

非定常電気泳動試験による各種コンクリートの塩化物イオン拡散係数の評価

東洋大学 学生会員 ○高橋 康太, 黛 桃子
 フェロー会員 福手 勤
 東亜建設工業 正会員 小林 雄一, 田中 亮一, 網野 貴彦

1. 背景・目的

塩害の照査では、コンクリートの塩化物イオン拡散係数が必要となる。その取得には、定常状態における電気泳動試験 (JSCE-G 571) や、浸せき試験 (JSCE-G 572) による方法があるが、数日間で迅速に塩化物イオンの拡散係数を取得する方法として、近年では、非定常による電気泳動試験 (以下、非定常電気泳動試験) の適用性も検討されている^{1) 2)}。

そこで本検討では、各種材料・配合のコンクリートに対し、非定常電気泳動試験を実施して求めた塩化物イオン拡散係数について考察した。

2. 実験概要

2. 1. 供試体

検討したコンクリートは、表-1に示す6種類である。供試体は、φ100×200mmの円柱供試体を材齢27日間標準養生した後に、図-1に示すように切り出したφ100×50mmの2つのスライス片とした。なお、AWCはJSCE-F 504に従い水中打設した供試体を用いた。

2. 2. 非定常電気泳動試験

電気泳動セルはJSCE-G 571に準拠したものを用いた。試験は温度20±2℃、湿度60%の恒温恒湿室にて実施した。なお前処理として、スライス片を材齢27日に真空飽和処理した後、翌日に電気泳動セルにセットし、非定常電気泳動試験を開始した。本実験では、通電時間を6時間および24時間とし、印加電圧は配合ごとに表-1に示すものとした。なお、通電中の溶液温度の上昇量は最大でも3.4℃であった。

塩化物イオン浸透深さは、通電後のスライス片の割裂面に硝酸銀溶液 (0.1mol/L) を噴霧し、白色に呈色した部分を図-2に示すように7箇所で測定し、その平均値を塩化物イオン浸透深さとした。

2. 3. 塩化物イオン拡散係数の算出

表-1 配合表

記号	W/B	単体量(kg/m ³)							印加電圧 (V)
		W	B				S	G	
			C	BFS	SF	FA			
OPC	0.40	170	425	—	—	—	727	1001	25
OPCM	OPCをウェットスクリーニング								20
SCC	0.40	170	425	—	—	—	911	810	25
AWC	0.40	220	550	—	—	—	599	933	25
FA	0.40	170	361	—	—	64 (15%)	706	1001	20
BFS	0.40	170	234	191 (45%)	—	—	713	1001	35
SF	0.40	170	382	—	43 (10%)	—	711	1001	40

※OPC:普通コンクリート,SCC:高流動コンクリート,AWC:水中不分離性コンクリート, FA:フライアッシュ混合コンクリート,BFS:高炉スラグ微粉末混合コンクリート, SF:シリカフェーム混合コンクリート,()内の%は各混和材の結合材に占める質量%

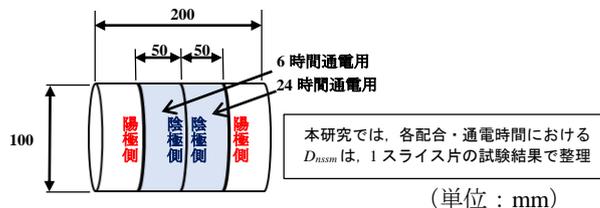


図-1 非定常電気泳動試験に供したスライス片

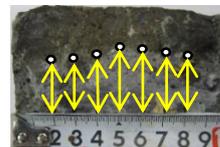


図-2 塩化物イオン浸透深さの測定法

非定常状態の塩化物イオン拡散係数の算出は、文献2)を参考に式(1)を用いて算出した。

$$D_{nssm} = \frac{RT}{zFE} K \tag{1}$$

ただし、 D_{nssm} ：非定常電気泳動試験から得られる塩化物イオン拡散係数 (m²/s)、 R ：気体定数 (=8.31J/(K・mol))、 T ：試験開始時と終了時における陽極側と陰極側の溶液温度 (K) の平均値、 z ：塩化物イオンの電荷 (=1)、 F ：ファラデー定数 (=9.65×10⁴ J/(V/mol))、 E ：電位勾配 (試験開始時と終了時における両溶液間の電圧の平均値を試験片の厚さで除した値) (V/m)、 K ：塩化物イオン浸透速度係数 (m/s) (式(2)参照) を表す。

$$K = \frac{X_{d,24h} - X_{d,6h}}{(24-6) \cdot 60 \cdot 60} \quad (2)$$

ただし、 $X_{d,6h}$, $X_{d,24h}$: 通電 6 時間および 24 時間後の塩化物イオン浸透深さを表す。

3. 実験結果・考察

図-3 に通電時間と塩化物イオン浸透深さの関係、図-4 に算出した塩化物イオン拡散係数 D_{nssm} を示す。

OPCM および SCC の D_{nssm} は、OPC に比べ若干大きかった。これは、粗骨材量が影響していると考えられる。また、OPC と AWC を比較すると、同一水セメント比にもかかわらず AWC のほうが D_{nssm} は大きかった。これは、水中打設によるセメントの流出が影響した可能性があるが、本検討では AWC の気中打設供試体を作製していなかったため、今後気中打設の結果と比較検討する必要がある。BFS, FA および SF の D_{nssm} は、OPC より小さかった。これは、潜在水硬性やポズラン反応、マイクロファイラー効果による細孔構造の緻密化の効果と考えられる。また、結合材の種類に比べ粗骨材量が塩化物イオン拡散係数に及ぼす影響は小さいと推察される。なお、混和材を用いたコンクリートは、材齢が経過すると遮塩性能が向上することが知られている²⁾。今回は材齢 28 日の結果であるため、今後、長期材齢による試験を実施し、検証する予定である。

土木学会 2013 年制定コンクリート標準示方書（維持管理編）の式(3), (4), (5)より算出した見掛けの拡散係数 D_{ap} と D_{nssm} の比較を図-5 に示す。

・OPC の場合 $\log_{10} D_{ap} = 3.0(W/C) - 1.8 \quad (3)$

・BFS, SF の場合 $\log_{10} D_{ap} = 3.2(W/C) - 2.4 \quad (4)$

・FA の場合 $\log_{10} D_{ap} = 3.0(W/C) - 1.9 \quad (5)$

ただし、 D_{ap} :塩化物イオン拡散係数の特性値($\text{cm}^2/\text{年}$), W/C : 水セメント比を表す。

図-5 より、材齢 28 日時点での D_{nssm} と D_{ap} の相関が確認された。ただし、前述のとおり長期材齢の D_{nssm} との比較が必要と考えられる。

4. まとめ

非定常電気泳動試験により、コンクリートの粗骨材量の違いや、水中打設に伴うセメントの流失等の品質の影響、さらには混和材使用による遮塩効果を定量的に評価できる可能性があることがわかった。また、今回の実験の範囲では、示方書に準じて計算される見掛けの拡散係数 D_{ap} と D_{nssm} は良好な相関関係が認められた。

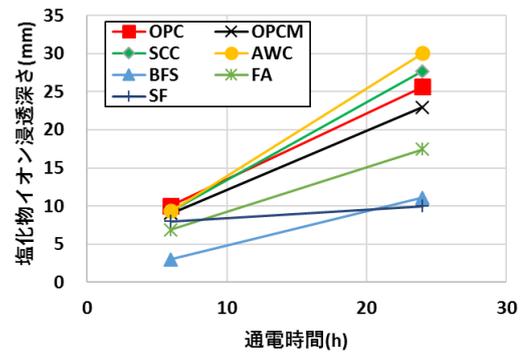


図-3 通電時間と塩化物イオン浸透深さの関係

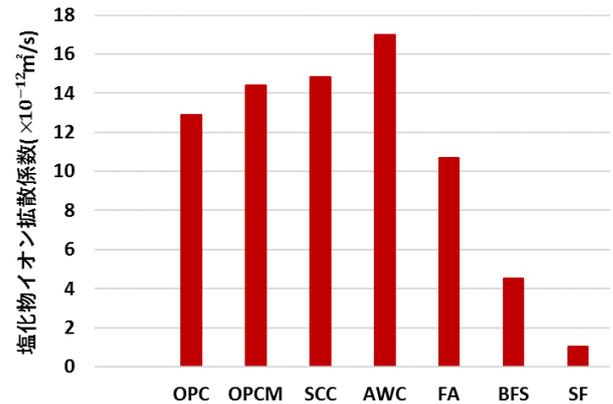


図-4 塩化物イオン拡散係数 D_{nssm}

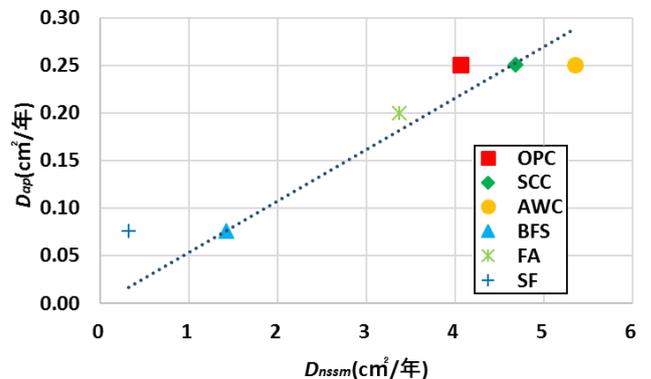


図-5 D_{ap} と D_{nssm} の比較

参考文献

- 1) NT BUILD 492 : Concrete, Mortar and Cement-based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments, Nordtest, Finland,1999.
- 2) 中村英佑, 皆川浩, 宮本慎太郎, 久田真, 古賀裕久, 渡辺博志: 通電後の塩化物イオン浸透深さをを用いたコンクリートの遮塩性の評価, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.72, No.3, 304-322, 2016.