

# 実構造物を対象とした鉄筋防錆材の電気化学的注入試験追跡調査

JR 東海 ○正会員 並松 沙樹 JR 東海コンサルタント 正会員 門田祐一郎  
 JR 東海 久保淳一郎 JR 東海 正会員 田中 佑児

## 1. はじめに

東海道新幹線では予防保全の観点から鉄筋コンクリート構造物の中性化対策として表面保護工を実施している。また、中性化した鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食を抑制する新しい工法として、有機系防錆材を直流電場により外部から電気化学的に内部鉄筋付近に注入する手法を久保らが考案し<sup>1)</sup>、基礎的検討<sup>2)</sup>および廃用実橋りょう部材の一部を対象とした試験的検討<sup>3)</sup>を経て、平成22年に実構造物での試験施工<sup>4)</sup>を実施した。本研究では試験施工箇所にて鉄筋付近の防錆材の濃度等を追跡調査し、本工法を実施した構造物の長期耐久性に関する検討を行った。

## 2. 電気化学的注入工法の概要<sup>1)~4)</sup>

本工法は、存在する溶液の pH によってイオンと分子の存在比率を変える性質を持ち、式(1)のように正のイオンに電離するエタノールアミンを外部溶液としてコンクリート表面に接触させ、再アルカリ化工法と同様に外部溶液を陽極(+極)、コンクリート中の鉄筋を陰極(-極)として直流電気回路を構築し、通電することで鉄筋防錆材イオンを電気泳動によりコンクリート表面から鉄筋へと集積させるものである(図-1)。また、再アルカリ化工法や脱塩工法と同様に鉄筋付近で式(2)のように水の電気分解が起こることから水酸化物イオンの電気泳動および拡散による腐食環境の改善が期待できる。その他の長所として、防錆材が鉄筋付近のアルカリ領域で分子に変換して固定化される際、鉄筋付近で発生した水酸化物イオンが式(1)の右辺から左辺への反応により消費されるため、脱塩工法や再アルカリ化工法のような通電処理中の鉄筋付近の pH の上昇を抑えることができ、通電に伴うアルカリ骨材反応などの発生リスクを軽減する可能性がある。

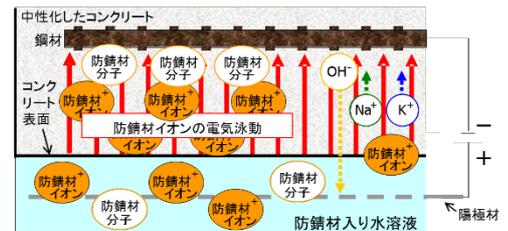


図-1 防錆剤の電気化学的注入の概念図

## 3. 調査概要

約 100m<sup>2</sup> の範囲(図-2)で通電時の積算電流量を 480 A・h/m<sup>2</sup> として試験施工を実施した新幹線高架橋の一部(張出しスラブ)に対して、施工6年後の追跡調査を実施し、試験施工前、直後および半年後の結果と比較した。調査項目として自然電位・分極抵抗測定、防錆剤濃度測定、Na および K 濃度測定を実施し、電気化学的注入工法の効果の持続性を検討した。なお、防錆材濃度、Na および K 濃度は、鉄筋位置のコンクリート表面より鉄筋に到達するまでのコアを採取し、深さ 10mm ごとにコンクリートカッターでスライスして 1 つの試料とし、イオンクロマトグラフィーにより分析した。

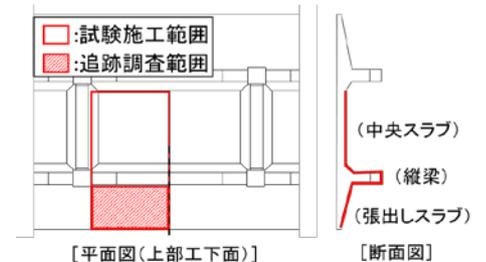


図-2 試験施工範囲と追跡調査範囲

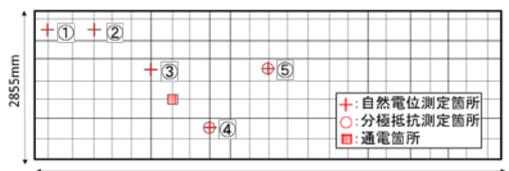


図-3 自然電位測定・分極抵抗測定箇所

## 4. 調査結果と考察

### ① 自然電位・分極抵抗測定

鉄筋腐食状態を確認するため、図-3 に示す箇所において自然電位・分極抵抗測定を実施し、測定結果を表-1 に示した。自然電位は約-200mV 以上で ASTM C 876 の腐食判定

表-1 自然電位測定・分極抵抗測定結果

	自然電位[mV]					腐食速度[μA/cm <sup>2</sup> ]	
	①	②	③	④	⑤	④	⑤
試験施工前	-96	-81	-91	-98	-105	0.043	0.123
試験施工直後	-257	-267	-273	-276	-235	0.798	0.919
試験施工半年後	-114	-112	-123	-130	-114	0.117	0.165
試験施工6年後	-207	-111	-110	-112	-129	0.017	0.007

キーワード：中性化、鉄筋腐食、有機系鉄筋防錆材、電気化学的工法、再アルカリ化工法

連絡先：東海旅客鉄道株式会社 新幹線鉄道事業本部 東京新幹線構造物検査センター TEL:045-474-0167 FAX:045-474-0168

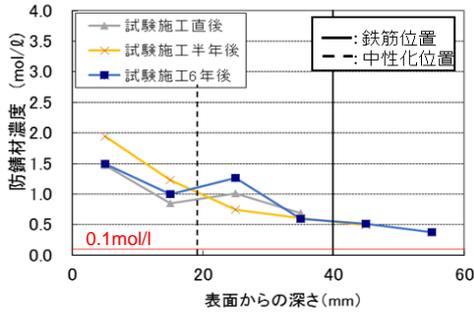


図-4 防錆材濃度

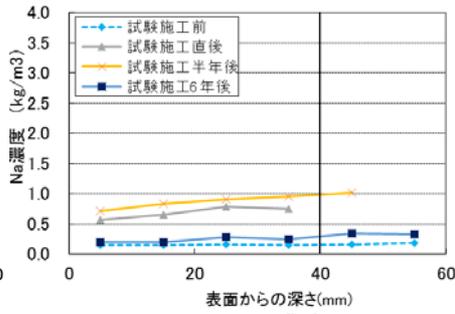


図-5 Na 濃度

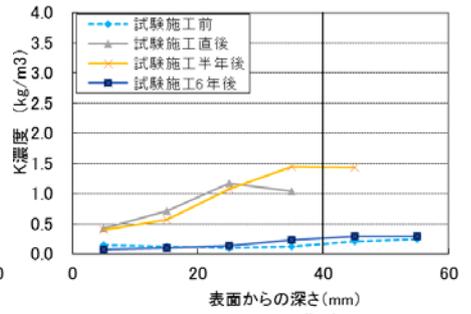


図-6 K 濃度

基準に照合すると「90%以上の確率で腐食なし」となった。また、腐食速度も  $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$  未満となり、CEBの腐食速度の判定基準に照合すると「腐食進行無し」となった。

②防錆材濃度について

防錆材濃度結果の一部を図-4 に示す。いずれも鉄筋位置付近の防錆材濃度は鉄筋腐食抑制が確実となる防錆材濃度  $0.1\text{mol}/\text{l}$ <sup>4)</sup>を上回っており、試験施工 6 年後においても全箇所鉄筋付近で試験施工直後と同等の防錆材濃度が残存していることを確認した。これは、鉄筋付近に蓄積された防錆剤の分子(分子量 61.08) がコンクリート中の他の物質と比較して大きく、高い安定性を持つことから通電終了後も同一箇所に留まっていると推察され、防錆材の効果が持続していることが期待できる。

③Na および K 濃度について

通電に伴う鉄筋付近へのアルカリ金属イオンの集積が懸念となっていたため Na および K 濃度を測定し、その結果を図-4 および図-5 に示した。通電による影響のため試験施工直後・試験施工半年後では Na および K 濃度が鉄筋位置付近でピークを示したが、試験施工 6 年後では試験施工前と同程度であることが確認でき、通電から時間が経過するにつれ施工前と同程度まで戻ることがわかった。

表-2 試験施工範囲外の自然電位測定結果

	自然電位[mV]				
	防錆材施工範囲外				
	測点1	測点2	測点3	測点4	測点5
試験施工前	-110	-120	-129	-115	-120
試験施工直後	-172	-181	-190	-174	-181
試験施工半年後	-120	-125	-136	-123	-125
試験施工6年後	-173	-180	-168	-238	-243

5. 防錆材注入の有無が自然電位に及ぼす影響

防錆材の鉄筋腐食抑制効果を把握するために本工法施工範囲と施工範囲外の自然電位測定結果を比較した。本工法施工範囲外の自然電位測定結果を表-2 に示す。自然電位は試験施工 6 年後において全箇所試験施工半年後の測定値を下回り、前述した本工法実施箇所の測定結果と比較すると 6 年間で鉄筋が腐食しやすい環境になったといえる。本工法実施箇所では自然電位の低下を抑制でき、防錆材が鉄筋腐食抑制に効果的であることが確認できた。

6. まとめ

今回の試験施工 6 年後の追跡調査をした結果、本工法に関して次のような知見が得られた。

- (1) 鉄筋位置付近の防錆材濃度は鉄筋腐食抑制が確実となる防錆材濃度  $0.1\text{mol}/\text{l}$  を大幅に上回る結果となり、防錆材が鉄筋付近に定着していることがわかった。
- (2) 本工法施工範囲と施工範囲外の自然電位測定結果を比較した結果、本工法実施箇所では防錆材による鉄筋腐食抑制効果が確認できた。

7. 今後の課題

通電時の積算電流量  $480\text{A}\cdot\text{h}/\text{m}^2$  においても十分な防錆材濃度を確保できたため、今後は通電期間短縮や施工コスト削減に繋がる最少積算電流量の検討を行う。また、今回と同一箇所において継続して長期耐久性の検討を進めていく。

参考文献：1)Kubo J.: Methods of Remedial Treatment for Carbonation-induced Corrosion of Reinforced Concrete, PhD Thesis, Leeds University, 2007 2)久保ら：中性化した鉄筋コンクリートへの鉄筋防錆材の電気化学的注入工法，コンクリート工学協会誌，Vol. 45, No. 12, pp.23-28, 2007.12 3) 田中ら：廃用となった新幹線実高架橋スラブ材への鉄筋防錆材の電気化学的注入試験，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, No.1, pp.1115~1120, 2010 4) 山口ら：実構造物を対象とした鉄筋防錆材の電気化学的注入試験，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.1097~1101, 2011