

セメント系材料の空隙構造が塩分吸着特性に及ぼす影響についての研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○鈴木 秀治
 東京大学大学院 学生会員 吉田 亮
 東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治
 芝浦工業大学 正会員 勝木 太

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物にとって塩害は、鉄筋腐食に繋がる最も深刻な問題である。塩害のメカニズムは、海から飛来した塩分がコンクリート表面に付着し、露・雨水などの水の存在により塩化物イオンとなって、コンクリートの空隙中を通り内部へと浸入し、鉄筋表面の不動態皮膜が破壊され鉄筋腐食に至る。コンクリート中の塩化物イオンの移動は空隙構造に大きく依存するとされているが、その空隙構造の複雑さ故に、その移動機構は解明されていない。コンクリート中のセメントペースト(以下 CP)部の空隙には、物質の移動に大きく関与する連続空隙とその周りに水和生成物が密に絡まってできる空隙が存在する。既往の研究において、水銀圧入式ポロシメーターによる空隙構造の測定結果は試料サイズの影響を受けることが報告されている¹⁾。本研究では、空隙構造に着目し異なる試料サイズのモルタル・CP 試料の NaCl 水溶液浸漬実験を行い、空隙構造が塩分吸着特性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 実験シリーズ

空隙構造が塩分の吸着に及ぼす影響を把握するため、以下の実験を設定した。

- 1) 試料サイズを変えた NaCl 水溶液浸漬実験
- 2) 試料の湿潤・乾燥状態を変えた NaCl 水溶液浸漬実験

2.2 試料緒元

モルタル試料は 100*100*400^{mm} の型枠に打設し、1 日脱枠、水中養生 7 日目に材料分離や水和差の違いを排除するために、上下左右 1cm をカットした。更に水中養生の差が供試体の表面と内部で出ないように 90*90*30^{mm} 程度のスライス片にした。再度水中養生し、材齢 28 日において、これらのスライス片を振動ミルで粉砕した。アセトン浸漬にて水和反応を停止、真空乾燥させた後にふるいにて表 1 にある 7 段階のサイズの試料を採取した。

CP 試料は水中養生 7 日後に 8 時間煮沸し、水和反応を促進させ材齢 28 日とほぼ同程度の水和度を得た。その後の粉砕・乾燥方法は、モルタル試料と同様である。

2.3 浸漬方法

浸漬方法は、試料を大気圧下で蒸留水に漬けた後に NaCl 水溶液浸漬させる (w)、試料を真空下で蒸留水に漬けた後に NaCl 水溶液浸漬させる (ws)、真空乾燥させた後に NaCl 水溶液浸漬させる (d)、真空下で NaCl 水溶液に漬けた後に、他の方法同様 NaCl 水溶液浸漬させる (ds) の 4 パターンとした。

設定期間後に試料をろ紙で NaCl 水溶液と分離し、NaCl 水溶液の影響を排除するために蒸留水で軽く試料の表面を洗浄した。塩分濃度測定試験のため、試料はろ紙ごと 80℃の炉で乾燥させた。

表 1 試料の条件

試料の種類	モルタル, CP	
W/C	0.45, 0.60	
S/C(モルタル)	1	
養生	水中養生	
脱型	1日	
試料サイズ(μm)	No1	over1180
	No2	1180-850
	No3	850-425
	No4	425-300
	No5	300-45
	No6	45-25
	No7	under25

※セメント粒子の大きさ：約 40 μm

表 2 浸漬条件

試料	モルタル	セメントペースト
浸漬条件(シリーズ名)	飽水(w), d-dry後(d)	飽水(w), 真空脱気後(ws), d-dry後(d), 浸漬後真空脱気(ds)
NaCl濃度(重量%)	10%	3.5%
試験期間	1週間毎	

キーワード 塩化物イオン 吸着 インクボトル 空隙構造
 連絡先 〒114-0014 東京都北区田端 6-2-7 TEL03-3821-8229

2.3 試料の測定

採取した試料は、硝酸銀溶液を用いた塩化物イオン濃度滴定「JCI-SC5 硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法」を準用して行った。また、窒素吸着法によって、試料の空隙構造を測定した。

3. 実験結果および考察

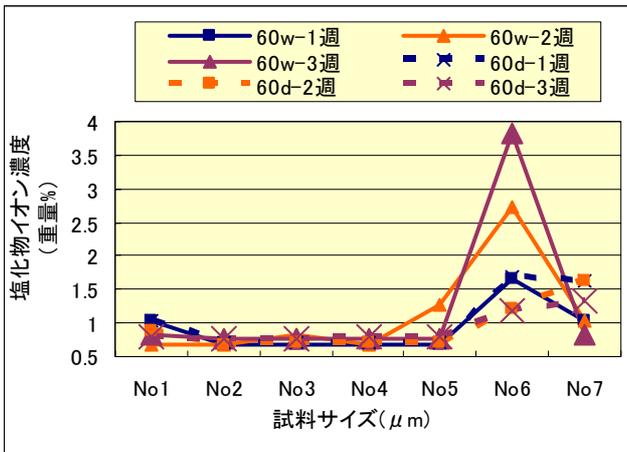


図1 W/C:0.60 モルタル 10%NaCl 水溶液浸漬 3 週間の結果

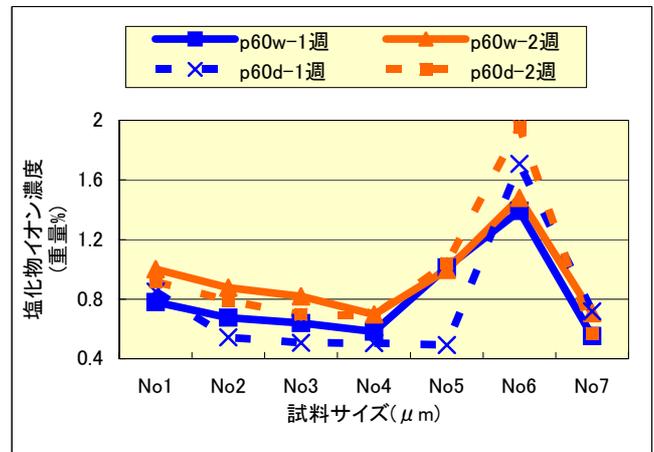


図2 W/C:0.60 CP 3.5%NaCl 水溶液浸漬 2 週間の結果

図1にモルタル試料の、図2にCP試料のNaCl水溶液浸漬実験による塩化物イオン濃度測定の結果を示す。

図1では、No.1～No.5の試料サイズの塩化物イオン濃度はそれぞれ1%以下を示し、試料サイズによる差、そして3週間までの経時変化がないことがわかる。しかし試料サイズが45～25 μm のNo.6では、No.1～No.5よりも、高い濃度を示しており、また、No.6wの試料では塩化物イオン濃度が経時的に大きくなることが確認できる。モルタルW/C=0.45シリーズにおいても同じ傾向を示した。一方、図2のCP試料においても、試料サイズと塩化物イオン濃度の関係にはモルタル浸漬実験と同じ傾向が確認できた。したがって、前述の傾向は、モルタルの細骨材の影響ではなく、試料がもつ空隙特性の影響と考えられる。

セメント粒子周りには水和生成物が密に絡み合った微細空隙群が存在するとされている。セメント粒子間に形成される毛管空隙から、この空隙群へのゲート空隙は非常に小さいが、そのゲート空隙を越えると、中には密に絡み合った水和生成物を作る広い物質の貯留空間が存在すると考えており、今回の実験結果は、そのようなインクボトル機能をもった微細空隙によるものと考えられる。No.6の試料では、前述したようなゲート空隙が破壊され、貯留空間としての空隙群の入口が露わになり、塩化物イオンのアクセスを容易にしたために、No.6が高い濃度を示したと推察される。また、No.7の濃度がNo.6に比べ低い理由としては、試料を更に細かく粉砕した際に、ゲート空隙がほとんど破壊され、滴定試験準備時の軽い水の洗浄によって塩分が洗い流されたと考えられる。本概要には掲載していないが、窒素ガス吸着法の脱着側の累積細孔量曲線において、後藤²⁾が報告するC-S-Hゲル粒子間の約4nmの空隙群を測定しており、このような微細な空隙構造がインクボトルや塩分吸着などの特性を持つと推察される。

4. まとめ

サイズを調整した試料をNaCl水溶液に浸漬した結果、セメント系材料には塩化物イオン吸着特性の高い空隙構造が存在することが分かった。また、この塩化物イオン吸着特性の高い空隙にセメント粒子間にできる連続空隙からアクセスするには、狭いゲート空隙を超える必要があると考えられる。45 μm 以下の試料では、このようなゲート空隙が一部破壊され、塩化物イオンのアクセス、吸着が容易になることが考えられる。

謝辞 本研究は東京大学生産技術研究所で行ったものであり、ご指導いただきました魚本健人教授、加藤佳孝助教授、星野富夫技官、ならびに研究室の皆様にご心より感謝の意をここに記す。

参考文献

- 1) 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, Vol. 60, pp. 68-75 (2006)
- 2) 後藤孝治: C-S-Hゲルの組織と空隙, セメント硬化体委員会報告書, p. 194(2001)