

橋梁下部工への電気防食技術の適用について

株式会社 ホープ設計技術管理部 ○正会員 金田一男
株式会社 ホープ設計技術管理部 比嘉 徹
株式会社 ホープ設計技術管理部 崎原盛伍
株式会社 ホープ設計技術管理部 正会員 親泊 宏

1. はじめに

亜熱帯気候に位置する島嶼県である沖縄では、道路網の整備に伴い、沢山の橋梁が建設されている。その中で橋長 100m 以上の離島架橋¹⁾が計 14 橋挙げられる。これらの橋梁は本土復帰後に建設されたものであるが、高温多湿で厳しい塩害環境に立地するため、その塩害劣化が今までの橋梁の維持管理点検調査で既に確認されている。橋梁は道路構造物の中で極めて重要な位置を占め、架け替えるのに多大な費用が必要である。そのために、橋梁の長寿命化が図られている²⁾。

一方、塩害により劣化した橋梁のコンクリート部材の補修対策が必要であり、表面保護工法³⁾、ひび割れ対策工法、断面修復工法及び電気防食工法などが標準工法として採用されている⁴⁾。表面保護工法には、表面被覆工法と表面含浸工法に大別できるが、保護した後のコンクリートの劣化進行が把握しにくいことから、近年、表面含浸工法が良く使用されるようになった。しかし、表面含浸材料は、コンクリート中に塩化物イオン含有量が 1.2kg/m³以上を含有すると適用できない³⁾ため、外観の劣化度合いが進展期に入るとその適用が困難となるケースが多い。コンクリートのひび割れ対策工法及び断面修復工法は、今現在進行中のひび割れ、浮き及び剥離剥落箇所への対策であるため、これらの劣化が生じる度に、繰り返しの対策が必要である。

電気防食工法は、継続的な通電を行うことによってコンクリート中の鋼材の腐食反応を電気化学的に制御し、鋼材腐食による劣化の進行を抑制することで、コンクリート構造物の耐久性を向上させることを目的とした工法である⁵⁾。しかし、初期コストが高いこと、継続的に通電しているため、日常の維持管理が必要であることなどから、橋梁上部工に適用した実例がある⁶⁾が、橋梁下部工に適用した実例が殆どないことが現状である。

橋梁下部工への電気防食工法の適用を考える際に、橋台と橋脚の重要度を考慮する必要がある。橋台は、一般的に前面に露出している部分が少なく、また、平成 8 年版道路橋示方書よりも以前に設計された橋台前面の鉄筋が主鉄筋ではないため、コストの高い電気防食工法の適用が今現在の社会情勢を勘案し、なかなか提案しがたい。しかし、離島架橋のような長大橋に関しては、上部工の補修対策や下部工の耐震補強対策が実施されており、橋脚の張出式梁部の補修対策工法の選定が困難である。その理由として、①一般的には張出式梁部の耐震補強は行わないこと、②塩化物イオンがコンクリート中に浸入され、表面含浸工法が適用困難であること、③ひび割れ対策工法や断面修復工法は対症療法であるため抜本的な対策とならないこと、④供用年数の増加に伴い、塩化物イオンが更に浸入し、鉄筋の腐食が促進され、張出式梁部の耐荷力低下が懸念されること等が考えられる。

本論文では、重要度の高い離島架橋の長寿命化を図り、橋梁全体系の耐久性向上を図り、補修対策工事の回数を減らすという観点で、橋梁下部工である橋脚への電気防食技術の応用事例を紹介し、その適用性について情報を提示するものとする。

キーワード：維持管理、橋梁長寿命化、下部工、電気防食、遠隔監視システム
連絡先：〒903-0813 沖縄県那覇市首里赤田町 3 丁目 5 番地 (株)ホープ設計

2. 橋梁下部工への電気防食技術の応用事例

2.1 対象橋梁の劣化状況

応用対象とした橋梁は図-1に示すように、宮古島と池間島を結ぶ池間大橋である⁸⁾。図-2に示すように、本橋梁は橋長 L=1425m の離島架橋であり、沖縄県土木建築部が管理する橋梁の中で最も重要度の高い橋梁の一つであり、同土木建築部道路管理課で策定した橋梁長寿命化修繕計画において、本橋梁は「個別管理橋梁」と位置づけられている。本橋梁は1992年に供用開始され、現在、厳しい塩害環境の中で供用23年目となっている状況である。



図-1 橋梁の架橋位置

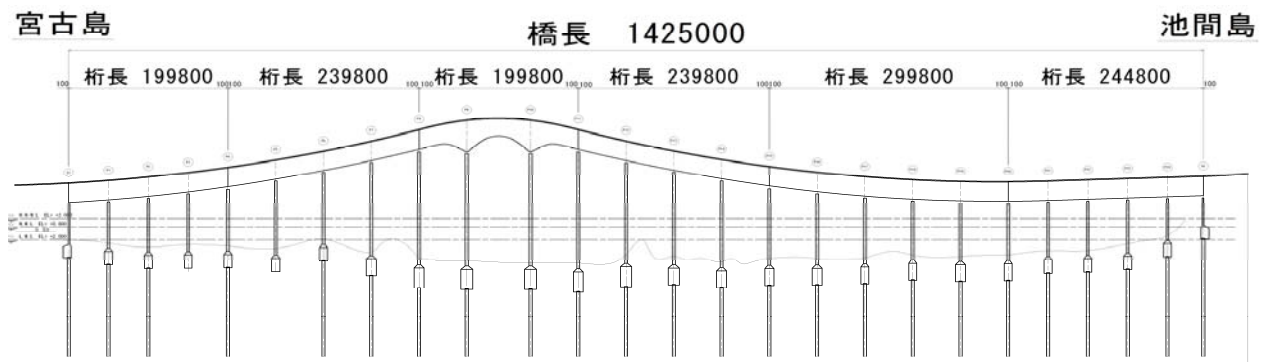


図-2 橋梁の一般図

図-3には本橋梁の橋脚一般図を示す。同図からわかるように、橋脚は梁部・柱部及びフーチング（基礎杭を含む）から構成されている。橋脚柱部に関しては、現行基準である「道路橋示方書・耐震設計編」に要求される耐震性能2を確保するために、耐震補強設計が実施され、仮締切り工としてSTEP工法が用いられ、RC巻立法による耐震補強対策が適用される。

塩化物イオンが多量に浸入されていた橋脚の梁部は、表面含浸工法の適用が困難である。対症療法として、ひび割れ対策工及び浮き、剥離剥落に対する断面修復工が適用できるが、現状の進展期から加速期に向かって劣化が加速的に進行し、今後の維持管理対策工事の頻度も年々増加することが予想される。

図-4は、本橋梁のP6橋脚梁部（起点より左側・起点側）の外観調査結果に基づいて作成した損傷図である。同図からわかるように、梁部にはひび割れ・浮き等が広範囲に現れている。

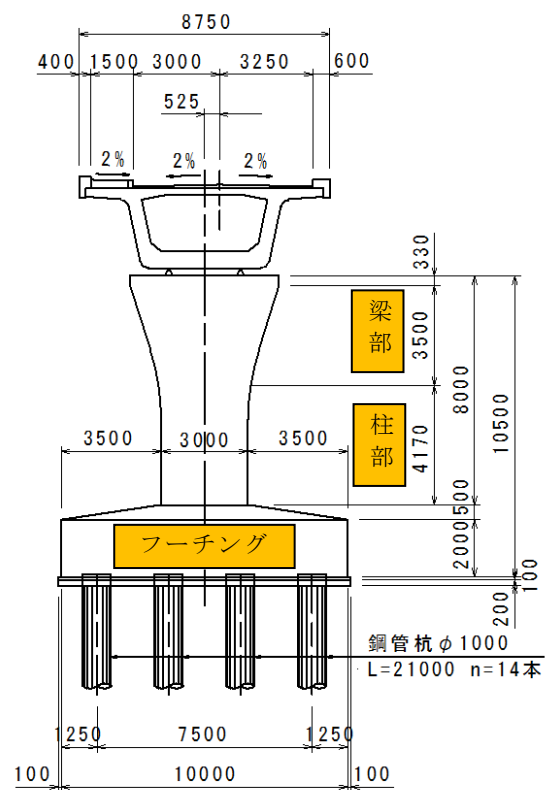


図-3 橋梁橋脚一般図（1例）

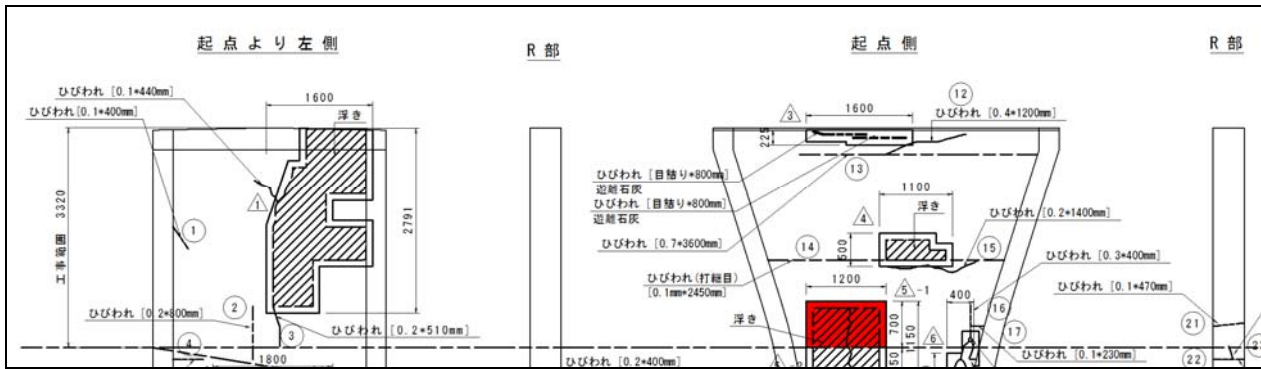


図-4 橋脚梁部のひび割れ・浮きに関する展開図 (P6 橋脚)



写真-1 橋脚の供用環境



写真-2 橋脚梁部の変色 (P24 橋脚)

写真-1 は、本橋梁橋脚の利用状況の一例を示す。同写真からわかるように、橋脚の梁部は干満潮や波のしぶきの影響を受け、塩分がコンクリート表面に付着して変色している。写真-2 は、変色しているコンクリート表面をペーパーで研磨した後に現れた色を示す。高い塩分量（塩分量調査結果：6～10kg/m³程度）がコンクリート表面に付着すると、内部への塩化物イオン浸入も多くなる。本橋梁の詳細調査結果により、P6、P9、P10 及び P12 橋脚の鉄筋位置での塩化物イオン含有量が既に 1.2kg/m³以上となり、鉄筋の腐食進行が懸念される。



写真-3 橋脚梁部の鉄筋腐食状況

写真-3 は、本橋梁の P6 橋脚梁部の鉄筋腐食度の調査結果を示す。同写真からわかるように、現在では鉄筋が概ね健全な状態であるが、局部的に孔食が確認される。このように、主鉄筋が既に高い塩化物イオン濃度下であり、また、孔食が確認されたため、今後腐食が加速的に進行し、鉄筋の断面欠損まで発展することが示唆される。

以上の理由より、本橋脚の梁部に対して電気防食技術を適用した。次項に現在までに得られた情報を紹介する。

2.2 電気防食技術の適用及びその効果

上記の理由で、本橋梁の橋脚に電気防食技術を適用した⁷⁾。現在、P6 橋脚の電気防食工事が無事完了し、観測段階に入っている。ここでは、本橋梁下部工への電気防食技術の適用方法及び計測した結果を踏まえ、現在で得られた知見を説明する。

(1) 劣化度合いを配慮した橋脚選定

池間大橋の橋長は 1425m であり、計 24 基の橋脚がある。電気防食対策の初期コストが高いことを考慮し、現在において鉄筋位置で塩化物イオン含有量が 1.2kg/m^3 以上の橋脚を第 1 弾として、電気防食工法を適用した。その結果、24 基橋脚のうちの 4 基を選び、施工することにした。平成 26 年度の工事で P6 橋脚の電気防食工法工事が完了した。陽極配置後の外観状況を写真-4 に示す。



写真-4 P6 橋脚陽極設置状況

(2) 維持管理性を考慮した遠隔監視システムの適用

池間大橋は橋長が長く、橋脚数が多い上に、橋面において電気防食システムを制御する器具の設置が困難である。また、電気防食装置の維持管理は、図-5 に示すように、

現地に専門技術者が出向く必要がある。計測したデータの適性判断も必要である。これは、電気防食工法が普及しがたい要因の一つであると考えられる。本橋梁は橋長が長いので、各橋脚に電気防食装置を設置すると、その維持管理が尚更厳しくなる。

一方、図-6 に示すように、橋梁サイドでは電源ボックスや遠隔監視システム（計測ユニット・直流電源装置・遠隔監視ユニット）を設け、計測したデータを電子メールで専門の管理業者に送信し、そのデータを専門的に処理した後、発注者に報告するシステムが開発されている^{8~9)}。

このシステムは、現場に行かなくてもシステムの正常運転が確認でき、維持管理の手間を省くことが最大のメリットである。

本橋梁では、図-6 に示すシステムを橋脚の電気防食工事に適用した。各橋脚梁部の高さが異なり、そのコンクリートの表面湿度も異なるため、各橋脚の箱桁内部に 1 基の直流電源装置（子

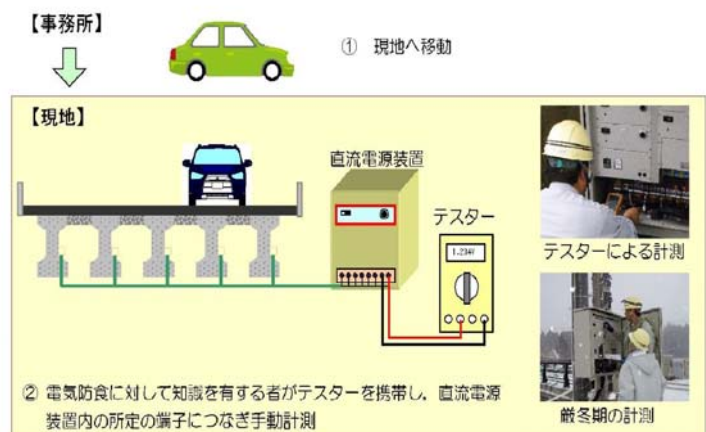


図-5 現地に行く維持管理のイメージ

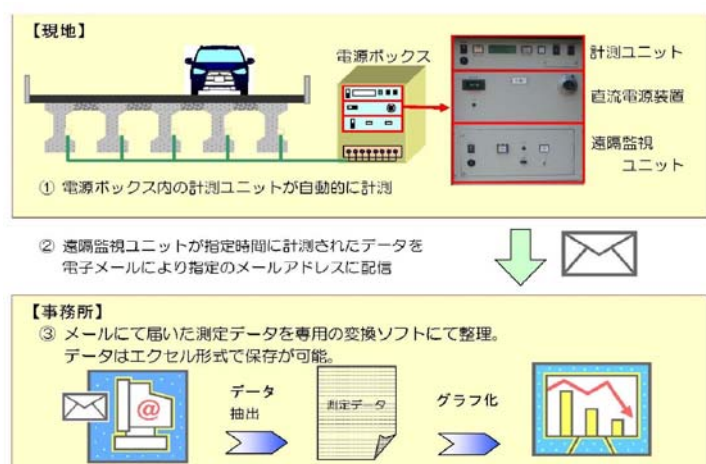


図-6 遠隔監視による維持管理のイメージ

機)を設置し、防食電流の通電量を橋脚毎に調整できるようにした。写真-5に示すように、直流電源装置(子機)をLANケーブルにより、写真-6に示すように、A2橋台の箱桁内部に設置する遠隔監視システム(親機)にデータを送信する。更に、この親機から専門業者にメールを発信し、専門業者がその運転状況をタイムリに確認でき、その結果を発注者へ定期的に報告することが可能となった。



写真-5 P6橋脚に設置した子機



写真-6 A2橋台に設置した親機

(3) 適用効果の確認

図-7~9は、7月17日より通電を開始以来、9月15日現在までのP6橋脚の遠隔監視結果を示す。7月17日~9月13日までの期間では、機器の調整・取替を含め、通電電流量(図-7参照)等に不安定のデータが示されているが、9月13日より以降は、正常のデータを計測できている。また、通電期間は短いですが、図-8に示すように、電源電圧は気温上昇により多少の上昇傾向を示している。図-9に示すように、復極量は毎月1日の測定結果となり基準値の100mV以上を保ち良好な電気防食効果が確認できる。

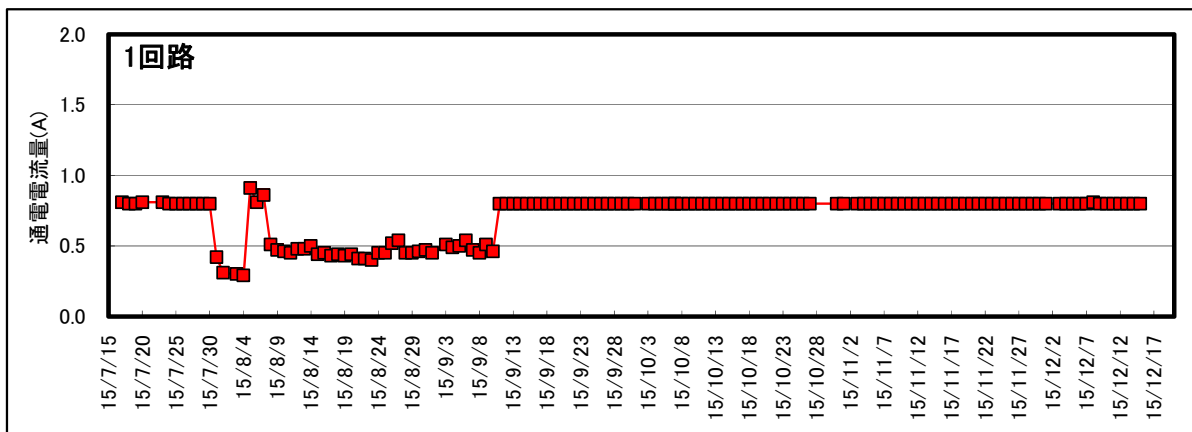


図-7 通電電流量と計測日数との関係

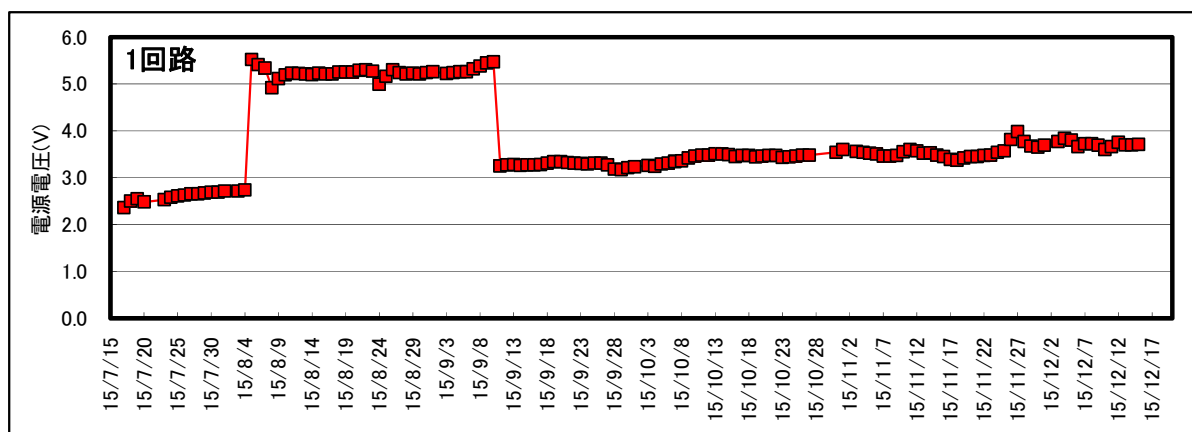


図-8 電源電圧と計測日数との関係

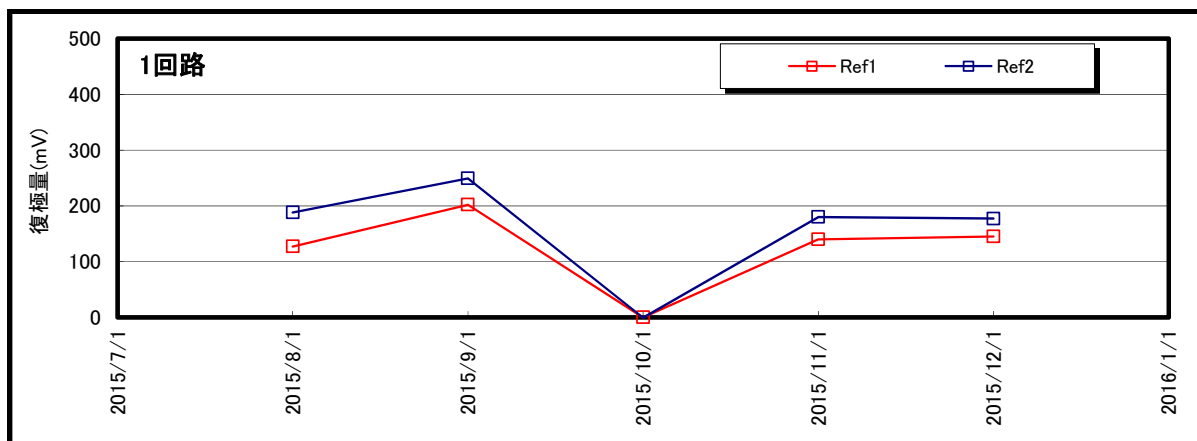


図-9 復極量と計測日数との関係

このように、毎日の測定データが把握できるため、気温・湿度などの影響を踏まえて通電管理が可能であり、通電状況や異常値も事務所内で把握することができるため継続した維持管理が可能であると考えられる。

3. 終わりに

本文では、重要度の高い既設橋梁下部工への電気防食技術の適用について紹介したが、橋梁の重要度、供用環境、劣化度合い等が異なるため、耐久性に関する目標年数を十分に協議し、コストを考慮した上で、その適用性を検討する必要がある。

4. 謝辞

本論文は、参考文献7)をベースに重要度の高い橋梁下部工への電気防食技術の適用について議論したものである。ここでは、池間大橋耐震補強設計業務の内容を発表する機会を下さった宮古土木事務所道路整備班奥間正博班長に深く謝意を表します。ここに併せて謝意を表します。

5. 参考文献

- 1) 沖縄県土木建築部発行：沖縄県の離島架橋、2006年
- 2) 沖縄県土木建築部道路管理課制定：橋梁長寿命化修繕計画（案）、2012年8月
<http://www.pref.okinawa.jp/site/doboku/dorokan/hoshu/kyouryoukeikaku.html>
- 3) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針(案)、コンクリートライブラリー119
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編]、2007年制定
- 5) 土木学会：電気化学的防食工法 設計施工指針（案）、コンクリートライブラリー107
- 6) 篠原貴、泉隆士、大城敦、宇地原崇夫：施工後15年経過した新数久田橋の調査と補修工事報告、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、第16回、平成19年10月
- 7) 比嘉徹、崎原盛伍、金田一男、他3名：離島架橋下部工長寿命化のための電気防食システムの提案、平成27年度技術発表会、沖縄県測量建設コンサルタント協会、2015年11月
- 8) 青山敏幸、他3名：type-S、type-D併用によるPI-Slit工法の施工ー深見新橋ー、株式会社ピーエス三菱技報第11号、2013年
- 9) 青山敏幸、他3名：電気防食工法の遠隔監視システムについて、株式会社ピーエス三菱 技報第13号、2015年