

異なる凍結融解温度履歴を受けるモルタルの空隙構造評価

北海道電力株式会社	正会員	○三上 純
北海道大学大学院	フェロー	横田 弘
北海道大学大学院	正会員	橋本 勝文
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では、コンクリートの凍害は深刻な劣化現象の一つである。部材表面ではスケーリングや微細ひび割れ、ポップアウトなどが見られるが、凍結融解による内部劣化のメカニズムは未だ解明されていない。そこで本研究では、凍結融解作用を受けたモルタルを対象に、X線CT法や水銀圧入法を用いて内部空隙構造の解析を行い、凍結融解サイクルにおける温度履歴がモルタルの空隙構造に及ぼす影響について考察する。さらに、凍結融解作用に曝されたモルタルの塩分実効拡散係数の測定を行い、温度履歴の違いがモルタルの塩分浸透性状に与える影響を考察する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

供試体は40×40×160mmのモルタルで、使用するセメントは普通ポルトランドセメント、W/Cは0.5、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1.7mmのふるいを通過したものを使用し、AE剤は使用していない。打込みから24時間後に脱型し、20℃の水中で材齢28日まで封緘養生した。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、1体の供試体につき10枚の試験片(約30×70×5mm)を切り出した。なお、試験片は、切り出した後にアセトン処理により水和を停止させた。

2.2 凍結融解試験

本研究における凍結融解温度履歴は、RILEM CDF法(以下、RILEM)を参考にして設定したものである。RILEMでは1サイクルに12時間を要するが、本研究では1サイクルあたりの時間を変えた合計4種類の温度履歴を用意した。すなわち、1サイクル当たりの時間を従来通りの12時間としたRILEM12hr、6時間としたRILEM6hr、4時間としたRILEM4hrおよび2時間としたRILEM2hrの4パターンである。いずれの場合もサイクル総数は10サイクルとした。なお、試験開始前および5サイクル経過後に試験片にイオン交換水を真空吸水させた。

2.3 空隙構造解析の方法

(1) X線CTを用いた空隙構造解析

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、表示画素数が1024×1024pixels、1画素サイズが8.5~9.0μmである。本研究では、一層の厚さが15μmの断層画像を355層撮影した。また、X線CTのデータからランダムウォークシミュレーション(以下、RWS¹⁾)を用いて、内部空隙の連続性が評価できる屈曲度を算定した。屈曲度とは空隙の屈曲を表す指標であり、1に近づくほど連続性が高いと考えられる。

(2) 水銀圧入法を用いた空隙構造解析

水銀圧入式ポロシメータを使用し、水銀充填にあたる加圧過程、水銀排出にあたる減圧過程のデータにより空隙径の大きさおよび分布を得た²⁾。特に、本研究では水銀充填(加圧)と排出(減圧)をすべてのサンプル(約5×5×10mm)で2回連続して行った。

キーワード 凍害, 温度履歴, 空隙構造, 水銀圧入法, X線CT, 実効拡散係数

連絡先 〒060-8677 北海道札幌市中央区大通り東1丁目2 北海道電力株式会社 土木火力開発グループ TEL 011-251-1111

2.4 塩分実効拡散係数の測定

所定の凍結融解サイクル終了後に、供試体から約5×5×5mmのサンプルを取り出して、拡散セル試験を行った。実験開始後、7日、14日、21日経過後に溶液0.1mLを採取し、Cl濃度の測定結果から実効拡散係数を算出した。

3. 実験結果

(1) 気泡分布および屈曲度(X線CT)

図-1に示すように、10～20μmの気泡数は、RILEM6hrが最も多くRILEM12hr、RILEM4hr、RILEM2hrと続く結果となった。また、表-1に示すように、RWSによる屈曲度は、RILEM4hrが最も小さくRILEM6hr、RILEM12hr、およびRILEM2hrと続く結果となった。すなわち、10μm以上の気泡および屈曲度はRILEM6hrの凍結融解作用に最も影響を受ける結果となり、この凍結融解温度履歴により空隙連続性が増加したと考えられる。

(2) 細孔径分布(水銀圧入法)

2回目の減圧曲線から、水銀排出量はそれぞれ0.0137(RILEM2hr)、0.0139(RILEM4hr)、0.0178(RILEM6hr)および0.0134cm³/g(RILEM12hr)となっており、RILEM6hrの水銀排出量が最も多くなった。すなわち、10μm以下の細孔はRILEM6hrが凍結融解作用の影響を最も受ける結果となり、連続空隙が増加したと考えられる。RILEM6hrの場合の細孔径分布を図-2に示す。

(3) 塩分実効拡散係数の測定結果

表-1より塩分実効拡散係数はRILEM6hrが最も大きく、RILEM12hr、RILEM4hrおよびRILEM2hrと続く結果となった。すなわち、RILEM6hrが塩分浸透拡散係数を最も大きくする凍結融解温度履歴であると考えられる。

4. まとめ

1サイクル当たり6時間の凍結融解作用がモルタル中の10～20μmの気泡分布や空隙連続性を増加させ、結果として塩分浸透拡散速度も増加させるという結果を得た。

5. 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示す。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 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げき連続性評価の検討，*Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan*，Vol.16，pp.158-164，2009。

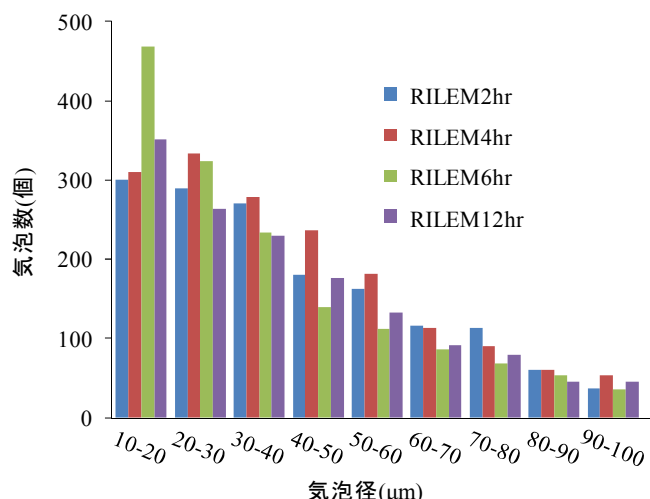


図-1 気泡分布

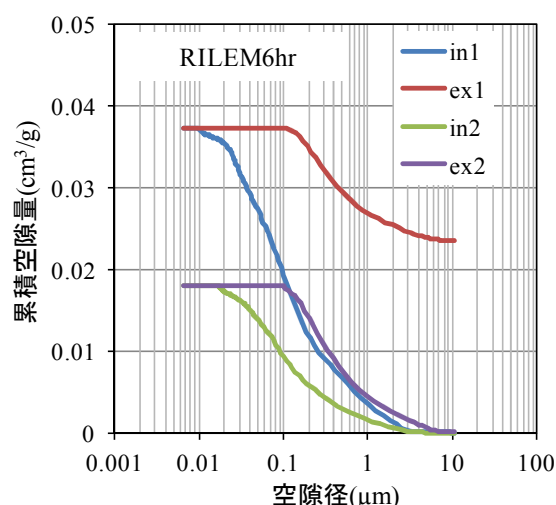


図-2 空隙径と累積空隙量の関係(RILEM6hr)

(inは加圧過程，exは減圧過程，数字は1回目，2回目を示す)

表-1 屈曲度および塩分実効拡散係数

凍結融解サイクル	屈曲度	塩分実効拡散係数 (cm ² /year)
RILEM2hr	16.26	95.0512
RILEM4hr	5.344	136.2106
RILEM6hr	6.583	171.262
RILEM12hr	7.462	148.7805