

内在塩分を含むコンクリートから各種補修材料への 塩化物イオン拡散現象に関する研究

九州大学 学生会員 増谷 駿平 九州大学大学院 学生会員 池田 隆徳
九州大学大学院 正会員 濱田 秀則 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
西日本高速道路(株) 今村 壮宏

1. はじめに

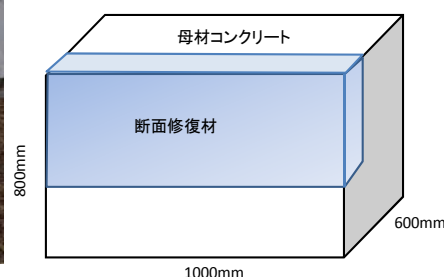
沖縄自動車道北部区間では、海砂由来の内在塩分により、塩害劣化したコンクリート構造物が、断面修復を行った後も再劣化する事例が散見される。これは、母材コンクリートに残存する高濃度の塩化物イオンが補修材へ移動したことによるものと考えられる。本研究では、内在塩分を有するコンクリート構造物の補修効果の検証、および維持管理へ反映するための基礎資料を収集することを目的とし、予め塩分を含むコンクリートに断面修復を施した試験体における内在塩分の移動について 15 年間追跡調査を行った結果について報告する。

2. 曝露試験体概要

試験体は、内在塩分を含む母材コンクリートを打設し、1 ヶ月経過した後に、鉄筋より 5cm 以深の部分までは取り、各種補修材料によって断面修復を施したものである（写真－1）。試験体の形状および寸法を図－1 に示す。母材コンクリートの水セメント比は、実構造物と



写真－1 曝露試験体



図－1 試験体の形状・寸法

同様の 58.5%とし、塩化物イオン量を 4kg/m^3 または 10kg/m^3 とした。ここで、塩化物イオン量 4kg/m^3 は実構造物の調査結果を基に設定し、 10kg/m^3 は最大値に相当する値として設定した。塩化物イオンは、塩化ナトリウムを練混ぜ水に溶解することで所要量を添加した。補修方法は、表－1 に示す 3 種類を設定し、母材コンクリートの配合および補修方法の組合せより計 3 体の試験体（A～C）を作製した。表－2 に母材コンクリートおよび補修材料の示方配合を示す。なお、試験体 B については、右側面と左側面で異なる補修方法（打継ぎ用接着剤の有無）が施されており、1 つの試験体で 2 つの要因の比較ができるようになっている。

表－1 試験体要因一覧

記号	補修方法の種類	母材コンクリートの塩化物イオン含有量 (kg/m^3)	
		4	10
I	ポリマーコンクリート (PCC) ＋防水塗装	○ A*	
II	流動化コンクリート ＋防水塗装	○ B	○ C
III	流動化コンクリート ＋打継ぎ用接着剤 ＋防水塗装	○ B	

* アルファベット A～C は曝露供試体に付記したものである。

3. 試験体の曝露環境

試験体は、作製後、沖縄県浦添市の海岸からの距離がおよそ 4km の位置に設置し、曝露試験を開始した。

4. 試験概要

曝露開始から、9 ヶ月、3 年、6 年、15 年経過した時点において塩化物イオンを含む母材コンクリートから補修材料への塩分拡散挙動を検討するため、各試験体より $\phi 75\text{mm}$ コアを採取した。母材-補修材界面を中心として母材側は 70mm、補修材側は表面までの範囲でスライスを採取し、粉碎後に酸溶解した溶液について電位差測定による塩化物イオンの測定方法（JCI-SC4）に従い計測を行った。

表－2 示方配合

(1) 母材コンクリート							
W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)					
(%)	(%)	CI 量	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
58.5	42	4	178	305	754	1075	3.05
		10					
(2) 流動化コンクリート							
W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)					
(%)	(%)	水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	膨張材
46.8	46.8	164	320	844	983	0.875	30
※スランプ値15cmが得られるように流動化剤を後添加した。							
(3) ポリマーセメント系コンクリート							
W/P	s/a	単位量 (kg/m ³)					
(%)	(%)	A成分 (ポリマー)		B成分 (粉体)		G (13~5mm)	
49.5	-	225.6		1025.7		1025.7	
		(W = 203.04)		(C = 410.28)			

5. 実験結果および考察

図-2～図-5 に塩化物イオン濃度の分布を示す。なお、横軸 x は、母材と補修材の境界を 0 としており、マイナス方向が補修材、プラス方向が母材コンクリートの塩化物イオン濃度を示すように図示している。また、試験体は [補修方法の記号] - [初期含有塩化物イオン量] の形で表記し、図中の $x=-50\text{mm}$ と $x=-90\text{mm}$ に鉄筋位置を示す。

5. 1 塩分濃度分布の経時変化

まず、図-2～図-4 において塩分濃度分布の変化を経時的に見ると、全ての試験体で時間が経過するにつれ、補修材側へ母材の塩分が供給されて拡散している状況が確認できる。特に、II-10 (図-2) では、6 年経過した時点で、鉄筋位置 ($x=-50\text{mm}$) の塩化物イオン量は、腐食発生限界塩化物イオン量とされる 1.2kg/m^3 に達している。

次に、15 年経過後の拡散状況について要因ごとに比較する。

母材コンクリートの塩分濃度の違いに着目すると (図-2, 図-3), 4kg/m^3 に比べ、 10kg/m^3 の方が塩分の拡散範囲が広く、15 年が経過した現時点においては、鉄筋位置 $x=-90\text{mm}$ の塩化物イオン量までも 1.2kg/m^3 に達していることが分かる。

補修材料の違いを比較すると (図-3, 図-4), 流動化コンクリートに比べ、ポリマーセメント系コンクリート (以下、PCC) の方が、塩分の拡散を抑制できていることが分かる。これは、PCC の微細構造が緻密なためであると考えられる。

打継ぎ用接着剤の有無による違いを比較すると (図-3, 図-5), 打継ぎ用接着剤を塗布した場合は 15 年経過した現時点において塩分の移動は確認できず、塩分の拡散を遮断していることが分かる。

5. 2 塩分拡散の将来予測

補修材に対する塩分拡散予測として、図-2～図-4 の補修部分における塩化物イオン濃度の分布を Fick の拡散方程式の解によりフィッティングし、境界面の塩化物イオン量を一定と仮定して拡散係数を求めた結果と、補修後に鉄筋位置 ($x=-50\text{mm}$) の塩化物イオン量が 1.2kg/m^3 に達するまでの年数を予測した結果を表-3 に示す。I-4 の拡散係数が小さいことが分かり、拡散係数および境界面の塩化物イオン量が現状と同じとして予測をすると、I-4 では補修後 58 年、II-4 では補修後 40 年で鉄筋位置 ($x=-50\text{mm}$) の塩化物イオン量が 1.2kg/m^3 を超える結果となった。また、II-10 では、補修後 6 年で鉄筋位置 ($x=-50\text{mm}$) の塩化物イオン量が 1.2kg/m^3 を超える結果となった。

6. まとめ

- (1) PCC での補修について、塩分拡散の抑制効果が確認された。
- (2) 補修材料の打継ぎ目に打継ぎ用接着剤を塗布することにより、塩分拡散に対して非常に高い遮断効果が得られた。
- (3) 補修材料の拡散係数を求め、鉄筋腐食開始までの期間を要因ごとに明らかにした。

【謝辞】本研究は、九州大学と西日本高速道路(株)における「包括的な連携推進に関する協定」に基づいて行った共同研究の成果の一部である。関係者各位に謝意を表する。

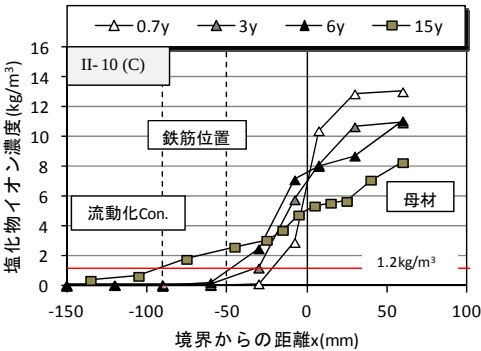


図-2 II-10 (C) 塩分濃度分布

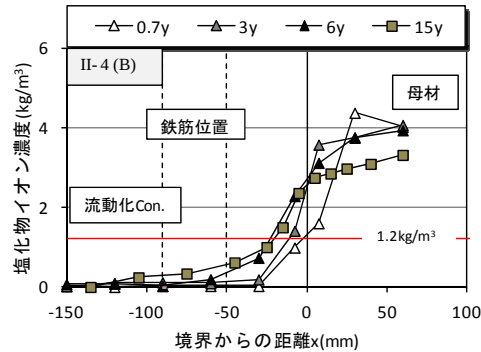


図-3 II-4 (B) 塩分濃度分布

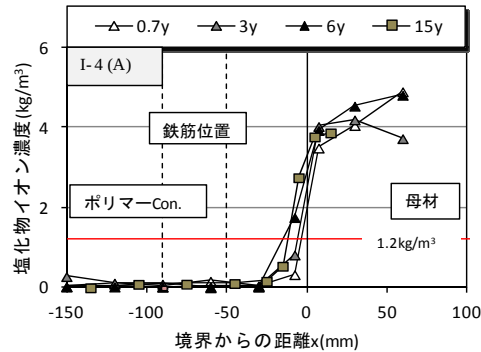


図-4 I-4 (A) 塩分濃度分布

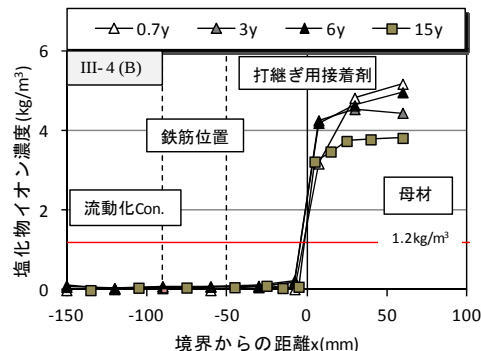


図-5 III-4 (B) 塩分濃度分布

表-3 拡散係数と将来予測

試験記号	拡散係数 (cm^2/year)	鉄筋位置 ($x=-50\text{mm}$) の Cl^- 量が 1.2kg/m^3 に 到達する年数 (year)
I-4 (A)	0.27	58
II-4 (B)	0.69	40
II-10 (C)	1.85	6