

海水の浸入がスケーリングの発生に及ぼす影響

Effect of Sea Water Uptaking into Concrete on the Scaling

北見工業大学大学院 ○学生会員 王 欣 (Xin Wang)

北見工業大学 フェロー 鮎田 耕一 (Koichi Ayuta)

北見工業大学 正会員 猪狩平三郎 (Heizaburou Igari)

1. はじめに

寒冷地の海洋コンクリート構造物ではスケーリングの発生が激しいことが知られている。著者らは、スケーリングの発生原因を解明するため、コンクリート表層部に着目しその細孔構造と凍結水量を調べた¹⁾²⁾。その結果、海水浸漬により細孔構造が多孔化し、凍結水量が増加しており、凍結融解の繰返しを受けると、数百から数千 nm の細孔がさらに増加し、凍結水量も増加することを明らかにした。しかし、凍結水量を増加させる海水の浸入プロセスは明確になっていない。

そこで本研究では、コンクリート表層部への海水浸入のプロセス及びスケーリング発生との関連を明らかにすることを目的として、微小モルタル($\phi 1 \times 2 \text{ cm}$)供試体を使用し、海水浸漬と凍結融解サイクルの増加に伴う質量の変化を調べた。

2. 実験内容

2.1 実験概要

供試体は $W/C=50\%$ ($W=508 \text{ kg/m}^3$) の円柱モルタルを用いた。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は標準砂を使用し、フロー目標値は $170 \pm 5 \text{ cm}$ とした。

供試体は型詰め後約 24 時間、室温約 20°C 、湿度約 90% の室内で養生し、型枠を取り外した後、材齢 28 日まで約 20°C の海水あるいは淡水に浸した。その後、材齢 28 日の海水/淡水浸漬供試体を使用し凍結融解試験を行い、サイクルの増加に伴う質量の変化を求めた。

2.2 実験項目

(1) 凍結融解試験

プログラム精密低温恒温水槽 ($215 \times 135 \times 145 \text{ mm}$) を用いた。プログラム制御による供試体温度は図-1 に示すように、最高温度 $+10^\circ\text{C}$ 、最低温度 -20°C で、1 日 6 サイクルとした。供試体は 1 条件につき 4 個とした。

(2) 質量

材齢 1, 3, 7, 14, 28 日の海水/淡水浸漬供試体を水中

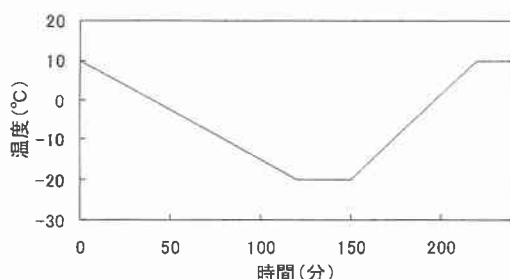


図-1 凍結融解試験の温度プログラム

から取り出し表乾状態の質量を計量した。その後、材齢 28 日からそれぞれの浸漬水中で凍結融解試験を行い、2 サイクルごとに供試体の表乾質量 ($W_{\text{供試体}}$) を計量した。凍結融解作用によって生じたスケーリング片の 105°C 乾燥質量 ($W_{\text{スケーリング}}$) を供試体の質量 ($W_{\text{供試体}}$) に加えて供試体の質量百分率を求めた。

$$W_n = W_{\text{供試体}} + W_{\text{スケーリング}} \quad [1]$$

ここに、 W_n : 凍結融解 n サイクル後のスケーリング片を含めた供試体の質量 (g)

$W_{\text{供試体}}$: 凍結融解 n サイクル後の供試体の質量 (g)

$W_{\text{スケーリング}}$: 凍結融解 n サイクル後のスケーリング片の質量 (g)

$$\text{スケーリング率 (\%)} = \frac{W_{\text{スケーリング}}}{W_0} \times 100 \quad [2]$$

ここに、 W_0 : 凍結融解開始前の供試体の質量 (g)

$$\text{質量百分率 (\%)} = \frac{W_n}{W_0} \times 100 \quad [3]$$

3. 実験結果及び考察

図-2 に材齢 28 日まで海水/淡水に浸漬してから海水/淡水中で凍結融解作用を与えた供試体の質量百分率を示す。この結果から次のことがいえる。

- 1) 凍結融解試験前の海水浸漬供試体は、淡水浸漬供試体と比べ、材齢に伴う質量の増加がやや大きい。これは、海水中の Cl^- イオンとセメントペースト中の OH^- イオンが交換し、海水が内部に多く浸透した³⁾ ためと思われる。
- 2) 海水浸漬供試体は淡水浸漬供試体と比べ、凍結融解のサイクルの増加に伴う質量の増加が多い。

12 サイクルまでの凍結融解の繰返しを受けるのに要するのは 2 日間なので、水中浸漬による吸水量は少なく、質量の増加原因は凍結融解作用によるものと考えられる。したがって、海水浸漬供試体は凍結融解サイクルの増加に伴い高い凍結圧と浸透圧を受けるとともに、多孔化により吸水し質量が増加すると思われる。

- 3) 海水浸漬供試体の質量の増加は、図中の①～④に示すようにいくつかの段階に分けられる。①材齢 3 日まで

の吸水により質量が増加する。②その後、吸水速度が遅くなり、材齢 28 日までの質量増加量は少ない。③凍結融解サイクルの増加に伴い吸水し、質量が増加する。大きな残留ひずみが生じ組織が弛緩するためであろう。④微細ひび割れが発生したと思われる、吸水量が多くなり質量が大きく増加する。

- 4) 海水浸漬供試体に生じたスケーリングは、水分を多く含んでいた。しかし、本実験ではスケーリング片を乾燥した後に質量を計量したため、スケーリング片に含まれている水分はスケーリング片の質量 ($W_{\text{スケーリング}}$) に含まれていない。したがって、供試体の質量 (W_n) はスケーリング量が多くなるにつれて、実際の値より少ない値として求められている。真の質量は図-2 中の点線のように増加すると推測される。
- 5) 淡水浸漬供試体の質量は、材齢 3 日まで大きく増加したが、材齢 28 日までに定常状態になった。その後、凍結融解作用を受けても質量の増加は緩やかである。これは、比較的健全な組織であることと淡水は海水より内部に侵入しにくいためであろう。

図-3 に凍結融解のサイクルの増加に伴うスケーリング率を示す。淡水浸漬供試体では、ほとんどスケーリングが生じなかったが、海水浸漬供試体は 2 サイクル目からスケーリングが発生し、ほぼ直線的に増加している。

図-4 に海水/淡水浸漬供試体のスケーリング率と質量百分率の関係を示す。両者の相関は高く、スケーリングの発生が質量の増加に影響を及ぼしている。すなわち、凍結融解過程で吸水することによって、スケーリングが助長したと考えられる。

4. 結論

海洋環境下で凍結融解の繰返し作用を受けるコンクリートの表層部への海水浸入のプロセス及びスケーリング発生との関連を明らかにすることを目的として、海水浸漬と凍結融解サイクルに伴う質量の変化を調べた結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 海水浸漬により、初期材齢から吸水し、質量が淡水浸漬の場合より増加する。
- (2) 海水中における凍結融解サイクルの増加に伴い、質量が大きく増加する。組織の弛緩により吸水が進行したためと考えられる。
- (3) 凍結融解に伴うスケーリングの発生率と質量増加の相関関係は高く、凍結融解過程で吸水することによって、スケーリングが助長したと考えられる。

【参考文献】

- 1) 王欣, 鮎田耕一, 沢田正剛: 海水の作用を受けるコンクリートの凍結水量と細孔構造, セメント・コンクリート論文集, No. 52, pp. 684-691, 1998
- 2) X. Wang and K. Ayuta: Pore Structure and Frozen Water of Mortar Affected by Sea Water and Freezing-thawing Action, Proceedings of '99 Japan/Korea Joint Symposium on Structural Material Engineering, pp.128-143, 1998
- 3) 尾野幹也, 永嶋正久, 大塚邦夫, 伊藤隆明: セメント硬

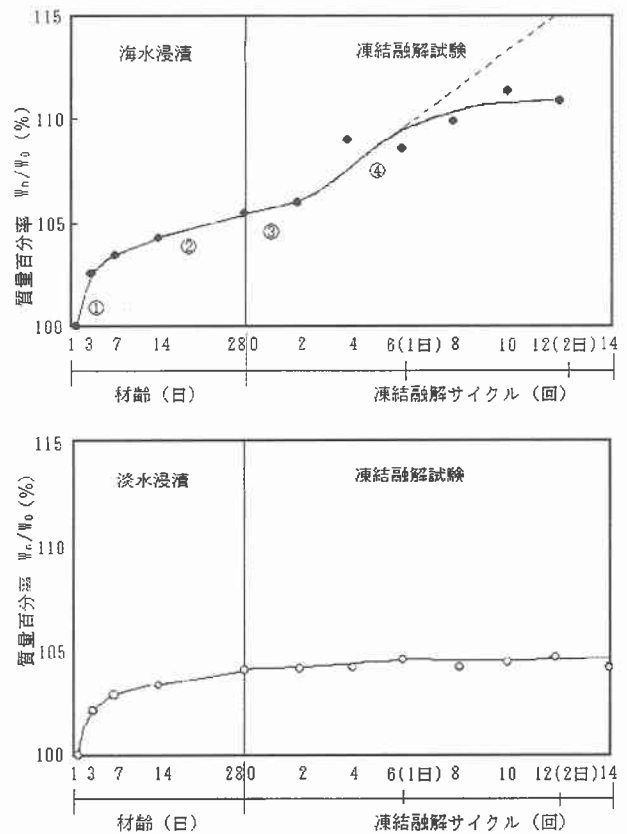


図-2 凍結融解サイクルの増加に伴う質量の変化
(上: 海水浸漬供試体, 下: 淡水浸漬供試体)

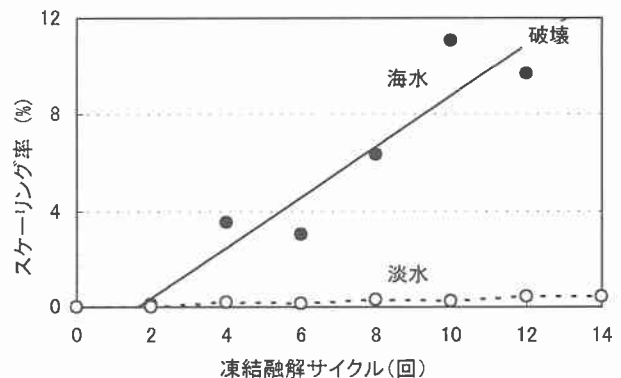


図-3 凍結融解サイクルの増加に伴うスケーリングの発生

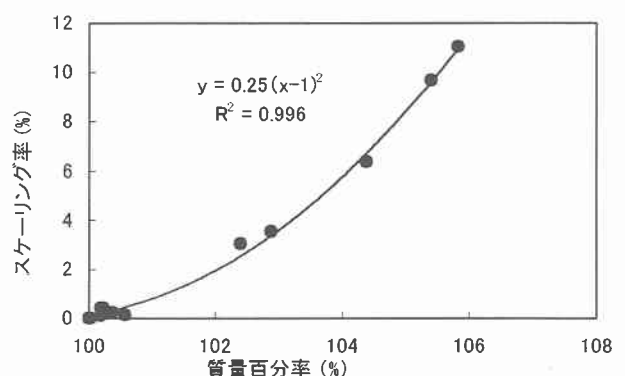


図-4 スケーリング率と質量百分率の関係

化体に与える海水の化学的侵食のメカニズム, セメント技術年報 32, pp. 100-103, 1978