

橋梁端部の狹隘部床版下面に適用することを 目的とした電気防食工法

GECS / ジーイクス工法

峰 松 敏 和・羽 柴 俊 明・早 坂 洋 平

道路に散布される凍結防止剤による塩害損傷は、凍結防止剤の散布量の増加に伴い橋梁の種々の箇所で見られる状況となっている。これらの塩害による損傷箇所のうち、床版下面端部の損傷は、ジョイント部から流れ出した凍結防止剤が下面へ伝わり損傷が顕著であるが、端部の隙間が狭い中空床版橋等では塩害対策工事が十分に行えない状況にある。この床版端部の狹隘部の塩害対策補修工法として、最も防食性能に優れる電気防食工法の適用を試み、狹隘部間 12 cm 程度以上であれば、床版の最端部まで施工が可能な工法を開発した。本稿では、この桁端の狹隘部に適用する電気防食工法の開発と適用事例並びに事例における防食効果の状況について紹介する。

キーワード：凍結防止剤、塩害、道路橋床版、狹隘部、電気防食工法、防食効果

1. はじめに

1991年に施行されたスパイクタイヤ禁止条例以降、我が国における凍結防止剤の散布量は、大幅に増加している。同様の事例として、米国において1960年代に施行された冬季道路網確保政策によって凍結防止剤の散布量が大幅に増加した事例があり、1970年代後半になると橋梁床版の塩害による損傷が各所で散見される状況となった。加えて、この時代の米国では多数の構造物が供用50年以上の高齢化を迎えており「荒廃するアメリカ」と呼ばれる時代であった。

米国では、道路橋の舗装の多くがコンクリート舗装であるため、道路橋床版上面が塩化物による塩害劣化・損傷を受け、また、橋梁伸縮装置部などから流れ出した凍結防止剤は、床版裏面（以下、床版下面と呼ぶ）や橋脚、橋台等の塩害も引き起こした。この凍結防止剤による塩害の対策方法としてコンクリート構造物への電気防食工法適用の検討が実施された。電気防食工法は、海洋鋼構造物や地中パイプライン等への適用は一般的であったが、この技術をコンクリート構造物へ応用するための研究が行われ、1980年代前半に技術が確立され、凍結防止剤による塩害対策工法として多数適用されている。

一方、我が国の道路橋床版は、アスファルト舗装であることに加え、最近の橋梁では橋面防水が実施されていることもあり、床版上面の塩害による劣化・損傷を直接的に確認できる事例は少ないが、伸縮装置部等から流れ出した凍結防止剤は、床版下面の塩害を引き起

こし、その対策が急がれている。中でも中空床版橋等の端部は、当該部分の上下の隙間が非常に狭い空間であるため、その対策工事は施工上の制約を受ける箇所でもある。現状の対策工法としては、ウォータージェットによるはつり後に、断面修復材を吹付け等により施工する工法が適用されている場合が多いが、長期的な観点から見た場合、発錆限界以上の塩化物の残存の可能性もあり、再劣化も懸念されるため、電気防食の適用が有効と考えられる。

わが国での電気防食は、2001年に土木学会「電気化学的防食工法設計施工指針（案）」¹⁾が刊行されるとともに、20年以上の国内での実績および実績の追跡調査^{例えば²⁾}から、防食効果の確実性に優れた技術と位置付けられている。

上記のような実情を鑑み、塩害による劣化・損傷を受け、補修工事の施工に多くの制約を受ける中空床版橋端部の狹隘部へ高い防食効果を有する電気防食を簡便に施工する工法を開発するとともに、実構造物への適用性の確認施工を実施し、その防食効果を定期的に計測中である。以下に、その概要を紹介する。

2. 現状の補修工法の概要と改善点

これまでに床版橋端部の狹隘部の塩害対策補修工事に適用されている工法としては、断面修復工法やチタンメッシュ方式の電気防食工法などがある。以下にその概要と工法適用上の問題点を紹介する。

(1) 断面修復工法

狭隘部の塩害対策として適用される断面修復工法は、塩害損傷部をウォータージェット等ではつり取り、修復部を塩化物イオンを含有しないモルタルに置き換えることが一般的に行われている。

土木学会の表面保護工法の指針(案)³⁾に基づくと、断面修復部のはつりは、発錆限界塩化物イオン濃度に達しているコンクリートを除去し、断面修復を実施すると共に、断面修復部に表面被覆を行い、塩化物の再浸透を防ぐことで、塩害再劣化を抑止することとしている。

床版橋端部の狭隘部において発錆限界塩化物イオン濃度が鉄筋裏側まで達している場合のはつりは、慎重に取り扱う必要がある。また、狭隘部の表面被覆は、目視観察ができない状態でのローラー等による施工となるため、施工を確実に容易にする更なる改善が望まれる。加えて、発錆限界塩化物イオン濃度を有するコンクリートと新しいモルタルとの界面近傍には、マクロセル腐食が生じ、比較的短期間に腐食が進行することが知られており、この対策として、ポリマーセメントモルタルや亜硝酸リチウムの適用などが行われているが、マクロセル腐食を考慮した長期的な塩害対策効果の確保が望まれている。

(2) チタンメッシュ方式の電気防食工法

上記を踏まえ、塩害対策に確実な効果がある電気防食を適用した事例として、チタンメッシュ陽極方式の電気防食を RC 中空床版橋端部の狭隘部へ適用した例がある。

狭隘部への電気防食の適用は、床版と下部工に挟まれた非常に狭い空間に、如何にして陽極材を取り付けるかが課題であり、この対策として考案された方法が下部工上端をはつり取り、狭隘部を広げて、面状陽極方式のチタンメッシュ陽極を設置する方法である。本事例では、床版下面の劣化部と下部工上端をはつり取り、狭隘部の空間を作業が可能な高さ(約 40 cm)に



写真-1 狭隘部におけるチタンメッシュ陽極設置状況

広げて、作業員が寝た状態で、チタンメッシュ陽極の設置作業を実施した。写真-1に施工の状況を示す。本事例での下部工上端のはつりおよび修復は、防食工事に直接関係する項目ではなく、あらゆる面で無駄な項目である。そこで、この作業を伴うことなく、塩害の劣化損傷対策と成り得る電気防食の施工法の確立が必要と判断し、新たな工法の開発を進めることとした。

3. 狭隘部に適用する電気防食工法の開発と適用

狭隘部に適用する電気防食工法の開発においては、下記の各項目に対する検討を行い、これらを組み合わせることによって、本開発を実施した。

- ① 狭隘部に適用できるウォータージェット装置
- ② 狭隘部への施工に適した陽極材
- ③ ②の陽極材を狭隘部へ施工する装置
- ④ 通電装置(電源等)

また、開発した工法の適用例としては、文献⁴⁾の事例について紹介する。対象構造物は、東北地方の高規格道路に架設された RC 中空床版であり、床版と下部工の空間は 180 mm 程度で、補修の対象となる狭隘部(橋座部)は、奥行き約 1100 mm、幅 8500 mm である。また、狭隘部における塩化物イオン含有量は、鉄筋位置近傍で 10 kg/m³ 以上である。塩害による損傷状況を写真-2に示す。

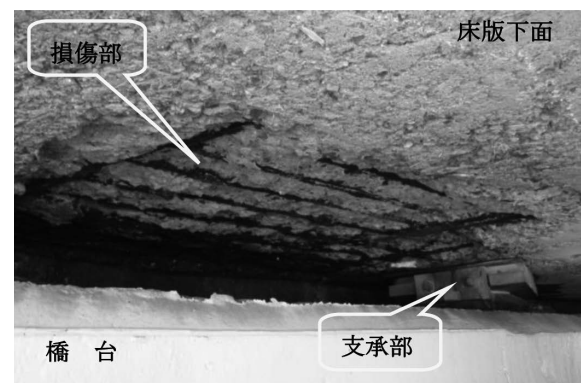


写真-2 施工対象橋梁の狭隘部の塩害損傷状況

(1) ウォータージェット装置および断面修復

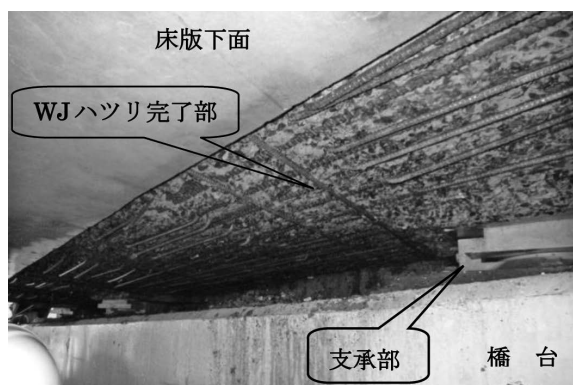
狭隘部用のウォータージェット装置の開発は、狭隘部およびはつり深さの合計を 150 ~ 200 mm 以上と想定し、本範囲でののはつりが効率的に実施できるように、ノズル位置からの対象物までの距離に基づき、適用する機器を選定した。また、狭隘部内の装置の移動が確実に実施できるように X-Y 制御システムを用

いることとした。上記により適用した超高压水発生装置は 240 MPa の水圧で、適用水量は 76 L/min で、ノズル径は、上記の設定目標が満足できるものを選定した。写真—3 に開発した装置でののはつり状況を、写真—4 に対象部位のはつり完了後の状況を示す。

また、ウォータージェットによるのはつり部の断面修復は、電気防食の防食性能に対して電気抵抗率等の問題がないことが確認されたポリマーセメントモルタルを吹付け工法によって施工し、表面仕上げを行う工法で実施した。3層での施工を行い、最終の仕上げは、床版最奥端部から仕上げることにした。写真—5 に断面修復の状況を示す。



写真—3 X-Y制御ウォータージェットはつり装置



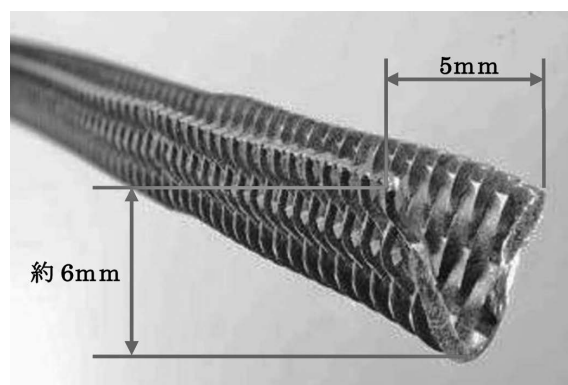
写真—4 ウォータージェットはつり完了状況



写真—5 吹付けによるのはつり部の断面修復状況

(2) 陽極材

従来の手法による線状方式の電気防食に適用する陽極材は、幅 12.7 mm の帯状の平型メッシュ陽極で、コンクリート表面に幅 15 ~ 25 mm、深さ 20 mm 程度の溝を設け、この溝に固定治具等を用いて陽極を固定してモルタルで被覆することが行われている。しかし、狭隘部は作業スペースが狭く、奥行きが大きいため、線状陽極材の固定治具等での設置は不可能である。このため本開発においては、2009 年に発案された線状陽極方式の電気防食に用いる陽極材を V 型に加工した陽極材⁵⁾ (RMV 陽極) を適用することとした。V 型陽極の形状を写真—6 に示す。この陽極材は、コンクリート表面に溝幅 5 mm 程度の溝を切り、V 型陽極を専用の押し込み治具で溝内に押し込むことで、V 型に加工した陽極のスプリングバック作用で溝内に固定される。その結果、溝切作業の省力化および陽極固定の簡便性を図ることができる。



写真—6 V型陽極材の形状

すなわち、防食対象となる狭隘部の端部まで幅 5 mm の溝切りが可能となれば、本 V 型陽極材の設置が可能となり、電気防食の施工が非常に困難な狭隘部への電気防食の適用が可能となると考えられる。

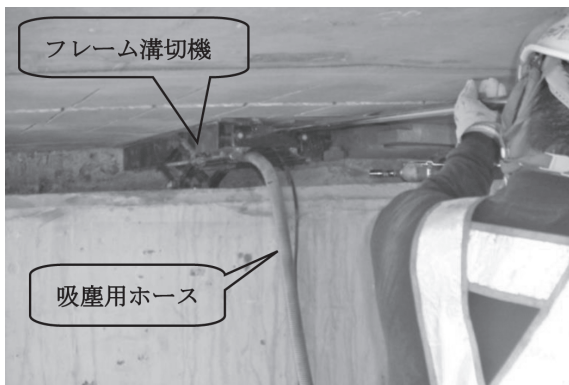
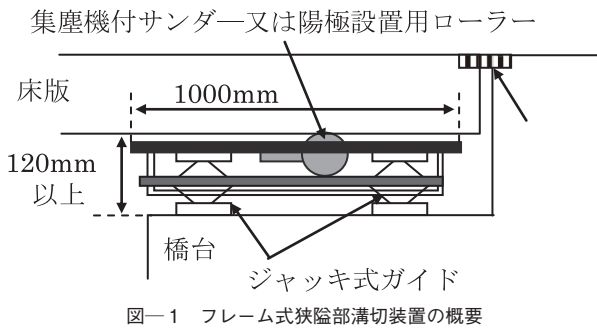
(3) 施工装置

V 型陽極を床版橋の狭隘部に施工するための装置の開発は、以下を念頭に置いて開発した。

- ①狭隘部間隔 120 mm 以上において幅 5 mm 程度、深さ 20 mm 以上、長さ 1 m 以上の溝切りができること。
- ②切削した溝内にモルタルが確実に充てんでき、V 型陽極が押し込めること。
- ③溝埋めに用いたモルタルの仕上げの作業性、美観に問題がないこと。

その結果、①に対しては、図—1 に示すような装置を開発した。この装置は、両側面に溝型鋼を配置し、これを両側面に配置したジャッキで押し上げ、狭隘部

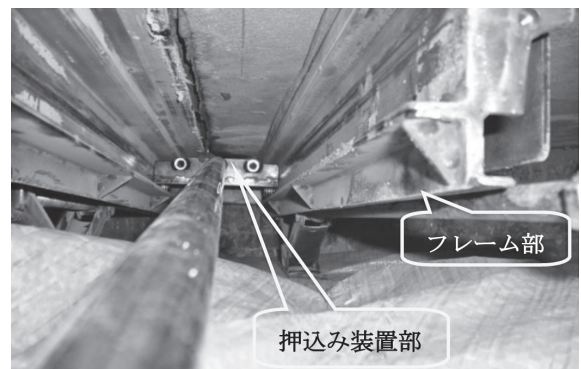
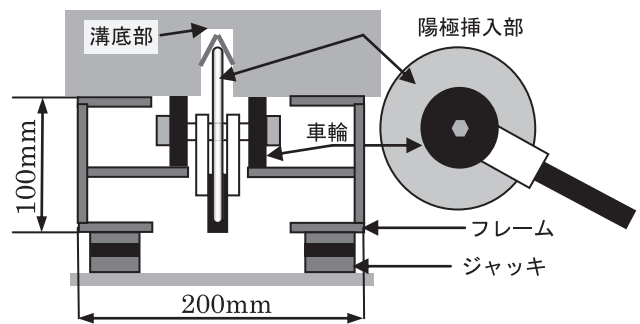
に固定するとともに、溝型鋼の溝を厚刃（4.5 mm）のコンクリートカッターが走行することで、溝切りが達成できる装置である。本装置の高さは、溝切り深さ 20 mm を加えて 120 mm、切断可能な奥行きは、装置の長さを調整することで 1 m 以上の適用も可能である。加えて、コンクリートカッターには、集塵機能を付帯させ、作業環境への配慮も行うこととした。開発した装置を用いた陽極設置用の溝切り状況を写真一七に示す。



また、②のモルタル充てんは市販の手押しのモルタル注入機のノズル部を加工し、溝内の奥までモルタルが回るように改良した。モルタル充てん機による溝部へのモルタルの施工状況を写真一八に示す。なお、使用するモルタルは、溝内および陽極の細かい網目(写真一六参照)への充てん性を考慮した細骨材の粒径が小さいプレミックスモルタルである。

一方、V型陽極の押し込み機は、図一二に示すような構造となっている。このV型陽極押し込み機を溝切機と同様に溝型鋼の溝を走行するように加工し、溝内に一定の深さで押し込めるように改良した装置である。写真一九に陽極の溝内への設置状況を示す。

③に対しては、通常の橋台、橋脚の幅は 1 m 程度であるため、長めのコテを用いることで満足できる仕上げ性状が得られることを確認し、これを適用した。陽極および陽極間を接続し、防食電流を分配するチタンバーの施工完了後の状況を写真一十に示す。



(4) 通電装置

通常、コンクリート構造物に対する電気防食工法の防食面積は、一回路あたり 100 ~ 500 m² である。この場合、防食電流を供給するための通電装置には、交

流電圧 100 V あるいは 200 V で作動する直流安定化電源装置（以下、直流電源と呼ぶ）が用いられる。このような直流電源は、大規模な防食面積に対しての電気防食に優れている一方で、直流電源そのものを作動させるための一次側配線・配管工事が必要となる。しかし、本開発で対象とした橋梁端部の狭隘部の防食面積は、30 m² 以下と小規模であり、一般的な直流電源装置を用いることは、施工コストの上昇を招くことが考えられる。そこで、本開発では、一次側配線・配管工事の施工コストおよび施工の簡略化を図るため、ソーラーパネルとバッテリーを用いた太陽光発電システムによる電源装置（以下、ソーラー電源装置と呼ぶ）を用いて防食電流の供給を行うこととした。本ソーラー電源装置は、山陰地方における実構造物への適用実績⁶⁾もあり、その性能は確認されている。写真-11 に適用例における電源装置設置後の状況を示す。



写真-11 ソーラー電源装置の設置後の状況

4. 適用例施工後の防食性能

適用例の工事終了後、文献4)に示す通電試験(E-logI試験)を実施し、通電開始後3年弱が経過している。この間に防食効果(文献1)の100 mV シフト準拠の確認を適宜実施中である。この結果、本適用例では、ソーラー発電による通電であるため、コンクリート躯体の乾湿が復極量に影響することが判明した。すなわち、ソーラー電源による通電は、発電した電気をバッテリーに蓄電し、このバッテリーからの通電となるため、定電圧通電となる。そのため、通電できる電流量は季節(乾湿)などの影響を受け変化し($E = IR$)、コンクリート躯体が乾燥する時期には通電電流量が小さくなり、復極量も小さくなる傾向にあることが確認できた。なお、今後、通電の長期化に伴い、コンクリート中の鋼材の環境改善が進むと考えられ、これによ

り、より小さい通電電流量で防食基準を満足できることが推察されるため、現状の通電条件で通電を継続し、これを確認することとしている。

5. おわりに

凍結防止剤による塩害での劣化・損傷を受けた道路橋床版端部の狭隘部へ適用する電気防食の工事方式を開発した。今後、凍結防止剤による塩害は、急激に増加することが想定され、この対策として、電気防食は有効な手段であり、更なる技術開発の推進が重要と考える。この一例として、本開発が床版下面の狭隘部へ適用する電気防食工法の開発であるが、同様に凍結防止剤による塩害が問題となっている伸縮装置下の遊間部へ適用できる電気防食工法の開発を実施している⁷⁾。

JICMA

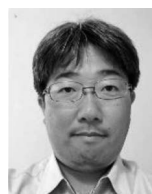
《参考文献》

- 1) 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), 土木学会, 2001
- 2) 鈴木康弘他: 電気防食工法を適用して約20年を経過した擁壁の追跡調査報告, 土木学会第66回年次学術講演会, V-253, pp.505-506, 2011.
- 3) コンクリートライブラリー 119: 表面保護工法設計施工指針(案), 土木学会, 2005
- 4) 早坂洋平他: 凍結防止剤による塩害損傷を受けた床版橋の狭隘部へ適用する電気防食法の開発, 土木学会第7回道路橋床版シンポジウム, pp.207-212, 2012.6
- 5) 鹿島篤志他: コンクリート構造物の電気防食におけるV型陽極の耐久性と分極性状, 土木学会第65回年次学術講演会, V-308, pp.615-616, 2010.9.
- 6) 真鍮年次他: 太陽電池を用いた外部電源方式による電気防食, 土木学会第56回年次学術講演会, V-320, pp.640-641, 2001.9.
- 7) 梅津健司他: 橋梁桁端部を対象とした電気防食工法の研究開発, 第1回北陸橋梁保全会議, A-1, 2013.11

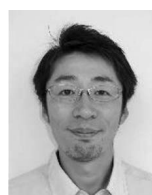
〔筆者紹介〕



峰松 敏和 (みねまつ としかず)
住友大阪セメント(株)
建材事業部 顧問



羽柴 俊明 (はしば としあき)
㈱ネクスコ・エンジニアリング東北
保全技術部



早坂 洋平 (はやさか ようへい)
㈱ネクスコ・エンジニアリング東北
保全技術部