凍結融解作用を受けたモルタルの水銀圧入法を用いた空隙構造解析

Pore Structure Analysis of Mortar under Freeze-Thaw Action by Mercury Intrusion Porosimeter

北海道大学 工学部 学生会員 ○三上純 Atsushi Mikami 北海道大学大学院 工学研究院 フェロー会員 横田弘 Hiroshi Yokota 北海道大学大学院 工学研究院 正会員 橋本勝文 Katsufumi Hashimoto

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は、コンクリート中の水分が凍結融解を繰り返すことによる膨張圧が要因と考えられる。しかしながら、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。この劣化メカニズムを解明するため、内部劣化の空隙構造の把握が重要である。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、水銀圧入法を用いた内部空隙構造解析を行い、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。

2. 実験概要

(1) 供試体

供試体は 40×40×160mm のモルタルとした. 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 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. 打設から 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(30×70×5mm)を切り出した. なお、試験片を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) 凍結融解サイクル

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、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 $^{1)}$. 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 (表-1 参照). いずれの場合もサイク ル総数は 10 サイクルとした. 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を 真空吸水させた. 所定の凍結融解サイクル中は, 試験片 表面に熱電対(各実験ケースにつき1体)を貼付して測 定を行った. 既往の報告²⁾において, 残留ひずみは RILEM6hr が最も大きく、凍結融解作用に伴う劣化が著 しいことが確認されている. 本研究では, 以上の RILEM2hr, 4hr, 6hr および 12hr における空隙構造の違 いを水銀圧入法により得られる結果を用いて考察する.

表-1 凍結融解サイクル

名称	最高温度 保持時間	最低温度 保持時間	昇温・降温速度
RILEM2hr	10分	30分	±60°C/h
RILEM4hr	20分	60分	±30°C/h
RILEM6hr	30分	90分	±20°C/h
RILEM12hr	60分	180分	±10°C/h

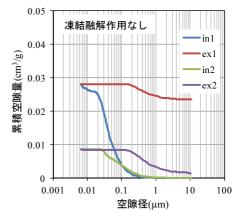


図-1 細孔径分布 (凍結融解なし)

(3) 水銀圧入実験

本研究では、モルタル内部の空隙構造解析の手法として水銀圧入法を用いた。この手法は試験片に段階的に圧力を加えて、内部の空隙に水銀を充填していくものである。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や分布を得ることができる^{2),3)}、特に、本研究では空隙連続性の評価に関する新たな知見を得るために、水銀充填(加圧)・排出(減圧)をすべての試験片で2回連続して行った。

3. 実験結果

図- $1\sim5$ に水銀圧入法による加圧・減圧曲線を示す. なお, in1 および ex1 は 1 回目の加圧および減圧曲線, in2 および ex2 は 2 回目の加圧および減圧曲線を示している.

(1) 細孔径分布

図-1~5 の累積空隙量はそれぞれ 0.028, 0.036, 0.032, 0.037 および 0.039 cm³/g となっている. 凍結融解作用がない場合と凍結融解作用を受けた他の結果を比較すると, 累積空隙量が増加しており, 凍結融解作用が空隙量の増加に影響を及ぼしていることがわかる. また, 最も長い時間凍結融解作用下に曝された RILEM12h が最も空隙量が多く, その次に長い時間凍結融解作用下に曝された RILEM6hr, 最も温度勾配が大きい凍結融解作用下に曝

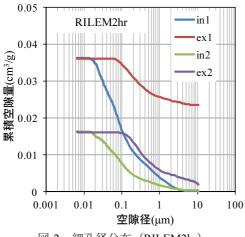
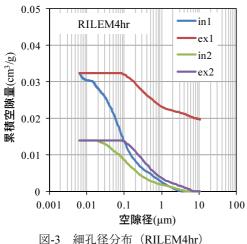


図-2 細孔径分布 (RILEM2hr)



凶-3 神礼侄分布(KILEM4ni

された RILEM2hr が続く結果となった.

(2) 空隙連続性

加圧・減圧曲線により、セメント硬化体内部の空隙構 造の違いが、水銀残留量と排出量の差として現われるこ とが報告されている²⁾. つまり,加圧・減圧曲線では空 隙連続性が示され, 残留量が少なく排出量が多いほど連 続性が高く, 残留量が多く排出量が少ないほど連続性が 低いと考えられる. 図-1~5 の 1 回目の減圧曲線(ex1)か ら,水銀の排出量はそれぞれ 0.004, 0.014, 0.012, 0.013 および 0.010 cm³/g となっている. 凍結融解作用を 受けた場合の結果を比較すると, 温度勾配が大きい凍結 融解作用下に曝された RILEM2hr が最も空隙連続性が高 く, RILEM6hr, RILEM4hr および RILEM12hr の順にな った. また, 図-1~5 の 2 回目の減圧曲線(ex2)から, 水 銀の排出量はそれぞれ 0.0072, 0.0137, 0.0139, 0.0178 および 0.0134 cm³/g となっており、凍結融解作用を受け た結果を比較すると、RILEM6hr が最も排出量が多く、 同時に2回目の水銀の充填量も多い. 本研究で得られた すべての結果において、1回目の減圧(ex1)で排出された 水銀が2回目の加圧(in2)で再度充填されたと考えられ, さらに、1回目と2回目の排出曲線がほぼ同じ軌跡を描 いている. すなわち, ex1, in2 および ex2 の曲線は高い 再現性の基に連続空隙を現わしている.以上より,

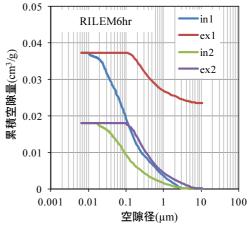


図-4 細孔径分布 (RILEM6hr)

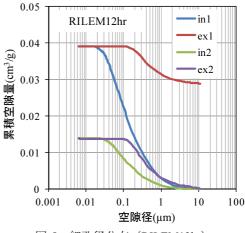


図-5 細孔径分布 (RILEM12hr)

RILEM6hr が最も空隙連続性が高くなったことが示された.

4. まとめ

凍害劣化の進行に伴い、空隙連続性の増加が確認された.特に、水銀圧入法による加圧・減圧を2回連続して行うことにより、1サイクル当たり6時間の凍結融解作用が最も空隙連続性を増加させる結果となることを評価できた.

5. 参考文献

- 1) 橋本勝文,横田弘,佐藤靖彦,三浦泰人:温度履歴 の異なる凍結融解試験によるモルタルの引張特性評 価,コンクリート工学年次論文集,Vol.33,No.1, pp.929-934,2011.
- 斎藤豪, 大即信明, 橋本勝文, 坂井悦郎: 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.
- 3) 吉田亮, 岸利治: 水銀圧入過程における内部空気泡の関与と水銀圧入の有効圧力範囲に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.60, pp.68-75, 2007.