# 特集≫≫ 維持管理・長寿命化・リニューアル ┃

# 亜硝酸リチウム水溶液を用いた 新しい PC グラウト充てん不足部の補修工法

リパッシブ工法

# 鴨 谷 知 繁・青 山 敏 幸

近年、建設後数十年が経過したポストテンション方式の既設プレストレストコンクリート橋(以下、既設 PC 橋)において、PC 鋼材を被覆するグラウトの充てん不足とそれにともなう PC 鋼材の腐食が確認されている。特に寒冷地に位置する橋梁においては、凍結防止剤に由来する塩化物イオンが桁内のダクト(以下、シース)内部に侵入し PC 鋼材に著しい腐食が生じており、既設 PC 橋の長寿命化における大きな課題となっている。リパッシブ工法(以下、新工法)は、グラウトを再注入する前に、亜硝酸リチウム水溶液をシース内に注入することで、腐食した PC 鋼材を再不動態化し腐食の進行を抑制することが可能な工法である。本稿では、新工法の概要、施工例について紹介する。

キーワード: PC グラウト再注入, 腐食, 塩化物イオン, 亜硝酸リチウム, 不動態化, PC 橋

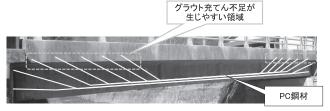
## 1. はじめに

近年,高齢化した道路橋に対して合理的な維持管理を実施し、健全化、長寿命化を行うことが国家的な重要課題として認識されている。15 m以上の道路橋の内、約4割を占める既設 PC 橋においても、劣化が顕在化した例が多数あり、中でもポストテンション方式の PC 鋼材におけるグラウト充てん不足とそれにともなう PC 鋼材の腐食に対する補修のニーズが高まっている。

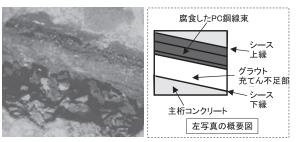
ここで、グラウト充てん不足について、簡単に説明する。既設 PCT 桁橋の一例を図―1に示す。同図(1)に示すように、桁内部には桁自重や交通荷重に対して所定の安全性を確保するために、複数本の PC 鋼材が桁方向に配置されている。 PC 鋼材は桁内部にあらかじめ埋設されたシース内部に挿入され、プレストレスを導入するための緊張作業後、シース内部に注入されたセメントミルク材(以下、グラウト)により防錆と桁との一体化が行われる。ただし、建設後数十年が経過した既設 PC 橋においては、グラウトの材料分離や、施工技術の未熟などにより、同図(2)に示すようにシースの一部でグラウトが十分に充てんされていない領域が生じており、これをグラウト充てん不足と称している。

既設 PCT 桁橋においては、同図(1)に示すように PC 鋼材の両端の定着具近傍にグラウト充てん不足が生じている場合が多い。特に上床版に定着部が配置

された PC 鋼材 (以下,上縁定着ケーブル) においては,建設当時,橋面防水工が施工されていないこともあり,橋面からシース内部のグラウト充てん不足部へ



(1) 既設PCT桁のPC鋼材配置例



(2) 既設PCT桁橋におけるグラウト充てん不足と PC鋼材の腐食例





(3) PC鋼材表面錆内部の塩化物イオン検出例 左:精製水への抽出 右;カンタブによる検出 図-1 グラウト充てん不足と PC 鋼材の腐食の概要図

と雨水等が侵入し、PC 鋼材の腐食が生じやすい状況にある。中でも、寒冷地に位置し凍結防止剤が多用される環境下にある既設 PC 橋では、同図(3)に示すように凍結防止剤に含まれる塩化物イオン(以下、Cl-と記す)がグラウト充てん不足部に侵入し、PC 鋼材に局部腐食をともなう著しい腐食が生じている。このような PC 鋼材は、健全な PC 鋼材と比較して局部応力が増大し、破断しやすい状態となるため、実橋梁では安全性確保のため、早期に補修を行う必要がある。

# 2. 従来の補修工法(PC グラウト再注入工法)

従来、既設PC橋においてグラウト充てん不足が確認された場合には一般に、グラウト再注入工法<sup>例えば1)</sup>による補修が行われてきた。この工法は文字通り、グラウト充てん不足部にPCグラウトを後注入する工法であり、仮にグラウト充てん不足部のPC鋼材に腐食が生じていない場合は、この工法による補修を行うことで耐久性や健全性の回復が期待できる。一方、上述のように何らかの要因でPC鋼材に腐食が生じている場合、特に、図一1に示すようにCl<sup>-</sup>などにより著しい腐食が生じている場合には、Cl<sup>-</sup>を除外することなくグラウトを後注入するため、十分な腐食抑制効果が得られない可能性が考えられる。

以上のような状況を鑑み、著者らは  $Cl^-$ などにより腐食した PC 鋼材の腐食抑制を可能とする工法として、亜硝酸リチウム(以下、 $LiNO_2$  と記す)水溶液を用いた新しい PC グラウト充てん不足部の補修工法~リパッシブ工法~を開発した。本稿では、新工法の概要、施工例を紹介する。

## 3. 新工法の概要

図-2に新工法のフローを示す。 $Cl^-$ による腐食に対して抑制効果が確認されている防錆剤の-種で、昨今では、断面修復材等にも添加されていることが多い $LiNO_2$ を水溶液のまま、グラウト再注入に先立ってシース内に注入するのが、新工法の最大の特徴である。 $LiNO_2$ 水溶液は、グラウトと比較して小間隙への浸透性が高いため、防錆成分である亜硝酸イオン(以下、 $NO_2^-$ )がグラウト充てん不足部の隅々まで行きわたることが期待できる。

図-3に塩水噴霧により腐食させた $\phi$  13 mm 丸鋼と同鋼を 40% LiNO<sub>2</sub> 水溶液に浸せきしたものの表面 錆層内のイオン量をイオンクロマトグラフ法により分析した結果を示す。前者の表面錆層内部には多量の

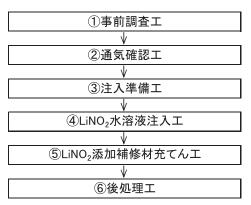
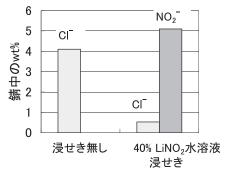


図-2 本補修工法の施工フロー



図一3 塩水噴霧により腐食した丸鋼の表面錆内部のイオン分析結果

Cl が確認されており、鋼材表面は腐食環境である。一方、LiNO2水溶液に浸せきされると表面錆層内部に多量の $NO_2$  が浸入するとともに、Cl が減少している。このように、 $LiNO_2$  水溶液の注入による鋼材表面 錆層内の  $[Cl^-]/[NO_2^-]$  が、腐食抑制条件として浜ら $^2$  が提案している 1.25 を下回り、鋼材表面が腐食抑制された、すなわち不動態化された状態へと変化する。これが新工法の腐食抑制メカニズムの概要である。続いて、余分な  $LiNO_2$  水溶液をシース外へ除去した後、PC 鋼材の不動態状態を維持する目的で、シース内に補修材を充てんする。補修材には、 $LiNO_2$  水溶液の注入により PC 鋼材表面錆層内に浸入した  $LiNO_2$  がグラウト中への逆拡散することを防止する目的で、同じ  $LiNO_2$  水溶液を添加したものを使用する。

## 4. 新工法の施工方法

#### (1) 事前調査工

事前調査工の実施状況を写真—1に示す。まずRCレーダーを用いて主ケーブルの位置出しとかぶりの測定を行う。続いてPC鋼材に損傷を与えないように予備削孔( $\phi$ 25 mm)を行う。シースを破った後、CCDカメラでシース内部を撮影し、グラウト充てん不足やPC鋼材の腐食を確認する。グラウト充てん不足やPC鋼材の腐食が確認された場合には、 $\phi$ 80 mm

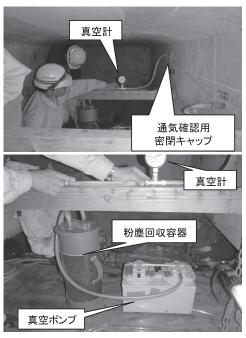


写真一1 事前調査工

のコア孔を設け、PC 鋼材を露出させる。PC 鋼材の腐食が生じている場合には、図—1(3)に示したように精製水を染みこませた綿棒で露出した PC 鋼材の表面錆を数度拭き取り、これを少量の水に溶出させたものを検水として、市販のカンタブや Cl <sup>-</sup> 用検知管などを用いて表面錆層内の塩化物イオン調査を行う。

## (2) 通気確認工

通気確認工は、LiNO<sub>2</sub> 水溶液が注入施工中にひび割れから外部に漏出するのを避けることを第一の目的として行う工種である。LiNO<sub>2</sub> 水溶液は、劇毒物に指定されてはいないものの河川等に大量に漏出すると水質汚濁の可能性がある化学薬品であり、シースに沿ったひび割れの発生が推定される既設 PC 橋の場合では非常に重要な工種となる。



写直―2 通気確認工

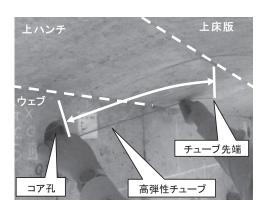
通気確認工の実施状況を写真—2に示す。コア孔部に取り外しが可能な専用の通気確認用密閉キャップを設置し、これに真空計、粉塵回収容器、真空ポンプをグラウトホースを介して接続し、バルブ開閉前後の真空度を計測する。真空ポンプによる減圧を行っても所定の真空度が得られない場合は、シースに沿ったひび割れ等から漏気が生じていることが考えられ、その漏気音を検知して水溶液が漏出する可能性のある箇所を特定し強力布テープなどで漏水防止処理を行う。

## (3) 注入準備工

注入準備工では、LINO<sub>2</sub>水溶液が足場外部に漏出することを確実に防止するため、足場全面への透明シート敷設に加え、下フランジ直下へのロール状高分子ポリマー吸水シートの敷設と、バケツやプラ舟の準備による漏水防止養生を実施する。

次に、コア孔からグラウト充てん不足部端部にむけて、排気や充てん確認に使用する内径 2.0 mm の高弾性チューブを挿入し、写真—3に示すように、主ケーブルの定着部近傍まで挿入されたことを確認する。その後、取り外しが可能で真空圧や注入圧に対する気密性と水密性を容易に確保できる専用の注入キャップを用いてコア孔部を覆い、高弾性チューブの片端を外部に露出させた状態とする。

そして、腐食した PC 鋼材の再不動態化の確認に必要なリード線を PC 鋼材との導通を確認した鉄筋に接続するとともに、後述の LiNO<sub>2</sub> 水溶液注入工や LiNO<sub>2</sub> 添加補修材充てん工に必要な各資機材を配置する。



写真一3 高弾性チューブ挿入長確認状況

## (4) LiNO<sub>2</sub> 水溶液注入工

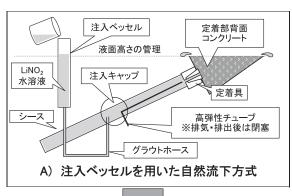
LiNO<sub>2</sub> 水溶液の注入はまず、**図**—4A)に示すような注入ベッセルを用いた自然流下方式で行う。通気確認工で、定着部背面に僅かに通気がある場合には、シース内に注入した水溶液が定着部背面から多量に漏れ出すことが無いように、注入ベッセルを、その中央部が

定着部の高さと同程度となるように外桁側面に設置し、内部の液面高さを管理しながら、少量ずつ水溶液を注入する。その後高弾性チューブから排出され $LiNO_2$ 水溶液が定着部近傍まで注入されたことが確認できる。さらに、チューブより上方へと $LiNO_2$ 水溶液を供給するため、高弾性チューブを閉塞し、注入ベッセルに少量ずつ $LiNO_2$ 水溶液を注入し、注入ベッセル内の液面高さを上昇させる。

次に、図-4B)に示すような真空ポンプを用いたエアリフト方式による水溶液の注入を行う。本方式を用いることで、シース内の水溶液が断続的に勢いよく定着部方向へ動くため、高弾性チューブ先端より上方にある定着部近傍の PC 鋼材に対し、より確実に水溶液を供給することが期待できる。また、本方式は、真空ポンプによる減圧を断続的に付与した状態で LiNO2 水溶液を注入する方法であるため、一般的に知られる真空脱泡作用が生じ、LiNO2 水溶液と PC 鋼材表面錆内部にある空気との置換がスムーズに行われることで、グラウト充てん・充てん不足境界近傍で Cl<sup>-</sup>により著しい腐食が生じた PC 鋼線東内部に対しても腐食を抑制するのに十分な  $NO_2$  を供給できる 30。

# (5) LiNO<sub>2</sub> 添加補修材充てん工

LiNO<sub>2</sub>添加補修材充てん工の留意点として、グラウ



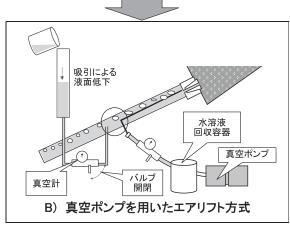


図-4 LiNO<sub>2</sub> 水溶液の注入方法概要図

トの付着や、PC 鋼材の腐食等によりシース内の間隙が小さく補修材により閉塞しやすいことや、シース下部に除去しきれなかった水溶液が残留した状態で、補修材を充てんする可能性があることが挙げられる。そこで新工法では、これらの課題を解決した専用の材料を用いている。それらは、PC グラウトにおける管理基準  $^4$  を満足するとともに、写真-4 に示す修正 JASS フロー試験のフロー値が図-5 に示すように新工法の規格値である  $250~\text{mm}\sim350~\text{mm}$  を  $5\sim6$  時間程度保持し、また写真-5 に示すように傾斜管の下部に水を入れた状態で充てんしても材料分離が生じない材料である。また本補修材には実配合では約  $42~\text{kg/m}^3$  の  $NO_2$  が添加されている。

施工においては、小間隙やグラウト充てん不足部上端の充てん度を向上させるため、図―6に示す注入ベッセルを用いた自然流下方式により充てんを行う。本方式の特長として、以下の3点が挙げられる。

- ①容易に0.1 リットル/min 程度の低速充てんが可能となり、PC 鋼線間などの小間隙において残留空気と $LiNO_2$ 添加補修材が置換されやすく、充てん性の向上が期待できる。
- ②内径2mmの高弾性チューブを定着部近傍まで挿入し、これを排気孔として使用することにより、グラウト充てん不足部端部近傍まで確実に充てんでき、同チューブからの排出により充てん度をモニタリン

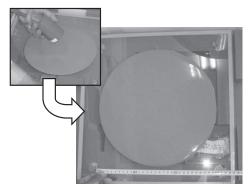


写真-4 修正 JASS フロー試験

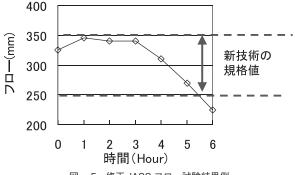


図-5 修正 JASS フロー試験結果例

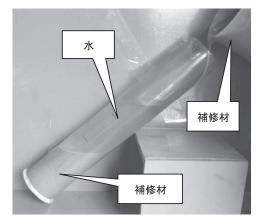


写真-5 LiNO<sub>2</sub>添加補修材の静水中の不分離性

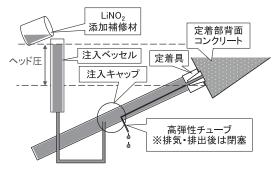


図-6 LiNO<sub>2</sub>添加補修材充てん方法概要図

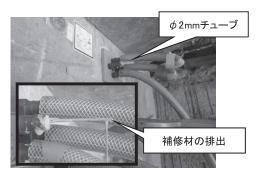


写真-6 LiNO。添加補修材の充てん確認状況

グできる。

③グラウト充てん不足部上端より高い位置にある注入 ベッセル内の補修材によりシース内に継続的なヘッ ド圧が負荷されるので、定着部背面の通気性に応じ て高弾性チューブ先端より上部の充てん性が向上す る。

LiNO<sub>2</sub>添加補修材の充てん確認状況を**写真**—6に示す。注入ベッセルに注入されたLiNO<sub>2</sub>添加補修材は順次シース内に充てんされ、その後、高弾性チューブからの排出により定着部近傍まで充てんされたことを確認できる。高弾性チューブを閉塞した後も、同補修材が硬化するまで継続してヘッド圧を加えることで、高弾性チューブ先端よりさらに上方に向かって補修材

が充てんされることが期待できる。

#### (6) 後処理工

 $LiNO_2$ 添加補修材の硬化後、専用の注入キャップを取り外し、排気チューブを切断してポリマーセメントモルタルで断面修復を行う。

## 5. おわりに

新工法リパッシブ工法は、施工実績を重ね、平成25年5月現在、グラウト充てん不足が確認された既設PC橋8橋に採用されている。

本稿が、グラウト充てん不足部において PC 鋼材の腐食が生じている、もしくは生じている可能性がある既設 PC 橋の健全性の確保と長寿命化に寄与すれば幸いである。

#### 謝辞

なお,新工法は,神戸大学大学院工学研究科市民工 学専攻森川英典教授と株式会社ピーエス三菱との共同 研究により開発したものである。多大なるご指導・ご 協力を頂きました森川教授に感謝申し上げます。

J C M A

#### 《参考文献》

- 1) 鉄道総合技術研究所: PC グラウトの再注入等補修マニュアル (案), 2002
- 2) 浜幸雄、千歩修、秋田竜:コンクリート中の鋼材腐食に及ぼす亜硝酸イオンおよび塩化物イオン濃度の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、No.2、pp.55-60、2000
- 3) 鴨谷知繁,青山敏幸,福田圭祐,森川英典: PC グラウト充てん・充 てん不足境界近傍で著しく腐食した PC 鋼材束内部における LiNO<sub>2</sub> 水 溶液注入補修の適用性,コンクリート工学年次論文集, Vol. 36,2014, 掲載予定.
- 4) プレストレストコンクリート建設業協会: PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル (改訂版), pp.43, 2006



[筆者紹介] 鴨谷 知繁(かもたに ともしげ) ㈱ピーエス三菱 技術本部技術部 開発メンテナンスグループ



青山 敏幸(あおやま としゆき) (㈱ピーエス三菱 技術本部技術部 開発メンテナンスグループ