

電気泳動試験によるコンクリートの塩化物イオン拡散係数の推定

鹿児島大学大学院 学生員 ○前田 聡
 鹿児島大学工学部 正会員 武若 耕司
 鹿児島大学大学院 学生員 北畠 裕之

1. はじめに

近年、コンクリート中への塩化物イオン拡散性状を従来の方法に比べ短期間で推定する方法の1つとして、電気泳動による塩化物イオン拡散係数（以下、拡散係数と称す）の測定試験が検討されている。これは、直流電流を通電することにより電位勾配を生じさせ、この電位勾配を駆動力として泳動した塩化物イオン（以下、 Cl^- と称す）量からコンクリート中への Cl^- の拡散性状を評価する方法である。本研究では、電気泳動試験を構成する通電量、供試体の厚さ、および電解溶液の種類が試験結果に及ぼす影響について検討を行うとともに、本試験結果を無通電拡散セル実験、あるいは塩水浸漬試験と比較、検討した。

2. 電気泳動試験の概要

表-1 供試体配合

供試体の種類	実験の種類	W/C	S/C	S/a	単位量 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
コンクリート	電気泳動	0.5	2.04	0.45	195	390	794	952
	塩水浸漬			—	313	626	1277	—
モルタル	電気泳動		2.59	—	280	560	1448	—
	拡散セル			—	—	—	—	—

電気泳動試験に用いた供試体は、普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を 50%として表-1 に示す配合で作製したφ10cm のコンクリートおよびモルタル円柱供試体である。供試体は水中養生 14 日後、所定の厚さに切断し、試験面以外の円周面をエポキシ樹脂により被覆したものをを用いた。

電気泳動試験は図-1 に示すように、陽極槽にはコンクリート内部を想定したアルカリ溶液、陰極槽には所定濃度の NaCl 水溶液を入れ、両極間に供試体をセットした電気泳動装置を用いて行った。通電中は毎日、陽極槽および陰極槽から溶液を採取し、各溶液槽の Cl^- 濃度を測定した。また、各溶液槽の pH および温度、供試体への印加電圧および電流密度も併せて測定した。さらに、陽極槽では塩素ガスの発生を防ぐために Cl^- 濃度が 0.1mol/l 以下となるように、また陰極槽では所定の Cl^- 濃度に保つために、それぞれ随時新しい溶液に交換した。

拡散係数は、陰極側から陽極側へ泳動する Cl^- 量が単位時間あたりに一定となった時点で定常状態になったと判断し、その時求めた Cl^- の流束からネルンスト-プランク式を応用した式(1)より算定した。なお、本論文においては、電極における接触電位は、便宜上ないものと仮定した。

一方、表-2 には今回行った実験の検討要因および水準を示した。なお、いずれの実験も、供試体としてはコンクリートおよびモルタルをそれぞれ用いて行った。

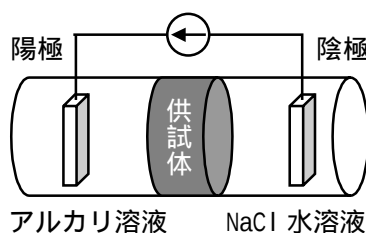


図-1 試験装置の概要

$$D_{\text{CL}} = \frac{RTL}{Z_{\text{CL}}FC_{\text{CL}}(\Delta E - \Delta E_c)} \cdot J_{\text{CL}} \quad (1)$$

D_{CL} : 拡散係数 (cm²/year)
 R : 気体定数 (J/mol/K)
 T : 電解溶液の絶対温度 (K)
 L : 供試体の厚さ (cm)
 Z_{CL} : Cl^- の電荷
 F : ファラデー定数 (C/mol)
 C_{CL} : 陰極槽の Cl^- 濃度 (mol/l)
 ΔE : 電位差 (V)
 ΔE_c : 電極における接触電位 (V)
 J_{CL} : Cl^- の流束 (mol/cm²/year)

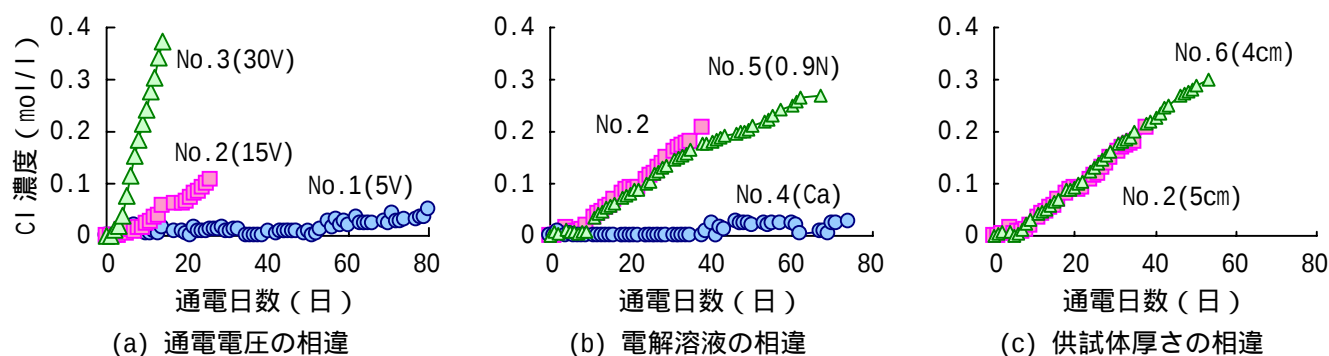
表-2 電気泳動試験の要因と水準

実験 No.	通電方法	溶液の種類		供試体の 厚さ
	定電圧	陽極槽	陰極槽	
1	5V	0.3N NaOH溶液	0.5N NaCl溶液	5cm
2	15V			
3	30V			
4	15V	飽和Ca(OH) ₂ 溶液		
5		0.3N NaOH溶液	0.9N NaCl溶液	
6			0.5N NaCl溶液	4cm

一方、表-2 には今回行った実験の検討要因および水準を示した。なお、いずれの実験も、供試体としてはコンクリートおよびモルタルをそれぞれ用いて行った。

【キーワード】 電気泳動、塩害、塩化物イオン拡散係数、通電量、拡散セル

【連絡先】 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部 TEL (FAX) 099-285-8480

図-2 陽極槽内の Cl^- 濃度の経時変化（コンクリート）

3. 結果および考察

図-2(a)～(c)には、それぞれ、コンクリート供試体を用いた場合の陽極槽内の Cl^- 濃度変化について、通電電圧の違い、電解溶液の種類の違い、および供試体厚さの違いごとに比較して示した。通電電圧だけが異なり、その他の実験条件は同じ条件下で実験を行った図-2(a)の結果より、供試体中で Cl^- の泳動が定常状態となるまでの期間は、5V の場合に 60 日、15V の場合に 10 日、30V の場合に 4 日と、電圧が大きいほど明らかにその期間は短くなり、さらに定常時の Cl^- 量の増加割合も大きくなることが確認できる。また、図-2(b) No.2 の実験から陽極槽の電解溶液のみを 0.3N NaOH 溶液から飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液に変更して行った場合 (No.4)、陽極槽への Cl^- の泳動速度は極めて遅くなった。また、陰極槽の NaCl 溶液の濃度を 0.5N (No.2) から 0.9N (No.5) に高くした場合や、図-2(c)のように、実験条件の中から供試体の厚さだけを 5cm (No.2) から 4cm (No.6) に薄くしても、 Cl^- の泳動速度には有意な差異は認められなかった。

図-3 には、各種試験方法によって得られた拡散係数を取りまとめて示した。図中の、「示方書」と書かれたデータは、示方書に示されている水セメント比と拡散係数の関係式から、水セメント比を 50% として算出した拡散係数である¹⁾。また、「浸漬」と書かれたデータは、電気泳動試験に用いたものと同様のコンクリート供試体を電気泳動試験と同時に 0.5N NaCl 溶液中に浸漬し、

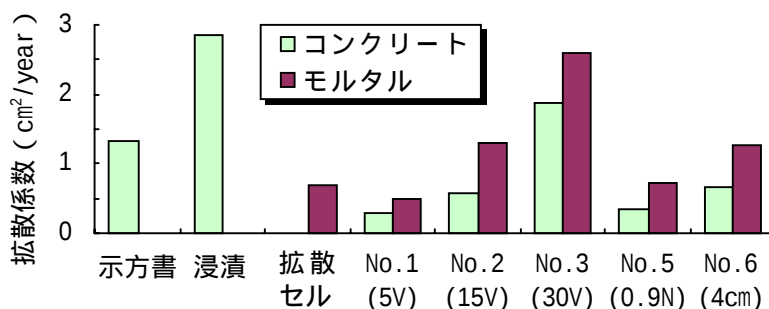


図-3 各種試験方法による拡散係数

3 ヶ月後のコンクリート中の Cl^- 分布から拡散係数を推定した結果である。拡散セルによる結果は、水セメント比 50% のモルタル供試体において無通電状態で実施した既往研究成果の一例である²⁾。これらの結果から、まず、コンクリート供試体あるいはモルタル供試体のいずれにおいても、電気泳動試験 (No.1～3) において通電電圧が小さいほど、拡散係数は小さくなり、さらに、モルタル供試体の拡散係数から、電圧が小さくなるのに伴い、無通電拡散セル実験の結果に漸近する傾向となった。また、通電電圧の大きさのいかに拘らず、通電電圧が同じ場合には、コンクリート供試体に比べモルタル供試体の拡散係数の値が大きくなった。一方、電気泳動試験 No.2, No.5, および No.6 の比較から、陰極槽の NaCl 溶液の濃度や供試体の厚さが幾分異なっても、通電電圧 (15V) が等しい場合には、拡散係数に大きな違いは見られなかった。最後に、電気泳動試験 No.2 と電気泳動試験以外の方法で得られた拡散係数を比較した結果、電気泳動試験 No.2 より得られた拡散係数は、示方書の式より得られた値の 1/2 程度、塩水浸漬試験で得られた値の 1/4 倍程度、拡散セル実験で得られた値の 2 倍程度となる状況が確認された。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書「施工編」、2002 年制定
- 2) 前田聡，武若耕司，山口明伸，北畠裕之：ひび割れを有するコンクリート中へ塩化物イオン拡散に関する基礎的研究，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，第 5 部門，pp1343-1344，2002.9