

type-S、type-D 併用による PI-Slit 工法の施工

— 深見新橋 —

技術本部	技術部	青山敏幸
東京土木支店	土木工事部 (名古屋支店駐在)	佐藤仁宣
東京土木支店	土木技術部 (名古屋支店駐在)	川除達也

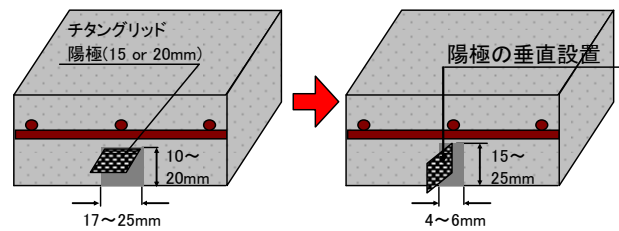
概要: チタングリッド陽極を用いた電気防食工法のコスト低減と防食の最適化を目的として、PI-Slit 工法 (ピーアイスリット工法) にて切削溝 1 本に配置する陽極の枚数を 1 枚 (type-S) と 2 枚 (type-D) を併用した初めての施工を実施した。遠隔監視システムによる通電開始から約 1 年間にわたる電気化学的測定の結果から、持続的な防食効果を確認するとともに、電気防食の全体工事費としては従来のチタングリッド工法に対して約 15% のコスト低減を可能にした。

Key Words: PI-Slit 工法, type-S, type-D 併用, コスト低減

1. はじめに

塩害を受けたコンクリート構造物の補修方法のひとつに電気防食工法がある¹⁾。本工法は、塩害対策工法として信頼性が高く、施工実績も増加しているが、選定されるにあたっての大きな課題は、他の塩害対策工法である表面保護工法や断面修復工法と比較して初期コストが高いことにある。

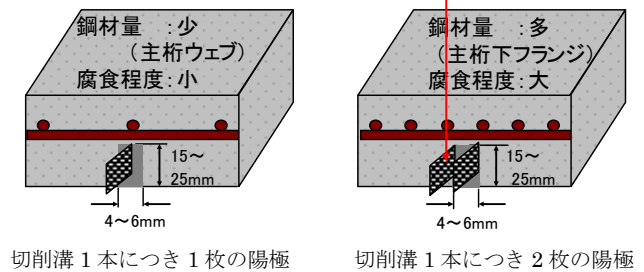
これまでに施工したチタングリッド工法 (図-1(a)) を対象として、施工費用の内訳を分析した結果、コスト低減に向けた課題は溝切削量の削減、および陽極材料の使用量の削減と考えられた。そこで、当社ではチタングリッド陽極を用いた電気防食工法のコスト削減策として、陽極材の配置方法を変更した PI-Slit 工法 (ピーアイスリット工法) (図-1(b)) を開発した²⁾。さらに、コンクリート内部の鋼材量や腐食の程度に応じて、図-2 に示すように切削溝 1 本に配置する陽極の配置枚数の選択 (type-S, type-D) と最適な陽極幅を選定するこ



(a)チタングリッド工法 (b)PI-Slit 工法

図-1 陽極の設置方法の改良

陽極幅 10mm の追加
 最適なチタングリッド
 陽極幅 (10mm, 15mm, 20mm) の選択



切削溝 1 本につき 1 枚の陽極 (a) type-S
 切削溝 1 本につき 2 枚の陽極 (b) type-D

図-2 陽極の配置枚数の変更



青山敏幸



佐藤仁宣



川除達也

とで、防食の最適化と更なるコスト低減に取り組んできた^{3) 4)}。

本報告では、今回初めて採用された type-S と type-D を併用した PI-Slit 工法の施工事例を紹介するとともに、防食効果を確認するための遠隔監視システムによる約 1 年間にわたる復極量の測定結果および本工法によるコスト低減の効果について述べる。

2. 工事概要

施工対象の橋梁を写真-1 に、工事概要を以下に示す。

工 事 名：一般国道 249 号 橋りょう補修工事（深見新橋）（電気防食工）

発 注 者：石川県奥能登土木総合事務所

工事場所：石川県輪島市深見町地内

工 期：平成 24 年 1 月 19 日～平成 24 年 8 月 31 日

構造形式：ポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋（5 主桁）

橋長,幅員：橋長 36.0m, 幅員 8.9m

施工概要：電気防食工 496m², 断面修復工 13.5m², ひび割れ注入工 12.9m, 既設塗装除去工（電気防食範囲外）537.4m²

本橋は、石川県の能登半島の外浦に面した国道 249 号線に架かる橋長 36m のポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋である。1980 年に架設され、これまでに塩害に対する補修として上部工の主桁や横桁にはコンクリート塗装が施されてきた。しかし写真-2(a)に示すように、鋼材の腐食に伴うコンクリートのはく離やさび汁の発生など、再劣化が生じていた。また、ASR による劣化を併発しており、主桁では写真-2(b)に示すように、PC 鋼材に沿って 0.1mm 程度のひび割れが生じていた。再劣化の生じた上部工の対策として、施工性、維持管理および周辺への影響などの観点から比較検討を行い、線状陽極方式の電気防食工法による補修が最適であると判断された。本橋梁の劣化調査、対策工法の選定の詳細および ASR が生じた構造物への電気防食の適用に関する考え方については別途の報告⁵⁾を参照されたい。



写真-1 施工橋梁



(a) かぶりコンクリートの浮き



(b) ASR によるひび割れ

写真-2 コンクリートの劣化状況

3. 電気防食の設計

3.1 防食対象範囲

上部工の長期的な耐荷性能の確保を目的として、曲上げ部を含む主桁 PC 鋼材の配置範囲を電気防食による防食対象範囲に設定した。上フランジの軸方向鉄筋および支間中央部のウェブ部のスターラップは、腐食が生じて直ちに耐荷力が低下するわけではないため表面保護工法により補修し、再劣化が生じた段階で対策を行うことで初期コストの低減を図ることとした。防食回路は 1 回路とした。

3.2 陽極材の配置方法

陽極材の設置間隔は、コンクリート中の鋼材量や腐食程度をもとに必要防食電流量を算出し、陽極から鋼材への電流の広がりを満足してかつ、陽極から発生する電流が限界電流量以内に収まるように決定する。本

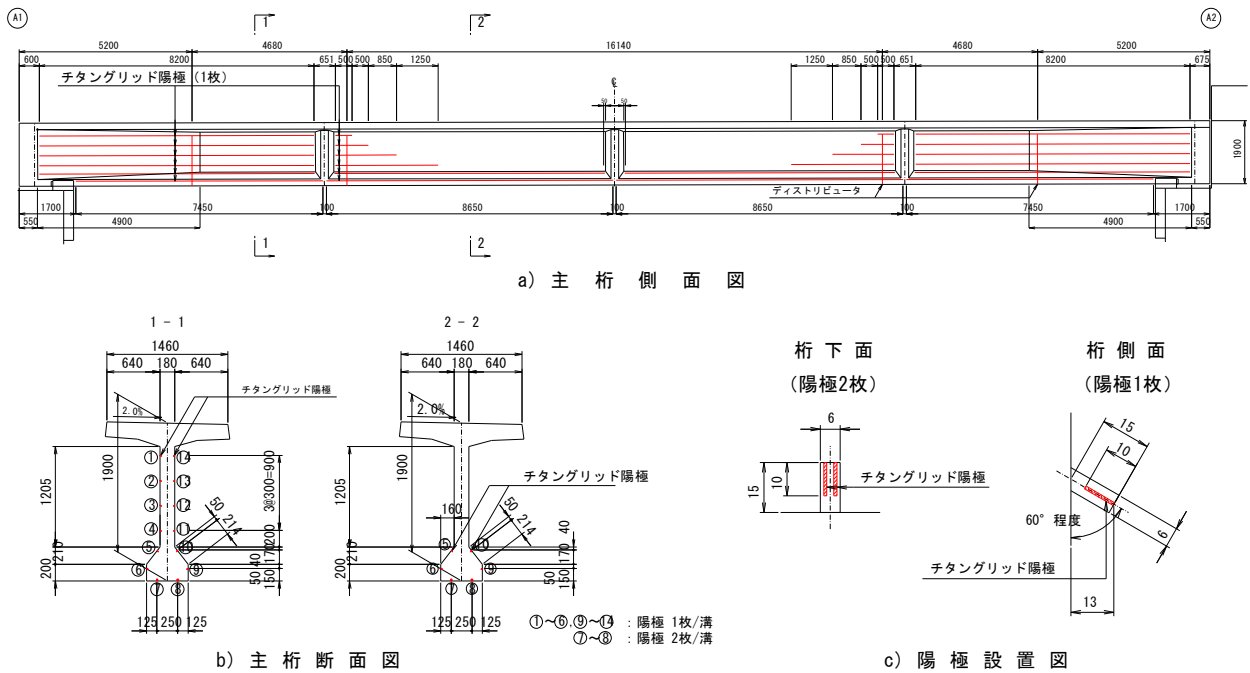


図-3 陽極配置図

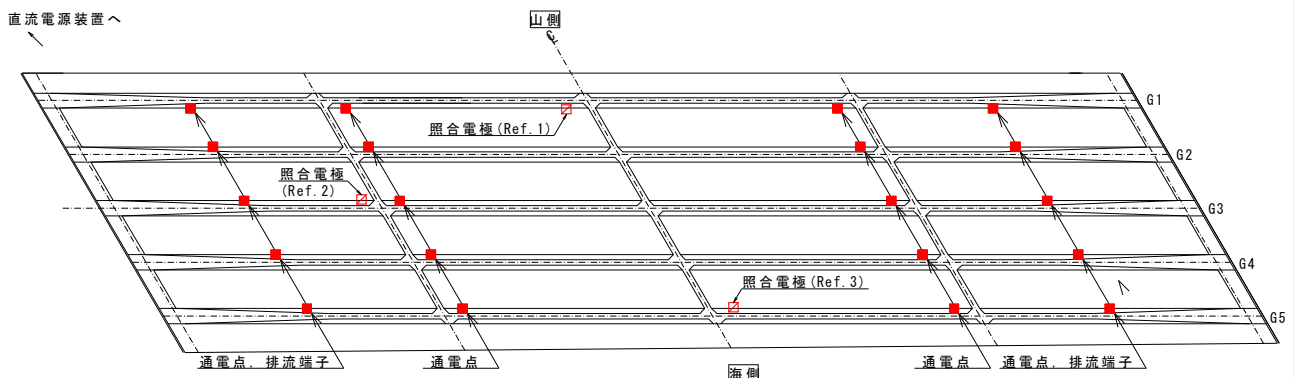


図-4 照合電極、排流端子、および通電点の位置図

橋では、鋼材の腐食が比較的軽微であったことから、陽極材の設置間隔は、ウェブで 300mm、下フランジで 250mm 程度とし、陽極幅はこれまで使用していた 15mm から 10mm 幅に変更した。また、鋼材量が多い下フランジ底面では、図-3 に示すように陽極の設置を type-D にすることで陽極量を大きくし、防食の最適化とともに、材料費、溝切削費の低減によるコスト低減を図った。

3.3 モニタリング回路

適切な防食電流の供給と防食効果の確認ができるように、モニタリング回路として埋込み照合電極を図-4 に示すように 3ヶ所設けた。また本橋では、電気防食を適用後に ASR によるひび割れ幅の変化を亀裂変位計により測定し、ASR による膨張の推移を監視することとした。

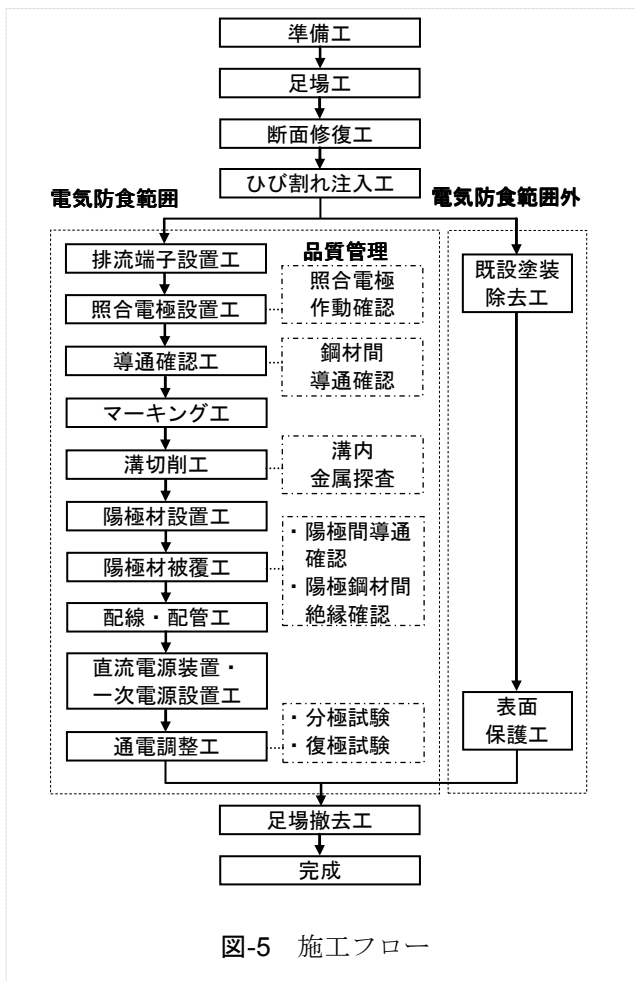
4. 電気防食の施工

4.1 施工フロー

本橋の補修工事の施工フローを図-5 に示す。ここでは、橋梁補修工事全体のうち、電気防食の施工について述べる。

4.2 排流端子、照合電極設置工

排流端子および照合電極は、図-4 に示す箇所に設置した。排流端子は、コンクリート中の鋼材に溶接し、照合電極は写真-3 に示すように、埋込み式の照合電極を設置した。



4.3 導通確認工

断面修復部の全断面を対象として、写真-4に示すようにコンクリートをはつりだした際に排流端子と鋼材をデジタルマルチメータにより接続し、両者の電位差が鋼材間の導通状態にあることを示す規格値の1.0mV以下にあることを確認した。

4.4 マーキング工

陽極材の設置位置はマーキングを行い、その後写真-5に示すように電磁誘導法により溝切削位置のかぶり深さを測定し、溝切削に伴う鋼材の切断がないように留意した。また、かぶり深さが設計の溝切削深さである15mmを確保できない場合は溝を拡幅し、線状陽極を従来システムと同様に水平に設置するようマーキングした。

4.5 溝切削工

溝切削は、図-3に示すように幅6mm程度、深さ15mm程度となるように、写真-6に示すようにコンクリートカッターを用いて行った。なお、今回は通常のエアークッターを用いたが、施工条件や施工規模などの条件に応じて騒音・粉塵対策型の人力カッター⁶⁾や、専用機器による切削も選択可能である。溝切削および溝内部の清掃を行った後は、鋼材と陽極の短絡を防止することを目的として、写真-7に示すように溝内金属探査を行った。本方法は、露出した金属とコンクリート中に取り付けた排流端子とが電氣的導通があることを利用して、直流電圧計と接続した金属製の



写真-3 照合電極の設置状況



写真-4 鋼材の導通確認状況



写真-5 鋼材かぶりの確認状況



写真-6 溝切削状況



写真-7 露出金属探査状況



写真-8 桁底面の陽極設置状況

ブラシを溝内部に移動させることで、コンクリート中の鋼材の電氣的導通がある箇所を検出するものである。

4.6 陽極材設置工

桁底面の陽極材の設置状況を写真-8 に示す。切削溝 1 本につき 2 枚の陽極を設置する場合には、陽極同士の接触を避けるため約 300mm ピッチの間隔でゴム状のスペーサーを陽極間に埋設した。また溝内の露出金属が検出された箇所は、陽極材に絶縁材料であるブチルゴム系のテープを被覆することで陽極材と露出した金属とが接触しないよう対策を行った。

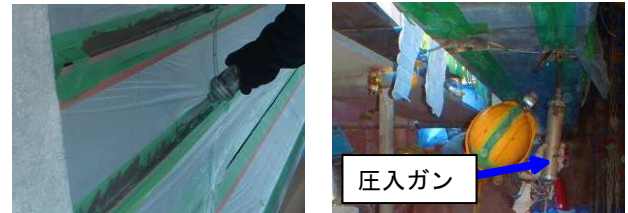
陽極材の設置後は、陽極ディストリビュータをスポット溶接にて堅固に接続し、陽極間が接続されていることを確認した。

4.7 陽極材被覆工

桁側面および桁底面の陽極材の被覆状況をそれぞれ写真-9(a)および写真-3(b)に示す。陽極被覆材料は、無機系の流動性の高いセメント系のものを使用した。桁側面の充填は、溝の下面に簡易な型枠を設置した後に溝の内部に材料を流し込む方法を用いた。また桁底面は、簡易型枠をセットした後に、写真-9 に示すような圧入ガンを約 100~150mm のピッチで溝内に差し込み材料を圧入した。陽極被覆の完了後には、陽極と鋼材の絶縁を写真-10 に示すように通電点と排流端子を接続し、鋼材と陽極が絶縁状態にあることを示す規格値 ①の 10mV 以上であることを確認した。また陽極間の導通は、写真-11 に示すように各陽極の先端部と通電点をデジタルマルチメータにより接続し、陽極間が導通状態にあることを示す規格値 ①の 1.0mV 以下であることを確認した。

4.8 陽極材被覆工

通電点、排流端子、および照合電極等の設置位置には、配線とそれぞれを接続するためのプルボックスを設置し、直流電源装置とプルボックス間の配線、配管を実施した。



(a) 桁側面 (type-S) (b) 桁底面 (type-D)
写真-9 陽極被覆状況

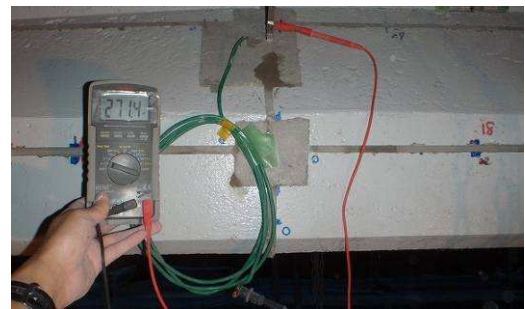


写真-10 陽極鋼材間絶縁確認状況



写真-11 陽極間導通確認状況



写真-12 直流電源装置設置状況

4.9 配線・配管工

使用した直流電源装置の設置状況を写真-12 に示す。直流電源装置内のユニットは、電気防食による各種の計測を行うための計測ユニット、直流電源装置、測定データを電子メールにて送付するための遠隔監視ユニット、および ASR によるひび割れ幅の変化量を測定するための計測用端子から構成される。

4.10 通電調整工

配線・配管および直流電源装置の設置が完了した後に、防食基準¹⁾である 100mV 以上の電位変化量が得られる電流量の設定を行うために分極試験を実施した。その結果を図-6 に示す。ここで分極量とは、防食電流を流す前の鋼材の電位と、所定の電流を流した際における鋼材のインスタントオフ電位の差である。鋼材のインスタントオフ電位は、電圧降下の誤差を取り除くため、通電を停止した直後に測定する値である。本橋では、防食基準を満足するようにコンクリート表面積に対して 5mA/m² の電流量を設定した。また分極試験から約 1 週間経過後には、通電を一時的に停止し、復極試験を行った。復極試験では、停止直後の鋼材のインスタントオフ電位と、通電停止から 24 時間後の電位の差（復極量）を測定し、防食基準を満足していることを確認して、工事を完了した。工事完成の状況を写真-13 に示す。

5. 防食効果およびコスト低減効果

4.1 防食効果

電気防食工法は、継続的に通電を行うことで防食効果を発揮する工法であるため、通電開始後のモニタリングが重要である。本橋では、電源装置内の計測ユニットおよび遠隔監視ユニットにより電流量等の測定を 1 日に 1 回、防食効果を確認するための復極量の測定を 1 ヶ月に 1 回の頻度で自動計測している。通電開始からこれまでの復極量の測定結果を図-7 に示す。通電開始後の復極量は、全ての測定において防食基準である 100mV となっており、持続的な防食効果が確認できる。

4.2 コスト低減効果

本工事の施工条件にて、15mm 幅の陽極を使用したチタングリッド工法に対して、PI-Slit 工法（type-S, type-D 併用）を採用した場合のコスト低減の効果を表-1 に示す。溝切削工、陽極材設置工、および陽極材被覆工からなる陽極設置工費では 20%程度、電気防食の全体施工費としては 15%程度のコスト低減が可能となった。

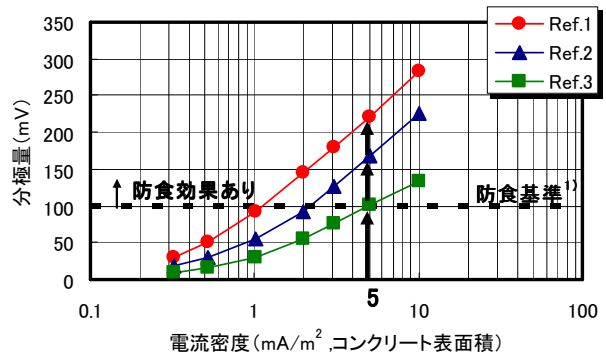


図-6 分極試験の結果



写真-13 完成

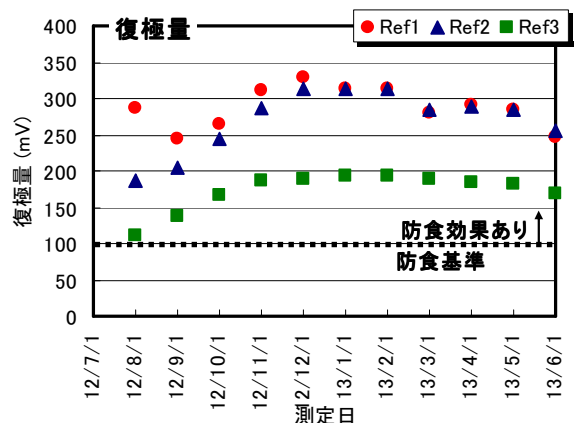


図-7 遠隔監視システムによる復極量の測定結果

表-1 コスト低減の効果

	チタン グリッド 工法	PI-Slit工法 Type-S, tyoe-D併用
陽極設置工費	1.00	0.82
電気防食全体工費	1.00	0.86

6. おわりに

本工事では、チタングリッド陽極を用いた電気防食工法のコスト低減を目的として、PI-Slit 工法の陽極材の幅と、配置 (type-S, type-D) を最適化した。その結果、持続的な防食効果に加え、電気防食の全体工事費が約 15% 低減することが確認された。今後も引き続き品質を確保した上で、コスト低減の対策を検討していきたい。

謝辞

本工事の発注者である石川県ならびに関係各位の皆様にご指導とご協力をいただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針（案）2001 年 11 月
- 2) 池谷公一, 石井浩司, 関博：電気防食における線状陽極の設置方法の開発, 土木学会論文集 F Vol.65 No.1, 1-10, 2009.1
- 3) 青山敏幸, 鴨谷知繁, 石井浩司：電気防食に用いる線状陽極の効率的な設置方法に関する検討, 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, 第 11 巻, pp.59-64, 2011.10
- 4) 青山敏幸, 鴨谷知繁, 石井浩司：線状陽極を用いた電気防食の陽極設置の合理化に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1078-1083, 2012
- 5) 麻田正弘, 青山敏幸, 川除達也, 団俊英, 中村秀樹, 鳥居和之：塩害と ASR の複合劣化した深見新橋の補修 - 電気防食の適用 -, 橋梁と基礎 (2013 年 4 月号)
- 6) 池田政司, 鴨谷知繁, 青山敏幸, 越島広次：線状陽極方式電気防食の溝切削工における騒音・粉塵低減対策について, プレストレストコンクリート工学会 第 21 回シンポジウム報告集, pp.405-408, 2012 年 10 月