

コンクリート橋の電気防食工法における維持管理の課題 ～維持管理マニュアルの発刊～

西崎 到・石田雅博・山口岳思・佐々木 巖

1. はじめに

電気防食工法は、鋼材腐食を塩分の存在状態に係わらず停止させることができるため、塩害による損傷が進行したコンクリート橋に対する補修対策の切り札として用いられてきた。しかしコンクリート橋への適用が進むにつれ、電気防食の利点を効果的に得るためには、電気防食に適した維持管理手法が重要であることが分かってきた。そこで筆者らは、電気防食の維持管理における課題や留意点を抽出することを目的として、電気防食適用橋梁における維持管理実態や実橋の詳細調査を行った。本報ではそれらの主要な結果と、この調査結果をもとに策定した電気防食工法の維持管理マニュアルについて報告する。

2. 電気防食工法の開発の経緯と課題

2.1 電気防食工法

鋼材の腐食は、鉄がイオン化して電子を放出することからはじまる。電気防食は、鋼材に防食電流を流し続けることにより、電気化学的にその反応を停止させるものである。防食電流を流し続ける機構には、鋼材よりも酸化還元電位が低い（イオン化傾向の強い）金属による犠牲陽極を取り付ける流電陽極方式と、外部電源装置を用いる方法がある。犠牲陽極によって鋼材に電流を流す機構をつくるのが比較的容易な、海中部の船舶等や土中の埋設管等の鋼材に対して古くから用いられていた。

2.2 コンクリート橋への適用状況

電気防食が気中のコンクリート部材に適用されはじめたのは、凍結防止剤による損傷が進行した1970年代の米国の橋梁床版である。日本の道路橋では、1980年代に建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」において実橋に試験適用された。外部電源方式によるものが主流であるが、流電陽極方式のものも開発され普及してきている。図-1に電気防食の適用実績を示す

が、2006年度ごろまで増加し、その後も一定の施工面積で利用されていることが分かる。

2.3 電気防食に関する技術資料の状況

コンクリート橋の電気防食については、土木研究所や土木学会からマニュアルや指針等の技術資料^{2),3),4)}が2001年までに示されている。

これらは最新のものでも発刊から17年以上が経過している。その間に様々な技術開発や維持管理データが得られてきた。また特に、電気防食で補修したにもかかわらず再劣化してしまった事例が近年認められたことから、新しい技術や電気防食に適した維持管理手法もとりにこんだマニュアルへの改定が必要となっていた。

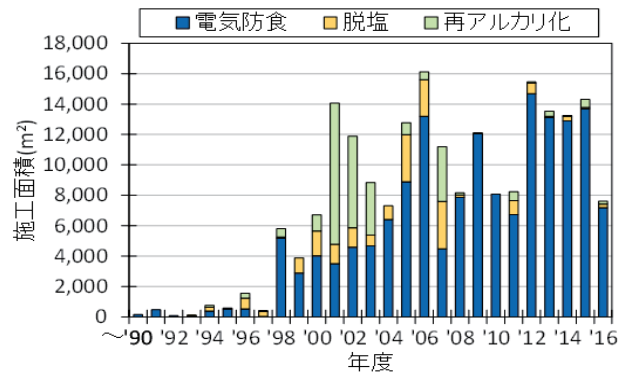


図-1 コンクリート橋への電気防食工法の施工実績¹⁾

3. 維持管理実態の調査

塩分が鉄筋の腐食限界を超えるほどに浸透していたコンクリート部材が電気防食で補修されている場合には、防食電流が停止してしまうと、直ちに腐食が再開することとなる。このため、防食電流が停止しないことに留意した維持管理が必要である。電気防食の防食効果を過信して適切な維持管理がなされないと、橋梁の健全性が急速に損なわれることにもなりかねない。

そこで、電気防食の維持管理実態を把握するために、橋梁管理者へのアンケートとヒアリング、適用橋の詳細な現地調査を行った。

Study on the Maintenance of Cathodic Protection for Concrete Bridges · Development of the Maintenance Manual ·

3.1 アンケート調査

3.1.1 調査概要

電気防食工法の工事履歴がわかった二百数十件から、国の直轄管理の58橋を抽出し、管理者等に調査を実施した。アンケートの設問は、電気防食の適用工法諸元、維持管理方法、適用後の不具合などの項目である。58橋中29橋について回答が得られた。

3.1.2 アンケート調査結果

(1) 電気防食の点検状況について

電気防食の点検状況の調査結果を表-1に示す。回答のあった29橋のうち、約1/3にあたる10橋で電気防食の点検が実施されていなかった。点検を行っている橋梁では、電源装置の目視確認などは大半の橋梁で実施されていたが、点検頻度を設定していない橋梁もあった。また、これまでの技術資料では言及の無い雷雨時の臨時点検の事例があった。

(2) 電気防食適用後の不具合について

回答のあった29橋のうち何らかの不具合があったのは11橋であった。これらの概略を表-2に示す。適用箇所コンクリートの不具合が8橋（28%）と最も多く、次いで電源装置の経年劣化等による損傷が6橋であった。

3.2 実橋現地調査

3.2.1 調査概要

アンケート実施橋梁のなかから、維持管理状況が異なる6橋について、現地における詳細調査を実施した⁵⁾。調査項目は、外観観察、通電状況や鉄筋防食状態調査、コンクリート表面電位分布、電気防食装置の目視確認等である。ここでは、不具合等のあった表-3に示す3橋について概要を紹介する。

3.2.2 実橋調査結果

(1) A橋

A橋は、防食電流を供給する電極を点状に配置するチタンロッド方式が適用されており、調査時の通電状況は安定していた。

外観観察では、一部の下フランジ下面に図-2に示すコンクリート剥落が確認された。損傷のあるこの桁における、鉄筋の自然電位と防食状態も図-2中に示す。復極量の調査結果では、防食基準を満たす100mV以上をおおむね示しているが、

表-1 アンケート調査結果（点検状況）

点検項目	点検実施有り		点検実施無し
	頻度設定無し	頻度設定有り	
電源ランプの点灯確認	2	16	10
電源装置の目視確認	3	15	
陽極材・配線・配管・ブルボックスの目視確認	5	13	
電流・電圧量等の確認	8	10	
雷雨時等の臨時点検	7		12

表-2 アンケート調査結果（不具合）

不具合発生箇所・状況	橋数 (複数回答)
電気防食適用箇所のコンクリートのひび割れ・はく離・はく落	8
電源装置の劣化等による故障	6
モニタリング装置、陽極システム、配線・配管等の異常・損傷	4

損傷部付近では50mV未満であり、部分的な防食状態の不具合とコンクリート剥落が関係していると考えられる。この他、内部の配線に損傷はなかったものの、配管材の割れ等の付帯設備の不具合が認められ、これらについての点検や補修対策が必要と考えられる。

(2) B橋

B橋は、試行的な工法比較として陽極材の形状等が異なる3方式が適用されている。①面状電極であるチタンメッシュ、②線状電極のチタングリッド、③面状で外部電源を必要としない亜鉛シートであり、調査時点の各方式の通電状況は安定していた。

外観観察では、図-3に示すように各方式ともに被覆モルタルの剥落や浮きなどの損傷が発生していた。鋼材防食状態や表面電位分布の測定結果では、損傷部を含めて防食基準は確保されていたが、チタングリッド方式の被覆モルタル浮き部の補修を施したところ、補修前に比べ鋼材復極量が向上した（補修前:147mV⇒補修後:175mV）ことから、防食効果は少なからず低下しており、これが被覆モルタルに

表-3 調査橋梁等諸元

項目	A 橋	B 橋	C 橋
所在地	東北地方 日本海沿岸	北陸地方 日本海沿岸	九州地方 太平洋沿岸
竣工年月	1976(昭和51)年10月	1974(昭和49)年4月	1963(昭和38)年4月
構造形式	2径間単純PCT桁橋 (6主桁:海側G1→陸側G6)	17径間単純PCT桁橋 (11主桁:海側G1→陸側G11)	2径間単純RCT桁橋 (5主桁:海側G1→陸側G5)
橋長L・全幅員W	L=39.2m・W=10.8m	L=340.02m・W=11.35m	L=30.0m・W=9.2m
桁下状況	河川(約4.2m下)	砂浜(約5.2m下)	河川および砂浜(約2.8m)
海岸からの距離	約800m	約20~40m	約20m
適用年度	1999(平成11)年	1996(平成8)年	2006(平成18)年
適用時の劣化過程*	加速期前期	加速期前期	加速期前期
適用箇所	主桁下フランジ	主桁下フランジ(第8径間)	主桁、床版、橋脚
電防方式	チタンロッド(点状)方式	a:チタンメッシュ(面状)方式 b:チタングリッド(線状)方式 c:亜鉛シート(面状流電)方式	チタンリボンメッシュ(縦置き線状)方式

* 劣化過程=電気防食適用時の推定劣化進行過程(コンクリート標準示方書【維持管理編】準拠)

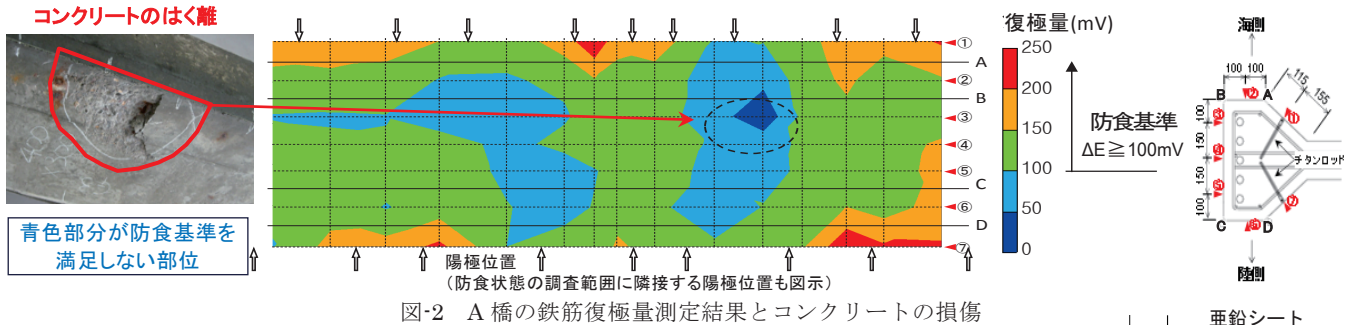


図-2 A橋の鉄筋復極量測定結果とコンクリートの損傷

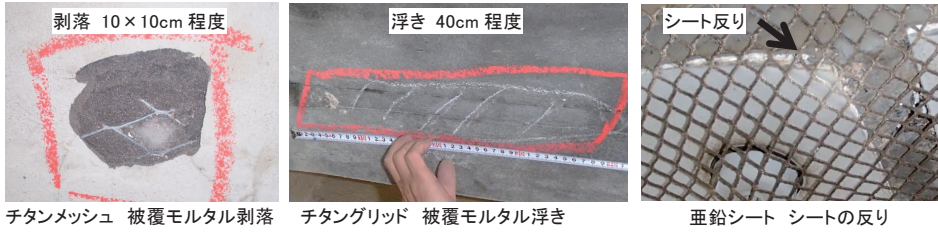


図-3 B橋の損傷状況

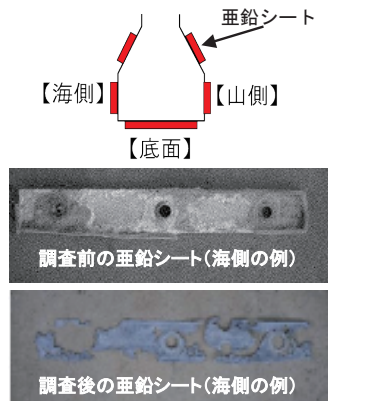


図-4 B橋の亜鉛シート

何らかの影響を与えていた可能性も考えられる。

亜鉛シート方式では、コンクリート桁に設置された陽極材（亜鉛シート）の設計耐用年数は15年であったが、調査時点で約20年経過し寿命を超過していたため消耗量調査を実施した。その結果を図-4と表-4に示す。最も消耗している箇所は塩害環境の厳しい下フランジ底面であり、陽極材がほぼ消耗している状況であった。

(3) C橋

C橋は、線状電極のチタンリボンメッシュを適用し、桁だけでなく、床版および干満部を有する橋脚も防食対象とされている。外観観察では、水面高さ付近での陽極露出やモルタル変色が確認された。このため、湿潤部での特性を通電状態とあわせて調べた。

調査の結果、電気抵抗が低くなる水面付近以下の電流量が大きくなるのが通電試験から確認された。さらに過去の点検結果では、図-5に示すように橋脚部の配管材が脱落したとの報告があった。このため、当該橋脚が不通電となり、同一回路にある別の橋脚に約2倍の電流が供給されていた。関連やメカニズムについては現時点で不明であるが、電流量に異常



図-5 C橋の損傷状況

表-4 B橋の亜鉛消耗量調査結果

採取試料	消耗率	推定残寿命	推定総寿命
山側	50.4%	20.7年	41.7年
海側	61.0%	13.5年	34.5年
底面	95.2%	1.1年	22.1年

が認められた部位にモルタルの劣化が表れやすい傾向があるようであった。

この調査から、湿潤環境への電気防食の注意点としての通電回路分けや維持管理における通電状態確認が重要であるものと考えられる。

4. 維持管理マニュアル

4.1 電気防食工法維持管理マニュアルの策定

電気防食工法では、前述のとおり日常管理における通電の継続が不可欠である。定期点検においても、コンクリート部材に設置された陽極や、配線配管と電源装置の点検が重要である。その項目や内容もこの工法に特有のものが多く、現地調査などの結果から判明した。そこでこれらの点検における留意点やポイントを、「電気防食工法の維持管理マニュアル」としてとりまとめた。

本マニュアルで示した重要な点は、安定運用に必要な点検の種別と頻度を明らかにしていることである。次項に示す点検頻度のほか、点検内容や、防食状態に問題があるときの不具合状況、落雷後の点検方法、流電陽極法の寿命、コンクリートの環境が部

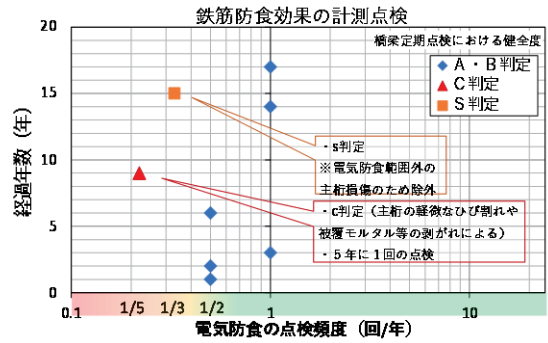
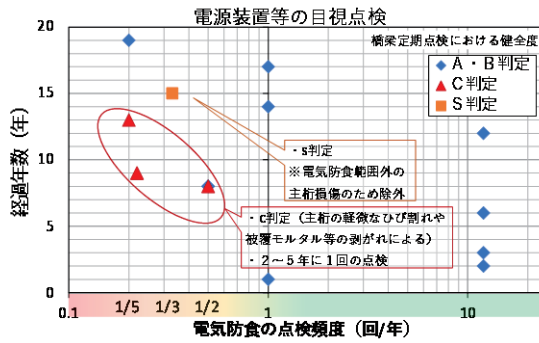


図-7 電気防食の点検頻度と橋梁定期点検における部材健全度判定結果の関係

健全度判定
 A: 異常無し
 B: 緊急性無し
 C: 速やかに補修
 S: 詳細調査

位によって異なる場合の留意点などを指摘している。近年では、装置の稼働や鉄筋の状態を遠隔監視するシステムも実用化されており、その運用や解説も示している。実橋調査を行ったC橋では、図-6に示すような橋面上で異常通報を行うような実効性の高い仕組みも活用されており、それらの紹介も含めて解説した。

4.2 点検頻度

効果的な点検頻度について考察するため、前述のアンケート調査から得られた結果をもとに、電気防食の点検頻度と、その橋梁の定期点検における健全度判定の結果から整理したものを図-7に示す。電源装置や稼働状態等の目視確認が年1回未満となる頻度において、橋梁部材の健全度判定に不良が生じることがわかる。2.3で示した既往の技術資料³⁾等では、稼働状態の確認を主とした通常点検の標準的な頻度を1回/6ヶ月としていたが、本調査の知見はその妥当性を裏付けるものとなった。

5. まとめ

本報では、電気防食工法の維持管理実態や電気防食における不具合状況を、アンケート調査および実橋調査などにより情報収集して、維持管理における課題と留意点を整理した概要を報告した。またその結果を元に、電気防食に適した点検の内容や頻度を定めた維持管理マニュアルの概要を報告した。これ



図-6 日常管理における通電の確認を支援する例

らの研究の成果が、電気防食工法の効果的な普及と適切な維持管理に資することを期待する。

謝辞

橋梁管理者には、維持管理状況や実橋調査に多大なご協力を頂いた。また、本調査は、日本エルガード協会、CP工法研究会、東北大学との共同研究により行った。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) コンクリート構造物の電気化学的防食工法研究会：施工実績資料、2017
- 2) コンクリート構造物中の電気防食要領（案）、土木研究所共同研究報告書14号、1988
- 3) 新設コンクリート橋の電気防食マニュアル（案）、土研共同研究報告書256号、2000
- 4) 電気化学的防食工法設計施工指針(案)、土木学会コンクリートライブラリ107、2001
- 5) 山口岳思、石田雅博：電気防食の維持管理における課題抽出を目的とした橋梁調査、第32回日本道路会議論文集、2017

西崎 到



土木研究所先端材料資源研究センター 上席研究員、博（工）
 Dr. Itaru NISHIZAKI

石田雅博



土木研究所構造物メンテナンス研究センター 上席研究員
 Masahiro ISHIDA

山口岳思



土木研究所構造物メンテナンス研究センター 研究員
 Takeshi YAMAGUCHI

佐々木 徹



土木研究所先端材料資源研究センター 主任研究員、博（工）
 Dr. Iwao SASAKI