凍結融解試験槽の最高温度を+10℃、最低温度を-30℃とした。氷点以下で制御される時間を 218 分間と一定とし、冷却速度を 0.25℃/min の場合では最低温度保持時間を 30 分間、冷却速度を 0.5℃/min とした場合では最低温度保持時間を 90 分間とした。昇温速度は 0.4℃/min とし凍結融解 6 サイクルまで行った。

2.3 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 の大きさに粉砕し、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 (3) 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 (4) 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。

$$S = \frac{W_2 - W_3}{V \times \rho} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

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 ($1.0 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$)

$$C = \frac{W_4}{W_1} \times 100 \quad (\%) \quad (4)$$

ここに、

C : スケーリング率

W_1 : 凍結融解試験前の供試体の表乾質量 (g)

W_4 : スケーリング片の気乾質量 (g)

3. 実験結果及び考察

図1に氷点以下で制御される時間が異なる凍結融解作用を受けた海水あるいは淡水浸漬供試体のスケーリング率を冷却速度別に示した。

淡水浸漬供試体に比べて海水浸漬供試体のスケーリング率が大きい。特に、冷却速度が遅い 0.25°C/min の凍結融解作用を受けた場合にこの傾向が顕著となった。

図2に氷点以下で制御される時間を一定とした凍結融解作用を受ける場合の海水あるいは淡水浸漬供試体のスケーリング率を冷却速度別に示した。

海水浸漬供試体のスケーリング率が大きい。また、冷却速度を 0.5°C/min とした場合に顕著となった。

図3に氷点以下で制御される時間が異なる場合の海水浸漬供試体の細孔水率を示した。

氷点以下で218分間制御される場合に細孔水率が大きくなった。このことから氷点以下で制御される時間が長い場合ではセメントペーストへ水分が浸入しやすい状態にあると考えられる。また、氷点以下で制御される時間を218分間とした場合に細孔水率が100%を超しているのはセメントペーストにスケーリングの発生要因である微細ひび割れが生じたため²⁾と考えられる。

以上の結果から、氷点以下で制御される時間が異なる場合では冷却速度が遅いとセメントペースト中の水分が凍結している時間が長くなり、スケーリングが発生しやすい状態になったと思われる。一方、氷点以下で制御される時間を一定とした場合では冷却速度が速い場合に最低温度での保持時間が長くなるため、最低温度保持時間が長い場合ではセメントペーストが凍結によって生じる水圧の影響を受けやすくなることからスケーリングが多く発生したと考えられる。

4. 結論

$\phi 1 \times 2 \text{ cm}$ の海水あるいは淡水に浸した微小モルタルを使用して氷点以下で制御される時間や冷却速度が異なる凍結融解試験を行いスケーリングとの関連について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 海水中で凍結融解の繰返し作用を受けると淡水の作用を受ける場合に比べてスケーリングが多く発生する。
- 2) 氷点以下で制御される時間が異なると冷却速度を 0.25°C/min とした場合にスケーリングが多く発生し、氷点以下で制御される時間を一定とした場合では冷却速度を 0.5°C/min とするとスケーリングが多く発生する。
- 3) 氷点以下で制御される時間が長い場合ではセメントペーストに水分が浸入しやすくなりスケーリングが多く発生する。

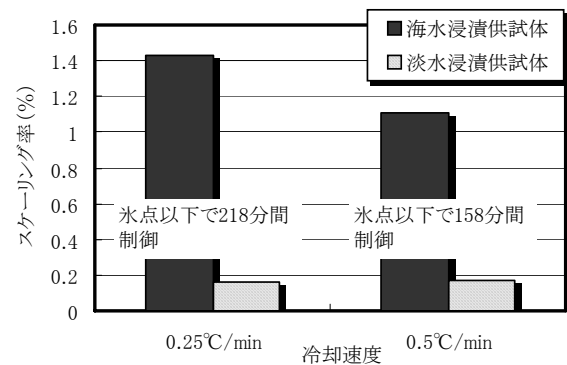


図1 氷点以下で制御される時間が異なる凍結融解作用を受けた海水あるいは淡水浸漬供試体のスケーリング率 (冷却速度別)

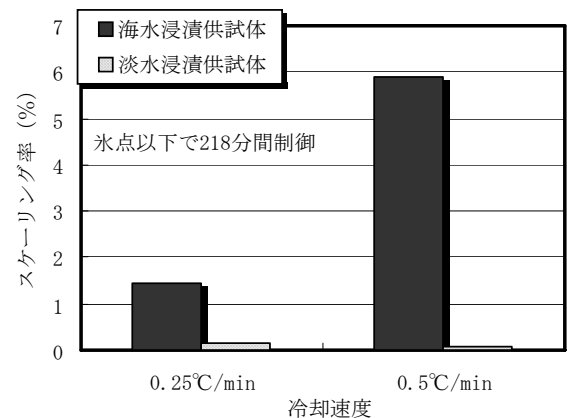


図2 氷点以下で制御される時間を一定とした場合の海水あるいは淡水浸漬供試体のスケーリング率 (冷却速度別)

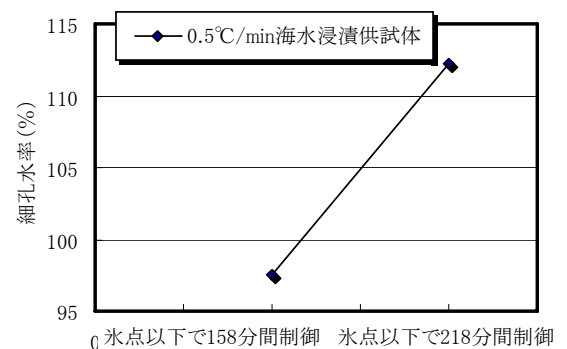


図3 氷点以下で制御される時間が異なる場合の海水浸漬供試体の細孔水率

参考文献

- 1) 加藤利菜、鮎田耕一、猪狩平三郎：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)
- 2) 加藤利菜、鮎田耕一、猪狩平三郎：海水の作用を受けるモルタルの水分の挙動に基づくスケーリング発生要因の検討、寒地技術論文・報告集、Vol.22、pp.121-124 (2006)