

水銀圧入法および画像解析法で得る空隙指標と水分移動現象の関係に関する研究

名古屋工業大学
名古屋工業大学大学院
金沢大学

学生員
正会員
正会員

○小倉 夏槻
吉田 亮
五十嵐心一

1. はじめに

コンクリート構造物の適切な維持管理が求められるなかで、コンクリート中の水分浸透性状を的確に予測する必要がある。セメントペースト中の毛細管空隙構造は水分の侵入経路と考えられ、分析が行われてきた。

毛細管空隙の把握には水銀圧入法と画像解析法が広く用いられている。水銀圧入法の測定可能範囲は数10nm～数1000nmであり、画像解析法の測定可能範囲は数μm～数1000μmである。しかし、それぞれの方法で得られる空隙指標と水分移動性状との関係について明確な合意は得られていない。

本研究では、水銀圧入法と画像解析法で得られる空隙指標について、透水係数など、水分移動性状との関係について検討することを目的とする。

2 実験概要

2.1 使用材料および供試体の作製

表-1に示すようにW/B、養生、材齢の条件を設定し、空隙径を変化させた。セメントのほかに高性能AE減水剤、増粘剤、消泡剤を添加した。打設2日後に脱型を行い、気中養生は温度20℃、湿度40%の恒温恒湿室にて、水中養生は水温20℃を保持した水道水中において、所定材齢まで静置した。その後、セメントペースト供試体を各種評価試験に要する大きさに切断・研磨し、7日間以上アセトンに浸漬させた。水和反応停止後、7日間の真空乾燥を行った。

2.2 水銀圧入法による空隙構造の評価

水銀ポロシメータを使用した。測定は、0～124 MPaの圧入過程を同一試料に対し2回繰り返した。1回目の圧入過程からは従来の圧入曲線を、2回目の圧入曲線からは、インクボトル空隙量を排除した連続空隙量曲線を取得した。また、物質移動性に関する空隙径として、1回目の圧入曲線の傾きが0.020以上になるときの空隙径をしきい空隙径、1回目の圧入曲線の傾きが

表-1 作製供試体

記号	W/B	結合材	養生条件	材齢
O	30、40、50、60、70	OPC	気中(a)	7、14、28d
			水中(w)	

最大になるときの空隙径を限界空隙径として採用した。また、2回目の圧入曲線の傾きが0.015以上になるときの空隙径を連続しきい空隙径、2回目の圧入曲線の傾きが最大になるときの空隙径を連続限界空隙径として定義した。

2.3 画像解析法による空隙構造の評価

真空乾燥後の供試体(一辺6mm程度の立方体)を、低粘度エポキシ樹脂を含浸させ、常温にて硬化させた。研磨材を用いて面出しをし、研磨面を再含浸させて丁寧に研磨し、走査電子顕微鏡の観察試料とした。観察は、低真空状態において加速電圧25kV、観察倍率500倍とし、無作為に10断面の反射電子像を抽出した。画像解析ソフトを用いて、毛細管空隙を着目相とする二値化を行い、空隙率の算出を行った。

2.4 水分移動性の評価

水分の移動性を評価するために、透水試験、吸水試験、乾燥試験を行った。

透水試験は、所定材齢後24時間、水酸化カルシウム飽和溶液にて真空吸水を行い、アウトプット法により透水試験(透水量の計測)を行った。

吸水試験は、脱イオン水に浸してから5、15、30分、1、2、3、24時間における質量を測定し、その値を吸水率・吸水速度の算出に用いた。

乾燥試験は、RH30%のデシケータ内に静置してから1、2、3、24時間における質量を測定し、その値を乾燥率・乾燥速度の算出に用いた。

3 実験結果および考察

3.1 各種空隙径と物質移動性の関係

(1) 透水係数としきい空隙径・連続しきい空隙径

図-1に透水係数としきい空隙径・連続しきい空隙径

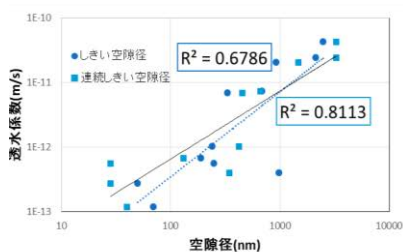


図-1 透水係数としきい空隙径

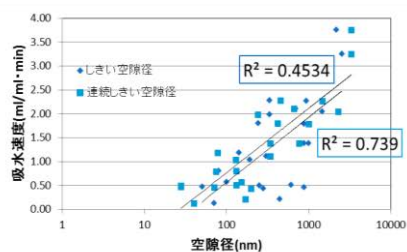


図-2 吸水速度としきい空隙径

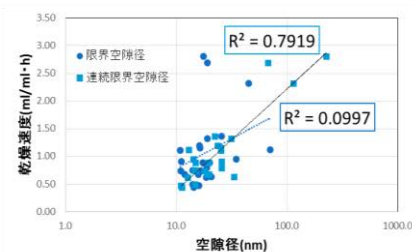


図-3 乾燥速度と限界空隙径

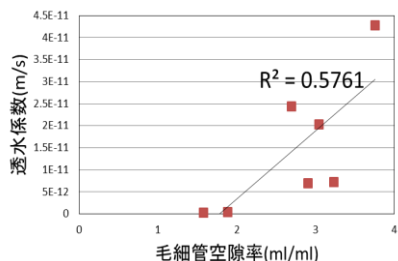


図-4 透水係数と毛細管空隙率

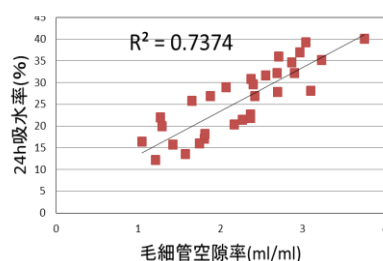


図-5 吸水率と毛細管空隙率

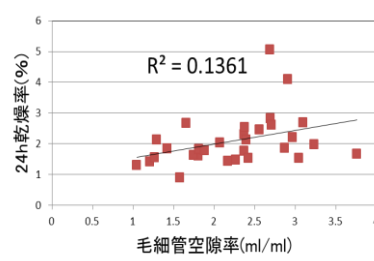


図-6 乾燥率と毛細管空隙率

との関係を示す。連続しきい空隙径との間にはより強い相関がみられた。これは、インクボトル空隙による影響を排除したことにより、毛細管空隙内の水分の透過性状を表すことができたためと考えている。

(2) 吸水速度と連続しきい空隙径

図-2 に 0～5 分の吸水速度としきい空隙径・連続しきい空隙径の関係を示す。両者の間には相関がみられた。連続しきい空隙径は、連続空隙の中でも水の浸入が始まるときの空隙である。従来のしきい空隙径では相関がみられなかった原因は、内部の空気と水の置換がしにくいインクボトル空隙を含んで測定しているために正しく水の浸入のしやすさを捉えることができなかったと考えている。

(3) 乾燥速度と連続限界空隙径

図-3 に 1～2 時間の乾燥速度と限界空隙径・連続限界空隙径の関係を示す。連続限界空隙径は連続空隙の中でも、パーコレーションを形成する空隙径である。従来の限界空隙径では相関がみられなかった原因は、水が排出しにくいインクボトル空隙を含んで測定しており、正しく水の排出のしやすさを捉えることができなかったと考えている。

3.2 画像解析法による空隙指標と水分移動性状

(1) 透水係数と毛細管空隙率

図-4 に透水係数と毛細管空隙率との関係を示す。測定が少なく、検討の余地を残すが、透水係数と毛細管空隙率との間に相関がみられた。

(2) 吸水率と毛細管空隙率

図-5 に 24 時間の吸水率と毛細管空隙率との関係を示

す。両者には強い相関関係が確認できた。24 時間吸水率は微小空隙から粗大毛細管空隙までの全ての空隙量をとらえたものであることを考えると、上記の結果は、画像解析で得る毛細管空隙率から、微小空隙率も測定できることを示唆している。

(3) 乾燥率と毛細管空隙率

図-6 に 24 時間の乾燥率と毛細管空隙率の関係を示す。水分の乾燥は連続した空隙経路の微小空隙がボトルネックとなり、時間依存特性を現す。画像解析では水が排出しにくいインクボトル空隙を評価できておらず、両者に相関がみられなかったと考えている。

4. まとめ

本研究は、測定原理の異なる水銀圧入法と画像解析法の 2 方法から得られる空隙指標と水分移動性状の関係を検討した。本研究にて得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 水銀圧入法で得られる連続しきい空隙径と透水係数の間には相関関係が示された。
- (2) 連続しきい空隙径は、吸水 0～5 分の初期の現象を捉えることに適していることが示唆された。
- (3) 水銀圧入法で得られる連続限界空隙径は、乾燥 1～2 時間の現象を捉えることに適していると示唆された。
- (4) 画像解析法で得られる毛細管空隙率は、微小空隙も関与する透水性状ならびに吸水性状との相関がみられ、本手法には、微小空隙の推定の可能性も示唆された。