

リパッシブ工法の新しい品質・出来形管理の提案

一名神高速道路（特定更新等）

うちあはらひえつきょう 内阿原避溢橋 PC グラウト再注入工事一

(株)ニューテック康和	事業本部山口支店	高取広
(株)ニューテック康和	事業本部工事事務部	宮尾秀一
東京土木支店	土木工事事務部	桐谷充彦
技術本部	技術部	白水祐一

概要：本報告はポストテンション方式 T 桁橋である内阿原避溢橋の主ケーブルに生じた PC グラウト充填不足部に対して自然流下方式 PC グラウト再注入工法を適用した工事報告である。事前調査の結果、充填不足が確認されたのは調査数量の 18%程度であり、充填不足部の PC グラウトには塩化物イオンが確認され、その付近の PC 鋼材には鋼材腐食が認められた。本工事は試験工事に位置付けられ、PC グラウト施工管理基準を策定するため、ケーブル 1 本毎の注入量を計測管理することが求められ、目盛り付き注入ベッセルを用いた管理方法を提案した。その結果、従来管理方法と比較すると品質・出来形管理が簡素化された。同時に非破壊検査方法を用いて、PC グラウトの良好な充填性能や良好な鋼材腐食抑制効果を確認した。

Key Words：PC グラウト、充填不足、自然流下方式、品質・出来形管理

1. はじめに

全国各地で PC 構造物における PC グラウト（以後、グラウトと称す。）の充填不足が報告されており、1970 年代以前に架設されたポストテンション方式 T 桁橋では、主桁に上縁ケーブルが存在すること、橋面防水を施工されていない橋梁があることから、雨水や融雪水が充填不足部へ侵入し、PC 鋼材の腐食による劣化が報告されている。

PC 鋼材の腐食は最悪の場合には破断を引き起こし、PC 構造物の耐久性に大きな影響を及ぼすと報告されており、近年、その対策としてグラウトの再充填工法が開発され、実装されるまでに至っている。しかし、充填に係る性能や品質・出来形管理方法、および耐久性に与える影響など、明らかになっていないことも多いのが現状である。

そこで本報告は、中日本高速道路（株）名古屋支社から発注された写真-1 に示すポストテンション方式 T 桁橋である内阿原避溢橋の主ケーブルに生じたグラウト充填不足部に対して自然流下方式 PC グラウト再注入工法（以後、リパッシブ工法と称す。）を施工し、事前調査の結果やグラウトの品質・出来形管理および構造物の耐久性に影響を与えるグラウトの充填性能や PC 鋼材の腐食抑制効果について報告するものである。



高取広



宮尾秀一



桐谷充彦



白水祐一

2. 工事概要

2.1 構造物諸元

構造物諸元を以下に示す.

橋 梁 名 : 内阿原避溢橋

建設位置 : 名神高速道路 岐阜羽島 IC~大垣 IC

構造形式 : ポストテンション方式単純 PCT 桁橋

橋 長 : 上下線共通 34.0m

幅 員 : 29.35m (上り線 8 主桁, 下り線 11 桁)

PC 鋼材 : PC 鋼材 12φ7mm

2.2 リパッシブ工法の施工

リパッシブ工法の施工フローを図-1 に示す. 施工方法の詳細については成書 2) に譲るとして, 本報告では図中に示す事前調査および亜硝酸リチウム水溶液 (以後, 水溶液と称す.) 注入と亜硝酸リチウム添加充填材 (以後, 充填材と称す.) 充填について記述する.

2.2.1 事前調査

事前調査として, グラウト充填状況を目視観察による確認, グラウト充填不足量の推定方法として X 線透過法および空圧法による推定を実施した. 更に, 充填されていないケーブルに関しては PC 鋼材の健全性を目視観察により判定するとともにグラウトに含有される塩化物イオン量を計測した.

グラウト充填状況に関して, 目視観察による確認は原則として全主ケーブルを対象とし, 主ケーブルの曲上げ部上方にドリル削孔を行い, 充填度を確認した. なお, 評価基準は, 「充填」, 「部分充填」, 「未充填」とした.

目視観察で充填不足と確認されたケーブルに対して X 線透過法¹⁾での調査を実施し, グラウト充填不足長さ計測するとともにグラウト充填後にも撮影し, 充填前後の比較によるグラウトの充填性能を確認した. 一方, グラウト充填不足が確認された全ケーブルで空圧法¹⁾による調査を実施し, 不足部の容積を推定した.

PC 鋼材の健全性は, PC 鋼材の腐食程度を要因として評価した. 評価基準は「錆無し」, 「薄錆 (表面錆)」, 「点状錆」, 「断面欠損有り」, 「PC 鋼材径が小さくなっている」, 「PC 鋼材破断あり」とした (以後, それぞれ健全度 0 から健全度 5 と称す.).

グラウトに含有された塩化物イオン量は「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 (JIS A 1154 ; 2020 年) に準拠した. 試料は代表した 4 主桁から, それぞれ支間中央, 下フランジ底面と桁端部ウェブ上方から採取している.

2.2.2 水溶液注入および充填材充填

水溶液の注入概要図を図-2 に, 注入量計測状況を写真-2 に示す. 水溶液の重量を充填前後と注入ベッセルから



写真-1 内阿原避溢橋

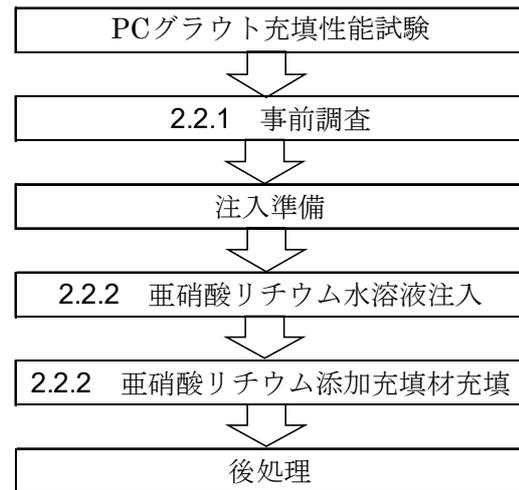


図-1 施工フロー

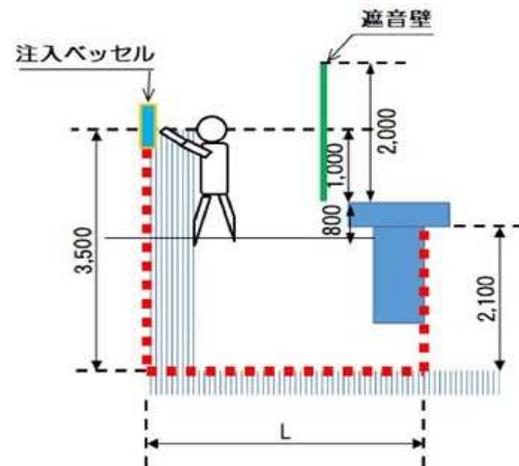


図-2 亜硝酸リチウム水溶液の注入概要図

注入孔までのグラウトホースの重量を計測することでシース内に充填された重量を算出し、水溶液の比重 1.25 で割り戻し、グラウト充填不足部の充填不足部容積を算出した。従来の充填材の充填量の管理は、空袋管理、水溶液と同様に重量管理から容積への換算で対応していた。しかし、重量管理の煩雑さ、容積の見える化を目的として、本工事では、**写真-3** に示すような予め正確に計量された注射器と目盛り付き注入ベッセルを使用して充填容積を計測することを提案した。目盛り付き注入ベッセルに一定量の充填材を注入し、シース内に充填する。注入ベッセルの半分まで充填がすれば注入量が既知の注射器を用い注入ベッセルに充填材を補充する。充填完了後に補充回数を考慮して充填容積を算出した。計測状況を**写真-3** に示す。

2.2.3 腐食抑制効果のモニタリング

リパッチ工法の評価として施工性と鋼材腐食抑制効果が重要となる。前者に関しては 2.2.2 に記述した方法にて評価した。一方、後者は自然電位を継続的にモニタリングすることで評価することにした。自然電位はチタンワイヤーセンサー³⁾を使用して計測し、鋼材腐食の評価は ASTM 基準⁴⁾を準拠した。

遠隔監視システムの概要図を**図-4** に示す。監視装置自体はソーラーパネルからの電力により作動しており、測定された自然電位のデータはメールを使用してピーエス三菱本社に配信され、メールフォームデータを CSV エクスポート変換した後にイージーM モニターで確認することが出来る。

3. 事前調査結果

図-5 にグラウト充填状況の調査結果を示す。結果は調査数量 286 箇所に対する割合で示してい



写真-2 垂硝酸リチウム水溶液注入量の計測状況

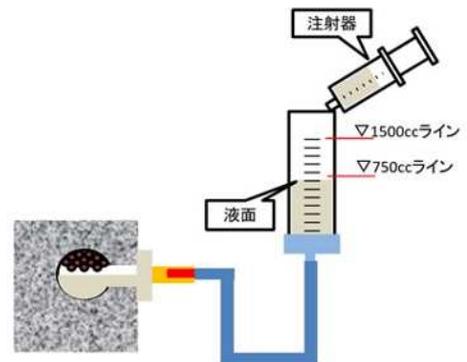


図-3 垂硝酸リチウム添加充填材の充填概要図



写真-3 垂硝酸リチウム添加充填材充填量の計測状況

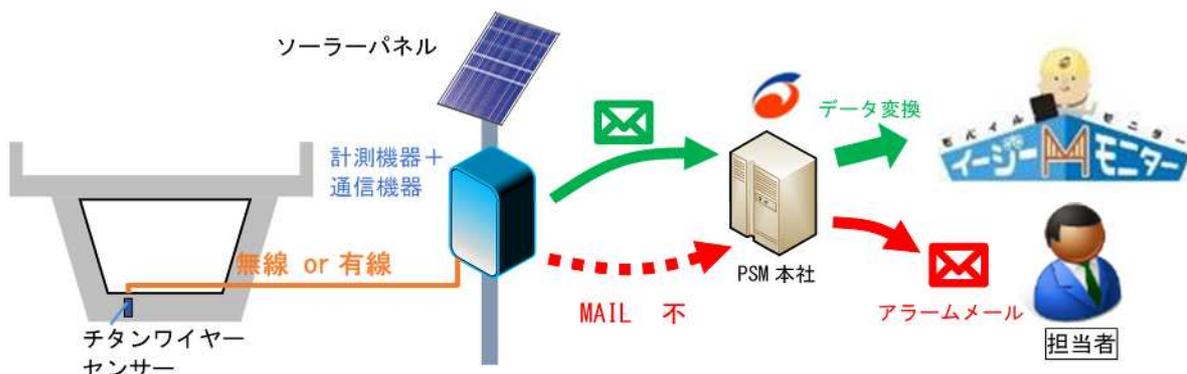


図-4 遠隔監視システムの概要図

る。本橋梁においては未充填，部分充填を加え，18%程度のグラウトが十分な充填ではない結果となった。

3.2 グラウト充填不足部の長さや容積

グラウト充填度で未充填と判定された箇所から 4 か所を代表として X 線透過法に供した。撮影結果からグラウト充填不足長さは 750mm, 500mm, 300mm, 350mm と規則性は無かった。

同様に未充填，部分充填と判定された全箇所に対して空圧法に供した。空圧法によるグラウト充填不足部の容積推定値と水溶液の実注入量との比較は後述する。

グラウトの充填度の確認の後，PC 鋼材の健全性を評価した。グラウト充填度と PC 鋼材の健全性の関係を図-6 に示す。図はそれぞれのグラウト充填状況におけるその充填度に属する総数に対するそれぞれの PC 鋼材健全度に属する総数の割合で示している。グラウト充填されている PC 鋼材の健全度は健全度 0 および健全度 1 がそれぞれ 50% 占めており，部分充填の場合には健全度 1 が 70%，健全度 2 が 20%，未充填の場合には健全度 1 が 22%，健全度 2 が 70%，健全度 3 が 5% とグラウト充填度が充填，部分充填，未充填となるに従い PC 鋼材の健全性は低下する傾向にあった。これは PC 鋼材の健全性に及ぼすグラウトの影響を示すものである。写真-4 に健全度 3 の PC 鋼材の状況を示す。

3.3 グラウトに含まれる塩化物イオン量

各充填度のケーブルのグラウトに含まれる塩化物イオン量を表-1 に示す。グラウトが未充填の場合，グラウトに含まれる塩化物イオン量は，部分充填および充填のそれと比較して多い傾向にあり，それに伴い PC 鋼材の健全性は低下する傾向にあった。図-6 で示したグラウト充填度が未充填になるに従い，PC 鋼材の健全性が低下する原因の一つにグラウトに含有される塩化物イオン量があるものと推定される。

4. 水溶液およびグラウト注入結果

4.1 水溶液と充填材注入量の関係

図-7 に同一ケーブルにおける水溶液注入量と充填材充填量の注入量の関係を示す。両者には正の相関が認められるものの，水溶液注入量の大小に関係なくばらつきが認められる。充填材充填量は水溶液の注入量の 0.8 から 1.2 倍の範囲内であった。

4.2 水溶液注入量と空圧法による充填不足部容積の関係

図-8 に水溶液注入量と空圧法による充填不足部容積推定値との関係を示す。両者には正の相関が認められるものの，ばらつきが大きく，平均で水溶液注入量の 0.75 か

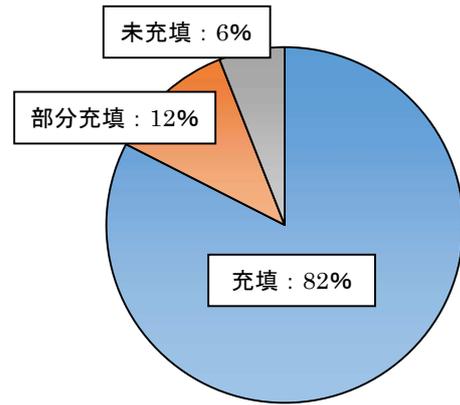


図-5 PC グラウト充填状況の割合 (調査数量：286 箇所)

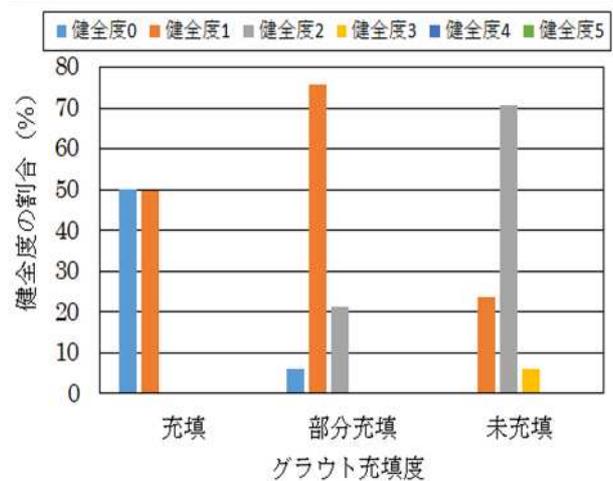


図-6 PC グラウト充填状況と PC 鋼材の健全性の関係



写真-4 PC 鋼材の健全度 3 の状況

表-1 グラウト充填状況が及ぼす PC グラウト中の塩化物イオン量と PC 鋼材健全性

グラウト充填度	塩化物イオン量 (kg/m ³)	健全度
未充填	0.29	2
部分充填	0.05	1
充填	0.05	0
充填	0.09	0

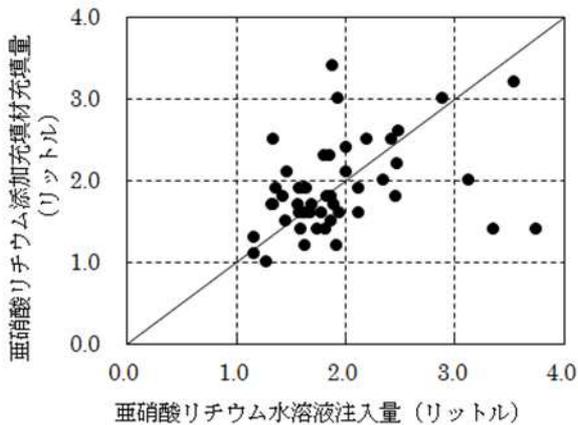


図-7 亜硝酸リチウム水溶液注入量と
亜硝酸リチウム添加充填材充填量の関係

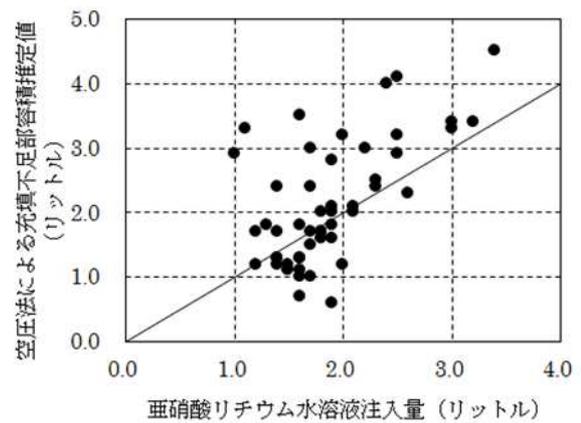
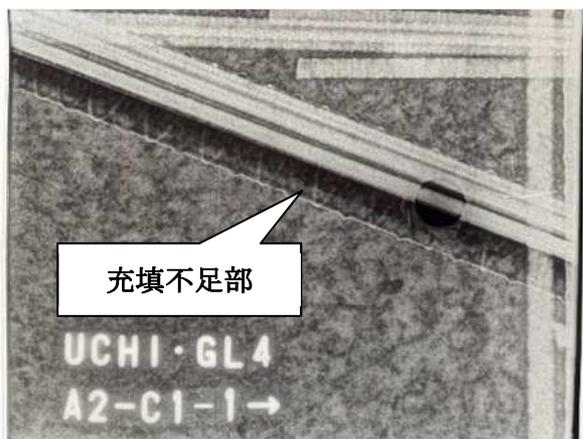
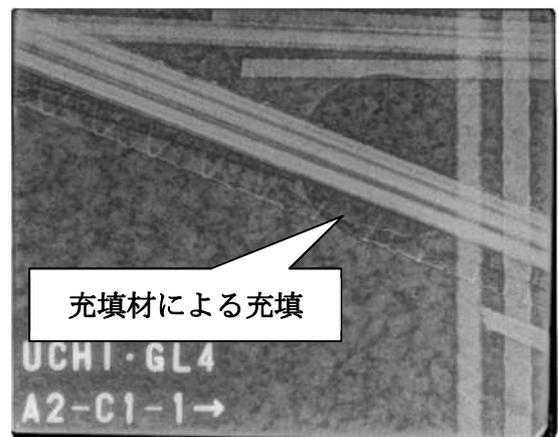


図-8 亜硝酸リチウム水溶液注入量と空圧法による充填不足部容積推定値の関係



a) 充填前の映像



b) 充填後の映像

写真-5 PC グラウト充填材充填前後の X 線透過法による映像

ら 1.45 倍であった。空圧法は非破壊検査法であり、100%の精度を求めるものではないと考えられる。大きなばらつきの原因として、シース内の密閉性や、グラウトとシース間の隙間などに影響されるものと推定している。

4.3 充填材の充填性能

充填材の重量計測による充填量の管理は、労力が必要であったが、本工事で提案した注射器、目盛り付き注入ベッセルを使用することにより簡素化され、求められたケーブル 1 本毎の充填量を計測管理する課題は解決された。

また、充填材の充填性能の評価は充填前後の X 線透過法による空隙調査結果と緑色に着色した充填材充填状況の目視確認で評価した。

写真-5 に充填材の充填前後の X 線透過法の映像を、写真-6 に着色した充填材の充填状況を示す。

写真-5 において a) で示すような充填不足部が b) に示すように充填材により十分に充填されていることが明確である。更に、写真-6 に示すように着色された充填材が一部、既設グラウトが存在する充填不足部にも十分に充填されていることが明確となった。この結果から、リパッシブ工法に使用する充填材が十分な充填性能を有していることが明確となった。



写真-6 着色された充填材の充填状況

4. リパッシブ工法の腐食抑制効果

チタンワイヤーセンサーはいずれも PC 鋼材が腐食した 4 か所に設置した。計測結果を図-9 に、また ASTM 規準を表-2 に示す。

PC 鋼材の電位は経時変化を伴い 10mV から 40mV (vs TWC) の範囲内で安定している。表-2 から「90% 以上の確率で腐食なし」と判定され、リパッシブ工法による腐食抑制効果が明確となった。

5. まとめ

ポストテンション方式 T 桁橋である内阿原避溢橋における事前調査結果および、適用したリパッシブ工法における品質・出来形管理の提案を以下にまとめる。

- (1) グラウトの充填状況調査は、ケーブル上方位置にコア削孔し、目視観察により行った。286 箇所の PC グラウト充填度調査の結果、充填不足が確認されたのは 18% 程度であった。
- (2) グラウト充填状況調査位置で PC 鋼材の健全度を目視確認した結果、グラウト充填状況が充填、部分充填、未充填となるに従い PC 鋼材の健全性は低下する傾向にあった。
- (3) グラウト充填不足部への水溶液注入量と充填材充填量を比較した結果、両者には正の相関が認められるもののばらつきが認められ、充填材は水溶液の 0.8 倍から 1.2 倍程度となった。
- (4) リパッシブ工法で使用する充填材の充填性能を X 線透過法や着色した充填材の充填状況の目視観察から判断した結果、十分な充填性能が認められた。
- (5) 充填材の充填量の管理は、注射器、目盛り付き注入ベッセルを使用することにより従来の管理方法と比較すると簡素化され、求められたケーブル 1 本毎の充填量を計測管理する課題は解決された。
- (6) 充填材の施工後、PC 鋼材の自然電位を計測した結果、リパッシブ工法の腐食抑制効果が明確となった。

謝辞

本試験工事では、株式会社ピーエス三菱をはじめ関係各位に指導を頂いた。これら関係各位に、心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社) 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 グラウトの再注入工法)，pp.98-108，2020.4
- 2) 鴨谷知繁・青山敏幸：亜硝酸リチウム水溶液を用いた新しい PC グラウト充填不足部の補修工法，建設機械施工，Vol.66，No.7，pp.71-75，2014
- 3) 杉浦尚樹・青山敏幸・石井浩司・鳥居和之：塩害環境下におけるチタンワイヤーセンサーでの自然電位に関する研究，土木学会第 71 回年次学術講演会，pp.833-834，2016
- 4) ASTM C 876-9 : Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol.03,02, pp.248-256, 1999

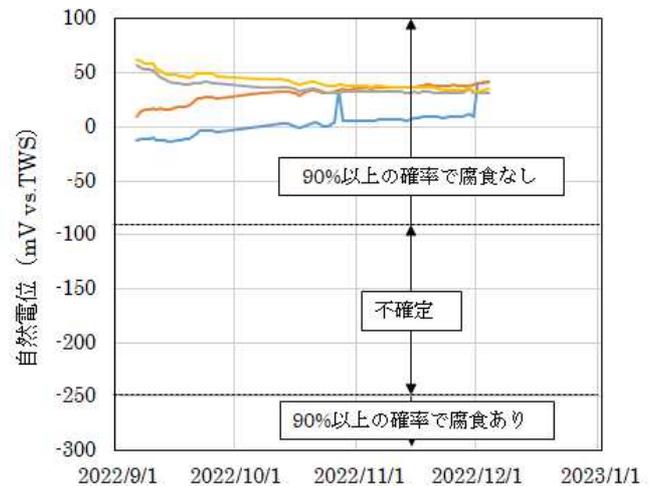


図-9 PC 鋼材の電位計測結果

表-2 ASTM C 876 の腐食判定基準

自然電位 E (mV vs TWS)	鋼材腐食の可能性
$-80(-200) < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-230(-350) < E \leq -80(-200)$	不確定
$E \leq -230(-350)$	90%以上の確率で腐食あり