

凍結防止剤散布環境下の高速道路における リパッシブ工法の補修効果

大阪支店	土木営業部	鴨谷知繁
大阪支店	土木技術部	岡下裕一
大阪支店	土木技術部	武智 愛
大阪支店	土木技術部	山村 智

概要：凍結防止剤を散布する高速道路のPC橋においてグラウト充填不足部に生じたPC鋼材の腐食に対する補修を実施した。リパッシブ工法を試験的に適用し、その後の自然電位モニタリングを定期的に行った結果、多量の塩化物イオンのシース内への侵入が確認された上縁定着ケーブルであっても、同工法を一般道のPC橋に適用し得られた結果と同様に、ASTM基準で「90%以上の確率で腐食なし」を示す閾値である-200 (mV vs CSE) より貴な値を補修後900日間継続して示したことから、リパッシブ工法は高速道路のPC橋においても良好な補修効果を発揮することが確認された。

Key Words：リパッシブ工法，高速道路，補修効果，自然電位

1. はじめに

現在、高速道路の特定更新工事や大規模修繕工事等において、既設ポストテンション方式PC橋(以下、PC橋)のグラウト充填不足に対する対策として、PCグラウト再注入が行われている。高速道路では、気温が低下する冬季においても走行車両が安全・安心に走行できるよう、気象変化に応じて塩化ナトリウム等の凍結防止剤を散布している。このような環境の下、高速道路のPC橋にグラウト充填不足が存在する場合、塩化物イオンが路面排水とともにシース内部に多量に侵入し、PC鋼材の腐食が生じる可能性がある。このようなPC橋を対象としたPCグラウト再注入工法の選定では、PC工学会の指針¹⁾に示されるように、充填性、防錆効果、施工性などへの考慮に加え、高濃度の塩化物イオンに起因する再劣化への留意が必要である。

そこで本論文では、高速道路のPC橋を対象にPC建協の手引き²⁾に記載されるPCグラウト再注入工法の一つである亜硝酸リチウム水溶液の注入と亜硝酸リチウム添加補修材の充填によるPCグラウト再注入工法(以下、リパッシブ工法)を試験的に適用し、補修後の自然電位モニタリング結果に基づき実橋梁における補修効果について検証した。

2. 施工対象の概要

対象橋梁は、写真-1に外観を示すような高速道路の単純ポストテンション方式PCT桁橋である。対象橋梁が位置する区間は、1970年に供用開始されており、凍結防止剤散布量は年間20t/km程度である。図-1に支間中央部の



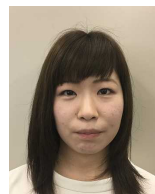
写真-1 対象橋梁の外観



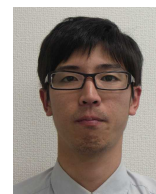
鴨谷知繁



岡下裕一



武智 愛



山村 智

断面図を示すように桁高 1.15m の主桁 10 本により構成されており、橋長は 27.6m、有効幅員は 13m である。図-2 に示すように主桁 1 本あたり、5 本の上縁定着ケーブルと 5 本の端部定着ケーブルが配置されている。主ケーブルはいずれも 12φ7mm(シース径 45mm)である。

補修対象は、試験施工という位置づけから写真-2 に示すように点検時に主桁下フランジ部に主ケーブルに沿ったひび割れが確認され、その後のグラウト充填調査で、グラウト充填不足、シース内の滞水および PC 鋼材の腐食が確認された高欄側の耳桁(図-1 の赤色着色部)のみとした。本工法による補修は、2018 年 1 月～2 月に実施した。

リパッシブ工法の施工フローを図-3 に示す。なお、亜硝酸リチウム水溶液濃度は 40%、亜硝酸リチウム添加補修材の亜硝酸リチウム添加量は 47.6kg/m³ である。

表-1 にモニタリング対象とした上縁定着ケーブルの C1 および C2 の起点側ウェブ上方部(図-2 の●印部)における補修前の劣化状況を示す。C1, C2 ともに PC 鋼材に腐食が生じており、精製水を浸み込ませた綿棒による PC 鋼材表面の拭取りと精製水への塩化物の溶出を数度繰り返して作成した検水に含まれる塩化物濃度を検知管により測定する方法(拭取り法)により塩化物イオンを測定した結果、雨水に含まれる同イオン濃度(10ppm 程度)を大きく上回る値が測定された。この結果より、凍結防止剤が路面排水とともに上縁定着ケーブルの定着部背面コンクリートからグラウト充填不足部へ侵入したことが PC 鋼材の腐食の主要因と推察された。

表-2 に対象主桁におけるコンクリート中の塩化物イオン量調査結果を示す。ウェブ側面や下フランジ下面については、土木学会コンクリート標準示方書により計算される腐食発現限界塩化物イオン量 1.65kg/m³ を下回っている一方、下フランジ側面の主ケーブルに沿ったひび割れ

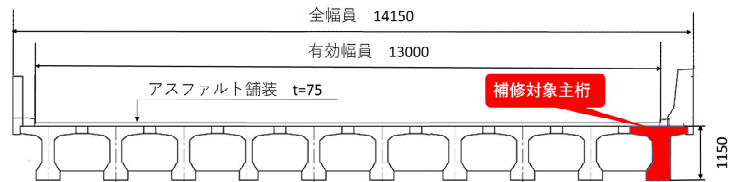


図-1 対象橋梁の断面図(支間中央部)

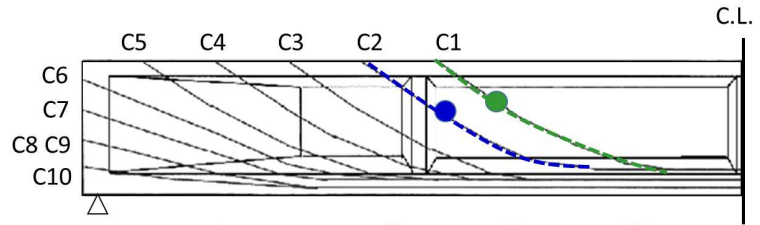


図-2 主ケーブル配置およびセンサー設置位置図
モニタリングセンサー設置位置 C1: ● C2: ●



写真-2 対象主桁下フランジの変状

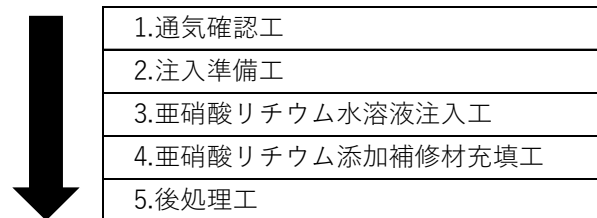


図-3 リパッシブ工法の施工フロー

表-1 モニタリング対象ケーブルの劣化状況

No.	補修前の状況	塩化物イオンの有無※ (拭取り法測定値)	検水の塩化物イオン測定状況
C1		有 (75ppm)	
C2		有 (150ppm)	

※判定基準：10ppm以上は有、10ppm未満は微小or無

部近傍については、 4.46kg/m^3 であり腐食発生限界塩化物イオン量を上回る結果となった。

写真-3に対象主桁側面の自然電位測定状況および測定結果を示す。主ケーブルに沿ったひび割れ近傍部のみ表-3に示す ASTM 基準³⁾で「90%以上の確率で腐食あり」を示す閾値である $-350(\text{mV vs CSE})$ より卑な値を示す一方、それ以外の範囲では、「90%以上の確率で腐食なし」と判定された。

以上より、

- ①上縁定着ケーブルのシース内へ侵入した塩化物イオンにより PC 鋼材だけでなくシースにも腐食や損傷が生じ、
- ②シース損傷部や主ケーブルに沿ったひび割れを介して塩化物が内側から外側へ向けて浸透拡散することで、同ひび割れ部近傍に局所的な塩害が生じ、
- ③シース外側に位置する鉄筋が腐食する。

という既報で示したメカニズム⁴⁾が対象主桁において生じたものと考えられた。

現状から、当該部は進展期から加速期前期の塩害と推定され、無対策の場合にはマクロセル腐食などの劣化進行によりコンクリートの浮きの発生が予想された。そこで、上述のような局所的な塩害に対して補修効果が確認されている取替えが容易な流電陽極⁴⁾を設置した。この流電陽極については、後述のモニタリングと同時期に復極量などの電気化学的モニタリングを行っており、この結果については別の機会に報告したい。

3. モニタリングの概要

モニタリング項目は PC 鋼材の自然電位をとした。自然電位測定用のモニタリングセンサーは、図-4に示す既報⁵⁾でも使用した汎用品とし、補修後図-2および写真-4に示す位置の PC 鋼材近傍に埋設した。測定は、写真-4に示すように配線配管の設置後、ポテンショガルバナスタットに接続し補修後 900 日まで実施した。なお、2018 年については季節の影響を把握するため各季節に、2019 年と 2020 年は気温が高く腐食反応が活発化すると考えられる夏季に測定を実施した。

4. モニタリング結果

自然電位のモニタリング結果を図-5に示す。評価指標となる ASTM 基準は表-3の通りである。C1, C2 ともに補修直後より ASTM 基準で「90%以上の確率で腐食なし」を示す閾値である $-200(\text{mV vs CSE})$ より貴な値を継続しており、一般道の PC 橋に対し本工法を適用した結果⁵⁾と同様の傾向を示した。2018 年に着目すると、夏季 7 月の値がその前後と比較してやや卑な値となっており、夏季のモニタリングが安全側の評価と

表-2 コンクリート中の塩化物イオン量測定結果

測点	塩化物イオン量 (kg/m^3)
下フランジ側面 (主ケーブルに沿ったひび割れ近傍部)	4.46
下フランジ下面	1.15
ウェブ側面	1.15

※小径コア $\phi 20\text{mm}$ のコンクリート表面から 20~40mm を試料とした。

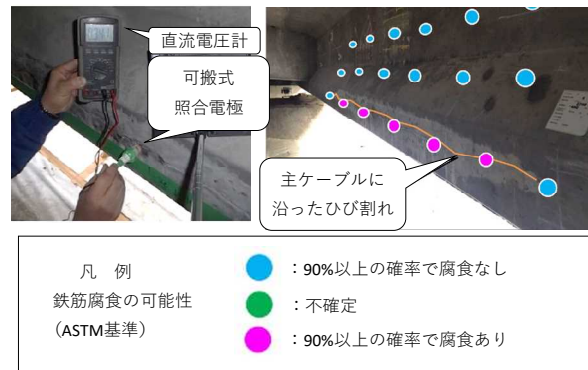


写真-3 主ケーブルに沿ったひび割れ部の自然電位測定

表-3 ASTM 基準

自然電位 (mV vs CSE)	鉄筋腐食の可能性
$-200 < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-350 < E \leq -200$	不確定
$E \leq -350$	90%以上の確率で腐食あり

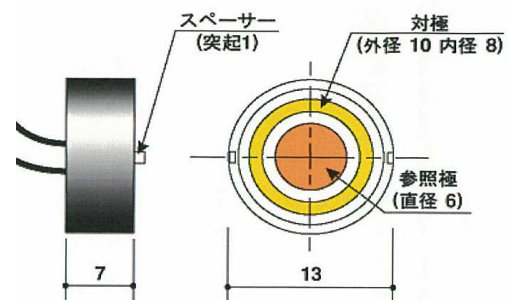


図-4 モニタリングセンサー

なることが確認できた。夏季の測定結果に着目すると 2018 年から 2020 年にかけて C1, C2 とともに貴化傾向を示しており、橋面からの漏水や再劣化が想定される卑化傾向は示さなかった。以上より、対象橋梁において本工法による補修効果が良好な状態で確保されていると評価された。

5. まとめ

凍結防止剤を散布する高速道路の PC 橋においてグラウト充填不足部に生じた PC 鋼材の腐食に対する補修を実施した。リパッシブ工法を試験的に適用し、その後の自然電位モニタリングを定期的に行った結果、多量の塩化物イオンのシーす内への侵入が確認された上縁定着ケーブルであっても、同工法を一般道の PC 橋に適用し得られた結果と同様に、ASTM 基準で「90%以上の確率で腐食なし」を示す閾値である -200 (mV vs CSE) より貴な値を補修後 900 日間継続して示したことから、リパッシブ工法は高速道路の PC 橋においても良好な補修効果を発揮することが確認された。

本稿が、凍結防止剤を散布する高速道路のグラウト充填不足を有する PC 橋の健全性の確保と長寿命化に向けて、参考となれば幸いである。

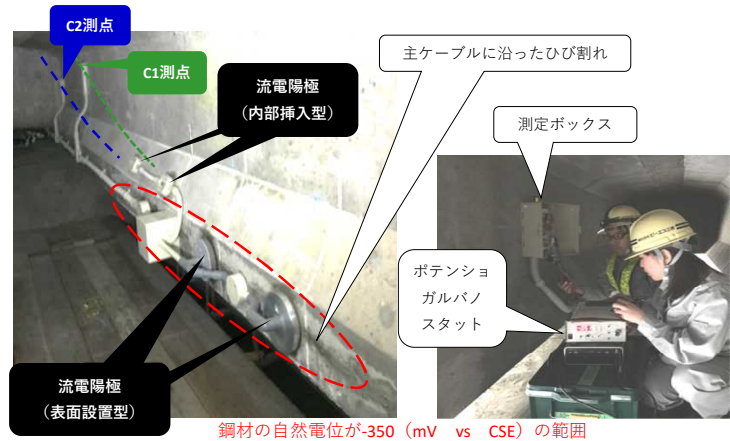


写真-4 モニタリング設備および実施状況

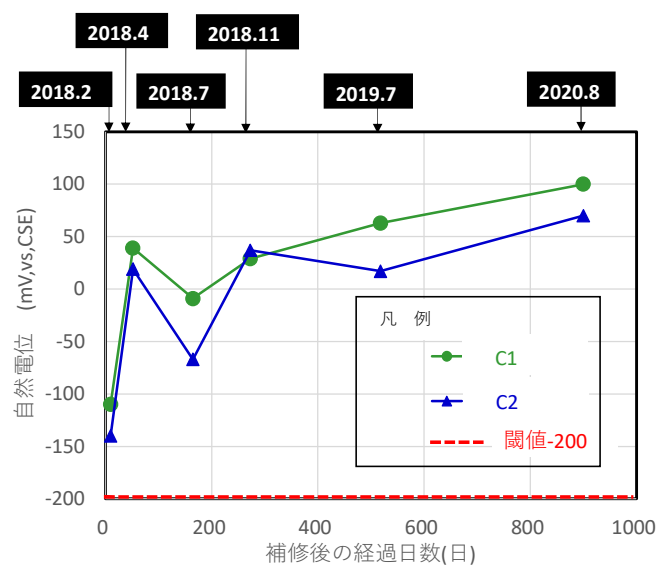


図-5 自然電位モニタリング結果

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート工学会:既設ポストテンション橋のPC鋼材調査および補修・補強指針, 2016
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会: プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き[PCグラウト再注入工法], 2020
- 3) ASTM C 876-91 : Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- 4) 鴨谷 知繁, 青山 敏幸, 深川 直利, 石井 浩司: 既設PC橋のウェブに生じた局所的な塩害劣化メカニズムと表面設置型点状流電陽極工法を用いた腐食緩和対策に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, vol.18, pp.465-470, 2018
- 5) 鴨谷知繁, 石井浩司, 森川英典, 竹本修: 亜硝酸リチウム水溶液先行注入型補修材充填工法により補修した既設PCT橋の自然電位モニタリング, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1589-1594, 2019

謝辞

リパッシブ工法の開発および実橋における補修効果の評価については、神戸大学大学院森川英典教授にご指導いただいた。ここに感謝の意を表します。