

セメントペースト硬化体における水分移動性状と空隙指標の関係に関する一考察

名古屋工業大学 学生会員 ○小倉夏槻
名古屋工業大学大学院 正会員 吉田亮
金沢大学 正会員 五十嵐心一

1 目的

多孔質材料であるコンクリートは、材料界面ならびにセメントペースト部の空隙構造が力学的特性、耐久性に影響を及ぼすと考えられている。そのため、空隙構造の評価に関する研究が古くより精力的に進められてきた。なかでも、比較的容易かつ精緻なデータが得られる水銀圧入法は広く使用されており、同法で得るしきい空隙径は、透水係数との間に相関関係が示されている。また、走査電子顕微鏡を用いて、セメント硬化体研磨面の反射電子像中に現れる各相を直接観察し、水和反応過程を定量的にとらえる手法として画像解析法がある。しかし、二方法で測定できる測定範囲は大きく異なる。

本研究では、画像解析法および水銀圧入法から求められる空隙指標と、水分移動性状の評価手法である透水試験、吸水試験、乾燥試験との関係を検討し、それぞれの当てはまりについて考察を行う。

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 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

空隙構造を評価するために、水銀ポロシメータを使用して空隙分布の測定を行った。測定は、0-124 MPa の圧入過程を同一試料に対し 2 回繰り返し行った。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

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)	

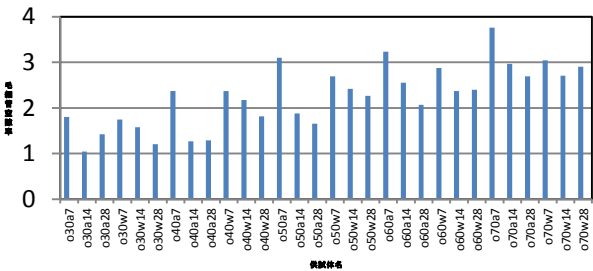


図-1 毛細管空隙率

0.02 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。その後、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、SEM(走査電子顕微鏡)の観察試料とした。

SEM 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、毛細管空隙を着目相とする二値化を行い、面積率の算出を行った。

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(透水量を計測)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。

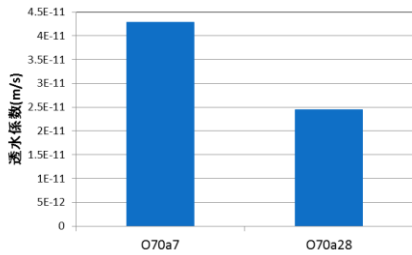


図-2 透水係数

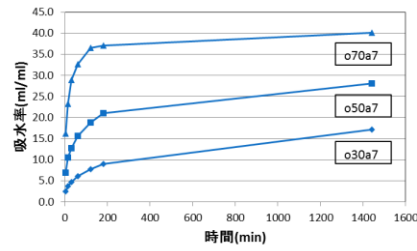


図-3 吸水率

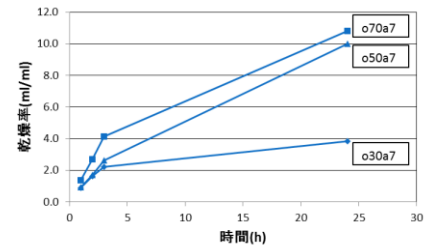


図-4 乾燥率

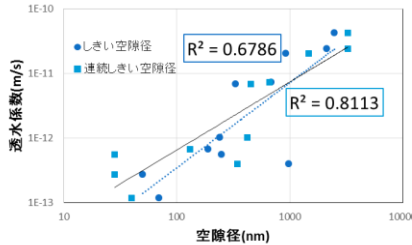


図-5 透水係数としきい空隙径

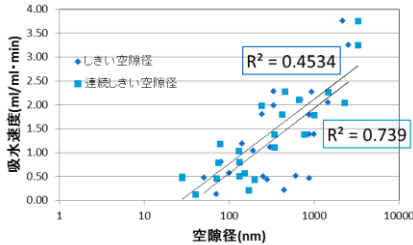


図-6 吸水速度としきい空隙径

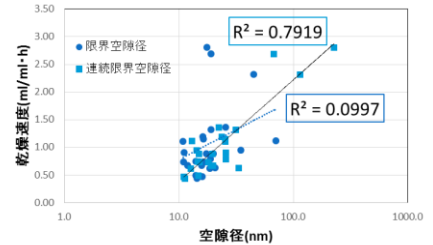


図-7 乾燥速度と限界空隙径

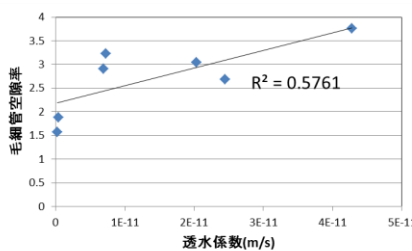


図-8 透水係数と毛細管空隙率

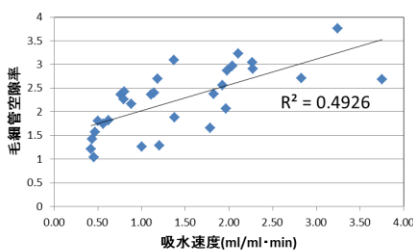


図-9 吸水速度と毛細管空隙率

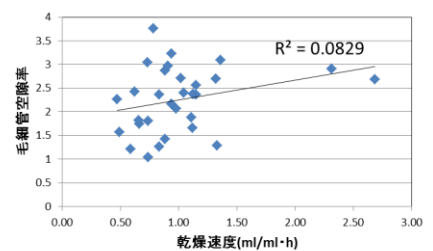


図-10 乾燥速度と毛細管空隙率

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 W/B・養生・材齢と空隙構造の関係

図-1 に画像解析より算出した供試体ごとの空隙率を示す。W/B が小さく、水中養生で材齢が長いもののほど、空隙率は減少し緻密化する傾向がある。

図-2～4 に各種水分移動性状結果の一例を示す。水分移動性の原理が異なるいずれの試験においても、空隙が緻密になると、水分の移動性が低下している。

3.2 水銀圧入法による空隙指標と水分移動性状

図-5～7 に水銀圧入法から得られた各空隙径と透水試験、吸水試験、乾燥試験との関係を示す。

透水係数と連続しきい空隙径との間に、決定係数 0.81 と強い相関がみられた。連続しきい空隙径は液状水の透過に対する指標といえる。

0～5 分の吸水速度と連続しきい空隙径との間に、決定係数 0.74 と強い相関がみられた。インクボトル空隙を分離したことで、液状水の浸入現象をより精緻に表現できたものと考ええる。

1～2 時間の乾燥速度連続限界空隙径との間に、決

定係数 0.79 と強い相関がみられた。こちらもインクボトル空隙を分離したことで、水の排出現象をより忠実に表現できる可能性があると考ええる。

3.3 画像解析法による空隙指標と水分移動性状

図-8～10 に画像解析法から得られた毛細管空隙率と透水試験、吸水試験、乾燥試験との関係を示す。

毛細管空隙率と透水係数および 0～5 分の吸水速度に、ある程度の相関がみられた。しかし、1～2 時間の乾燥速度では、弱い相関であった。

よって、画像解析で得られる毛細管空隙率は透水および吸水の指標になり得ると考える。

4 まとめ

本研究では、水銀圧入法と画像解析法における空隙指標と水分移動性状の関係を検討した。

水銀圧入法では、インクボトル空隙を考慮することで、水の侵入、排出のしやすさの関係をより精密に表現できる可能性が示された。

画像解析法では透水性状および吸水性状との間に一定の関係がみられたが、今後の検討課題として、画像解析法における連続空隙の算出をし、当てはまりについて再検討を行う。