

塩害環境下のPC上部工に適用した予防保全の効果検証

(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 正会員 野上 克宏
 東日本高速道路(株) 新潟支社 渡辺 二夫
 東日本高速道路(株) 新潟支社 小松 政宏
 (株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 笠原 祐介

1. はじめに

塩害環境下にある北陸自動車道親不知海岸高架橋（以下、海岸橋という）は、1985年から1987年にかけて建設され、建設時の塩害に対する予防対策として、道路橋の塩害対策指針¹⁾（以下、塩害指針という）を基本に塩害対策を実施した。しかし、その後の定期的な調査の結果から、かぶりコンクリート部分に多くの塩化物イオンの浸透が認められ、将来鋼材位置で腐食発生限界塩化物イオン量（1.2 kg/m³）を超えると予測された。このため、2004年より、塩分移動予測結果に応じ外来塩分浸透抑制のためコンクリート塗装を主体に、部分的に断面修復などの表面保護工を実施した²⁾。本稿は、予防保全対策としてPC上部工に適用した各種表面保護工の追跡調査の結果に基づき、その効果の検証について報告する。

2. 上部工の概要

海岸橋の上部工の構造形式は、海浜・海上橋という特殊性から、塩害に強く、管理も容易でかつ、経済的にも有利なPC橋を基本形式とした。海上部、国道、鉄道および漁港と交差する区間については、約60mスパンのラーメン箱桁橋、海浜部においては、約30mスパンの中空床版橋を基本構造とした。上部工のコンクリート配合を、表 - 1に示す。海上部の箱桁橋は、張出し架設であるため、W/Cを41.0%としている。なお、今回の報告では、上段の強度（Fck）35N/mm²の配合のものである。

表 - 1 上部工のコンクリート配合

構造形式	セメント種別	Fck (N/mm ²)	W/C (%)	Gmax (mm)	単位質量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	混和剤
中空床版橋・箱桁橋	早強	35	46	25	160	350	726	1,107	0.875
箱桁橋(海上部)	早強	40	41	25	163	400	647	1,116	1.000

3. 予防保全対策の概要

海岸橋に適用した予防保全対策工は、供用後の定期的な調査から、コンクリート内部に浸透した塩化物イオン量の把握を行い、その結果に応じた塩化物イオンの移動予測により対策工を決定している（図 - 1）。また、効果的かつ経済的な補修方法となるよう1径間を橋軸方向に対しては3分割または4分割とし、橋軸直角方向に対しては張出し下面や側面、下面など部位ごとに調査位置として設定し、補修範囲についても同様に分割して対策工を実施している。

対策工の選定にあたっては、調査時の浸透塩分量の結果に基づき、建設時から100年の間、鋼材位置で発錆

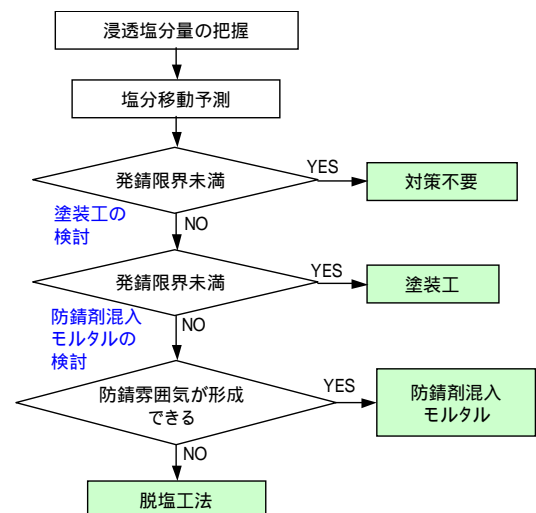


図 - 1 予防保全対策選定フロー

限界を超えるか否かで判断しており，その対策は， 発錆限界を超えない場合は無対策， 発錆限界を超えると予想されるものの，コンクリート塗装工で対応できる場合は塩害指針に示されているC種塗装系による対策， コンクリート塗装工だけでは発錆限界を超える場合は，モルタルに防錆剤

表 - 2 適用したコンクリート塗装系の例

工程	使用材料	使用量 (kg/m ²)	膜厚 (μm)
プライマー	ポリマーセメント系	-	-
パテ	ポリマーセメントモルタル	1.5	-
中塗り1層	柔軟型エポキシ樹脂	0.35	160
中塗り2層	同上	0.35	160
上塗り	柔軟型フッ素樹脂	0.12	30

を混入させ防錆雰囲気形成が期待できる対策， 防錆剤混入モルタルでも対処できない場合は脱塩工法による対策としている。とくに， の防錆雰囲気形成が期待できる対策は，経済的な予防保全となるよう高濃度の防錆剤（亜硝酸リチウム）を混入したモルタルを，浸透塩分の少ない場合，既設コンクリート面に貼付けるパターンと，浸透塩分が多い場合，既設コンクリート表面付近をウォータージェットで除去し，浸透している総塩分量の低減および，鋼材位置への防錆成分の到達を早めることが期待できる断面修復のパターンの2パターンによる対策としている。なお，防錆剤混入モルタルによる対策および脱塩工法による対策後は，外来劣化因子の浸透抑制のため，コンクリート塗装工による表面保護工を実施している。表 - 2に，適用されたコンクリート塗装系の例を示す。

4. 調査内容

4.1 調査箇所

今回の調査は，防錆剤を混入したモルタルによる対策を実施した箇所を調査対象とし，以下の調査を実施した。なお，コンクリート塗装工のみの対策箇所および，脱塩工法による対策箇所の調査については，外観調査の結果から変状が見られなかったことから，今回の調査対象から外している。

4.2 含有塩分量調査

含有塩分量調査の箇所を，図 - 2に示す。調査方法は，実構造物から直径50mmのコア採取を行い（写真3.4.1），採取したコアを10mmごとにスライスし，JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」の電位差滴定法により全塩化物イオン量の分析を行った。

4.3 亜硝酸イオン浸透調査

亜硝酸イオン浸透調査は，含有塩分量調査箇所とほぼ同じ位置で，含有塩分量調査と同様に直径50mmのコア採取を行い，5mmごとにスライスし，JCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」の 可溶性塩分定量方法に準拠して行う。分析方法は，調整された試料20gを，50 の温水で30分攪拌し，ろ液をイオンクロマトグラフィーで亜硝酸イオン量を深さごとに分析を行った。

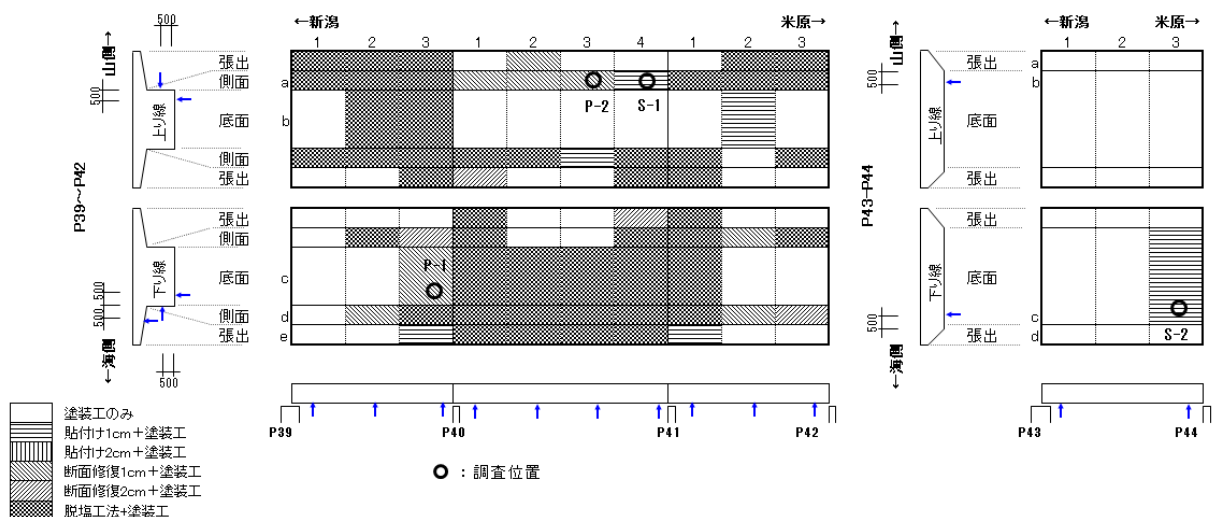


図 - 2 調査位置図

5. 調査結果

5.1 含有塩分量調査

5.1.1 分析結果

図 - 3に、深さごとの分析結果を示し、補修段階での分析結果も併せて示す。分析の結果、塩化物イオンの分布は、すべての調査箇所において山状の分布を示している。これは、コンクリートに内在していた塩化物イオンが、断面修復あるいは貼付け側に再拡散していることが推察される。また、調査箇所のうち、P-2、S-1およびS-2は、コンクリート部に発錆限界塩化物イオン量 1.2kg/m^3 を超える塩化物イオンが確認された。

5.1.2 塩化物イオン再拡散予測

既設コンクリートに発錆限界を超える塩化物イオンが内在するP-2、S-1およびS-2において、塩化物イオンの再拡散予測を行い、鋼材位置における塩化物イオン量の変化を推測した。このとき、外部からの劣化因子の浸透は考慮しない。また、予測に用いる既設コンクリートの見掛けの拡散係数は、標準的な拡散係数 $3.5 \times 10^{-8}\text{cm}^2/\text{s}$ とした。図 - 4に、今後100年間の塩化物イオンの再拡散の推測結果を示す。結果、今後100年間においても、 $0.7 \sim 0.8\text{kg/m}^3$ までの推移であり、発錆限界を超えることはないと推察する。

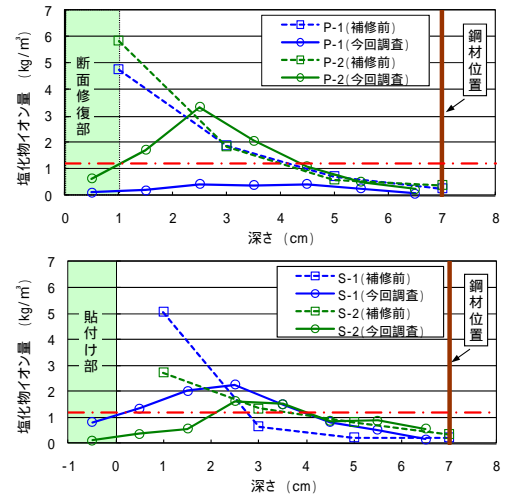


図 - 3 塩化物イオン分布状況

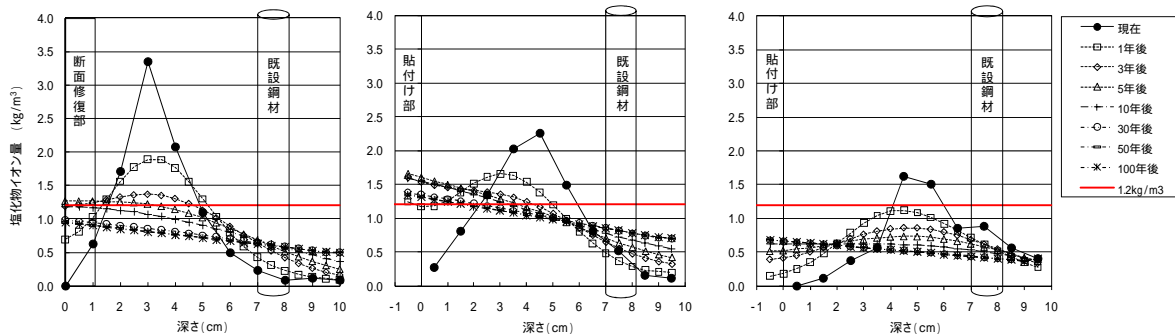


図 - 4 塩化物イオン再拡散予測

5.2 亜硝酸イオン浸透調査

5.2.1 分析結果

図 - 5に、深さごとの分析結果を示し、補修設計での4年後の予測も併せて示す。断面修復箇所のP-1およびP-2は、既設コンクリート内部に亜硝酸イオンの浸透が確認され、その分布は、4年後の予測とほぼ同程度の分布を示しており、一部分では予測より多く浸透していることが確認できる。一方、貼付け箇所のS-1およびS-2は、既設コンクリートへの亜硝酸イオンの浸透を確認できるものの、補修材との境界面付近の浸透量は、4年後の予測値と比較して少ないものであった。

断面修復の場合は、はつり処理によって、処理面の比表面積が大きくなり、コンクリート内部へ亜硝酸イオンがより浸透しやすくなったものと推察する。一方、貼付けの場合は、既設コンクリート表面処理が、補修材の付着力を確保できる1mm程度の処理方法であったため、処理面の比表面積が小さくなり、結果的に補修材との境界付近の浸透量が予測よりも少ないものであったと推察する。これについては、今後、同一部位での継続調査および、同様な補修を行った箇所から試料を採取し、亜硝酸イオンの浸透拡散について検証を行っていきたいと考える。

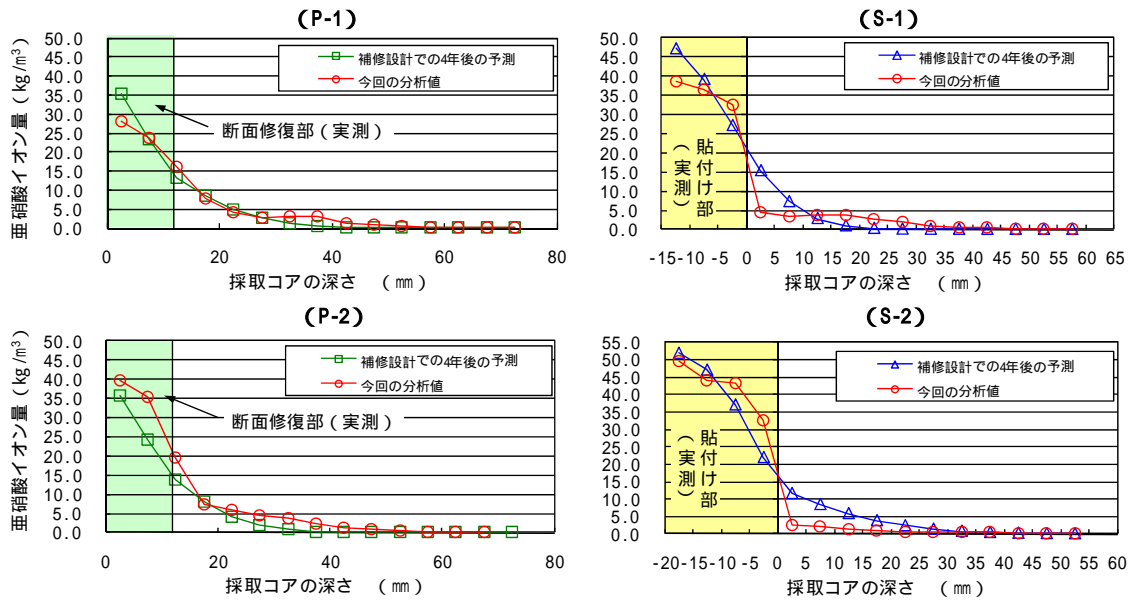


図 - 5 亜硝酸イオン分布状況

5.2.2 亜硝酸イオン拡散係数の検証

補修設計を実施するにあたり、防錆剤混入モルタルによる補修工法を選定する場合、既設コンクリート内部へ浸透する亜硝酸イオンの拡散係数は重要なパラメータの一つであり、現在用いている拡散係数は、 $0.3 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ である。今回の調査で分析した亜硝酸イオンの濃度分布から、既設コンクリート内部への拡散係数について試算し結果を、表 - 3に示す。いずれの調査箇所において、設計で用いている値よりも大きいものであった。

しかし、S-1およびS-2の拡散係数は、計算では大きい結果となったものの、補修材と境界面付近の実測値と予測値との差が大きいため、今後は、調査箇所数を増やし継続的に調査分析を行い、拡散係数の検証を行う必要があると考えられる。

6. まとめ

予防保全対策後4年という短い期間での表面保護工の検証であるが、現時点で得られた結果をまとめると、以下のようなものである。

- (1) 塩化物イオンの分布では、コンクリートに内在している塩化物イオンが、断面修復部あるいは、貼付け部へ拡散していることが確認され、さらに、今後も鋼材位置で発錆限界値を超えることはないものと推察できる。
- (2) 断面修復工の補修設計で用いている拡散係数は安全側の値であった。亜硝酸イオンの拡散係数が大きくなるということは、鋼材周辺の防錆雰囲気は早く形成されることになり、補修工事でののはつり深さを浅くすることができ、コスト削減に繋がるものと期待できる。しかし、補修からの経過年数が短く、サンプル数が少ないことから、貼付け部も含め、今後も継続的な調査を行い、亜硝酸イオン拡散係数の検証を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説，1984.2
- 2) 齋藤正司，小野塚和博，小林弘元，青山實伸：北陸自動車道 親不知海岸高架橋上部工の塩害予防保全対策，コンクリート工学，Vol.46，No.10，2008.10

表 - 3 亜硝酸イオン拡散係数

項目	拡散係数
補修設計	$0.30 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$
P-1	$0.45 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$
P-2	$0.81 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$
S-1	$0.48 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$
S-2	$0.50 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$