

# 海水の作用を受けるセメントペーストマトリックスの凍結挙動が スケーリングに及ぼす影響について

Effect of Freeze Behavior of Cement Paste Matrix Subjected to Sea Water on Scaling

北見工業大学大学院 学生会員 ○加藤利菜  
北見工業大学工学部 フェロー 鮎田耕一  
北見工業大学工学部 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は、海水の化学的作用のほか冬季の凍結融解の繰返しを受けるため劣化しやすいことで知られている。この対策を確立するためのメカニズムについて多くの研究がなされてきているがまだ十分に解明されていない。そこで、本研究では海水中で冷却速度の異なる凍結融解試験を行いセメントペーストマトリックス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。

## 2. 実験内容

### 2.1 供試体

φ1×2cmのモルタル円柱供試体を使用した。セメントは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（密度 2.61 g/cm<sup>3</sup>）を使用した。目標フローは170±5mmとし、配合を表1に示した。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（以下、海水/淡水と表記）に浸した。

表1 配合

W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		
	セメント	水	細骨材
55	468	257	1552

### 2.2 実験項目

#### (1) 凍結融解試験

材齢28日まで海水/淡水に浸漬した供試体を用いて海水/淡水中で凍結融解試験を行った。温度制御プログラムを図1、2、3に示した。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、0.50℃/min、0.75℃/minの3種類とし、12サイクルまで行った。

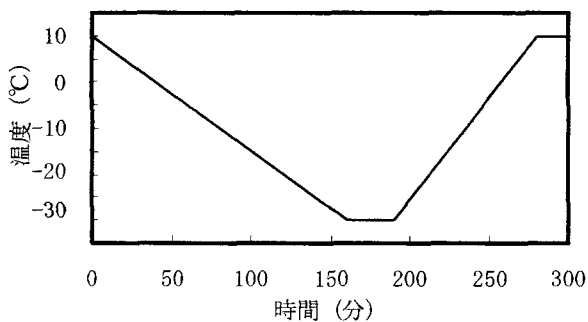


図1 冷却速度0.25℃/minの場合の温度制御プログラム

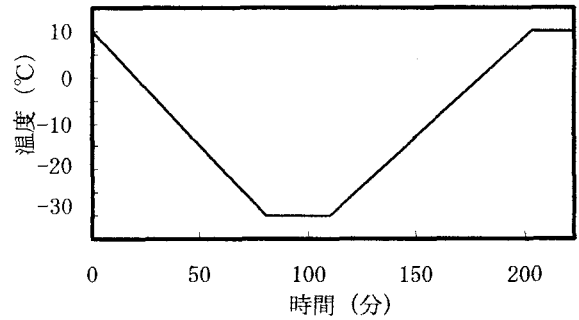


図2 冷却速度0.5℃/minの場合の温度制御プログラム

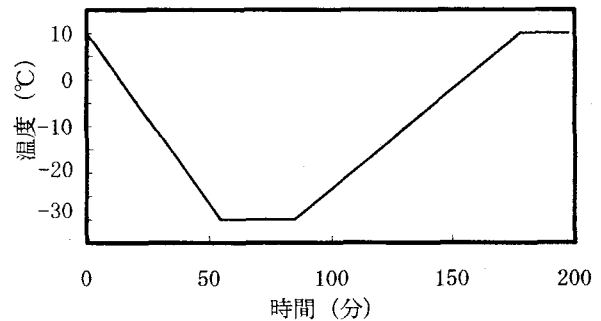


図3 冷却速度0.75℃/minの場合の温度制御プログラム

#### (2) 細孔構造

凍結融解試験後の供試体をアセトン中で水和を中止させ、質量が定量になるまで常温で真空乾燥させた。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ーによって細孔構造を測定し、半径3.75nmから5.62×10<sup>4</sup>nmの範囲の細孔の容積（以下、総細孔容積と表記）(V<sub>1</sub>)と半径10<sup>2</sup>nmから10<sup>3</sup>nmの範囲の細孔の容積 (V<sub>2</sub>)を求めた。

#### (3) 質量

海水/淡水中から取り出した材齢28日の供試体を用いて凍結融解試験を行い凍結融解試験前の表乾質量 (W<sub>0</sub>)、凍結融解試験後の表乾質量 (W)、常温で真空乾燥させた後の乾燥質量 (W<sub>d</sub>)を測定し、式(1)から総細孔容積 (V)当たりの含水率（以下、細孔水率）(S<sub>p</sub>)を求めた。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 (W<sub>g</sub>)を計量し、式(2)からスケーリング率 (S)を求めた。また、耐凍害性に悪影響を及ぼす<sup>1)</sup>とされている半径10<sup>2</sup>nmから10<sup>3</sup>nmの範囲の細孔の容積 (V<sub>2</sub>)が総細孔容積 (V<sub>1</sub>)に占める割合を式(3)から部分細孔容積率 (P)として求めた。

$$S_F = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

$$S = \frac{W_3}{W_0} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$P = \frac{V_1}{V_2} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

ここに  $\rho$  : 水の密度 ( $1.0 \times 10^{-3} \text{g/mm}^3$ )

### 3. 実験結果及び考察

図4に海水/淡水浸漬供試体の凍結融解サイクルに伴うスケーリング率の変化を示した。海水浸漬供試体に冷却速度が  $0.25^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$  の凍結融解作用を与えた場合、少ないサイクルでスケーリング率が増加し、その傾向は冷却速度が遅いほうが顕著となった。一方、淡水浸漬供試体ではスケーリングは発生しなかった。

図5に海水浸漬供試体の凍結融解サイクルに伴う細孔水率の変化を示した。冷却速度が  $0.25^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合の細孔水率が凍結融解サイクルに伴い増加しており、セメントペーストマトリックスが水によって満たされていることを示している。冷却速度が  $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合の細孔水率は増加しなかったが供試体は破壊した。これは8サイクルから10サイクルの間に細孔水率が増加し、その後破壊したため8サイクルの時点では細孔水率が増加しなかったと思われる。

図6に海水浸漬供試体の細孔水率と部分細孔容積率の関係を示した。部分細孔容積率は  $10 \sim 25\%$  の範囲に分布しており、その値に関わらず細孔水率は  $100\%$  以上を示している。特に、冷却速度が  $0.25^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合には部分細孔容積率が減少すると細孔水率は増加する傾向にある。冷却速度が  $0.25^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合で部分細孔容積率が増加してないのは、半径が  $10^2 \text{nm} \sim 10^3 \text{nm}$  の細孔が粗大化、あるいは微細ひび割れに進展したため減少したと考えられる。冷却速度が  $0.50^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $0.75^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合では部分細孔容積率の多少に関わらず細孔水率は一定であることから微細ひび割れは発生していないと考えられる。

図7に海水浸漬供試体の細孔水率とスケーリング率の関係を示した。冷却速度が  $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$  と  $0.75^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合では細孔水率が  $100\%$  のときにスケーリング率が  $15\%$  まで分布している。一方、冷却速度が  $0.25^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合のスケーリング率は細孔水率が  $100\%$  付近では増加しなかった。これは冷却速度が速い場合には細孔が粗大化しにくく、1サイクルの間に浸入する水の量が同じであれば細孔が飽水状態になりやすいためスケーリングが発生しやすい状態になったと考えられる。

### 4. 結論

海水中で冷却速度の異なる凍結融解試験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 海水の作用を受けると凍結融解サイクルに伴いスケーリング率が増加した。この傾向は冷却速度が遅いほど顕著となった。
- 2) 海水の作用を受けると冷却速度が遅いほどセメントベ

ーストマトリックスに海水が浸入しやすい状態となる。

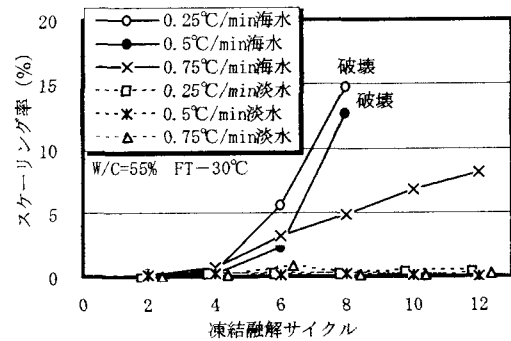


図4 海水/淡水浸漬供試体の凍結融解サイクルに伴うスケーリング率の変化

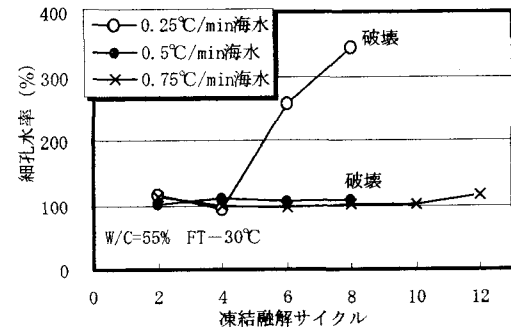


図5 海水浸漬供試体の凍結融解サイクルに伴う細孔水率の変化

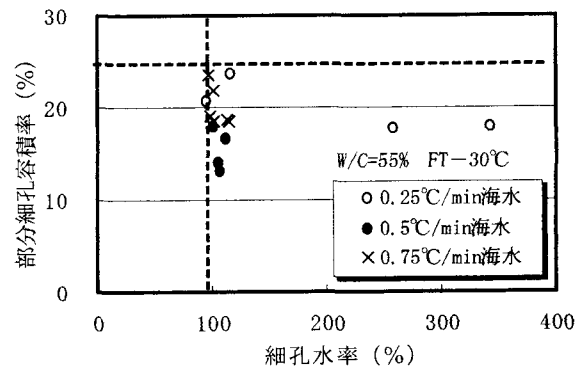


図6 海水浸漬供試体の細孔水率と部分細孔容積率の関係

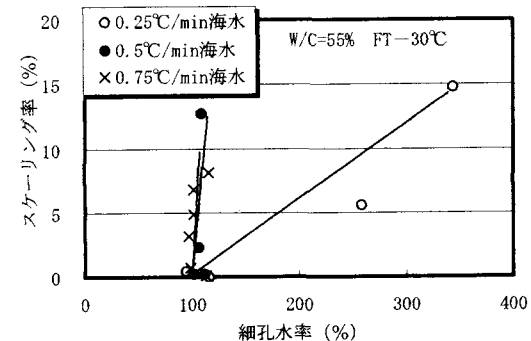


図7 海水浸漬供試体のスケーリング率と細孔容積率の関係

### 5. 参考文献

- 1) 鎌田英治: コンクリートの凍害と細孔構造、コンクリート工学年次論文集、10-1、pp. 51-60 (1988)