

## 凍害および凍結防止剤の影響を受けるセメント硬化体の空隙構造評価

北海道大学大学院	正会員	○橋本	勝文
北海道大学大学院	フェロー	横田	弘
北海道電力株式会社	正会員	三上	純
北海道大学大学院	正会員	杉山	隆文
北海道大学大学院	学生会員	吉川	昂純

## 1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地において、コンクリート構造物の凍害は深刻な劣化現象の一つである。凍害は部材表面のスケーリングや微細ひび割れおよびポップアウトなどを生じさせる。また、塩化物イオンを主成分とする凍結防止剤成分の浸透に伴う凍害の促進および凍害と塩害の複合劣化に関する報告が数多くなされている。しかしながら、硬化体特性を支配する凍結融解作用下の空隙構造や空隙構造に及ぼす凍結防止剤成分の影響は未だ不明確な点が多い。

## 2. 目的

本研究では、凍結防止剤(NaCl)散布の有無を想定したセメント硬化体の空隙構造に関して複数の手法により多次元的な情報を取得するとともに、物質移動抵抗性(実効拡散係数)を評価する。多次元空隙構造解析は、水銀圧入法およびX線CT法により、空隙構造を表わす指標として、累積細孔量あるいは閾細孔径、細孔径分布、3次元気泡分布および屈曲度を定量化して行う。

## 3. 供試体および凍結融解試験

試験体は40×40×160mmの角柱モルタルとし、使用するセメントは普通ポルトランドセメントとした。W/Cを0.5とし、モルタルを構成する水とセメントと細骨材の割合は、0.5:1:3(質量比)とした。なお、細骨材には勇払産の細骨材を用い、1.7mmのふるいを通したものを使用した。打込みから24時間後に脱型し、20℃の水中で材齢28日まで水中養生した。養生終了後、供試体の中でブリーディングの影響が少ないと思われる中心部から、幅30mm×長さ70mm×厚さ5mmの薄片供試体を切り出した。凍結融解試験では、図-1に示す温度履歴を設定した。このとき、1サイクル終了毎に20℃を1時間保持した。0サイクル(養生期間終了後)、20サイクルおよび50サイクル終了後に所定の実験項目を実施した。なお、全てのサイクル開始前および5サイクル経過後に試験片にイオン交換水あるいは3mass%NaCl水溶液を真空吸水させ、封緘状態で凍結融解試験を実施した。

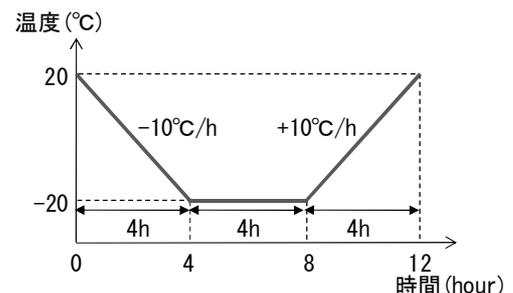


図-1 凍結融解試験における温度履歴

## 4. 水銀圧入法による空隙構造評価

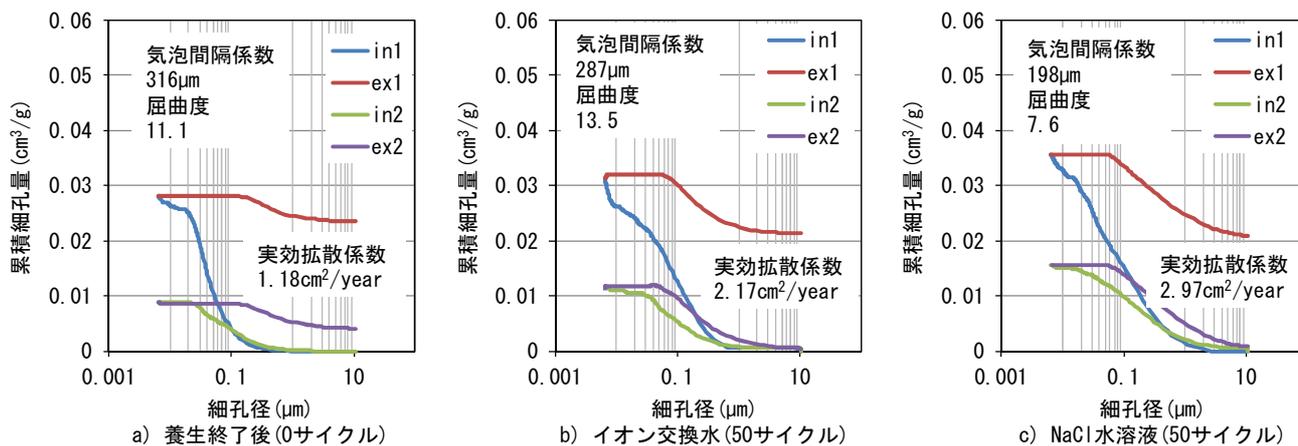
6.6nm~10μmの細孔径分布を得るための水銀の加圧曲線に加え、既往の研究<sup>1)</sup>に基づき水銀の減圧曲線に着目することにより、細孔の連続性を評価することを試みた。すなわち、減圧曲線により得られる水銀の排出量が多いほど、試料内に残留する水銀量が少なく、インクボトル細孔が少なく細孔の連続性が高いことになる。

## 5. X線CTによる空隙構造評価

薄片供試体に対して凍結融解試験を行った後、さらにマイクロカッターを用いて5mm×5mm×30mmの角柱供試体を作製し、X線CT撮影を実施した。本研究で使用したマイクロフォーカスX線CTスキャナは、1画素サイズが8.5~9.0μmである。なお、得られたX線CTのデータから気泡間隔係数を算出し、さらにランダ

キーワード 凍害, 凍結防止剤, 空隙構造, 水銀圧入法, X線CT, 実効拡散係数

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究院 TEL 011-706-6204



(in は加圧過程, ex は減圧過程, 数字は 1 回目, 2 回目を示す)

図-1 細孔径分布

ムウォークシミュレーション<sup>2)</sup>(以下, RWS)を用いて, 気泡が形成する連続した空間の屈曲度を算定した.

### 6. 実効拡散係数の測定

塩化物イオンの実効拡散係数を求めるために微小拡散セル試験<sup>3)</sup>を実施した. 5mm×5mm×5mm の試験片を切り出し, 飽和酸化カルシウム水溶液と 5mass%塩化ナトリウム水溶液を封入したセルにより試験片を挟み, 2週間経過後の塩化ナトリウム側の塩化物イオンの濃度変化を測定した. 濃度変化と単位時間および単位面積あたりに移動するイオン量に関して, フィックの拡散則に基づき塩化物イオンの実効拡散係数を算出した.

### 7. 実験結果

図-1に, 養生期間終了後(0 サイクル), イオン交換水および 3mass%NaCl 水溶液(50 サイクル終了後)を用いた場合の試料について得られた細孔径分布を示す. 本研究では, 2回連続して加圧(in1 および in2)と減圧(ex1 および ex2)を繰り返すことで得られる加圧および減圧曲線により示される水銀排出量および水銀残留量から空隙連続性を評価した. 気泡間隔係数および RWS により算定される屈曲度と実効拡散係数を図-1中に示す. これより, 凍結融解作用および NaCl の浸透により累積細孔量は増加し(in1), 水銀排出量は増加した(ex1). これは2回目の加圧および減圧曲線にも高い再現性の下で現れた. 一方で, 水銀残留量に大きな変化はなく, 連続性の高い空隙が累積細孔量の増加に寄与したと考えられる. このとき, 8.5~9.0μm 以上の気泡について気泡間隔係数や屈曲度は減少したことから, 凍結融解作用および NaCl の浸透により孔径の大きな気泡の連続性も高くなったことが推察され, 特に, NaCl の浸透の影響が大きいことが確認された.

### 8. まとめ

空隙構造を示す多次元の指標を用いて, 凍結融解作用および NaCl の浸透が空隙連続性の増加に影響を及ぼすことがわかった. さらに, 物質透過性を示す実効拡散係数の増加が空隙構造あるいは連続性の変化と同様に関連付けて示された.

### 9. 謝辞

本研究は, 平成 22 年度土木学会吉田研究奨励賞を授与された研究課題である. ここに記して謝意を表す.

### 参考文献

- 1) 斎藤豪ほか: 水銀圧入式ポロシメータの加圧減圧履歴曲線を用いたモルタル供試体の空けき連続性評価の検討, *Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan*, Vol.16, pp.158-164, 2009.
- 2) 増田亜由子ほか: 放射光 X 線 CT によるセメントペーストの材齢経過に伴う微細構造変化の観察, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.32, No.1, pp.539-544, 2010.
- 3) Otsuki, N., et al.: New Test Methods for Measuring Strength and Chloride Ion Diffusion Coefficient of Minute Region in Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol.101, No.2, pp.146-153, 2004.