

塩害橋の再劣化を防止するための維持管理技術に関する研究②

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 26～平 29

担当チーム：材料資源研究グループ（新材料）

研究担当者：西崎到、佐々木巖

【要旨】

PC 橋の維持管理において、塩害による劣化損傷は大きな割合を占めている。現在も塩害で損傷した橋梁について電気防食等による補修が進められてきているが、今後も補修の必要な橋梁が増加することが予想される。既設 PC 橋を塩害から守り、長く使用していくための効率的な維持管理を実施するための研究が重要となる。また、新たな電気防食工法の開発が進みつつあり、これらの適用性や耐久性を適切に評価し設計施工に結びつける必要がある。26 年度は、電気防食による補修を実施した橋梁の現状について、採用されている工法、管理状況、再劣化の程度などを把握するための調査を行った。電気防食の維持管理技術の高度化や新技術の評価として、適用範囲や電源管理の課題を調査するとともに、新工法に関するニーズとシーズを集約し類型化整理した。また、市振海岸で実施中の暴露試験において、新たな陽極システムの促進耐久性試験に着手した。

キーワード：コンクリート橋、塩害、電気防食、維持管理、新工法

1. はじめに

コンクリート橋の塩害は、進行するとその補修には多大な工数と費用を要する。補修対策技術にはいくつかの選択肢があるが、電気防食は塩分が浸透してしまったコンクリート部材にも有効な工法である。しかしながら、電気防食を適用したものの十分な効果が得られなかった事例もみられる。既設コンクリート橋を塩害から守り、長く使用していくための効率的な維持管理を実施するための研究が重要である。

コンクリート構造物中の鋼材の電気防食工法の技術資料としては、土木研究所が過去に共同研究等で実施した成果をとりまとめた資料^{1) 2)} や、土木学会「電気化学的防食設計施工指針(案)」³⁾ などの規準類がとりまとめられている。しかしながら、技術開発草創期のものであること、近年の維持管理時代をうけたものではないこと等から、システムの維持管理に関する事項が十分に示されているものとは言えない。さらに、需要の高まりとともに、新しい工法の開発が盛んに行われており、既存の技術資料には示されていない工法もこれまでに多く開発されてきている。また、太陽電池や充填材をはじめとした新しいデバイスや素材の普及も進んでおり、これらを活用した新たな用途開発も試みられている。

電気防食による補修を実施した橋梁の現状について、採用されている工法、管理状況、再劣化の程度などを把握するための調査を行った。電気防食の維持管理技術の高度化や新技術の評価として、適用範囲や電源管理の課

題を調査するとともに、新工法に関するニーズとシーズを集約し類型化整理した。また、市振海岸で実施中の暴露試験において、新たな陽極システムの促進耐久性試験に着手した。

2. 維持管理技術の高度化や負荷軽減のための課題整理

電気防食は鋼材の腐食を原的に抑止できる大変有力な工法であるものの、電位分布や防食電流密度といった電気化学的な設計や保守点検が必要となる。そして、電気は目視等で状態を捉えられないことから、作動状態を正確に把握するために専門的な知識を求められるなど、採用および運用に躊躇する現場の橋梁管理者もみられる。これは、電気防食技術の普及にとって障壁となるばかりでなく、電気防食を適用したのに十分な効果が得られないといった、不具合や早期再劣化を誘発する原因にもなりかねない。また、適用時のコストが一般に大きくなりことがあるほか、運転管理にかかる電気代や点検費等のランニングコストも必要となる。

本研究では、まず電気防食の普及の障害となっている問題点について文献やヒアリング等から現状分析を行い、表-1 に示す調査の項目を整理した。

電気防食を適用すべき箇所や性能確保が困難な条件を特定し、適用条件を明らかにすることが望まれる。そして、設計技術の検証として、不具合事例を解剖調査することなどによりその原因と劣化機構を詳細に検討し、得られた知見から電極配置等の設計基準を確立する必要がある。

塩害橋の再劣化を防止するための維持管理技術に関する研究

ある。構造物の管理者には、稼働状態の確認をはじめとした維持管理の手順が明確でないあるいは専門的すぎることも採用しにくい理由とみられるため、点検手法や機材等を標準化するなどして、維持管理の信頼性向上と負担軽減を進める必要がある。

これまでの不具合事例をみると、工法システムの耐久

性として、陽極ばかりでなく副資材を含めたシステムの健全性が信頼性の向上に不可欠であることから、その耐久性について検討を加えることも不可欠である。

設計施工の信頼性向上、維持管理の負荷軽減につながるような規準見直し、ならびに新工法の探索と実用化のための要素技術の洗い出しとして表-2の整理を行った。

表-1 電気防食の普及および維持管理高度化のための調査項目

課題	実施項目	(現場への) 効果
再劣化メカニズムの検証と適用の高度化	不具合物件等を活用した再劣化の詳細調査 → 因果解明や類型化と、その抑制方策 (調査・設計・施工) 適用環境に関する検討 (どこに使う/使えないのか) 通電状態と不具合発生リスクの把握→防食規準	失敗を少なくするための仕組み作り
副資材を含めたシステムの信頼性向上	陽極システムの劣化照査や耐久性検証 照合電極の健全性確保や設置位置 副資材 (電線、配線箱、避雷、治具、アンカー等) の耐久性照査	工法システムとしてのエラーの抑制
維持管理の手法確立と負担低減	維持管理の実態ならびに課題の把握 → ヒアリング、アンケート、費用把握、LCC、意識改革 防食基準の見直し (現場や用途に応じた電位/電流密度) → 要求性能の段階設定 実効性のある点検方法や維持修繕計画 (必修項目と選択項目の仕分け、作動ランプの標準化、など)	一般技術者が容易に実施できる維持管理 専門技術者を必要とする適用条件や作業範囲の提示
新たな技術の活用	指針 2001 後の新工法の耐久性評価 最新の工法材料の適用性や耐久性の評価検証 → 新たな陽極システム、部分防食工法、自給電源利用技術 (小規模物件等に対応可能な自動化)	新たな可能性の開拓 長寿命化 多様なニーズへの対応

表-2 電気防食の適用条件や維持管理負担を軽減する技術開発の分類整理表

★設置環境				★新素材新材料			
腐食因子	細別	適用度	対応工法	システム要素	細別	適用度	対応工法
塩害環境	塩害対策区分S 塩害対策区分I 塩害対策区分II～ 融雪塩散布0kg以上 融雪塩散布0kg未満			陽極	アルミ合金△△ OMg○合金～ 残存寿命表示型流電陽極? 表面電極バックフィル チタン□□ 剥落防止被覆型陽極 …		
水分環境	水中 汀線～○m高 ○m高さ以上 排水管付近 水勾配下端			表面保護	表面被覆材 (導電性耐摩耗?)塗料 …		
その他	(他の視点について適宜設定)			電源	蓄電池 太陽光発電 風力・小水力・波力発電 地中温度差発電 電源装置省電力化		
				点検監視	表示灯 遠隔監視 自己診断 (変色型?)陽極 …		
★構造物部位				★省力管理			
部材	部位等	適用度	対応工法	設計管理項目	維持管理対応等	適用度	対応工法
橋梁				通電方法	設定分極量 開欠通電 流電外電併用冗長化		
橋壁等				点検法・頻度	稼働状況表示 点検サイクルの延長		
下部工	一般部 背面盛土 沓座周辺			部分防食	桁端部等 ハンチング補修併用 既存不溶格箇所 …		
高欄							
地盤							
床版	RC床版 PC床版						
RC桁	一般部 端部						
PC桁	一般部 (プレテン) 端部						
PC桁	一般部 (ポストン) 端部						
その他	新設/補修 第3者被害 …						

3. 新しい陽極システムの耐久性評価

コンクリート構造物中の鋼材に対する電気防食工法は、需要の高まりとともに、新しい工法の開発が盛んに行われており、土木学会「電気化学的防食設計施工指針(案)」³⁾などの既存の技術資料に示されていない工法も多く開発されてきている。このため、塩害環境下にある市振海岸の暴露試験場にこれらの供試体を設置して定期的に追跡調査することにより、陽極システムの耐久性とコンクリート中鋼材の防食効果を検証している。今回、9年経過後の詳細調査を行うとともに、一部工法について促進通電による耐久性評価を開始した。

3.1 試験概要

コンクリート供試体は、高さ600mmのI型断面ポストテンション方式PC供試体ならびに300mm角のRC供試体であり、長さはいずれも5mである。コンクリート中には、塩化ナトリウムを3kg/m³混入した。1992年に製作し、同暴露場に約14年間暴露していたものを用いて、2005年度に電気防食を施工し暴露試験を継続している。

3.2 新しい陽極システム

暴露試験している陽極システムは、表-3および図-1に示す4方式である。

(1) 導電性塗料方式

1次陽極であるプラチナ・ニオブ被覆銅線をウェブ側面および底面の供試体表面に添わせ、その上から2次陽極となる導電性繊維を含んだアクリル樹脂系の導電性塗料をコンクリート表面に塗布することで陽極を形成するものである。照合電極には、鉛照合電極を下フランジのハンチ部に2カ所配置した。

(2) チタントレイ方式

トレイ形状のチタン容器内面に陽極材を取り付けた陽極板をチタンねじでウェブ側面および底面に固定し、これに充てん性および導電性を改良した特殊モルタルを注入して陽極を形成するものである。防食効果を確認するための照合電極は、鉛照合電極をウェブに配置した。

(3) 導電性モルタル方式

一次陽極であるプラチナ・ニオブ被覆銅線を供試体表面に添わせ、その上から2次陽極であるニッケル炭素繊維を含むポリマーセメントモルタルを吹き付けることで陽極が形成される。本試験では、PC供試体の両側面と底面に陽極を施工し、直流電源装置を用いてPC供試体の鋼材に防食電流を供給している。施工面積は6m²である。中央部には、二酸化マンガ照合電極を埋設し、施工面はサンドブラストにより前処理を行った。

(4) アルミパネル方式

流電陽極方式であるアルミパネル方式は、アルミニウム系のパネルをバックフィルとアンカーボルトによりコンクリート表面に設置し、犠牲陽極作用により鋼材に防食電流を供給する。供試体中央部に二酸化マンガ照合電極を埋設し、施工面はサンドブラストにより前処理を行った。RC供試体の側面と底面に施工した。

表-3 新しい陽極システムと比較工法

工法の種類	方式	供試体	促進通電
導電性塗料	外部電源方式 電気防食	PC 供試体	○
チタントレイ	外部電源方式 電気防食	PC 供試体 RC 供試体	—
導電性モルタル	外部電源方式 電気防食	PC 供試体	○
(アルミ溶射) アルミパネル	流電陽極方式 電気防食	RC 供試体	—
埋込型亜鉛合金	犠牲陽極方式	PC 供試体 RC 供試体	—
含浸系表面塗装材 浸透性吸水防止材	表面保護	RC 供試体	—

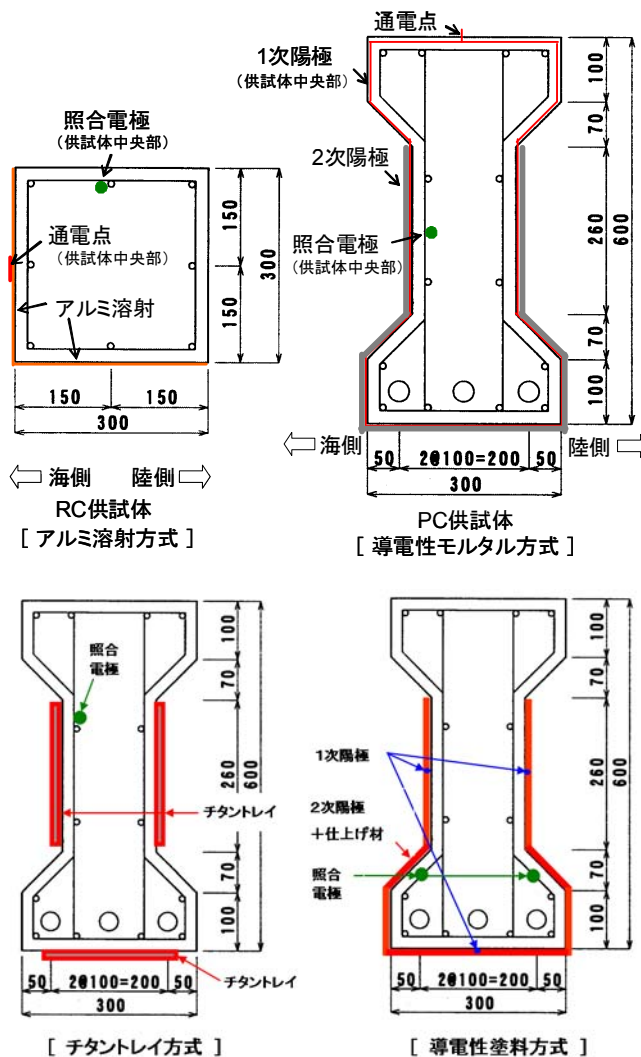


図-1 電気防食供試体断面と陽極システムの概要

3.3 試験結果

新たな陽極システムの耐久性試験は、外観・性能を定期的に調査し、5年経過時に陽極性能に関する試験を実施し、その耐久性について評価を行っている^{4) 5)}。主な試験調査項目は、鉄筋の電位や復極量、通電電流密度、アノード分極試験、付着強度である。

塩害環境下における各工法の耐久性を評価した。外部電源方式電気防食工法は、防食基準(100mV以上の鉄筋電位の変化量)を満足するように防食電流を調整し、これまでに、電気防食工法の供試体は一部を除き試験期間を通して防食基準を満たしている。今年度に行った9年目までの調査結果から、鋼材電位の変化について導電性塗料の例を図-2に示す。インスタントオフ電位や復極量等から鋼材の防食状態が保たれていることがわかる。季節によりその値に違いがみられるが、これは主に温度の影響であるとみられ、流電陽極式でもその傾向は同様である。

3.4 今後の試験計画

電気防食は、防食電流が供給されている限り、原理的に鉄筋の腐食を抑制できる。陽極システムの耐久性は、通電による陽極材の消耗、ならびに関連資材の劣化を評価することにより判断できる。このため、実環境における暴露に、促進通電をあわせて評価予測することが有意義である。

今年度から、電気防食システムの促進通電評価を開始した。導電性塗料(図-3)、導電性モルタルの防食電流密度を2014年8月から上昇させ、経過を観察している。これにより鋼材は過防食状態になるが、塩害環境において陽極システムの耐久性を実証的に評価できる。今後は経過を観察し劣化メカニズムを解明するとともに、2016年度にはコンクリート供試体を解体して鉄筋の腐食状態を確認する予定としている。本研究において、電気防食システムの耐久性および劣化メカニズムを明らかにすることにより、維持管理方法や更新時期の提案を行う予定である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所ほか：コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書, 共同研究報告第14号, 1988. 8.
- 2) 建設省土木研究所ほか：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書—新設コンクリート橋へ

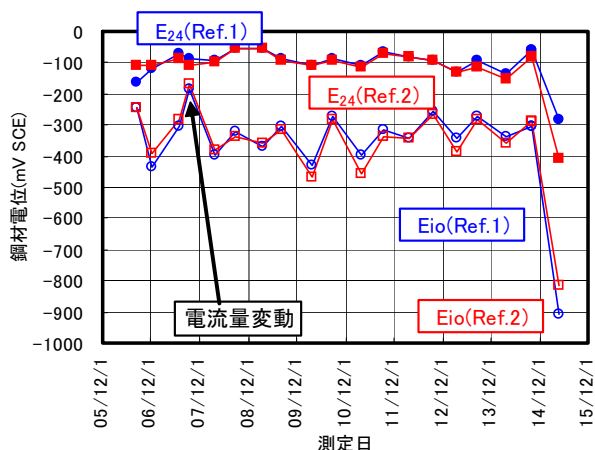


図-2 鋼材電位調査結果の例(導電性塗料方式)

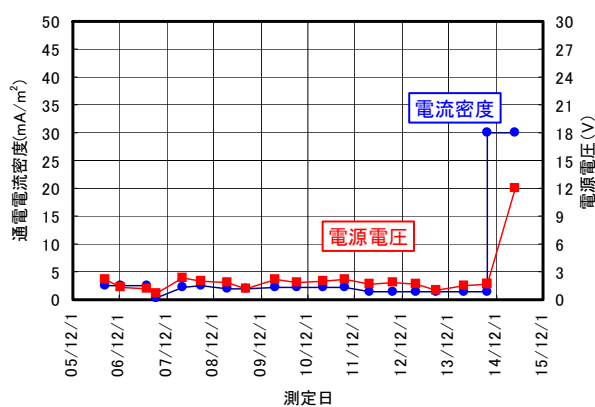


図-3 通電電流密度管理の例(導電性塗料方式)

の電気防食適用に関する研究成果と新設コンクリート橋の電気防食マニュアル(案), 共同研究報告第256号, 2000. 12.

- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー107 電気化学的防食工法設計施工指針(案), 2001.
- 4) 井川, 佐々木：塩害環境下のコンクリートに対する各種電気防食工法の暴露試験—導電性モルタル方式およびアルミ溶射方式—, 土木学会年次学術講演会概要集, 2012. 9.
- 5) 青山, 田代, 佐々木：塩害環境下のコンクリートに対する各種電気防食工法の暴露試験—チタントレイ方式および導電性塗料方式—, 土木学会年次学術講演会概要集, 2012. 9.

MAINTENANCE TECHNOLOGY TO AVOID RE-DETERIORATION OF SALT DAMEGED BRIDGES

Budged : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2014-2017

Team : Materials and Resources Research Group

Author : Itaru NISHIZAKI, Iwao SASAKI

Abstract :

Salt damage takes up a larger share in the maintenance of PC bridges. Although cathodic protection works have been applied to salt damage bridges, bridge repair works may increase further in the future. Efficient and reliable maintenance techniques of cathodic protection have to be developed to keep the bridge stocks long time. New materials and devices are developed and applied to cathodic protection systems, and these should be utilized especially for maintenance load reduction, because cathodic protection is based on a bit complicated electrochemical phenomenon. In the FY2014, scope of application, as well as to investigate the problem of the scope electric current and potential control, seeds and needs for new technologies were summarized. Moreover, accelerated durability testing on new anode systems was started in the exposure test at Ichiburi coast.

Key words : Concrete bridge, Salt damage, Cathodic protection, Maintenance, New method