

表面含浸材を塗布したコンクリートの塩分浸透抵抗性に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○小林 聖 橋本 学 林 大介
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 正会員 遠藤裕丈

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を簡易に向上させる方法として、表面含浸材をコンクリート表面に塗布する方法がある。表面含浸材は、コンクリート表面に塗布することによって内部に浸透し、水の浸透を抑制する層（以後、吸水防止層と称する）を形成する材料である。著者らはこれまでに、表面含浸材の中でもシラン・シロキサン系と称される材料を研究開発し、実構造物へ適用している¹⁾。さらに凍害と塩害の複合劣化環境で暴露試験を行い、長期耐久性についても良好な品質が得られることを確認している²⁾。ここで、今までの施工対象は経年劣化したコンクリート構造物の補修用途であった。しかし、近年は予防保全として新設構造物への塗布や、寒冷地におけるスケーリング対策など、より厳しい環境条件における適用が進められた。そのため、水セメント比が低い新設のプレストレストコンクリートや寒冷地仕様のコンクリートに確実に含浸する表面含浸材の開発ニーズが高まった。そこで、含浸材の改善を目的として、シラン・シロキサン濃度 95%以上としたシラン・シロキサン系表面含浸材（以後、HV と称する）を新たに調整した。今回、HV の実環境における長期耐久性の実証を目的として暴露試験を行ったのでその結果について報告する。

2. 暴露試験

凍害と塩害の複合劣化環境である北海道の沿岸部において暴露試験を行った。暴露状況を写真-1 に示す。暴露場所は小規模河川の河口に位置しており、汀線より約 80 メートルの距離にある。海から多量の飛来塩分があり、冬期には凍結融解が繰り返される。本試験に用いた使用材料を表-1 に、コンクリートの配合を表-2 に示す。供試体は打込み後、翌日脱型し、材齢 28 日まで水中養生を行った。その後表面水分率が 5%以下となったことを確認して HV を塗布し、暴露を開始した。なお、HV を塗布した供試体は、塗布量を 200g/m²とした。7 年間暴露した供試体の吸水防止層の厚さは、4.0mm、中性化深さは、HV を塗布しない供試体は 0.5mm、HV を塗布した供試体は 2.0mm であった。

3. 塩化物イオンの拡散係数の算出

7 年間暴露を行った供試体の塩化物イオン量の測定を行った。測定には、100 μm の分解能でコンクリート断面の塩化物イオン濃度分布を分析可能な電子線プローブ・マイクロアナライザー(EPMA)を用いた。塩化物イオンの面分析結果を図-1 に示す。なお、骨材部分のデータを除去し、ペースト部の塩化物イオン濃度として表示している。



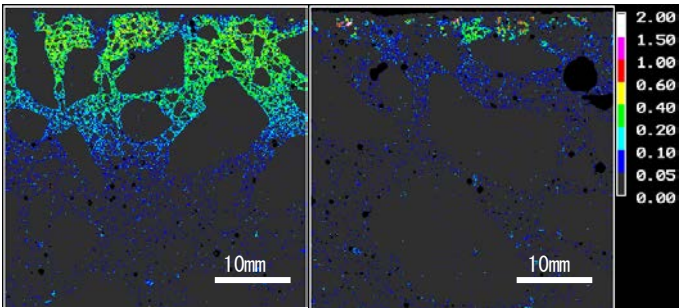
写真-1 暴露試験状況

表-1 使用材料

項目	記号	摘要
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm ³
細骨材	S	陸砂, 表乾密度: 2.57g/cm ³ , 粗粒率: 2.72
粗骨材	G	碎石, 表乾密度: 2.64g/cm ³ , 実績率: 59.0%,
混和剤	Ad	AE 減水剤 (リグニンスルホン酸系)

表-2 配合

Gmax (mm)	スランブ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				Ad
					W	C	S	G	
20	8.0	45	4.5	44.1	158	371	774	1007	3.71



i) 塗布なし ii) 塗布あり
図-1 塩化物イオンの面分析結果

キーワード: 表面含浸材, 吸水防止層, 塩化物イオン, 拡散係数

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-8023

ここでは、 $25 \leq \text{CaO} \leq \text{mass}50\%$ 、 $10 \leq \text{SiO}_2 \leq 35\text{mass}\%$ 濃度を示す部分を骨材と見なしてデータから排除した。

HV を塗布した場合、コンクリートの表面付近には吸水防止層が形成される。この吸水防止層と HV が浸透していないコンクリート部分は、塩化物イオンの見かけの拡散係数が異なるため、拡散係数を分けて設定する必要がある³⁾。コンクリート表面からの塩化物イオン量は下式により算出した。

$0 \leq x \leq t_h$ の場合

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_h \cdot t}} \right) \right) + C_i$$

$x > t_h$ の場合

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{t_h}{\sqrt{D_h}} + \frac{(x - t_h)}{\sqrt{D_c}} \right) \right) \right) + C_i$$

ここで、 C_0 は表面塩化物イオン量(kg/m³)、 erf は誤差関数、 x は表面からの深さ(mm)、 t は経過年数(年)、 t_h は吸水防止層の厚さ(mm)、 D_h は吸水防止層における塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm²/年)、 D_c はコンクリートにおける見かけの拡散係数(cm²/年)、 C_i は初期塩化物イオン量(kg/m³)である。

EPMA による塩化物イオンの測定結果のうち、HV を塗布していないコンクリートを図-2に、HV を塗布したコンクリートを図-3に示す。なお、最小二乗法によりフィッティングした結果も併記した。フィッティングに用いた値を表-3に示す。HV を塗布していないコンクリートにおけるフィッティングの結果、 C_0 は2.3kg/m³、拡散係数は0.12cm²/年となった。なお、 C_i は各ケースの表面から40mmの位置における塩化物イオン濃度を平均した0.1kg/m³を用いた。次に、HV を塗布していないコンクリートにおけるフィッティングを行った。なお、 C_0 およびHV が浸透していないコンクリートの拡散係数は上述した値を採用し、吸水防止層の拡散係数のみをパラメータとしてフィッティングした。その結果、吸水防止層の拡散係数は0.004cm²/年となった。HV を塗布することで拡散係数が大幅に低下し、劣化因子である塩化物イオンの浸透を抑制して耐久性の向上に寄与することが示唆された。

4. まとめ

EPMA の結果から吸水防止層の拡散係数を算出することができた。今後は、さらに長い暴露試験後の供試体において同様のフィッティングを行い、拡散係数の精度を向上させる予定である。

参考文献

1) 林大介, 浸透性吸水防止材による橋梁の塩害防止, 防水ジャーナル, 2009.8.
2) 林大介ほか, シラン・シロキサン系表面含浸材の開発および長期耐久性の実証, コンクリート工学, Vol.57, No.10, 2019.10.
3) 遠藤裕丈ほか, 表面含浸材を施工したコンクリートの塩化物イオンの拡散予測に関する基礎的検討, 寒地土木研究所平成 19 年度技術研究発表会, 2008.2.

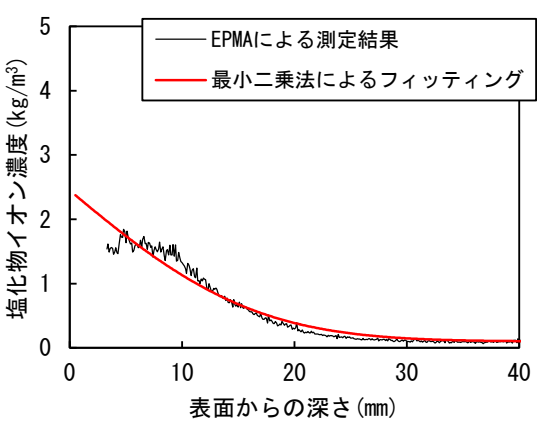


図-2 塩化物イオンの濃度測定結果 (塗布なし)

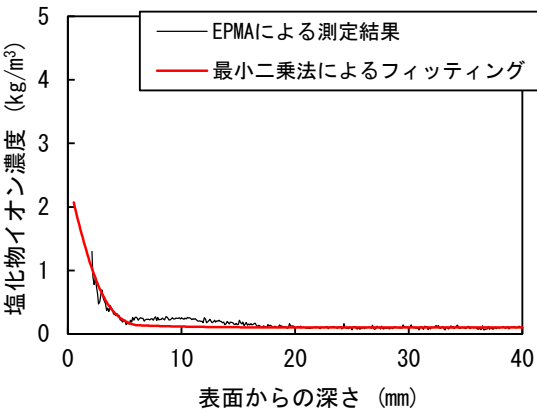


図-3 塩化物イオンの濃度測定結果 (塗布あり)

表-3 フィッティングに用いた値		
項目	塗布なし	塗布あり
表面塩化物イオン濃度 (kg/m³)	2.3	2.3
初期塩化物イオン量 (kg/m³)	0.1	0.1
表面含浸材の深さ (mm)	0.0	4.0
経過年数 (年)	7	7
コンクリートの見かけの拡散係数 (cm²/年)	0.12	0.12
吸水防止層の見かけの拡散係数 (cm²/年)	-	0.004