

混和材を配合したコンクリートの塩分浸透量に関する検討

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○石井 祐太
東日本旅客鉄道(株) 正会員 池本 宏文

1. はじめに

高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混和材として配合したコンクリートは、塩分浸透抑制効果が期待できる。現在の土木学会や鉄道の設計標準では、混和材を使用したコンクリートの遮塩性について一定程度考慮されている¹⁾が、遮塩性の経時変化については十分に評価されるには至っていない。大野ら²⁾は高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混和材として配合したコンクリートに対して、1年間の塩水浸漬試験を実施し、その結果からコンクリートの将来的な塩分浸透量の予測を行い、混和材を配合したコンクリートの塩分浸透抑制効果を確認した。

今回、3年間の浸漬試験結果が蓄積されたことから、その結果をもとに混和材を配合したコンクリートの将来的な塩分浸透量の予測を再度実施し、RC構造物における必要かぶりを検証した。

2. 試験方法

配合条件や養生条件を変えた直径 100mm、高さ 150mm の円柱供試体を 5 種類作製した。コンクリートの配合条件と養生条件を表-1 に示す。試験体は側面にのみエポキシ樹脂を塗布し、下側半分が塩水に浸かるように浸漬した。塩水の濃度は 10%とし、室温 20°C の環境下で保管した。所定の塩水浸漬期間が経過した試験体は、圧縮試験機により縦方向に割裂し、割裂面をドリルで削孔して試料を採取した。試料の採取位置は浸漬面から、0, 10, 20, 30, 50, 70, 90, 110mm の位置とし、採取したコンクリート粉を蛍光 X 線装置にかけて塩化物イオン量を測定した。

3. 試験結果

図-1 に 3 年間の塩水浸漬時における塩化物イオン濃度分布を示す。同図には Fick の第二法則に基づく拡散

方程式 (式(1)) により近似した曲線も合わせて示す。

$$C(x,t) = C_i + C_o \{1 - \text{erf}(x/(2\sqrt{D \cdot t}))\} \tag{1}$$

ここに、 x : 浸漬面から全塩化物イオン濃度を測定した箇所までの距離(cm), t : 浸漬期間(年), $C(x,t)$: 距離 x (cm), 供用期間 t 年において測定された全塩化物イオン濃度 (kg/m^3), C_o : コンクリートの表面における全塩化物イオン濃度 (kg/m^3), C_i : 初期含有全塩化物イオン濃度 (kg/m^3), D : コンクリートの見掛けの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$), erf : 誤差関数である。

鉄道構造物等設計標準³⁾では、鋼材の腐食の観点から、設計耐用年数 100 年の RC 構造物に対して、鋼材腐食発生限界濃度をコンクリートの配合条件によらず $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ と定めている。図-1 より、浸漬面からの距離に着目すると鉄筋の腐食発生限界に達するのは、OPC は 51mm, B50 は 16mm, B75 は 13mm, B50+FA10 は 20mm, FA30 は 14mm であり、OPC に比べて混和材を配合したコンクリートの塩分浸透抑制効果を確認した。

4. 将来的な塩分浸透量の検証

土木学会のコンクリート標準仕様書⁴⁾では、見掛けの拡散係数は配合条件と水セメント比によって定まると仮定し、普通ポルトランドセメント、および高炉セメント B 種については、式(2)、式(3)が提案されている。この算定式では、浸漬日数にかかわらず拡散係数は一定値となっている。

普通ポルトランドセメント

$$\log_{10} D_o = 3.0(W/C) - 1.8 \tag{2}$$

高炉セメント B 種 (置換率 30~60%)

$$\log_{10} D_o = 3.2(W/C) - 2.4 \tag{3}$$

表-1 使用したコンクリートの配合条件、養生条件

試験体 No.	配合	配合条件											養生条件							
		W/P (%)	S/a (%)	粉体量 (kg/m^3)	空気量 (%)	表面水 (%)	単位量(kg/m^3)							蒸気養生 温度	蒸気養生 時間	水中養生		気中養生		
							水 密度 1	セメント 密度 3.16	高炉スラグ微粉末 密度 2.89	膨脹材 密度 2.93	フライアッシュ 密度 2.2	細骨材 密度 2.72	粗骨材 密度 2.65			減水剤 密度 1.06	温度	日数	温度	日数
1	OPC	42.4	40.0	330	2	0.0	140	297	0	33	0	799	1168	2.64	50°C	6時間	15°C	3日	20°C	28日
2	B50	38.5	40.0	364	2	0.0	140	146	182	36	0	782	1142	2.08						
3	B75	33.0	40.0	424	2	0.0	140	64	318	42	0	757	1106	2.12						
4	B50+FA10	34.1	40.0	410	2	0.0	140	123	205	41	41	759	1109	2.26						
5	FA30	32.4	40.0	432	2	1.39	140	268	0	35	130	745	1088	2.51						

* OPC : 普通ポルトランドセメントを用いた普通コンクリート配合
 * B50 : 配合Nの普通ポルトランドセメントのうち、50%を高炉スラグ微粉末で内割置換した配合
 * B75 : 配合Nの普通ポルトランドセメントのうち、75%を高炉スラグ微粉末で内割置換した配合
 * B50+FA10 : 配合Nの普通ポルトランドセメントのうち、50%を高炉スラグ微粉末、10%をフライアッシュで内割置換した配合
 * FA30 : 配合Nの普通ポルトランドセメントのうち、30%をフライアッシュで内割置換した配合

図-2 に浸漬期間 3 年間における見掛けの拡散係数の経時変化をおよび後述する式(5)により近似した曲線を示す。土木学会の関係式によれば、見掛けの拡散係数は浸漬時間によらず一定となるが、今回の試験では、浸漬時間の経過とともに小さくなっていく結果となった。大野ら²⁾は見掛けの拡散係数は、浸漬日数ともに減少することを示し、式(4)、式(5)により塩化物イオンの浸透停滞現象が再現できることを確認している。

$$C(x,t) = C_i + C_o \{1 - \text{erf}(x / (2\sqrt{D(t) \cdot t}))\} \quad (4)$$

$$D(t) = a \cdot t^b \quad (5)$$

ここに、 $D(t)$ ：時間依存性を考慮したコンクリートの見掛けの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$)、 a, b ：3 年間の浸漬試験結果から算出した係数である。

図-3 は、OPC、および B50 において、土木学会から提案されている拡散係数 (式(2), 式(3)) を用いた場合と試験結果をもとに式(4), 式(5)を用いて予測した場合における浸漬期間 100 年の塩化物イオン濃度の予測分布を示したものである。なお、表面塩化物イオン濃度 C_o は飛沫帯を想定し、 $13\text{kg}/\text{m}^3$ として求めている。

RC 構造物は、設計耐用年数である 100 年において、塩害環境下に曝されていても鉄筋が腐食しないかぶりを必要とする。表-2 に鉄筋の腐食発生限界 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ に達する浸漬面からの距離 (以下、必要かぶり) を示す。OPC, B50 では、土木学会の予測分布から導かれる必要かぶりよりも今回の試験結果から予測した必要かぶりの方が小さくなった。これは、土木学会の予測分布は時間とともに小さくなっていく拡散係数の時間依存性を考慮していないためであると考えられる。

表-2 算出された必要かぶり

	OPC	B50
今回の試験結果をもとに予測した分布	62	32
土木学会の予測分布	143	69

5. まとめ

今回の試験の結果、以下の項目を確認した。

- (1) 3 年間の浸漬結果から、混和材を使用したコンクリートにおける塩分浸透抑制効果を確認した。
- (2) 時間依存性を考慮したコンクリートの見掛けの拡散係数を用いることにより、拡散係数を一定値として評価した場合よりも、算出された必要かぶりが小さくなることを確認した。

参考文献

- 1) 公益社団法人 土木学会：コンクリート標準示方書【設計編】，2017。
- 2) 大野直也ら：混和材を配合したコンクリートの遮塩効果に関する実験的検討，土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集，V-423，2017。
- 3) 国土交通省監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，丸善，2004。

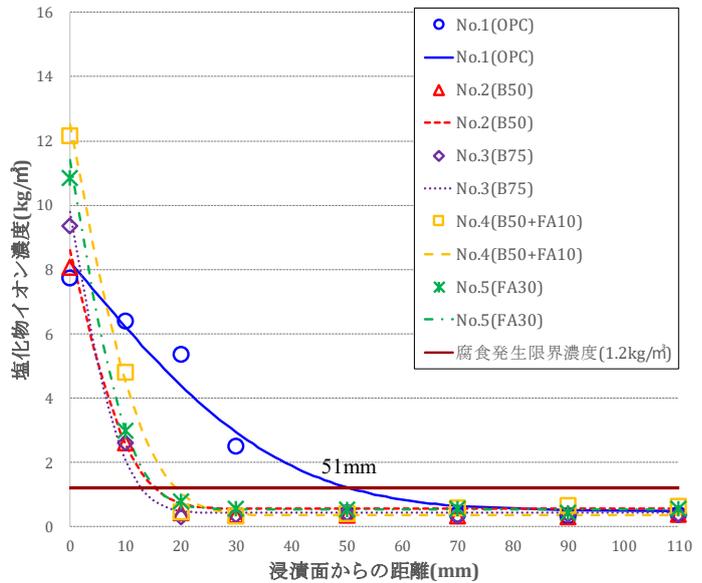


図-1 塩化物イオン濃度分布

(点：実測値，実線：近似曲線)

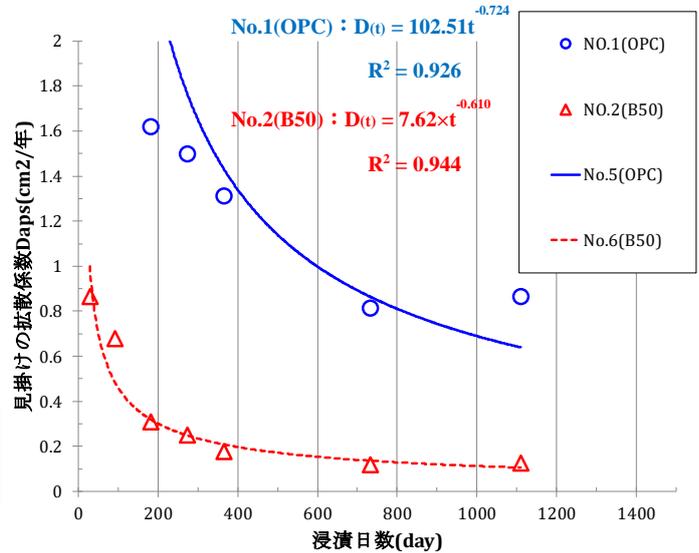


図-2 見掛けの拡散係数の経時変化

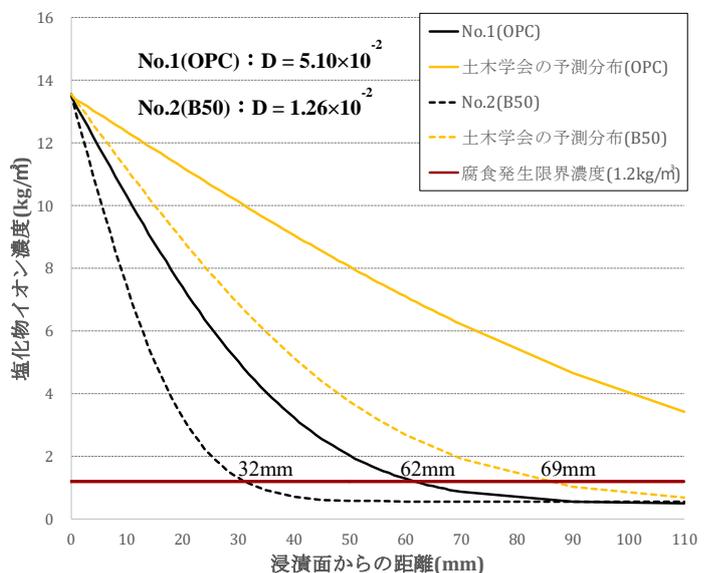


図-3 100 年後の塩化物イオン濃度予測分布