

セメントペースト硬化体におけるインクボトル空隙が塩化物イオンの吸着・脱着に及ぼす影響

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○井上 裕介
名古屋工業大学大学院 正会員 吉田 亮
東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治
名古屋工業大学大学院 フェロー 梅原 秀哲

1. はじめに

セメント硬化体には水分逸散性、クリープ、塩化物イオンの移動などの時間依存特性が現れる。時間依存特性は寸法の異なる空隙の連結関係、いわゆるインクボトル関係に起因していると考えられる。既往の研究では試料サイズを細かくすることで内包するインクボトル関係が調整できる。¹⁾

本研究では、試料サイズを細かくすることで調整されるインクボトル関係に着目し、空隙構造と塩分吸着・脱着性状の関係について検討を行う。

2. 実験概要

2.1 供試体作製

本研究では、白色ポルトランドセメントおよび脱イオン水、そして消泡剤を用い、水セメント比 30、40、50、60%のセメントペースト硬化体を作製した。配合を表 1 に示す。また下記の試験は、いずれも 40 × 40 × 160 mm の型枠に打設を行い、48 時間後に脱型、材齢 56 日まで 20℃の水中で養生した供試体を用いた。

2.2 試験および測定方法

角柱供試体を用いた圧縮試験と曲げ試験は、JIS R 5201 に従った。

塩化物イオンの移流、拡散試験には、各水セメント比の角柱供試体を用いた。供試体は、アセトン浸漬と真空乾燥を行った後に、1 面(40 × 160 mm)を残してプライマーとエポキシ樹脂を用いて被覆し、拡散試験の供試体は、真空吸水を行い、内部を脱イオン水で飽和させて、試験に用いた。

塩化物イオンの吸着試験用の試料は、前述の養生を行った各水セメントの供試体を、5 mm 程度に破碎し、アセトン浸漬と真空乾燥を行った。その後、振動ミルでさらに微粉碎したものを表 2 に示す 6 種類のサイズにふるい分けた。その後、濃度 3%の NaCl 水溶液に 7 日間浸漬させ塩化物イオン量は、電位差滴定法により全塩化物イオン濃度を測定した。また、7 日間浸漬させた後、1 日純水に浸漬させ塩化物イオン濃度の変化率も測定した。

水銀圧入試験および水蒸気吸着試験は、上記の分級試料を用いて行った。前処理は、40℃で真空脱気の乾燥を 30 分間行い、水銀圧入試験は水銀漸次繰返し圧入法により測定を行った。加圧過程は①124、②124、③180、④200 MPa の 4 パターンを設定、また水蒸気吸着試験では、25 ℃の条件下において、300 秒間で圧力計の読み値が 1 %以内となるまで平衡時間を確保した。

3. 実験結果および考察

図 1 に圧縮強度と曲げ強度の試験結果を示す。両方の試験結果において水セメント比と強度の間に良好な直線関係が得られた。

図 2、3 に移流と拡散による塩化物イオンの浸透深さの結果を示す。水セメント比が大きいほど塩化物イオンが浸透するという傾向が得られた。

図 4 に 25 - 45 μm の水銀圧入結果、図 5 に 600 - 1200 μm の水銀圧入結果を示す。図 4 では包絡線が唯一存在しインクボトル関係が見られず、図 5 では毛細管空隙内のインクボトル関係を示す圧入曲線の分岐と毛細

表 1 配合条件およびフレッシュ性状

W/C	単位量(kg/m ³)		混和材(%)	空気量(%)
	W	C	消泡剤	
0.3	478	1592	0.05	1.2
0.4	550	1373	0.05	0
0.5	604	1208	0.05	0
0.6	646	1078	0.05	0

表 2 試料サイズ

試料番号	試料サイズ(μm)
①	～25
②	25～45
③	45～88
④	88～150
⑤	600～1200
⑥	1200～2500

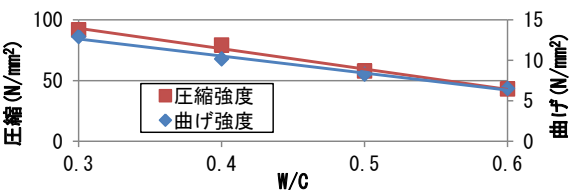


図 1 各水セメント比の圧縮強度と曲げ強度

キーワード：インクボトル，空隙構造，塩化物イオン，吸着・脱着，水銀圧入，水蒸気吸着
連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院 TEL 052-735-512

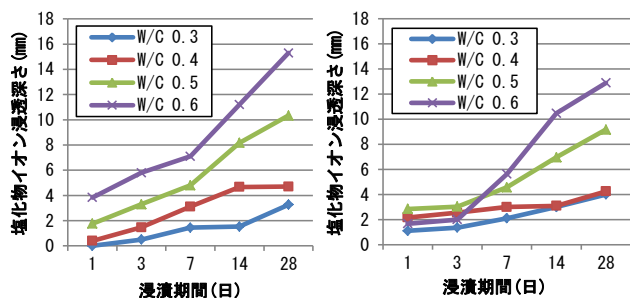


図2 移流による浸漬結果 図3 拡散による浸漬結果

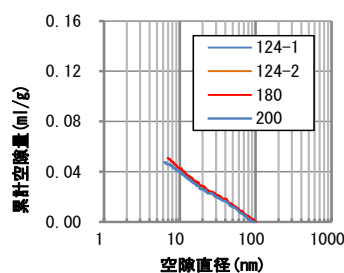


図4 25~45 μm の
水銀圧入過程

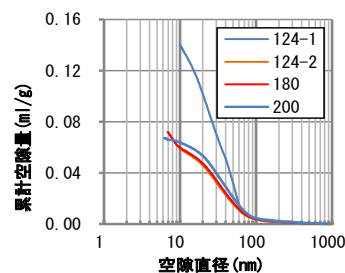


図5 600~1200 μm の
水銀圧入過程

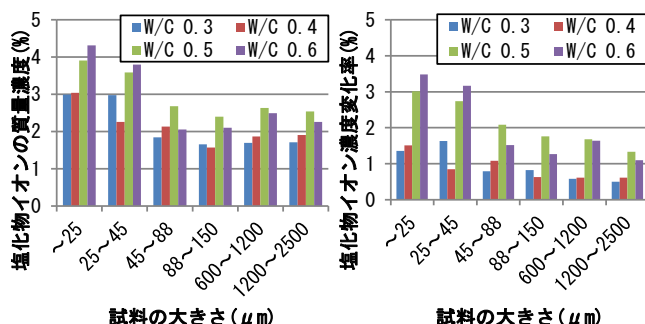


図6 塩化物イオンの
質量濃度(吸着)

図7 塩化物イオンの
質量濃度(脱着)

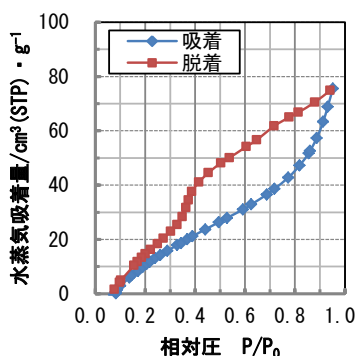


図8 25~45 μm の
水蒸気吸着試験結果

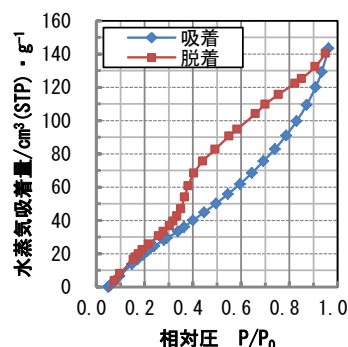


図9 600~1200 μm の
水蒸気吸着試験結果

管空隙と水和生成層内の微小空隙群を繋ぐインクボトル関係の存在を示唆する圧入曲線の乖離が確認された。

図6と図7に分級試料の塩水浸漬試験の吸着の結果と塩水浸漬試験の吸着の際に測定した濃度と溶出後の濃度の差を示す。どの水セメント比においても45 μm を境として吸着・脱着した塩化物イオン濃度が大きく上昇し、25 μm 以下の試料でその濃度と変化率が最も大きくなった。これらの結果からは、45 μm 以上の試料では、塩化物イオンが外部水和生成層の微小空隙群に吸着するのに時間を要するという傾向を示しており、同試料において、塩化物イオンの透過に時間依存特性を与えるインクボトル関係の存在が示唆される。加えて、水セメント比が大きいほど吸着・脱着した塩化物イオン濃度が大きく上昇する傾向にあることも確認された。

図8、9に分級試料の水蒸気吸着試験の結果を示す。水銀圧入試験においてインクボトル関係の存在が検出されなかった試料においても吸着と脱着曲線が一致することはなかった。この結果から、水蒸気吸着試験の吸着と脱着曲線の履歴は毛細管空隙と水和生成層内の微小空隙群におけるインクボトル関係ではなく水和生成層内の微小空隙群におけるインクボトル関係に起因していると考えられる。

4. まとめ

本研究では、試料サイズを調整することで内包するインクボトル関係と塩化物イオンの吸着・脱着性状の関係について検討を行った。水銀圧入試験および塩化物イオンの吸着・脱着試験では、毛細管空隙と水和生成層内の微小空隙群を繋ぐ、水銀の圧入と塩化物イオンの出入りに抵抗を与えるインクボトル関係の存在が示唆された。一方で、水蒸気吸着試験では前述の水銀圧入法で示唆された毛細管空隙と水和生成層内の微小空隙群を繋ぐインクボトル関係については確認できなかったが、水和生成層内のインクボトル関係が捉えられた。

謝辞：水銀圧入試験、水蒸気吸着試験は名古屋工業大学先進セラミックス研究センター藤正督教授のご厚意により試験機を拝借させて頂き、谷将成氏、後藤良輔氏のご助力を得て実施致しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献：

- 1) 吉田亮、岸利治、連続キャピラリー網と水和生成層内微小空隙間のインクボトル構造に関する研究、第62回セメント技術大会、社団法人セメント協会、No.30、pp.26-27、2008