

凍害によるコンクリートのひび割れ伝播に関する研究 Study on Crack Propagation in Concrete by Frost Damage

小山田 哲也, 羽原 俊祐, 樊 小義, 高橋 慧, 田中館 悠登
Tetsuya Oyamada, Shunsuke Hanehara, Fan Xiaojin, Kei Takahashi, Yuto Tanakadate

岩手大学
Iwate University

積雪寒冷地の凍結防止剤を散布されたコンクリート構造物に顕在化しているスケーリング劣化について、ひび割れの伝播過程を μX 線顕微鏡による CT 画像により確認した。その結果、塩化ナトリウムを凍結防止剤として使用した場合は、コンクリート表面に対して水平にひび割れが伝播することが分かった。一方、酢酸ナトリウムの場合は、内部にひび割れが伝播する。また空気量を多くしたコンクリートは、ひび割れが連行された空気を縫うように発生する傾向が見られた。

キーワード： コンクリート、スケーリング劣化、凍結防止剤、ひび割れ、連行空気

背景と研究目的：

積雪寒冷地域のコンクリート構造物に凍害によるスケーリング劣化が顕在化している[1]。スケーリングとは、コンクリート表面がフレーク状に剥がれる現象であり、スパイクタイヤが規制された平成4年以降、多く見られるようになった。劣化初期には表面から剥離し、内部のコンクリートは比較的健全であるため、問題とはならなかったが、近年、このスケーリング劣化が重大化して橋梁の床版に穴が開くなどの問題が見られるようになった。この対処法として、コンクリート中に連行空気が入れているが、根本的な解決には至っていない。

凍害はコンクリート中の水が凍結して体積膨張することによって発生すると考えられている[2]。その際にコンクリート内にはひび割れが生じる。ひび割れの伝播の方向や程度を微視的に解明することが劣化メカニズムを考える上で重要であると考えられるが、これまでに検討した例はない。

そこで本研究では、スケーリング劣化によるコンクリートのひび割れの伝播について μX 線顕微鏡による CT 画像を用いて検討することとした。

実験：

測定試料は、27種類の条件を設定したモルタルあるいはコンクリート試料とした。本報告ではその中でも代表的な結果が得られた7例を示している。供試体の寸法は $7 \times 7 \times 7$ mm のモルタルを劣化させて 6 mm 角程度になったものまたは劣化させたコンクリートから劣化面を $7 \times 7 \times 20$ mm の寸法に切断したコンクリートとした。モルタルに 5 mm 以上の骨材を混合したものがコンクリートであり、骨材の大きさが供試体寸法に対して大きいため、基本的にモルタルを使用した。モルタルは AE 剤による空気を連行していない。一方、コンクリートには凍害対策として連行空気を導入した。

この供試体を 3%の重量パーセント濃度の凍結防止剤溶液に浸して、 -20°C の冷凍庫内で 12 時間凍結させ、その後 20°C の恒温室内で 12 時間融解させる工程を 1 サイクルとして、モルタルの場合で 3 サイクル、コンクリートで 50 サイクルの凍結融解繰り返しを与えた。

測定条件を表 1 に示す。観察対象は、供試体内部あるいは表面に発生しているひび割れである。解像度から $2.86 \mu\text{m}$ を超えるひび割れは検出が可能となる。

表 1. 測定条件

項目	設定
エネルギー	36 keV
カメラ	PCO Edge, 2×lens
解像度	$2.86 \mu\text{m}/\text{pixel}$

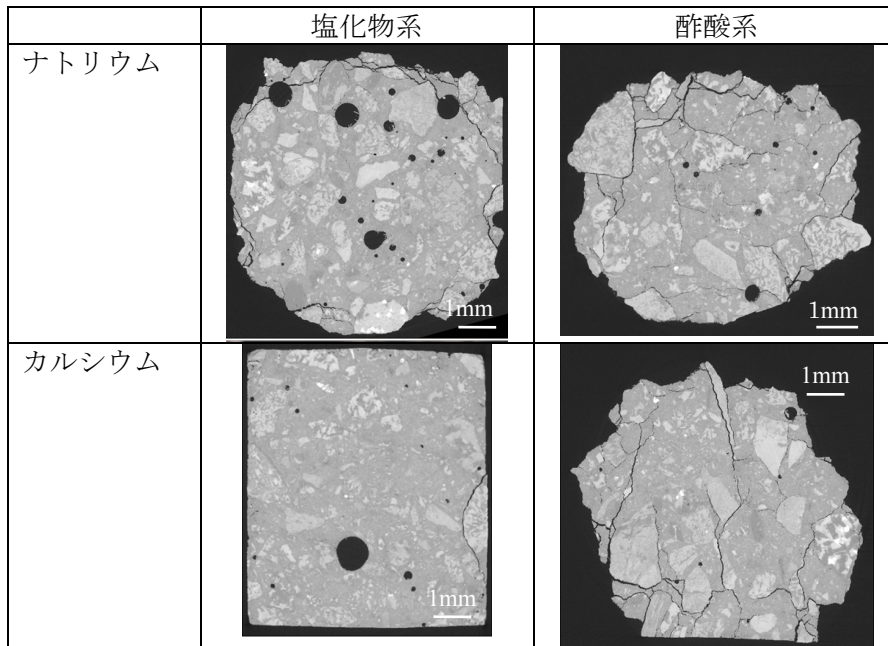


図 1. 凍結防止剤の種類による劣化状況

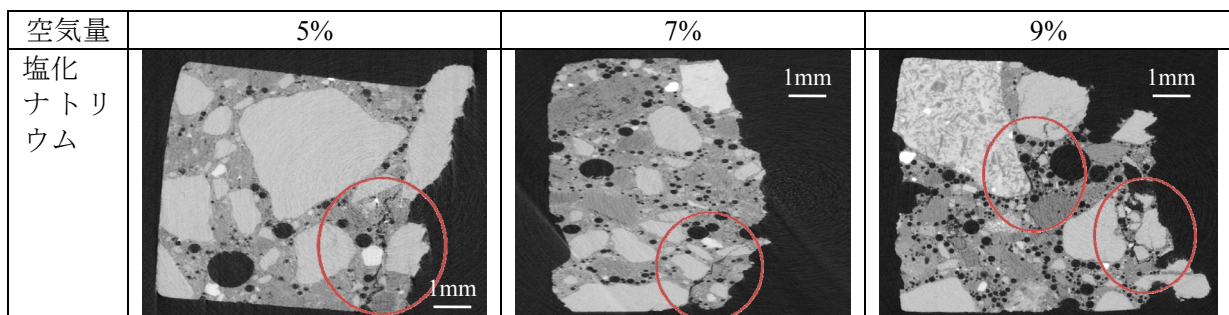


図 2. コンクリートの空気量による劣化状況

結果および考察：

図 1 に凍結防止剤の種類を変更した 4 種類のモルタルの CT 画像を示す。凍結防止剤は図中に記載している。凍結防止剤の種類により、劣化の状況は変わっている。塩化物系の凍結防止剤は、表面にのみひび割れが発生していることが分かる。

一方、酢酸ナトリウムの場合には、内部にひび割れが多く伝播している。

図 2 に凍結防止剤を塩化ナトリウムとして、空気量を 3 水準とした劣化コンクリートの CT 画像を示す。連行空気がコンクリート中の黒丸であり、空気量が多くなるに従って多くなっている。○を記載している位置にひび割れが見られる。凍結融解抵抗性には、連行空気が効果的であり、凍結膨張した際に発生する水圧を緩和すると考えられている。空気量 5% の場合は、ひび割れは、セメントペースト内を貫通している。これは連行空気が少ないためであると考えられる。一方、9% の場合には、連行空気が多く、ひび割れは連行空気を縫うように貫通している。すなわち体積膨張しようとした水を連行空気に導入する際に強度が水圧に耐えられずに破壊する傾向が見られ、空気量には限界が存在するものと考えられる。この結果は空気量 7% で劣化が少ないとの一連の傾向と附合しており、CT 画像による観察が原因の究明に有効であることが分かった。

まとめ：

本研究では、凍結融解で劣化したコンクリート中に発生する微細なひび割れの貫通の方向やその程度を検討することにより、スケーリング劣化のメカニズムを考察しようとした。得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 塩化物系凍結防止剤と酢酸系では劣化の形態が異なるものと考えられる。
- 2) 塩化物系凍結防止剤は、コンクリート表面に平行にひび割れが見られる。

- 3)酢酸系凍結防止剤は、コンクリート内部にひび割れが達する。
- 4)コンクリート中の空気量の多少を μX 線顕微鏡で確認することが出来る。
- 5)空気量の少ないコンクリートはひび割れがセメントペーストと連行空気を貫通する。
- 6)空気量が多い場合は、ひび割れが気泡を縫うように伝播し、劣化を助長する原因となる。

謝辞：

本研究は株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北の研究助成をもとに行ったものであり、関係各位に深甚の謝意を表す。

参考文献：

- [1] 小山田哲也、コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会報告書, P.21 (2008)
- [2] T. C. Powers, *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.16, No.4, pp245-272 (1945).