

## 亜硝酸リチウムを用いたグラウト再注入を行ったPC橋の鋼材腐食抑制効果

(株)ピーエス三菱 正会員 工博 ○鴨谷 知繁  
 (株)ピーエス三菱 正会員 工博 石井 浩司  
 神戸大学大学院 正会員 工博 森川 英典

Abstract : Potential and polarization resistance of PC wires on existing post-tension type PC bridges repaired by re-grouting method using  $\text{LiNO}_2$ -containing solution were measured for 3 or 4 years in order to evaluate repair performance and durability of it. All potential maintain nobler than  $-200(\text{mV vs CSE})$  that shows low probability of corrosion. All potential and polarization resistance show almost same value during monitoring period. Therefore it is considered that repair performance of the method maintain good condition on existing PC bridges.

Key words : Monitoring, Potential, Lithium Nitrite, Repair Performance, PC grout,

### 1. はじめに

近年、既設のポストテンション方式 PC 橋において、凍結防止剤のグラウト未充填部への侵入に起因する PC 鋼材の著しい腐食や破断が報告されている。著者らは、既報においてこのような腐食した PC 鋼材に対して、図-1 に示す手順で施工する亜硝酸リチウム水溶液を用いたグラウト再注入工法(以下、本工法)を開発し、実橋梁への適用を行っている(例えば<sup>1)</sup>。

本工法の主な特徴を以下に記す。図-2 に示すような自然流下方式と真空ポンプを利用したエアリフト方式を併用して施工する亜硝酸リチウム水溶液注入工により、再注入グラウト材を充填できないような PC 鋼線束内部の表面錆層内にも 40%亜硝酸リチウム水溶液を浸透させ、亜硝酸イオンによる防錆効果により PC 鋼材腐食の進行を抑制することができる。また、これに続いて図-3 に示すような自然流下方式を標準として施工する亜硝酸リチウム添加補

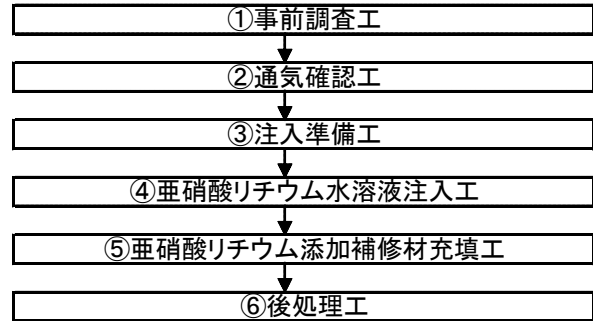


図-1 本工法の施工手順

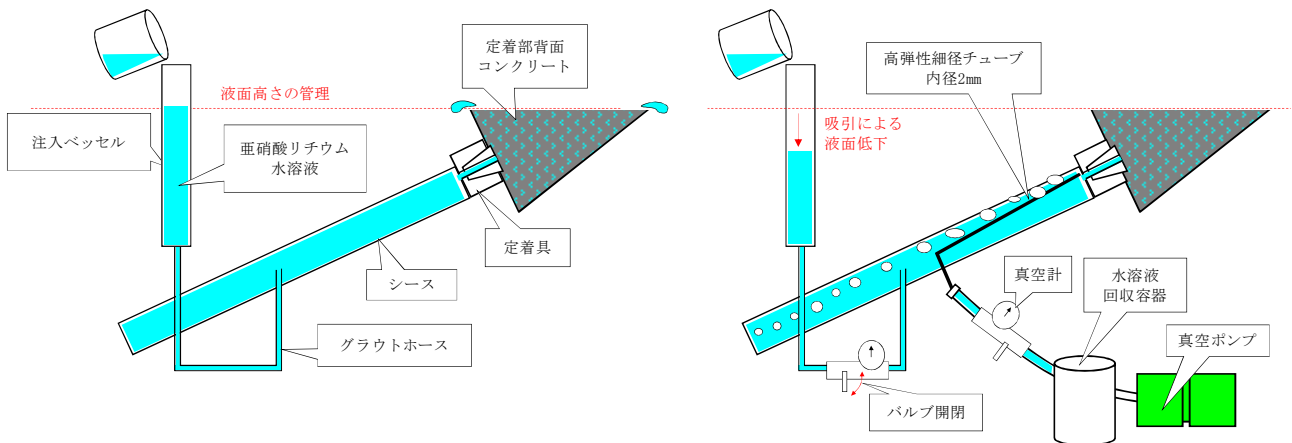


図-2 亜硝酸リチウム水溶液注入工の施工方法概要図 (左：自然流下方式 右：エアリフト方式)

修材充填工では、グラウト充填不足部端部まで補修材を確実に充填できるため、劣化因子の再侵入の防止することができる。さらに、予め亜硝酸リチウム添加した補修材を使用することで、亜硝酸リチウム水溶液注入工において PC 鋼材の表面錆層内に浸透した亜硝酸イオンが補修材へ再拡散するのを抑制することができ、腐食抑制効果の低下を防止できる。

また、一般に補修工法の効果や耐久性については、事前の実験的もし

くは解析的検討に基づいて確認されるだけでなく、実構造物への適用後の補修効果の確認が強く望まれている(例えば<sup>2)</sup>)。そこで本稿では、PC グラウト充填不足部を有した既設 PCT 桁橋(2 橋)に対して、本工法による補修を実施し、長期的な補修効果の評価を目的に、補修部の PC 鋼材近傍に自然電位と分極抵抗を測定できるセンサー(以下、センサー)を設置し、鋼材腐食抑制効果に関する電気化学的なモニタリング(以下、モニタリング)を1回/年の頻度で実施し、その結果について報告する。

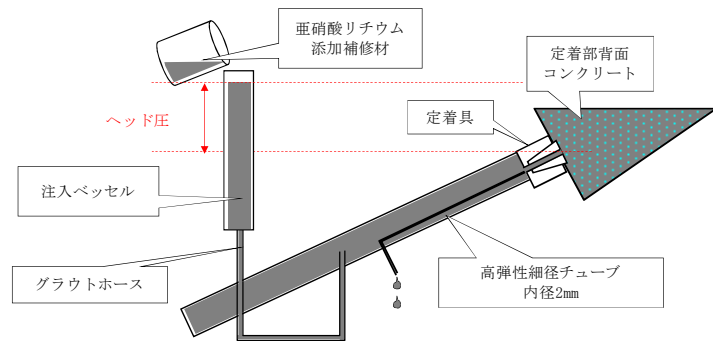


図-3 亜硝酸リチウム添加補修材充填工の施工方法概要図 (自然流下方式)

## 2. モニタリング対象橋梁およびケーブル

モニタリングを実施した橋梁は、写真-1に示すように、東北地方にある H橋<sup>1)</sup>と中部地方にある S橋<sup>3)</sup>である。いずれも上縁定着ケーブルにグラウト充填不足が生じていた既設ポストテンションPCT桁橋であり、写真-1の拡大部に示すように主ケーブルに沿ったひび割れやエフロレンスが確認され、H橋については2012年、S橋については2013年に本工法および橋面防水等による補修が実施された。



写真-1 対象橋梁の外観 (左: H橋, 右: S橋)

写真-2に示すようにモニタリング対象ケーブルは、いずれも上縁定着ケーブルでH橋についてはP1-P2径間G1桁のC2ケーブル(終点側)およびC3ケーブル(終点側)の2箇所、S橋についてはA1-A2径間G1桁のC3ケーブル(終点側)およびC4ケーブル(終点側)の2箇所である。写真-2に示す位置においてシース内部の調査を行った結果を表-1に示す。H橋のC2ケーブル(終点側)では腐食が確認されなかったが、そのほかの3ケーブルでは著しい腐食が確認された。著しい腐食の発生要因の推定を目的にH橋については既設グラウト中の塩化物イオン量調査<sup>1)</sup>、S橋については図-4に一例を示すように精製水を浸み込ませた綿棒による拭き取りと、精製水へ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イオン濃度測定する拭き取り法<sup>4)</sup>による塩化物イオン調査を実施した。その結果、凍結防止剤に起因する塩化物イオンのグラウト充填不足部への侵入が確認された。

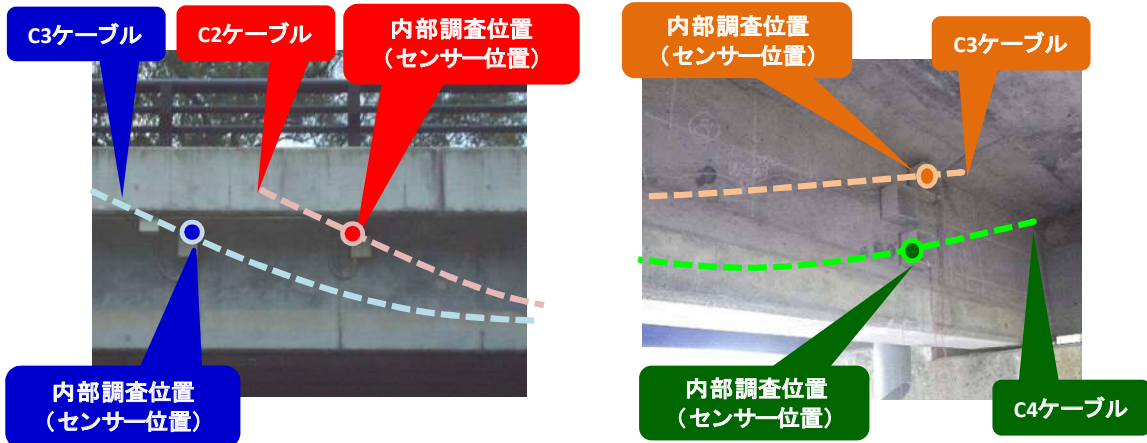


写真-2 モニタリング対象ケーブルの内部調査およびセンサー設置位置 (左：H橋, 右：S橋)

表-1 モニタリング対象ケーブルの内部調査結果

橋梁	ケーブル	補修前の状況	塩化物イオンの侵入	橋梁	ケーブル	補修前の状況	塩化物イオンの侵入
H橋	G1桁 C2ケーブル (終点側)		無しまたは微少 (既設グラウト中の 塩化物イオン量 0.19kg/m <sup>3</sup> )	S橋	G1桁 C3ケーブル (終点側)		有り (拭き取り法 PC鋼材錆層内の 塩化物イオン:有)
	G1桁 C3ケーブル (終点側)		有り (既設グラウト中の 塩化物イオン量 1.90kg/m <sup>3</sup> )		G1桁 C4ケーブル (終点側)		有り (拭き取り法 PC鋼材錆層内の 塩化物イオン:有)
		腐食軽微				著しい腐食	
		著しい腐食				著しい腐食	

### 3. モニタリング概要

本工法による補修後、写真-2に示す位置において亜硝酸リチウム添加補修材をPC鋼材近傍まで除去し、図-5に示すセンサーを設置した。センサーは参照極と陽極を有し、鋼材近傍に設置することでセンサー近傍の自然電位や分極抵抗などを測定するために開発された市販品で、耐久性に関する検討が実施されており<sup>5)</sup>、実構造物のモニタリングにおいて少なくとも3年以上の耐久性が確認されている<sup>6)</sup>。その後、センサーの被覆電線の先端が外部に露出した状態で比抵抗の小さなセメントモルタルで断面修復を行った。またPC鋼材側の被覆電線については、補修時にPC鋼線との電気的な導通を確認したシーすまたは鉄筋に接続した。測定可能な位置まで配線配管を行い、写真-3に示す可搬式測定器であるポテンショガルバナスタットと電源バッテリーを用いて測定を行った。



図-4 拭き取り法の概要

測定項目は、PC鋼材の自然電位と分極抵抗とした。自然電位は銅硫酸銅電極に対する換算値(mV vs CSE)

として算出した。実橋のケーブル(PC鋼線束 12φ7mm)を分割ピース(φ12mm, L=50mm)を用いた分割鋼材束(7φ12mm)で再現した試験体に対して本モニタリング手法を適用した検討<sup>7)</sup>を踏まえると、本モニタリングで測定される自然電位は、センサー付近(PC鋼線束方向の50mm~200mm程度)のPC鋼線束内外の鋼材表面電位の混成電位を示すものと推察される。



図-5 センサーの概要

一方、分極抵抗については、対極から鋼材へ微弱電流が供給される範囲(以下、計測対象範囲)が精度良く評価できる場合には、鋼材単位表面積あたりの電流密度とインスタントオフ電位との関係から腐食速度の逆数に比例する定量的な指標(単位:  $k\Omega \cdot cm^2$ )として算出され理想的であるが、現段階では本モニタリング手法における計測対象面積の評価が困難である(例えば<sup>6)</sup>)。そこで本稿では、今後既報<sup>7)</sup>に準じて計測対象面積の推定を行うことで実橋梁における腐食速度の評価が可能になることが期待されるのを考慮して基礎データを取得すること、さらには既報<sup>6)</sup>に準じて相対的な経時変化を把握することを目的に、電流量とインスタントオフ電位との関係から算出される見かけの分極抵抗(単位:  $k\Omega$ )により評価を行った。よって現時点では、本稿で算出した見かけの分極抵抗から直接腐食速度を推定できない点に留意が必要である。

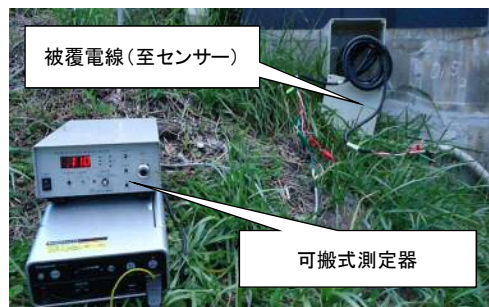


写真-3 可搬式測定器

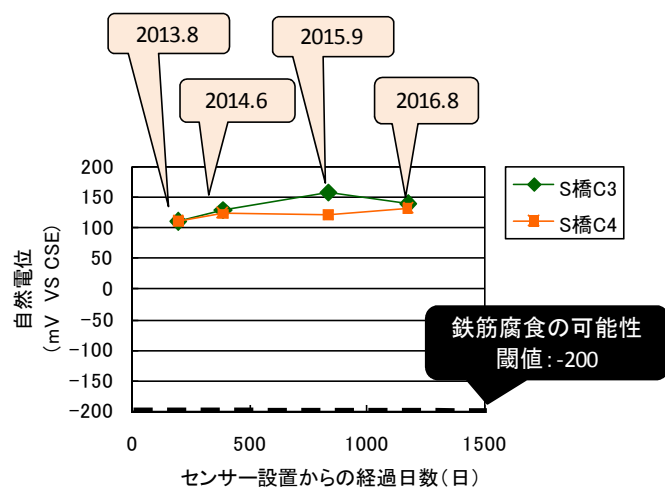
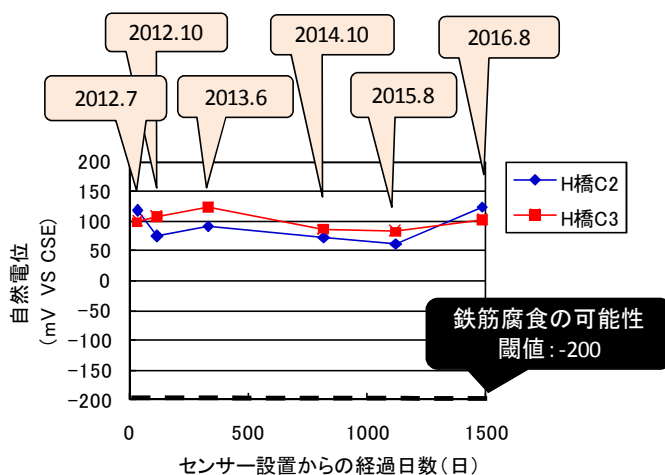


図-6 自然電位の測定結果 (上: H橋 下: S橋)

なお、見かけの分極抵抗は、直流分極抵抗法により測定し、自然電位の安定後に掃引速度が5mV~10mV/minの速度となるようにセンサーの対極からPC鋼材に向かって微弱電流を供給し、通電1分間保持の後のインスタントオフ電位を計測し、電流と電位の関係を直線回帰して算出した。

#### 4. モニタリング結果および考察

##### 4.1 自然電位の測定結果

自然電位の測定結果を図-6に示す。また表-2に評価指標となるASTM C876-91<sup>8)</sup> (以下、ASTM基準)を示す。S橋, H橋の全ケーブル

の自然電位は腐食の程度に関わらず、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)より大幅に貴な値である50~200(mV vs CSE)で推移し、橋面からの漏水や再劣化に起因するような経年的な卑化傾向も示さなかった。以上より、モニタリング対象ケーブルにおいては本工法による補修直後に得られた補修効果が良好な状態で確保されていると評価された。

4. 2 見かけの分極抵抗の測定結果

見かけの分極抵抗の測定結果を図-7に示す。上述のように現状では計測対象面積が精度よく評価できず定量的な評価が困難であるため、相対的な経時変化を考察する。全ケーブルにおいて値のばらつきがあるものの、経時的には増大もしくは横ばいの傾向を示し、自然電位と同様に、低下傾向は認められなかった。

5. まとめ

本稿では、PC グラウト充填不足部を有する2橋の既設ポストテンション PCT 桁橋に対して、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を特徴としたグラウト再注入を行った後、長期的な補修効果の把握を目的に、補修部のPC鋼材近傍にセンサーを設置し鋼材腐食抑制効果に関する電気化学的なモニタリングを実施した。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 3~4年間の測定の結果、自然電位は補修直後からASTM基準で「90%以上の確率で腐食なし」を示す値で推移し、経年的な卑化傾向は示さなかった。
- 2) 見かけの分極抵抗の測定の試行したところ、概ね補修直後から増大もしくは横ばいの傾向が得られた。
- 3) 本工法の実構造物における補修効果は、少なくとも3~4年以上の間良好な状態で確保されていると評価された。

謝辞

本モニタリングの実施に際し、御理解と御協力を頂きました対象橋梁の管理者各位に感謝申し上げます。

表-2 ASTM C 876 による鉄筋腐食可能性評価

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 ≤ -200	不確定
E ≤ -350	90%以上の確率で腐食あり

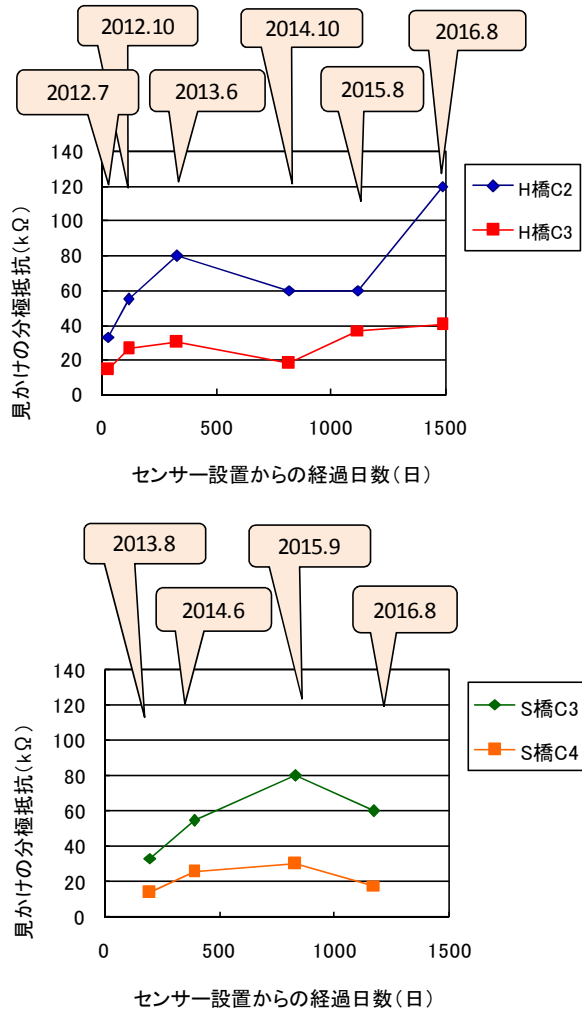


図-7 見かけの分極抵抗の測定結果 (上: H橋 下: S橋)

## 参考文献

- 1) 鴨谷，蝦名，青山，森川：亜硝酸リチウムを用いた PC グラウト充てん不足部の新しい補修方法の腐食抑制効果と実橋への適用事例，コンクリート工学，Vol.50，No.12，pp.1084-1091，2012
- 2) 国土交通省：社会社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会（第2回）資料3 モニタリング技術に対するニーズについて，<http://www.mlit.go.jp/common/001023297.pdf>
- 3) 鴨谷，岡林，飯塚，飯田：グラウト充てん不足を有する PC 橋の長寿命化-亜硝酸リチウム水溶液を用いた新技術の適用-，プレストレストコンクリート，Vol.56，No.1，pp.17-22，2014
- 4) 鴨谷，中司，石井，森川：グラウト充てん不足部の亜硝酸リチウム水溶液注入補修の品質管理に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.907-912，2015
- 5) 永山，田村，下澤：腐食電流計および埋設ミニセンサーを併用した鉄筋腐食試験方法，コンクリート工学年次論文集，Vol.18，No.1，pp.807-812，1996
- 6) 永山：既存 RC 構造物の鉄筋腐食モニタリング技術，計測と制御，Vol.46，No.8，pp.599-604，2007
- 7) 山本，森川，鴨谷：既設 PC 道路橋のグラウト充填不足部における  $\text{LiNO}_2$  水溶液注入後の補修効果モニタリングに関する実験的検討，平成 28 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，2016.
- 8) ASTM C 876-91 : Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete