

塩水濃度と最低温度がコンクリートのスケーリング劣化に与える影響

(国研) 土木研究所 正会員 ○小沢 拓弥, 片平 博, 古賀 裕久

1. はじめに

近年、従来の方法で耐凍害性を確保したコンクリートでも、沿岸部や凍結防止剤散布地域では、供給される塩分によってスケーリング劣化が促進されることが分かってきて、課題となっている¹⁾。新設のコンクリート構造物を設計する際や、既設のコンクリート構造物を維持管理していく上で、どの程度の気象条件、塩分の供給条件でスケーリングが発生するかを明確にする必要がある。そこで、本研究では、塩水の最低温度と塩分濃度をパラメータとした凍結融解試験を実施することで、これらがスケーリング劣化に与える影響を検討した。

2. 実験概要

(1) **試験体の製作**：スケーリング劣化では表面のペースト部分の品質が特に影響すると考え、試験体はモルタルで製作した。モルタルの配合を表-1に示す。使用したセメントは、普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³、表中では OPC）、細骨材には川砂（絶乾密度 2.53g/cm³、吸水率 1.60%、粗粒率 2.67）を用いた。W/C は 55%、S/C は 3.2 とした。また、スケーリング劣化を促進させる目的から、AE 剤を使用せず、目標空気量を 3%と低く設定した。練り混ぜたモルタルで 40×40×160mm の角柱を製作し、これを分割（40×40×80mm）してモルタル試験体とした。養生は、湿潤養生（水中 20℃）を 8 週以上と十分に材齢を確保し、水和反応を安定させた後、凍結融解試験の前に 1 週間乾燥（気中 20℃、60%RH）させた。試験の都合上、材齢を統一することができず、材齢 8 週目から 26 週目の間で凍結融解試験を行った。なお、材齢 8 週目に圧縮強度を測定した結果、62.7N/mm²であった。

(2) **凍結融解試験**：試験の概要を図-1に示す²⁾。凍結融解試験は、試験水（淡水、1~9%の NaCl 溶液）で満たしたポリプロピレン製の容器にモルタル試験体を入れ、冷凍庫と水温 20℃の水槽へ交互に静置することで凍結融解作用

（3日で1サイクル）を与えた。本検討では、試験水の温度管理が重要となるため、1℃刻みで温度設定ができる冷凍庫（T 社製 SC-DF25）を使用し、試験水の温度を厳密に管理した。凍結融解のサイクル数は 5 回とし、表面からスケーリングによって剥離した試料の質量を測定して、モルタル試験体の表面積で除すことによりスケーリング量 (g/cm²) を算出した。

(3) **試験水の条件**：試験条件の一覧を表-2に示す。試験条件は、試験水の最低温度を-2℃から-30℃までの 8 ケース、塩分濃度を 0%から 9%までの 4 ケースとして、これらを組み合わせた計 32 ケースとした。凍結防止剤が散布された路面の塩分濃度は、散布直後で約 5 から 6%になることが報告されている³⁾。路面から排水される過程で稀釈・濃縮されることを想定して塩分濃度を 0%から 9%とした。塩分濃度が 9%の場合、凝固点が約-6℃となるため、0 から-10℃までを-2℃刻みで設定し、共晶点が-21.2℃であるため⁴⁾、-10℃から-30℃までを-5℃、-10℃刻みで設定した。

3. 実験結果と考察

(1) **スケーリング量**：試験水の最低温度とスケーリング量の関係を図-2に示す。塩分を含まない試験水（淡水）では、いず

表-1 モルタル試験体の配合

セメント	W/C	S/C	目標空気量
OPC	55%	3.2	3%

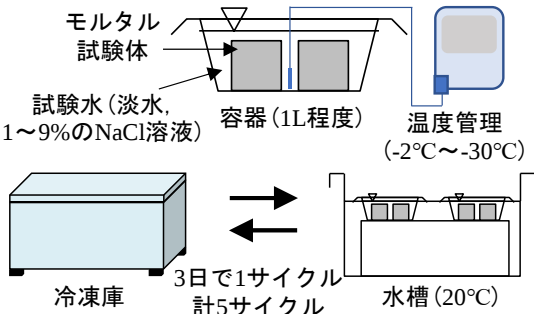


図-1 凍結融解試験の方法

表-2 試験条件の一覧

試験水の条件	値	ケース数
最低温度(℃)	-2, -4, -6, -8, -10, -15, -20, -30	8
塩分濃度(%)	0(淡水), 1, 3, 9	4

キーワード コンクリート構造物, 凍害, スケーリング劣化, 凍結融解試験, 凍結防止剤

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

(国研) 土木研究所 材料資源研究グループ TEL029-879-6761

れの最低温度でもスケーリング劣化が見られなかった。一方で、塩分濃度が1%から9%までの3ケースでは、最低温度の範囲が-4℃から-30℃の間でスケーリング劣化が確認され、-4℃から-10℃の条件でスケーリング量が増加し、-10℃から-30℃の条件ではほぼ一定になる傾向であった。

(2) 外観観察：試験終了時におけるモルタル試験体の外観写真を図-3に示す。試験水の最低温度が-6℃の条件において、塩分濃度が1%と3%の条件では、モルタル試験体の表面が部分的に剥離しているが、9%の条件では外観に変化が見られなかった。一方で、-10℃の条件において、塩分濃度が1%から9%の条件では、いずれのモルタル試験体も形状が変化するほど表面が剥離していることが確認できた。

(3) 考察：試験水の最低温度が-4℃から-10℃までの範囲で、スケーリング量が増加する理由を考察する。塩水は、純水のようにある一定の温度(0℃)で全てが凍結するのではなく、氷への状態変化が始まる凝固点があり、塩水中の純水に近い部分から凍結が始まるため、凍結しない部分の濃度が増加して凝固点がさらに低下していく。

この状況は目視観察でも確認しており、試験水の塩分濃度が9%、温度が-8℃の条件では、試験水はシャーベット状で、振動させると動きがみられるような状況であった。しかし、温度を-10℃に下げると、試験水は振動させても動かなかった。温度低下の過程で、試験水中の氷の割合が増加しものと考えられる。これらの温度とスケーリング量の関係に着目すると、温度が-8℃のときスケーリング量が $0.02\text{g}/\text{cm}^2$ であったのに対し、-10℃になった時には $0.29\text{g}/\text{cm}^2$ と急激に増加した。

このように、今回試験した塩水濃度1%から9%の範囲においては、温度帯が-4℃から-10℃の範囲で、シャーベット状の氷の発生から試験水全体が凍結する状態まで変化し、その全体凍結が発生する程度まで凍結させた際にスケーリング量が大きく変化したと考えられる。

4. まとめ

スケーリング劣化に及ぼす塩水濃度と最低温度の影響を検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 塩水の凝固点降下の影響に関連して、試験水の最低温度が-4℃から-10℃の範囲ではスケーリング量が大きく増加し、-10℃から-30℃の範囲ではほとんど差が生じなかった。
- 2) 塩水の濃度が1%から9%の範囲では、濃度差の影響が比較的小さい結果が得られた。

ただし、本実験では試験水の温度管理で条件を定めているため、冷凍庫内の温度は試験水よりも-1～-2℃低い温度で設定しており、またその温度の持続時間等も影響するものと考えられるため、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 田中良樹, 玉越隆史: 道路橋桁端部の漏水対策に向けて～路面排水下におけるコンクリートコアの凍害暴露試験～, 土木技術資料, 第59巻, 第1号, pp.52～53, 2017.
- 2) 片平博, 古賀裕久: スケーリング劣化のメカニズム解明に向けた基礎的実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.653-658, 2020.
- 3) 青山實伸, 松田哲夫: 凍結防止剤によるコンクリート構造物への塩分浸透性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.807-812, 2004.
- 4) 社団法人日本建設機械化協会: 除雪・防雪ハンドブック(除雪編), 2005.

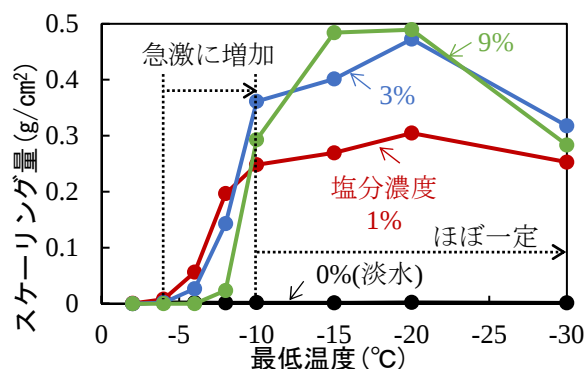
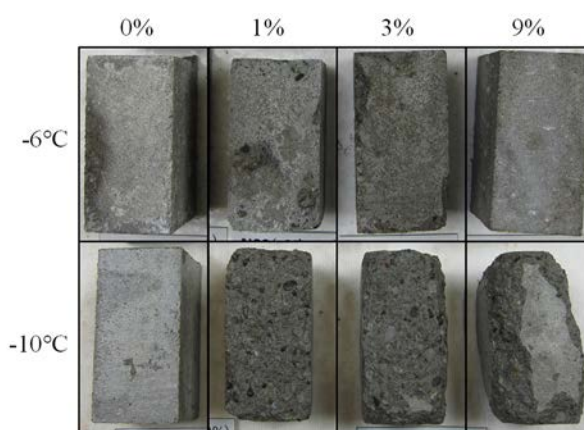
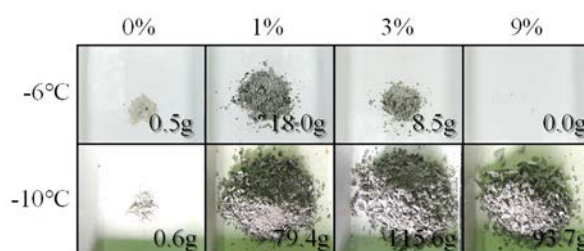


図-2 最低温度とスケーリング量の関係



(a) モルタル試験体 (打設面)



(b) 表面から剥離した試料 (質量を併記)

図-3 試験終了時の外観写真