

コンクリートのソルトスケーリングに及ぼす凍結融解条件の影響

岩手大学大学院 学生会員 ○田中 館 悠登
 岩手大学 フェロー会員 羽原 俊祐

1. 目的

冬期の安全交通のため NaCl 等の凍結防止剤の散布量が増大し、道路構造物のスケーリング劣化が顕著になっている。そのため、スケーリングはソルトスケーリングとも呼ばれる。これまで、筆者らはソルトスケーリングの劣化メカニズムの解明のため、NaCl 水溶液の濃度と冷却時の最低温度の影響について検討し、最低温度が $-5\sim-10^{\circ}\text{C}$ の範囲においてスケーリングが生じる温度の閾値（スケーリング温度）を見出した¹⁾。この温度は、濃度の増加に伴い低下し、各濃度の NaCl 水溶液の凝固点よりも -5°C 程度低い。このことから、NaCl 水溶液の凍結過程が影響していると考えられる。本研究では、NaCl 水溶液の凍結挙動がソルトスケーリングに及ぼす影響を明らかにするため、凝固点以下 $-40\sim-3^{\circ}\text{C}$ の範囲における降温・昇温の繰り返しがソルトスケーリングに及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

水：セメント：細骨材の比率が 0.5：1：2.5 の NonAE モルタルについて試験を行った。セメントには普通ポルトランドセメントを、細骨材には 2.5mm 以下の砕砂を使用した。小片凍結融解試験法²⁾の試験条件を変更しスケーリング抵抗性を評価した。モルタル供試体（ $4\times 4\times 16\text{cm}$ ）から 8mm 角程度にカットし、この小片を試験体とした。凍結融解のサイクルは、最低温度で 16 時間保持と最高温度で 8 時間保持の 1 サイクル 24 時間として、5 サイクル行った。また、降温・昇温を行わず、最低温度で 5 日間放置する試験を行った。蒸留水または 3mass% の NaCl 水溶液に試験体を浸漬させ試験を行った。降温・昇温過程での温度変化を熱電対式自動温度計により測定した。

3. 実験結果

小片凍結融解試験の結果を図-1 に示す。質量残存率は、試験前の試験体と試験後 2.5mm ふりい上に留まる試験体との質量比であり、値が低いほどスケーリングが進行している事を表す。凡例の線は、最低温度が同じで最高温度（横軸、プロット）を変更した場合での質量残存率の変化を示す。 -40°C の線でプロットが -3°C の場合は $-40\sim-3^{\circ}\text{C}$ の間で降温・昇温を行ったことを表す。蒸留水の場合(a)、すべての試験条件で質量残存率が 95%以上でありスケーリングが起こらない。NaCl 水溶液の場合(b)では、最低温度が -40°C では、最高温度が -20°C 以下では質量残存率が 90%以上とスケーリングは起こらず、 -20°C 以上では質量残存率が低下しスケーリングが生じている。最低温度がスケーリング温度（約 -8°C ）以上の場合では、降温・昇温によるスケーリングは生じていない。最低温度が $-40\sim-10^{\circ}\text{C}$ の場合、 $-20\sim-3^{\circ}\text{C}$ の範囲でスケーリングが顕在化する。最低温度で 5 日間放置した場合では -20 と -15°C において、スケーリングが生じた。冷凍庫は温度を一定に保持するためファンの ON と OFF を自動的に行って

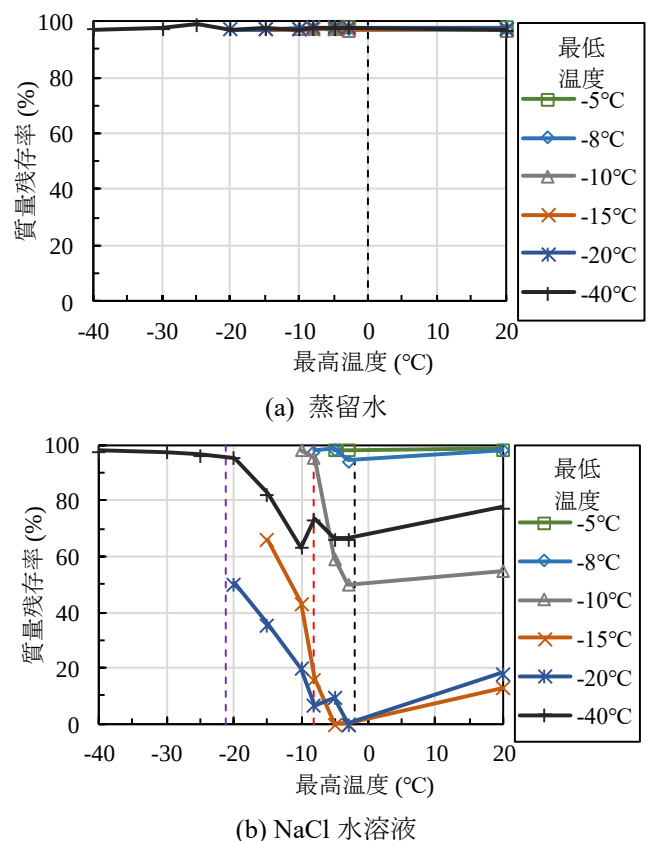


図-1 小片凍結融解試験結果

キーワード：凍害，ソルトスケーリング，凍結防止剤，凍結融解条件

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4 丁目 3 番 5 号 岩手大学理工学部システム創成工学科 TEL019-621-6443

おり、設定温度を 2°C 程度上下する。その温度の上下によりスケーリングが生じていると考えられ、-20 と -15°C 付近での温度の上下がスケーリングに及ぼす影響が大きいことを示していると考えられる。

蒸留水と NaCl 水溶液の降温・昇温過程での温度変化を図-2 に示す。蒸留水の場合、降温過程では 0°C 一定で凍結した後に冷凍庫内の温度まで低下、昇温過程では 0°C まで昇温した後に 0°C 一定で融解する。NaCl の場合、降温過程では、過冷却解消後、温度一定では凍らず、温度勾配が小さい変化が生じる。1 と 3% の場合 -15°C 以下では蒸留水と同程度の温度勾配となる。また、3 と 10% の場合 -25°C 以下で昇温が起こり冷凍庫内の温度に達する。昇温過程では、-40~-21°C の範囲では蒸留水と同程度の温度勾配で昇温し、-21°C（共晶点）一定の期間があり、その後温度勾配が小さい変化が生じる。温度一定の時間は濃度が高いほど長い。1 と 3% の場合 -21~-15°C の範囲では蒸留水と同程度の温度勾配で昇温した。

次に、この温度変化と図-3 に示す水と NaCl の 2 成分系の相平衡図³⁾より降温・昇温過程での水溶液の形態を評価する。温度勾配が小さい範囲（-21°C~凝固点）は、純水と NaCl 水溶液が混在した状態であり、降温に伴い NaCl 水溶液の凍結が進行し、純水の生成（発熱）と水溶液の濃縮（凝固点の降下）が生じる。共晶点で NaCl 結晶の析出がおこる。共晶点以下の温度では、純水と NaCl 結晶が共存しているため、線膨張係数による収縮・膨張が起こる。

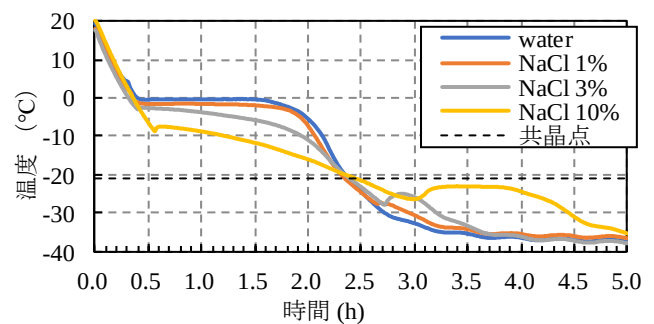
小片凍結融解試験結果を NaCl 水溶液の形態から考察すると、共晶点以下での純水と NaCl 結晶の温度による収縮・膨張はスケーリングに及ぼす影響が小さいと考えられる。最低温度が -8°C 以上の場合では、純水の割合が小さいためスケーリングが生じないと考えられる。一方、スケーリングが生じる、最低温度 -40~-10°C かつ最高温度 -20~-3°C の場合では、降温・昇温により一部の凍結融解が生じ、この凍結融解作用がソルトスケーリングに影響していると考えられる。

4. まとめ

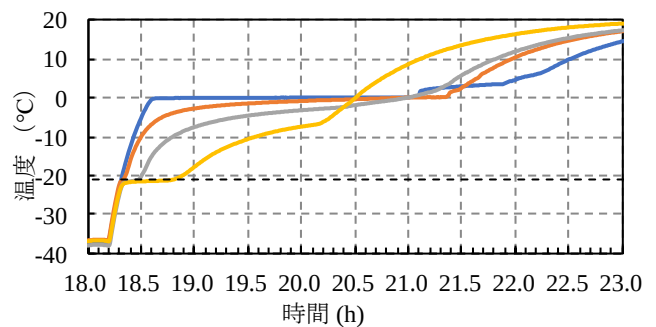
蒸留水の場合では、スケーリングが発生しなかった。一方、NaCl 水溶液の場合では、-40~-25°C および -8~-3°C の範囲ではスケーリングが起こらず、-20~-8°C の範囲で降温・昇温または、この温度範囲を降温・昇温の際に通過する場合ではスケーリングが生じた。NaCl 水溶液の凍結時の体積増加がソルトスケーリングに影響している。

参考文献

- 1) 田中館悠登, 羽原俊祐, 小山田哲也, 我満俊文: 凍結防止剤によるスケーリング現象に及ぼす冷却最低温度の影響とスケーリング温度, セメント・コンクリート論文集, Vol. 70, pp. 371-377, 2016
- 2) 小山田哲也, 羽原俊祐, 高橋拓真, 高橋俊介: スケーリング劣化を考慮した新しい凍結融解試験法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp. 935-940, 2011
- 3) G. Westphal et al.: Sodium chloride, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, vol. 33, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 319-365 (2000)



(a) 降温過程



(b) 昇温過程

図-2 溶液の温度測定

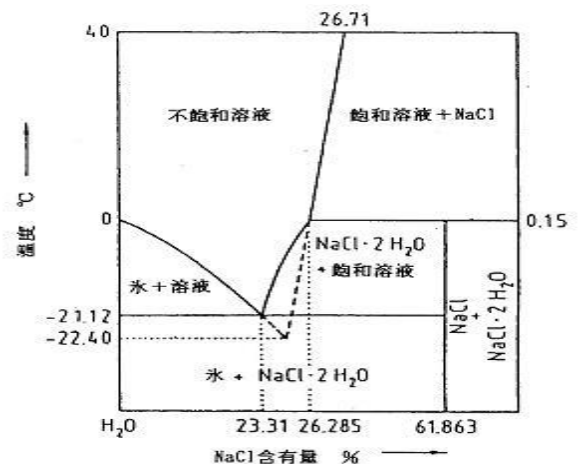


図-3 水-NaCl の相平衡図³⁾