

シラン・シロキサン系表面含浸材の 20 年間の暴露試験結果

鹿島建設(株) 正会員 小林 聖 倉田和英 橋本 学 林 大介
カジマ・リノベイト(株) 正会員 ○長谷川裕介 前山篤史
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・シロキサン系に分類される材料（以後、MR と称する）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、長期的な耐久性について検証している²⁾。今回、暴露から 20 年が経過し、各種試験を実施した結果について報告する。

2. 暴露試験概要

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。本試験に用いたコンクリートの使用材料を表－1 に、配合を表－2 に示す。供試体はφ125×h250mm とし、打込み後の翌日に脱型し、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 MR を塗布し、暴露を開始した。なお、MR の塗布量は 200g/m² とした。

3. 塩化物イオンの拡散係数の算出

暴露試験後の供試体において、吸水防止層の厚さ、中性化深さ、および塩化物イオン濃度の測定を行った。吸水防止層の厚さは、割裂した供試体を水中に 1 分間浸漬し、撥水部分の厚さを測定した。中性化深さは JIS A 1152 に準拠して測定した。塩化物イオン濃度の測定は、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。

吸水防止層の測定結果を図－1 に示す。吸水防止層は、暴露開始から 1 年後で 4.2mm であったのに対し、20 年後においても 3.0mm が残存しており、その厚さに大きな変化はないことが確認された。

中性化深さについては、MR を塗布していない供試体の中性化深さが 1.1mm であり、2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】を参考に算出した値とほぼ同等であった。一方、MR を塗布した供試体は 9.4mm であった。この理由として、MR を塗布することによりコンクリート中の水分量が減少し、結果的に中性化が進行しやすい状態になっているものと考えられる³⁾。



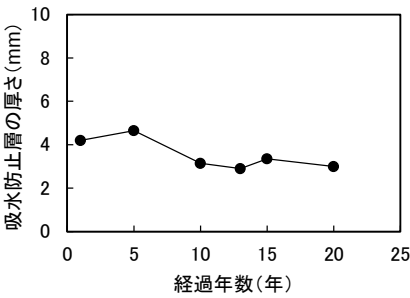
写真－1 暴露試験状況

表－1 使用材料

項目	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	B	C 普通ポルトランドセメント、密度：3.16g/cm ³
膨張材		Ex エトリンガイト系（30 型）
細骨材	S	陸砂、表乾密度：2.58g/cm ³ 、粗粒率：2.75
粗骨材	G1	碎石、表乾密度：2.66g/cm ³ 、実積率：58.8%
	G2	碎石、表乾密度：2.65g/cm ³ 、実積率：58.3%
混和剤	Ad	AE 減水剤（リグニンスルホン酸系）

表－2 配合

Gmax (mm)	W/B (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)						Ad (B×%)
				W	B		S	G1	G2	
					C	Ex				
20	40.4	42.6	5.5	138	312	30	765	477	583	1.08



図－1 吸水防止層の測定結果

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 〒162-0065 東京都新宿区住吉町 1-20 カジマ・リノベイト(株) TEL 03-5379-8771

EPMA による塩化物イオン濃度の測定結果を図-2 に示す。MR を塗布していないコンクリートは内部に塩分が濃縮している現象が確認され、塩化物イオン濃度は最大で 5.0kg/m³ 程度であった。一方、MR を塗布したコンクリートは内部にほとんど塩分が浸透しておらず、吸水防止層により塩分の浸透が大幅に抑制されていることが確認された。

この測定結果に対して見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度を回帰分析により算出した。なお、MR を塗布したコンクリートの吸水防止層部分と MR が浸透していないコンクリート部分は、塩化物イオンの見掛けの拡散係数が異なるため、拡散係数を分けて設定した⁴⁾。

吸水防止層の厚さは実測値を用い、初期含有塩化物イオン濃度は MR を塗布したコンクリートの表面から 40mm の位置における塩化物イオン濃度 0.1kg/m³ を用いた。MR を塗布していないコンクリートは、JSCE-G 573-2013 を参考に中性化深さ+10mm 以内の値は回帰分析に用いないこととした。回帰分析に用いた値を表-3 に、その値を用いて最小二乗法により回帰分析した結果を図-3 に併記して示す。フィッティングにより得られた値を表-4 に示す。MR を塗布していないコンクリートにおける拡散係数は 0.1cm²/年であった。MR を塗布したコンクリートでは吸水防止層における拡散係数は 0.00027cm²/年であり、非常に小さい値となることが確認された。なお、MR を塗布したコンクリートでは 10mm 付近で塩化物イオン濃度が 0.5kg/m³ 程度となっている箇所が確認された。前述のとおり MR を塗布したコンクリートの中性化深さは 9.4mm であることから、吸水防止層により塩分の浸透は抑制されているものの、吸水防止層を通過した極少量の塩分が中性化部分で固定化されず、未中性化部分で濃縮現象が生じている可能性が考えられる。吸水防止層により中性化が促進されることから鉄筋腐食が懸念されるが、塩分の浸透が抑制されるとともに、コンクリート中の水分量が減少することから、鉄筋腐食が生じにくい状態となっていると考えられる。

4. まとめ

凍害と塩害の複合劣化環境における 20 年間の暴露試験の結果から、MR を塗布したコンクリートではコンクリート中における塩化物イオン濃度が非常に小さく、高い遮塩性を維持していることが確認された。今後も暴露試験を継続し、さらに長期のデータを拡充するとともに、吸水防止層の遮塩性を確認する予定である。

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) 佐伯竜彦ほか, 飛来塩分環境下にあるコンクリートの表面塩化物イオン濃度評価式の検討, 土木学会論文集, Vol.76, No.2, pp.98-108, 2020
4) 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.

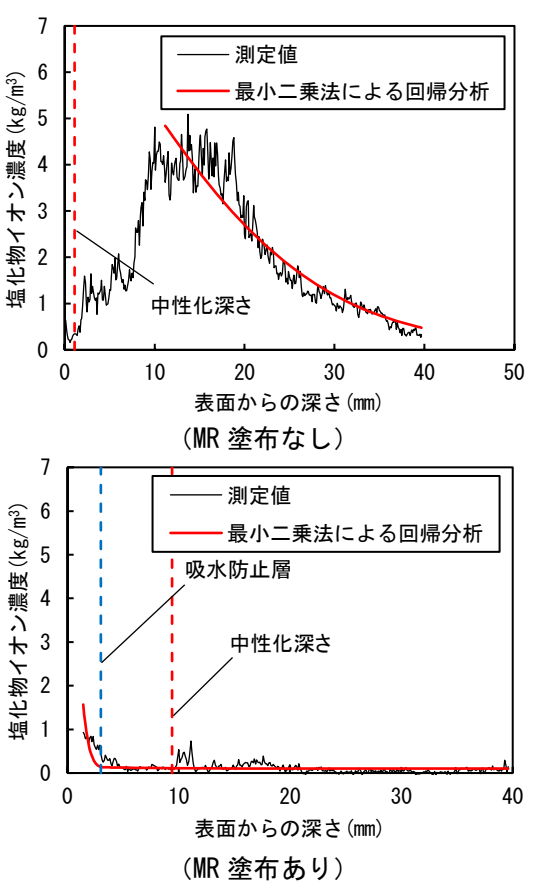


図-2 塩化物イオン濃度の測定結果

表-3 回帰分析に用いた値

項目	塗布なし	塗布あり
初期塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	0.1	0.1
吸水防止層の厚さ (mm)	0.0	3.0
経過年数 (年)	20	20

表-4 回帰分析により得られた値

項目	塗布なし	塗布あり
表面塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	8.3	8.3*
コンクリートの見掛けの拡散係数 (cm ² /年)	0.1	0.1*
吸水防止層の見掛けの拡散係数 (cm ² /年)	-	0.00027

※塗布なしと同じとした