

電気泳動による各種モルタルの塩化物イオンの実効拡散係数に関する基礎的研究

東洋大学工学部環境建設学科 学生会員 ○井上 雄太
 東洋大学工学部環境建設学科 フェロー 福手 勤
 東洋大学工学部環境建設学科 非会員 山口 賢太郎

1. はじめに

塩害などコンクリート内部のイオンの泳動が原因で起こる劣化に関する現象は、自然状態で測定するには測定期間が長くなってしまいうため、コンクリート内部のイオンを電氣的に強制移動させ短期間で拡散係数を求める試験¹⁾が行われている。イオンの拡散性が事前にわかれば、イオンの拡散が小さい耐久性に優れるコンクリート構造物を設計・施工することが可能になる。

本研究では、水セメント比や結合材の種類を変化させたモルタルに対して塩化物イオンを電氣的に強制移動させ、塩化物イオンの実効拡散係数に及ぼす影響を実験的に測定する。

通常、塩化物イオンの移動が定常状態であることを確認しなければならないが、本研究では相対比較を行うため、塩化物イオンが検出された初期の状態実効拡散係数を求めることとする。

2. 実験概要

2.1 電気泳動試験概要

電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法(案)(JSCE-G571-2003)をもとに実験を行った。試験装置を図1に示す。

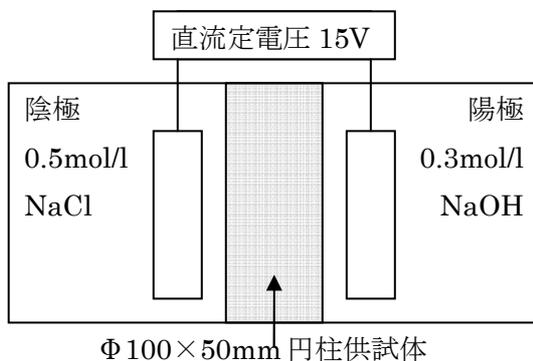


図1 試験装置

2.2 供試体

供試体は、Φ100×200mmの円柱供試体である普
 キーワード 電気泳動、塩化物イオン、実効拡散係数

通ポルトランドセメントモルタル(OPC) W/C=40%・50%・60%, OPCの50%を高炉スラグ微粉末(B)に置換したモルタル W/C=40%・50%・60%, 無収縮モルタル W/C=35%・40%の3種類を表1に示す配合で作製し、供試体作成後7日間湿潤養生した。

配合に使用したセメントは普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³), 細骨材には普通砂(密度:2.6g/cm³, 粗粒率:2.27, 最大寸法:2.5mm), 高炉スラグ微粉末 JIS A 6206 粉末度 6000(密度:2.91g/cm³), 無収縮モルタルにはプレミックスされたカルシウム・サルフォ・アルミネート系膨張剤を含有したグラウト材(主構成物質:ポルトランドセメント・カルシウムアルミネート・カルシウムスルホアルミネート・石膏・シリカ・骨材・微量の有機物, 密度:2.84g/cm³, 粗粒率:1.75)を用いた。

2.3 実効拡散係数の算出

陽極側の塩化物イオン濃度の増加割合から式(1)(2)を用いて実効拡散係数を算出した。

$$J_{Cl} = \frac{V^{\parallel} \Delta c_{Cl}^{\parallel}}{A \Delta t} \quad (1)$$

J_{Cl} : 塩化物イオンの流束 (mol/(cm²・年))

V^{\parallel} : 陽極側の溶液体積 (L)

A : 供試体断面積 (cm²)

$\Delta c_{Cl}^{\parallel} / \Delta t$: 陽極側塩化物イオン濃度の増加割合 ((mol/L)/年)

$$D_e = \frac{J_{Cl} R T L}{|Z_{Cl}| F C_{Cl} (\Delta E - \Delta E_c)} \times 100 \quad (2)$$

D_e : 実効拡散係数 (cm²/年)

R : 気体定数 (8.31J/(mol・K))

T : 絶対温度測定値 (K)

Z_{Cl} : 塩化物イオンの電荷 (= -1)

F : ファラデー定数 (96,500C/mol)

表 1 各種モルタルの配合

モルタルの種類	W/(C+B)	W(kg/m ³)	C(kg/m ³)	B(kg/m ³)	S(kg/m ³)	プレミックスグラウト材
OPC	40%	223.04	557.61	0.00	1561.30	—
OPC	50%	253.77	507.54	0.00	1522.61	—
OPC	60%	279.43	465.72	0.00	1490.30	—
OPC+B	40%	221.36	276.71	276.71	1549.55	—
OPC+B	50%	252.03	252.03	252.03	1512.18	—
OPC+B	60%	277.67	231.39	231.39	1480.92	—
無収縮	35%	332.25	—	—	—	1896.41
無収縮	40%	362.52	—	—	—	1810.44

C_{Cl} : 陰極側の塩化物イオン濃度測定値 (mol/L)

$\Delta E - \Delta E_c$: 供試体表面間の測定電位 (V)

L : 供試体厚さ (mm)

3. 結果及び考察

実効拡散係数は表 2 の通りとなった。

OPC のみよりも高炉スラグ微粉末を混入したモルタルのほうが、いずれの W/C においても拡散係数が小さくなり、一般的に言われるように、高炉スラグ微粉末はモルタル中の塩化物イオン透過性を改善することがわかった。

無収縮モルタルに関しては、メーカー推奨 W/C である 35% の場合はもちろんであるが、40% においても OPC, OPC+B よりも拡散係数が極めて小さいことから、セメント硬化体の無収縮性(膨張性)が組織構造の緻密化につながり、塩化物イオンの透過性の改善に及ぼす効果が大きいことが分かった。図 2 より高炉スラグと比べても、塩化物イオンの初期検出時間までの時間が長いこと、塩分を通しにくいことがうかがえる。

なお今回の実験では W/(C+B) に対応する拡散係数は、コンクリート標準示方書に示される関係で計算される値よりもやや大きな値となっている。この原因としてコンクリートとモルタルの違いが挙げられ、コンクリート中の粗骨材部分には塩化物イオンが浸透しにくいこと、粗骨材のないモルタルの方が塩化物イオンの浸透しやすさが増加したと考えられる。

今回のように定常状態ではなく初期状態での値を拡散係数の計算に使用したが、一般論として定常状態の値を用いた方が大きな拡散係数となる可能性が高いので、今後定常状態まで測定して、初期状態と

の値の関係を今後の検討課題としたい。また今回の実験で無収縮モルタルの遮塩性は高いと評価できたため、研究を進めて耐久性の高い構造物を実現する材料になることを評価していきたい。

表 2 各モルタルの実効拡散係数

種類	W/(C+B)	実効拡散係数(cm ² /年)
OPC	40%	3.68
OPC	50%	2.42
OPC	60%	4.54
OPC+B	40%	0.96
OPC+B	50%	1.36
OPC+B	60%	2.58
無収縮	35%	0.18
無収縮	40%	0.16

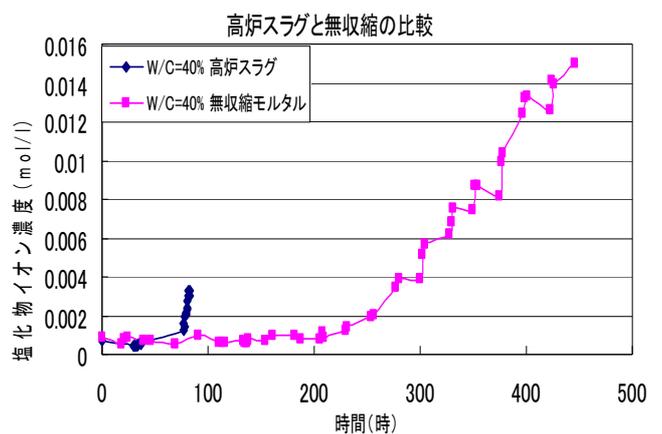


図 2 高炉スラグと無収縮の比較

4. 参考文献

- 1) 電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法 (案) (JSCE-G571-2003)