

コンクリート中で電気泳動する塩化物イオンの拡散係数の時間依存性

群馬大学大学院 学生会員 前原 聡
 群馬大学工学部 正 会 員 杉山 隆文
 群馬大学大学院 学生会員 高見 満
 群馬大学工学部 フェロー 辻 幸和

1.はじめに

電気泳動試験では、コンクリート中の全塩化物イオンの濃度分布が一定の値に収束し、流束が一定となる定常状態において拡散係数を算定し、塩分浸透性を評価している。そこで本研究では、電気泳動試験の期間を非定常状態と考えられる 1 日および 3 日間に限定し、この時の全塩化物イオンの濃度分布を測定した。そして、誤差関数を用いて非定常状態での塩化物イオン濃度分布より拡散係数を求め、定常状態での拡散係数と比較し、拡散係数の時間依存性について考察した。

表－1 コンクリートの配合

供試体	W/C (%)	s/a (%)	単位体積重量(kg/m ³)				セメント量×(%) 混和剤	スランブ (cm)	空気量
			W	C	S	G			
N45	45	43	153	339	844	1116	1.5	8	3.4
N55	55	43	165	300			1.4	12	4.1
N65	65	43	175	269			1.0	12	4.7

2.実験概要

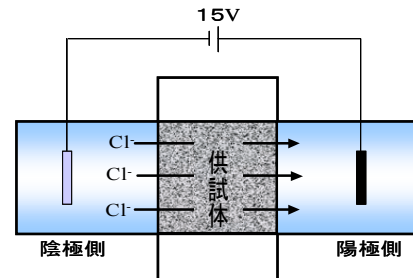
(1)供試体

使用したコンクリートの配合を表－1に示す。

W/C は 45,55,65(%)とし、約 1 年間水中養生後、供試体を直径が 10cm、厚さが 5cm にカットし、側面部をエポキシ系樹脂でコーティングした。その後、ASTMC1202 に準拠して減圧吸水を行い、電気泳動試験を行った。

(2)電気泳動試験

実験装置の概略図を図－1に示す。試験溶液は陽極側に NaOH 溶液(0.3mol/L)を、陰極側に NaCl 溶液(0.51mol/L)を用いた。直流電圧 15V を印加後、経時的に電流および電圧、温度、陰極・陽極側の塩化物イオン濃度を測定した。試験期間は、非定常状態(1 日、3 日間)および、定常状態に達した後の 3 期間とした。各期間の試験が終了した後に、塩化物イオン濃度分布を調べるために、非定常状態の供試体については陰極側から約 7mm 毎に、定常状態の供試体については両極側より約 10mm カッティングし、各層に含まれる全塩化物イオン濃度を JCI-SC4 に準拠して測定した。



図－1 試験装置概略図

3.実験結果と考察

(1)定常状態での拡散係数

陽極側で測定した塩化物イオン濃度の変化割合が一定となっているときに定常状態であり、その傾きからフラックスを求めた。次に、ネルンストプランク式を応用した式(1)に代入して、拡散係数 D_e を算出した。

$$D_e = \frac{R \times T}{Z_{Cl} \times F \times \left(\frac{\Delta E - \Delta E_c}{L} \right) \times C_{Cl}} \times J_{Cl} \quad (1)$$

ここで、 R :気体定数(8.314J/(mol・K))、 T :絶対温度(K)、 Z_{Cl} :塩化物イオンの電荷数、 F :ファラデー定数(96500C/mol)、 L :供試体の厚さ(cm)、 $\Delta E - \Delta E_c$:供試体表面間の測定電位(V)、 C_{Cl} :陰極側溶液中の塩化物イオン濃度(mol/L)、 J_{Cl} :定常状態の流束(mol/(cm²・s))

(2)非定常状態での塩化物イオン濃度分布

図－2に試験期間 1 日、3 日および定常状態で得られた表層部での全塩化物イオン濃度の経時変化を示す。なお、定常状態の試験期間は、試験を終了した期間であり、陰極と陽極の塩化物イオン濃度の経時変化がほぼ等しく固定化が終了したとみなせると判断したときに試験を終了した。表層部での全塩化物イオン濃度は、経時的に増加

キーワード：電気泳動試験、定常状態、非定常状態、拡散係数、固定化

連絡先：群馬県桐生市天神町 1-5-1 TEL 0277-30-1613 FAX 0277-30-1601

しており、塩化物イオンの固定化現象は時間に依存していると考えられる。N65 に関しては、試験期間 3 日において陽極側に塩化物イオンが達したため 3 日での全塩化物イオン濃度は省略した。

図-3には、試験期間が 1 日および 3 日の全塩化物イオン濃度分布および誤差関数(式(2))より求めた全塩化物イオン濃度分布を示す。式(2)において、表面の全塩化物イオン濃度は図-2より決定した。式(2)より求めた塩化物イオン濃度分布を各層での全塩化物イオン濃度の実験値と一致するように fitting 法によって拡散係数を求めた。ここでの拡散係数を、拡散係数(非定常状態、 D_{en})とする。

$$C(x,t) = \frac{1}{2} C_0 \left[\operatorname{erfc} \frac{x - Vt}{2\sqrt{D_{en}t}} + e^{\frac{V}{D_{en}}x} \operatorname{erfc} \frac{x + Vt}{2\sqrt{D_{en}t}} \right] \quad (2)$$

$$V = \frac{zF}{RT} \frac{|\Delta E - \Delta E_C|}{L} D_{en} \quad (3)$$

ここで、 $C(x,t)$ ：位置 x 、時間 t における全塩分量(kg/m^3)、 C_0 ：表面の全塩化物イオン濃度(kg/m^3)、 D_{en} ：拡散係数(cm^2/s)

式(2)に用いる表面の全塩化物イオン濃度を図-2の値を用いることにより計算値は、実験値の塩化物イオン濃度分布によく一致した。

(3) 拡散係数の時間依存性

図-4は、試験期間 1 日、3 日および定常状態で得られた拡散係数を示す。式(2)を適用するにあたり、各々の C_0 を図-2より決定した場合、試験期間が 1 日の D_{en} は 3 日の D_{en} より大きくなった。一方、図-5に示すように N45 では試験期間が 3 日の時に得られた C_0 を用いると、試験期間が 1 日と 3 日に関わらず同等な D_{en} となった。しかし、N55 では依然異なる。 C_0 は時間に依存しない定数であるが、 C_0 の与え方で式(2)より計算される D_{en} は大きく異なることが判明した。

D_e に関して、非定常状態の D_{en} と比較するには、式(1)中の C_{Cl} をコンクリート中で実際に電気泳動する塩化物イオン濃度を用いる必要がある。図-4、5には、このことを考慮した拡散係数、 D_e^* も示した。

N45、N55 の試験期間が 3 日、N65 で試験期間が 1 日のそれぞれの D_{en} と比較して D_e^* は大きく、固定化の影響であることを示唆している。しかし、自然拡散における局所的な化学平衡では、固定化は拡散と比較して十分に早いと仮定しているが、試験期間が 1 日や 3 日の電気泳動では、十分に固定化が終了したとは考えられず時間の概念を導入する必要性を示唆している⁽¹⁾。

4. まとめ

- 非定常状態における全塩化物イオン濃度分布は式(2)より推定できるが、表面の塩化物イオン濃度、 C_0 の与え方で拡散係数は異なる。
- 定常状態で求めた D_e^* は、 D_{en} と比較して大きい。が、 D_{en} においては固定化を含めた時間依存性を考慮する必要性が示唆された。

参考文献(1)清水 俊吾・杉山 隆文・辻 幸和・Supratic Gupta：モルタル中を電氣的泳動する塩化物イオンの濃度分布,コンクリート工学年次論文集,Vol.22, No.1, 2000,pp115-120

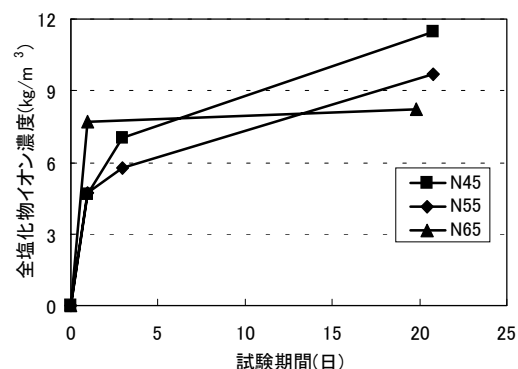


図-2 表層部での全塩化物イオン濃度の経時変化

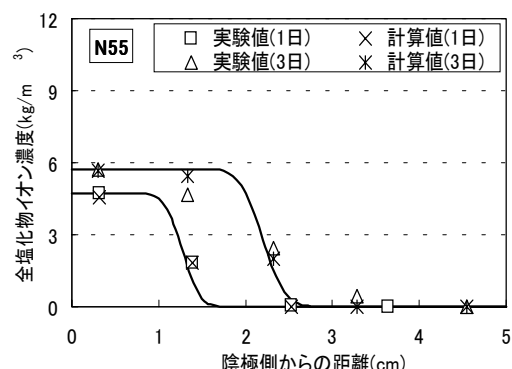


図-3 全塩化物イオン濃度分

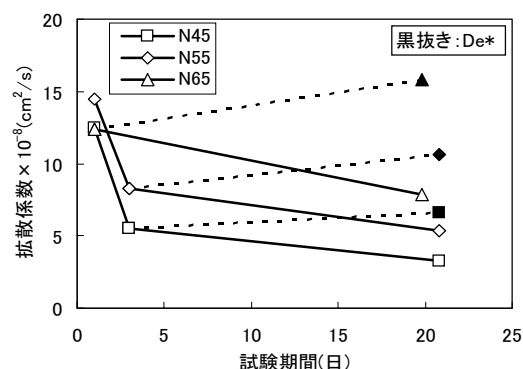


図-4 拡散係数の経時変化

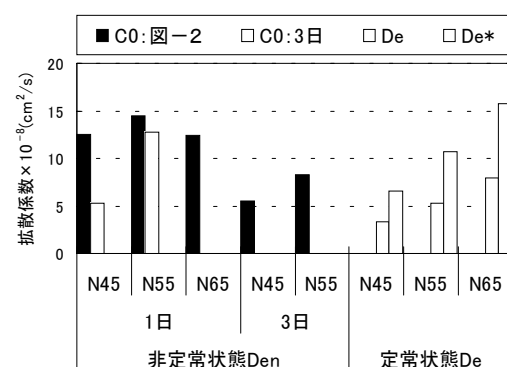


図-5 拡散係数