

内在塩分に起因した塩害損傷における補修材料の比較と評価

阪神高速技術(株) 正会員 向井 梨紗 正会員 坂本 直太 ○正会員 辻本 栄一
 阪神高速道路(株) 正会員 堀岡 良則 正会員 佐藤 彰紀
 (株)中研コンサルタント 非会員 神戸 和幸

1. はじめに 近年、RC 橋脚や RC 床版において、除塩不足の海砂に起因した塩害損傷構造物が確認されている。塩化物総量規制が行われる以前に建設された構造物が多い阪神高速道路では、今後内在塩分に起因した塩害損傷が多く発生する可能性が高い状況にある。しかしながら、阪神高速道路では、内在塩分に起因した塩害損傷に対しての補修方法が定められていないため、今後に向けて、適切な補修材料を選定し、維持管理方法を体系化していく必要がある。本稿では、多種多様な補修材料から適切な材料を選定することを目的に行った補修効果確認試験結果を示したのち、施工性・経済性を総合的に比較・評価した結果を報告する。

2. 塩害損傷に対する補修の現状 現在、阪神高速道路における塩害損傷に対しての補修は、塩分量に関わらず外観上に変状が出る等の損傷が発生してから、一般的なポリマーセメントによる断面修復材を用いて行っている。内在塩分に対しての適切な材料で補修していないことから、阪神高速道路では、図-1 に示すような再劣化が起こっている箇所が存在する。再劣化による損傷は、既設コンクリートと新設コンクリートとの境界部で起こるマクロセル腐食が一因として考えられる。そこで、適切な材料を使用して補修するための維持管理方法の体系化に向けて、効果、施工性、経済性から補修材料の比較・評価を行うこととした。

3. 塩害補修材性能評価試験内容

(1) 試験概要 本試験では、多種多様な断面修復材を用いて、マクロセル腐食に着目した供試体実験を行った。塩分を含む鉄筋コンクリートの一部に断面修復材を打設した供試体を作成し、内部鉄筋の腐食を促進させ、自然電位、マクロセル腐食電流、腐食面積および腐食減量の4項目で効果を確認した。

(2) 断面修復材 本試験で使用する補修材は、①NETIS から「断面修復材」、「塩害」で絞り込んだ結果から内容を確認して抽出、②大手セメントメーカーの製品から効果が見込めるものを抽出の2種類のアプローチから絞り込み、主成分やメカニズムが異なる5種類と、通常使用しているポリマーセメントの6種類とした(表-1)。

(3) 供試体 試験に用いる供試体は、鉄筋の腐食傾向を測定するため、リード線を取付けたφ12mmのみがき丸鋼を配置し、塩分を含むコンクリートの一部に断面修復部があるものとした。供試体に使用する鉄筋は、通常鉄筋と分割鉄筋の2種類とし、コンクリートに添加する塩分量を、 2kg/m^3 と 5kg/m^3 の2種類とした(図-2)。また、断面修復した面以外からの酸素及び水の供給を遮断するため、暴露面の一面以外をエポキシ樹脂により被膜した。

(4) 試験工程 腐食促進養生は、 $40^\circ\text{C} \cdot 90\%\text{RH}$ を1日、 $40^\circ\text{C} \cdot 60\%\text{RH}$ を6日の7日を1サイクルとした乾湿繰り返しを3ヶ月間行った。なお、自然電位とマクロセル腐食電流は、通常・分割鉄筋供試体ともに2サイクル毎に測定し、測定に際し、供試体から鉄筋の取り出しが必要となる鉄筋腐食面積と腐食減量は、4サイクル毎に測定した。



図-1 再劣化により損傷した橋脚

表-1 試験で使用する補修材

	内容	主成分	NETIS※1
現状	断面修復	ポリマーセメントモルタル	-
A	断面修復	塩素固定化型・PAE※2	-
B	断面修復	ケイ酸リチウム 亜硝酸リチウム	○
C	断面修復	塩分吸着材・亜硝酸	○
D	表面保護(含浸材)	含浸系保護材・シラン	○
E	電気防食	特性陽極材・亜鉛	○

※1 NETIS登録のうち、断面修復と塩害でフィルタリングした結果選定されたもの
 ※2 ポリアクリル酸エステル略

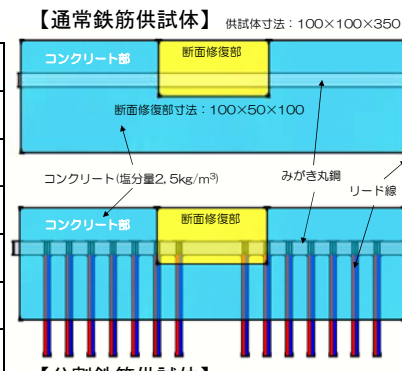


図-2 供試体概要図

キーワード 内在塩分, 塩害, 断面修復, マクロセル腐食

連絡先 〒541-0053 大阪市中央区本町 2-5-7 阪神高速技術株式会社 技術部 調査点検課 TEL06-6265-2590

4. 性能評価試験結果 4 項目の試験結果のうち、効果の比較に用いた結果についてまとめる。

(1) マクロセル腐食電流 各分割鉄筋間に流れるマクロセル腐食電流を測定し算出した、各サイクルの積算マクロセル総腐食電流量の変化を図-3 に示す。2kg/m³ の場合は、各補修材の差がほとんどみられない。5kg/m³ になると、各補修材の特徴が現れ、現状の補修材に比べ、他の補修材が効果的であることがわかる。補修材 E は、どちらの塩分量でもマクロセル腐食電流が発生していない。

(2) 腐食面積・腐食減量 腐食面積は、乾湿繰り返し完了後、鉄筋を取り出し測定した。図-4 にマクロセル腐食に着目したコンクリート部の腐食面積率の変化を示す。腐食面積率は、塩分量が多いほど大きくなるが、鉄筋表面の薄い錆も含めた結果であるため、腐食減量とあわせて比較を行うこととした。

腐食減量は、腐食面積測定後、鉄筋腐食生成物を除去して測定した。まず、腐食減量率の結果を比較すると、腐食面積率の結果と同様に、塩分量が多いほど大きくなる傾向であった。次に、図-5 に示すコンクリート部の単位腐食面積腐食量で各補修材を比較した。ただし、錆の状態が様でない 2kg/m³ については算出した値のばらつきが大きくなり、比較・評価が難しいため、5kg/m³ の結果についてのみ示す。12 サイクル時の各補修材の値を比較すると、12 サイクル時の積算マクロセル総腐食電流量とほぼ傾向が一致した。

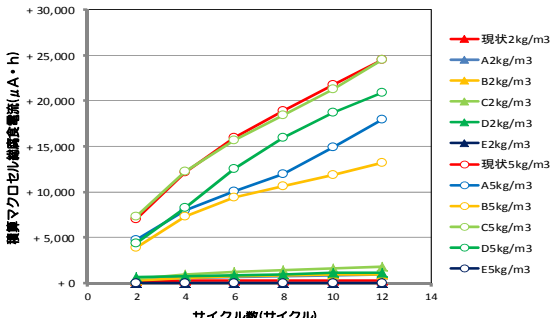


図-3 積算マクロセル総腐食電流量の変化

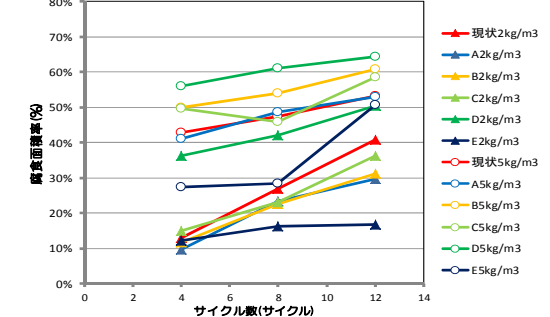


図-4 コンクリート部の腐食面積率の変化

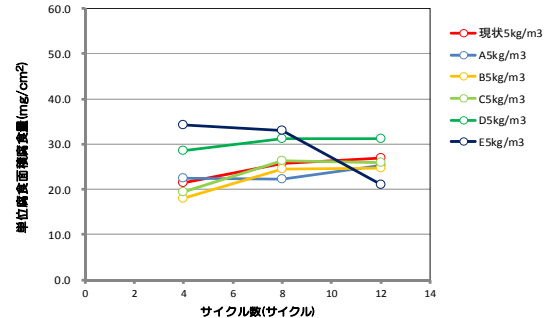


図-5 コンクリート部の単位腐食面積腐食量の変化

5. 補修材の比較・評価 内在塩分に対しての適切な補修材は、効果、施工性、経済性を明確にし、総合的に判断した上で選定する必要がある。各評価項目を、効果は性能評価試験結果、施工性は施工日数、経済性は単価とし、比較・評価した。今回の評価は、都市部の高速道路における維持工事で補修工事を行う想定で行った。6 種類の補修材の比較・評価一覧表を表-2 に示す。総合評価は、2kg/m³ 以下と 2kg/m³ を超える場合の 2 種類で行った。なお、2kg/m³ を超える場合の効果の評価は、5kg/m³ の結果を用いた。2kg/m³ 以下の場合、各補修材で効果の差が小さく、現状使用している補修材とも差がほとんど無いため、施工性、経済性から判断し、現状の補修材を使用することがふさわしいと評価した。2kg/m³ を超える場合は、現状の補修材が最も効果が劣るため、マクロセル腐食を抑制するために、現状と異なる材料を使用するべきであると判断した。3 項目で総合的に評価すると、全ての項目で良好な結果となった補修材 B が最も理想的である。ただし、塩分量が非常に多い箇所への使用は、効果が最も高い補修材 E が望まれる。また、養生に時間を要するため、施工性、経済性が劣る補修材 A についても、工事規模が大きい箇所では、施工性、経済性の向上が見込める。

6. まとめ 本稿では、内在塩分に対しての適切な補修材を選定するため、各補修材の効果、施工性、経済性の 3 項目で総合的に比較・評価した。なお、今回の効果の比較は供試体試験で実施しているため、今後、実構造物での試験施工、追跡調査を行い、検証することを予定している。

表-2 補修材の比較・評価一覧

	①効果の比較									②施工性の比較			③経済性の比較			総合評価	
	積算マクロセル総腐食電流量(mA・h)						単位腐食面積腐食量(mg/cm ²)										
	2kg/m ³			5kg/m ³			5kg/m ³										
	電流量	現状との比率	順位	電流量	現状との比率	順位	腐食量	現状との比率	順位	日数	現状との比率	順位	単価	現状との比率	順位	2kg/m ³ 以下	2kg/m ³ 超
現状	0.319	1.00	－	24.552	1.00	5	27.0	1.00	5	2.0	1.00	1	204,984	1.00	1	○	×
A	0.895	2.81	－	17.972	0.73	3	25.4	0.94	3	3.5	1.75	5	304,710	1.49	5	－	△
B	0.942	2.95	－	13.228	0.54	2	24.8	0.92	2	2.5	1.25	2	236,568	1.15	2	－	○
C	1.802	5.65	－	24.499	1.00	5	25.8	0.96	4	2.5	1.25	2	237,814	1.16	3	－	×
D	1.174	3.68	－	20.85	0.85	4	31.3	1.16	6	4.0	2.00	6	362,525	1.77	6	－	×
E	0	0.00	－	0	0.00	1	21.2	0.79	1	2.5	1.25	2	246,034	1.20	4	－	△