



「コンクリート構造診断士」とは、プレストレストコンクリート工学会により認定される技術者資格です。コンクリート構造診断士に期待される役割は、既設の鉄筋コンクリート構造物やプレストレストコンクリート構造物に対して、力学的・構造的な診断や評価を実施し、当該構造物の適切な補修・補強、あるいは維持管理の手法を提示することです。

このコーナーでは、こうしたコンクリート構造診断士の活動を紹介するため、資格登録更新時に提出される研修報告書のなかから、とくに一般の読者にも有益な情報を与えるとして選出された事例を掲載します。

飛来塩分環境下の PC 橋梁上部工 予防保全対策工法の効果検証



東日本高速道路 (株) 新潟支社
(現: 株式会社ネクスコ東日本エンジニアリング
土木調査設計部)
東田 典 雅

1. はじめに

飛来塩分の多い厳しい塩害環境下にある高架橋において、建設時に予測した値以上の浸透塩分量が確認され、将来、鉄筋位置での塩化物イオン濃度が発錆限界塩化物イオン濃度（以下：発錆限界）を超えることが予測されたため、平成 16～19 年度にコンクリート塗装工（以下：塗装工）などによる予防保全対策工事が行われた。本業務は、予防保全対策を実施した箇所において追跡調査を行い、その効果の検証を行うとともに、今後の対策工法の選定方針の提案を行ったものである。

2. 予防保全対策工法の概要

図 - 1 に対策工法の選定フローを示す。対策工法の選定は、塩分量調査結果を基に、コンクリート塗装による対策後の再拡散シミュレーションを行い、建設後 100 年経過時点で鉄筋位置において発錆限界（ 1.2 kg/m^3 ）を超えない場合は、塗装工を採用する。超える場合は、防錆剤混入モルタルを用いた対策工法により、既設コンクリート内部へ防錆剤を浸透させて、鉄筋位置で発錆限界を超える前に防錆雰囲気（亜硝酸イオン〔以下： NO_2^- 〕と塩化物イオン〔以下： Cl^- 〕のモル比が 0.8 以上）が形成可能か否かを検討する。形成可能な場合は、「防錆剤混入モルタル貼付け（または断面修復）+ 塗装工」、形成不能な場合は「脱塩工法 + 塗装工」を採用することとしている。

3. 予防保全対策工法の検証

3.1 防錆剤混入モルタルを用いた対策工法

防錆剤混入モルタルを用いた対策工法は、防錆剤として亜硝酸リチウム水溶液を（原液換算で最大 55 kg/m^3 ）混入したポリマーセメントモルタル（以下：PCM）を使用して

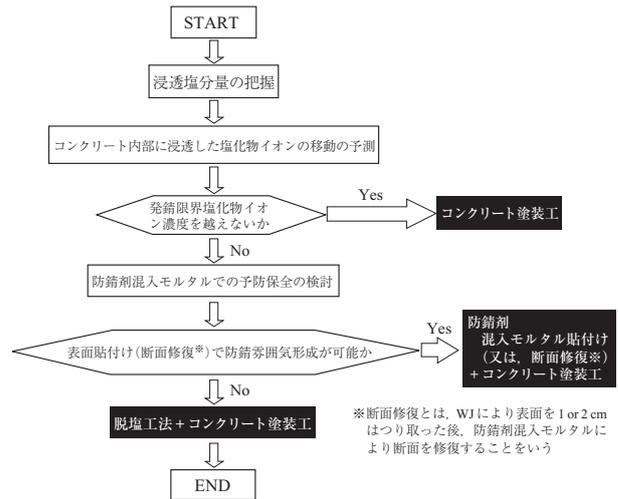


図 - 1 予防保全対策工選定フロー

いる。これを既設コンクリートに貼付けて NO_2^- を内部に浸透させ、鋼材位置で防錆雰囲気を形成して鋼材の腐食を防止する工法である。

図 - 2 に防錆剤混入 PCM による対策（断面修復）実施後、4 年経過時点の塩分量調査結果の一例を示す。 Cl^- の最大値は、塗装工による遮塩効果により補修直後と比べて小さくなり、残留塩分は再拡散により平衡状態へ向かっていることが確認できた。また、かぶり部分で発錆限界（ 1.2 kg/m^3 ）を超える Cl^- が残留しているが、再拡散シミュレーションの結果、100 年後の鋼材位置での Cl^- 量は約 0.8 kg/m^3 で発錆限界を超えないと推察された。

NO_2^- の拡散係数 (D_c) は、 D_c を変化させて移動予測を行い実測値と比較した結果、補修設計値 $D_c = 0.3 \times 10^{-8}$

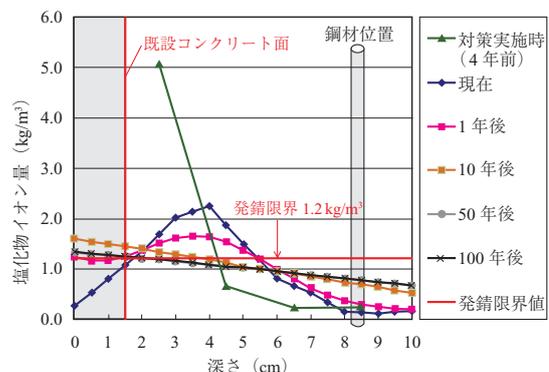
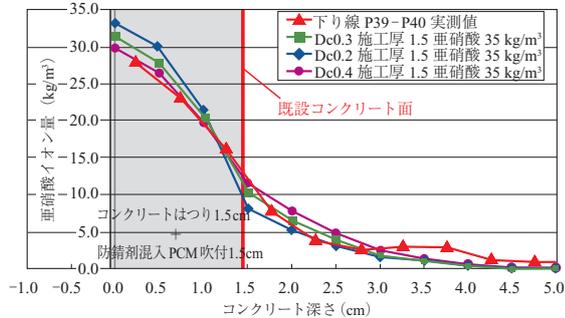
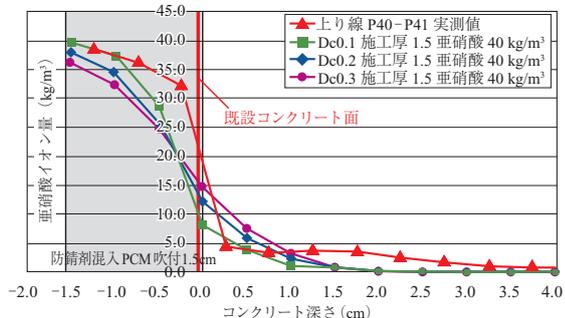


図 - 2 塩分調査結果（上り線 P40 - P41）

cm²/s に対し $Dc = 0.1 \times 10^{-8}$ cm²/s [図 3 (b)] ~ 0.3×10^{-8} cm²/s $\times 10^{-8}$ cm²/s [図 3 (a)] であった。拡散係数が設計で用いている値より小さい場合、防錆雰囲気形成される前に発錆限界を超える可能性があること、期間が短くサンプル数も少ないことから、調査を継続し設計手法を検証していく必要があると考える。



(a) はつり + 防錆剤混入 PCM



(b) 防錆剤混入 PCM 貼付け

図 - 3 NO₂⁻ の浸透状況

3.2 脱塩工法

脱塩工法は、コンクリート表面と鋼材の間に直流電流を一定期間流し、電気泳動によりコンクリート中の Cl⁻ をコンクリート外に抽出する工法である。図 - 4 は、「脱塩工法 + 塗装工」実施後 5 年経過時の Cl⁻ の分布を、脱塩前・脱塩直後と比較したものである。5 年経過後の濃度分布は脱塩直後に比べ山状の傾向を示している。塗装工により外部からの塩分浸透が遮断され、残留塩分が徐々に内部に浸透しながら平衡状態へ向かっていることがわかる。また、鋼材位置での Cl⁻ 量は発錆限界以下であり、鋼材は腐食していないものと推察される。しかし、かぶりコンクリート部分に発錆限界以上の Cl⁻ が残留していること、鋼材位置では再拡散により Cl⁻ 量が脱塩直後よりも増加していることから、今後とも継続的なモニタリングが必要であると考える。

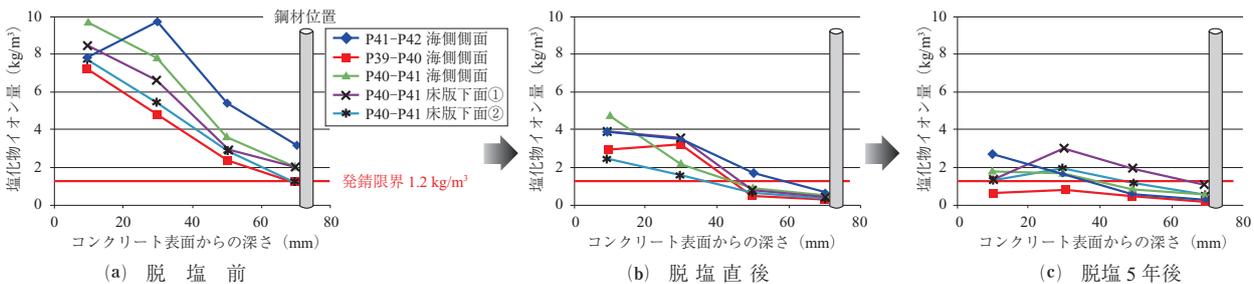


図 - 4 Cl⁻ 濃度分布

3.3 経済性の観点からみた予防保全対策工法の選定

表 - 1 に示す浸透塩分が確認された PC 上部工（設計かぶり 70 mm）の対策工法選定について検討した結果を以下に示す。補修後の再拡散シミュレーションにより、「はつり 5 cm + 断面修復（防錆剤混入 PCM 1 cm + PCM 4 cm）+ 塗装」の対策が必要との結果を得た。これを踏まえ、防錆剤混入 PCM による対策工法と脱塩工法について施工規模の要素を加味して経済性を検討した結果を図 - 5 に示す。脱塩工法は商用電源受電設備が必要で小規模施工では割高となるが、はつり深さがおおむね 3 cm 以上、施工面積がおよそ 600 m² 以上になると経済的に有利となった。

表 - 1 塩分調査結果 単位：kg/m²

調査位置	コンクリート深さ (mm)			
	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80
P43-P44 海側張出し	3.31	2.68	1.33	0.56

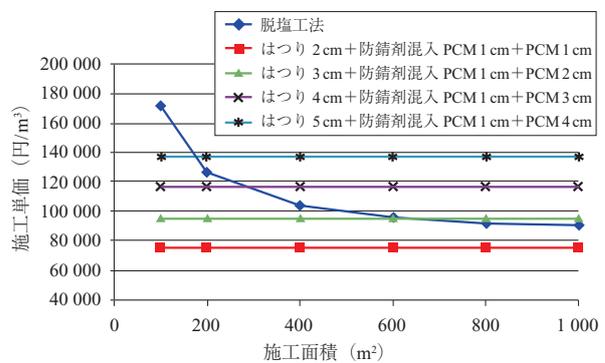


図 - 5 予防保全対策工法の経済比較

4. おわりに

予防保全対策工の追跡調査および予防保全効果の検証を行った結果、いずれの対策工法も Cl⁻ は鋼材位置で発錆限界以下となっており、対策工法の有効性を確認することができた。NO₂⁻ の拡散係数は、補修設計値に対して同等もしくは若干小さくなっていることから、調査を継続し設計手法を検証して行く必要がある。また、今後の予防保全対策工法の選定は、図 - 1 の選定フローをベースとし、必要はつり深さが 3 cm 程度以上で施工面積が数百 m² を超える場合は、「脱塩工法 + 塗装工」の採用を検討するのがよいと考えられる。

今後も得られた知見を踏まえ、点検～診断～措置～記録の維持管理サイクルを確実に回すことにより、末永く健全な状態を保っていただけるのではないかと考える。

【2017年4月25日受付】