

非定常電気泳動試験における陰極側セルの NaCl 濃度が塩化物イオン拡散係数に及ぼす影響

東亜建設工業 (株) 正会員 ○小林 雄一, 正会員 網野 貴彦
金沢工業大学 正会員 花岡 大伸

1. はじめに

非定常電気泳動試験 (以下, 非定常法) は, 塩化物イオン拡散係数 (以下, D_{nssm}) を短時間で取得できるため, コンクリートの遮塩性に関する優劣比較等において有効な試験方法と期待されている。ただし, D_{nssm} はその試験材齢時点における拡散係数であるとともに, 設計に必要な見掛けの拡散係数 (以下, D_{ap}) としてそのまま適用することはできない。これに対して, 非定常法で取得された D_{nssm} を D_{ap} に換算する方法として, Tang ら¹⁾ は次の換算方法を提案している。

(1) 任意の材齢における非定常法で得られる塩化物イオン拡散係数 $D_{nssm}(t')$ を式(1)で表現する。

$$D_{nssm}(t') = D_{nssm,t'0} \cdot \left(\frac{t'}{t_0}\right)^n \quad (n < 1) \quad (1)$$

ここに, $D_{nssm}(t')$: 材齢 t' 年における非定常法による拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$), $D_{nssm}(t_0)$: 基準材齢 t_0 年における非定常法により得られた拡散係数の実測値 ($\text{cm}^2/\text{年}$), n : D_{nssm} の材齢変化を表す係数 (以下, 材齢係数 n) を示す。

(2) 次に, 式(2)により見掛けの拡散係数 (以下, D_{ap1}) に換算する。

$$D_{ap1} = \left(\int_{t_{ex}}^{t_{ex}+t} D_{nssm}(t') dt' \right) / t \\ = \frac{D_{nssm,t'0}}{1-n} \left[\left(1 + \frac{t_{ex}}{t}\right)^{1-n} - \left(\frac{t_{ex}}{t}\right)^{1-n} \right] \left(\frac{t_0}{t}\right)^n \quad (2)$$

ここに, D_{ap1} : 暴露期間 t (年) における見掛けの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$), t_{ex} : 暴露開始材齢 (年), t : 暴露期間 (年), t' : 材齢 ($=t_{ex}+t$) を示す。

図-1 に, 表-1 に示す配合のコンクリートにおいて, 非定常法により取得した D_{nssm} を用いて式(1)および式(2)により推定した D_{ap1} と, 浸せき試験から取得した見掛けの拡散係数 (以下, D_{ap2}) の関係を示す。なお, 縦軸は, NT BUILD 492²⁾ に準拠して材齢 28 日, 1 年, 2 年の 3 材齢の D_{nssm} を取得し, 基準材齢 $t_0=28$ 日として, 式(1)に近似して得られた材齢係数 n を用い, $t_{ex}=40$ 日, $t=1.7$ 年として式(2)により推定した D_{ap1} である。横

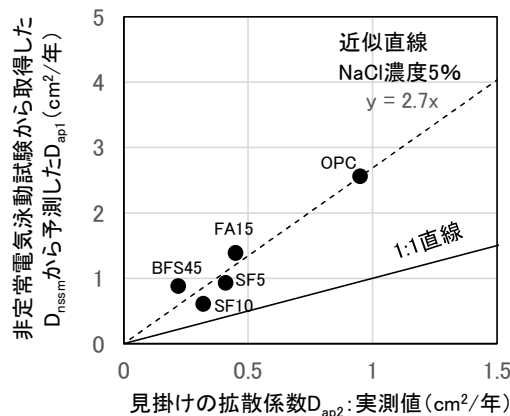


図-1 D_{ap1} と D_{ap2} の関係

表-1 コンクリートの配合表

記号	W/B (%)	単位量 (kg/m^3)						
		W	B = C + SF				S	G
			C	SF	FA	BFS		
OPC	40	170	425	0	0	0	727	1001
SF5	40	170	404	21	0	0	719	1001
SF10	40	170	383	42	0	0	711	1001
FA15	40	170	361	0	64	0	706	1001
BFS45	40	170	234	0	0	191	713	1001

C: 普通ポルトランドセメント (密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $3130\text{cm}^2/\text{g}$)

SF: シリカフェューム (密度 $2.15\text{g}/\text{cm}^3$, 表面積 $196200\text{cm}^2/\text{g}$ (BET), 活性度指数 [材齢 28 日] 115%)

FA: フライアッシュ II 種 (密度 $2.25\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $4010\text{cm}^2/\text{g}$, 活性度指数 [材齢 28 日] 87%)

BFS: 高炉スラグ微粉末 (密度 $2.89\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $4390\text{cm}^2/\text{g}$)

S: 細骨材 (表乾密度 $2.60\text{g}/\text{cm}^3$)

G: 粗骨材 (最大寸法 20mm, 表乾密度 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$)

軸は, 材齢 28 日まで標準養生を行った後に, 温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の室内で 5% NaCl 水溶液に 1.7 年間浸せきさせて得られた D_{ap2} である。図-1 によれば, D_{ap1} と D_{ap2} はコンクリートの種類によらず比例関係が認められるが, D_{ap1} は D_{ap2} の約 2.7 倍となっており, 両者は一致していないことがわかる。この理由として, 非定常法で用いた陰極側セル内溶液の NaCl 濃度 10% に対し, 浸せき試験で用いた NaCl 濃度 5% が異なっている影響が考えられた。

そこで本研究では, 非定常法にて使用する陰極側セル内溶液の NaCl 濃度を変化させ, D_{nssm} の結果に及ぼす影響について検討した。

キーワード 非定常電気泳動試験, 浸せき試験, 塩化物イオン拡散係数, 材齢依存性, NaCl 濃度

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町 1-3 東亜建設工業技術研究開発センター TEL 045-503-3741

2. 実験概要

検討に用いた配合は表-1 に示す SF5 であり、試験実施材齢 3.8 年まで標準養生を行った $\phi 100 \times 200\text{mm}$ のコンクリート供試体を使用した。非定常法の試験方法および条件（前処理、通電、塩化物イオン浸透深さの測定、 D_{nssm} の算出）は NT BUILD 492²⁾ に準じて行い、陰極側セル内溶液の NaCl 濃度の影響を確認するため、濃度 10%に加えて、濃度 1%, 3%, 5%についても検討した。なお、各濃度に対して 4 試験体で検討を行った。

3. 実験結果

非定常法における印加電圧と印加時間を設定するにあたり、本通電の開始前に一時的に 30V の電圧を印加し、その直後の電流値を測定した。その結果を図-2 に示すが、濃度 1 および 3% では試験体ごとのばらつきは小さかったが、濃度 5 および 10% では 4 試験体のうち 1 試験体において大きな電流値が計測された。ただし、濃度 5 および 10% の残り 3 試験体はほぼ同等の電流値を示していたことから、本通電では、すべての試験体に対し、同一の印加電圧 60V、通電時間 24 時間の通電条件を与えることとした。

図-3 に、各試験体の塩化物イオン浸透深さを示す。通電中における溶液温度は 20.1~24.2°C、供試体表面間の測定電位差は 56.0~57.5V であった。この図によれば、濃度 1, 3, 5% と濃度が大きくなるにつれ、塩化物イオン浸透深さも大きくなる傾向が見られたが、濃度 10% では濃度 3% と 5% の中間程度の値となった。

図-4 に、図-3 に示した塩化物イオン浸透深さをを用いて、 D_{nssm} を算出した結果を示す。なお、NT BUILD 492²⁾ における D_{nssm} の算定式には、塩化物イオン浸透深さのほか、陰極側セル内溶液の NaCl 濃度もパラメータとして考慮されているが、図-4 に示されるとおり、図-3 において考察した上述の傾向は変わらなかった。

なお、図-1 に示した浸せき試験は NaCl 濃度 5% の溶液で行っていることから、濃度 5% における D_{nssm} の平均値 $0.94\text{cm}^2/\text{年}$ に対する、濃度 1% の D_{nssm} の平均値 $0.78\text{cm}^2/\text{年}$ の比 (0.83) を考慮した場合 (図-1 における直線勾配 2.7 に 0.83 を乗じた場合) においても、図-1 における勾配は 2.2 程度にしかならない。このことは、非定常法において陰極側セル内溶液の NaCl 濃度を変化させても、見掛けの拡散係数を直接に推定するのは難しいことを裏付けている。すなわち、非定常法の結果から見掛けの拡散係数を推定するには、何らかの補正等

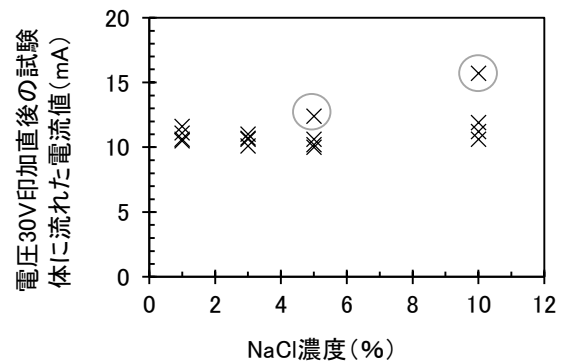


図-2 電圧 30V を印加した直後の電流値

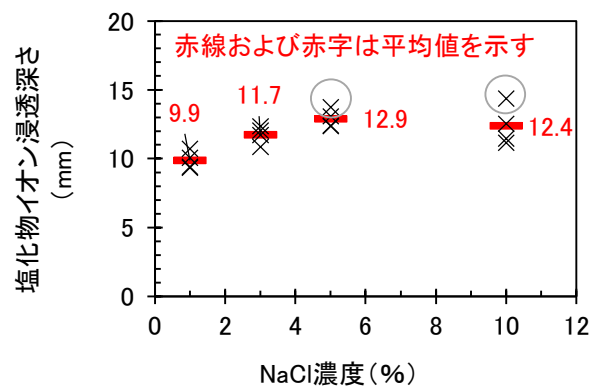


図-3 NaCl 濃度と塩化物イオン浸透深さ

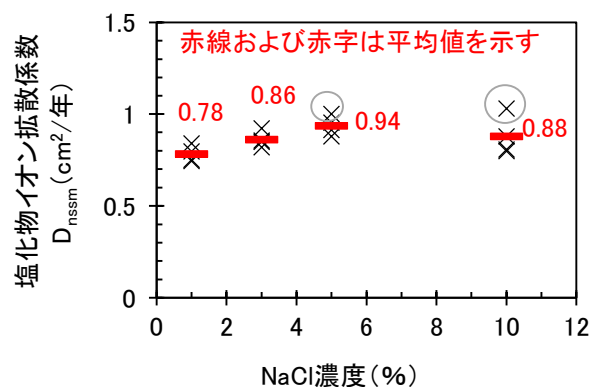


図-4 NaCl 濃度と D_{nssm}

を別途検討する必要があることが示唆された。

4. まとめ

非定常法で用いる陰極側セル内溶液の NaCl 濃度は、 D_{nssm} にほとんど影響しないことがわかった。

参考文献

- 1) Tang Luping, Joost Gulikers : On the mathematics of time-dependent apparent chloride diffusion coefficient in concrete, Cement and Conc Reserch, Vol. 37, pp.589-595, 2007, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000888460700018X>
- 2) Nordtest NT BUILD 492, "Chloride Migration Coefficient from Non-steady State Migration Experiments", Nordtest, Finland, (1999)