

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

Development of Cathodic Protection System for Salt Damage by Deicing Salt of Narrow Area
between Bottom of Reinforced Concrete Hollow Bridge End and Top of Bridge Pier or Abutment

早坂洋平*, 竹内文幸**, 伊藤嘉修***, 山本誠****, 峰松敏和*****
Yohei Hayasaka, Fumiyuki Takeuchi, Yoshinobu Itou, Makoto Yamamoto, Toshikazu Minematsu

* 株式会社ネクスコエンジニアリング東北 (〒980-0013 宮城県仙台市青葉区花京院 2-1-65)

** 株式会社エステック, 大阪支店工務部 (〒551-0021 大阪府大阪市大正区南恩加 7-1-55)

*** 株式会社ケミカル工事, 仙台営業所 (〒980-0801 宮城県仙台市青葉区木町通 1-5-1)

**** 工修, 住友大阪セメント株式会社, 建材事業部 (〒274-0082 千葉県船橋市大神保町 1357-1)

***** 工博, 住友大阪セメント株式会社, 建材事業部 (〒102-8465 東京都千代田区六番町 6-28)

Because a large amount of deicing salt are strewed on the road bridge, the salt damage of the road bridge slab is confirmed everywhere in the bridge. A lot of damages are detected near the expansion joint of bridge end in particular under the slab. We cannot repair such damaged parts enough because we have only the narrow space to repair. And we know that cathodic protection is reliable repair method for rebar corrosion in concrete. This method needs anode system to supply protection current. Then, we have developed new cathodic protection system that can construct anode of cathodic protection for narrow spaces. In this paper, it is shown the concept, construction technique and results of field test.

Key Words: RC hollow slab, deicing salt, salt deicers, cathodic protection

キーワード: RC 中空床版, 凍結防止剤, 塩害, 電気防食

1. まえがき

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る。加えて、米国では多量の構造物が供用50年以上の高齢化を迎えた1980年代に「荒廃するアメリカ」と呼ばれる時代を迎えた。

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の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、床版下面等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狭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の開発を試み、これ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た。

以下に、その概要を紹介する。

2. 現状の補修工法の概要と問題点

これまでに床版橋端部の狭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。

2.1 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、以下の理由からウォータージェットまたは、チップー等によるはつりは、慎重に取り扱う必要がある。

- ✓ PC 橋の場合、PC 鋼材の定着部など構造上重要な設備がコンクリート中に存在している
- ✓ 橋梁の死荷重および活荷重を下部工へ伝達する支承位置である

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、施工の確実性が懸念される。

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、長期的な効果を判定するには至っていない。

2.2 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

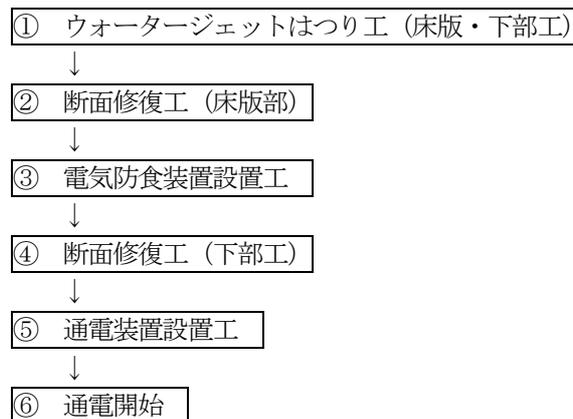


図-1 狭隘部電気防食の施工フロー（既存事例）



写真-1 チタンメッシュ陽極設置状況

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。

既存事例の施工フローを図-1 に示す。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40cm）に広げて、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

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陽極材を狭隘部へ施工する装置
- ④ 通電装置（電源等）

3.1 ウォータージェット装置

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 150~200mm以上と想定し、本範囲で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 240MPa の水圧で、適用水量は 76L/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-2 に開発した装置でののはつり状況を示す。



写真-2 X-Y 制御ウォータージェットはつり装置

3.2 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 12.7mm の帯状の平型メッシュで、コンクリート表面に幅 15~25mm、深さ 20mm 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、奥行きが大きいので、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³⁾を適用することとした。V 型陽極の形状を写真-3 に示す。この陽極材は、コンクリート表面に溝幅 5mm 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。

すなわち、防食対象となる狭隘部の端部まで幅 5mm 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。

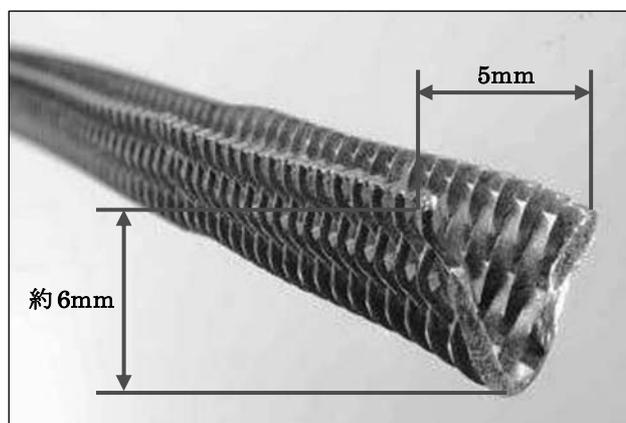


写真-3 V型陽極材の形状

3.3 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 120mm 以上において幅 5mm 程度、深さ 20mm 以上、長さ 1m 以上の溝切りができること。(図-2 参照)
- 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-2 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 (4.5mm) 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 20mm を加えて 120mm、切断可能な奥行きは、装置の長さを調整するこ

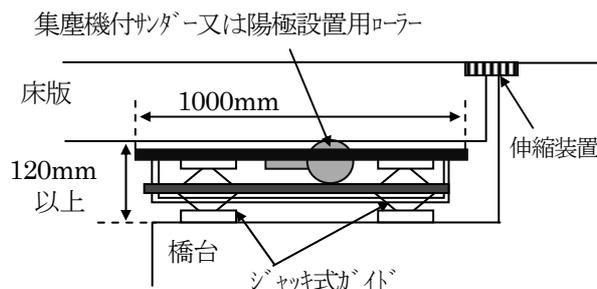


図-2 フレーム式狭隘部溝切装置の概要

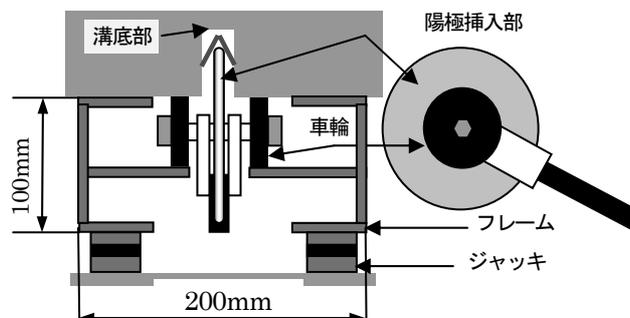


図-3 フレーム式V型陽極押し込み装置の概要

とで 1m 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

また、②のモルタル充てん機は、市販の手押し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。一方、V型陽極の押し込み機は、図-3に示す押し込み機を①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。

③に対しては、通常の橋台、橋脚の幅は1m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、これを適用することとした。

3.4 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、一回路あたり約500m²前後である。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100Vあるいは200V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、30m²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⁴⁾もあり、その性能は確認されている。表-1にソーラー電源装置の仕様を示す。

表-1 ソーラー電源装置仕様

項目	仕様
出力	1.25~7.0V
出力電流	最大0.9A
連続無日照補償日数	2.5日（最大出力）
総重量	約37kg



写真-4 対象橋梁の施工個所の状況

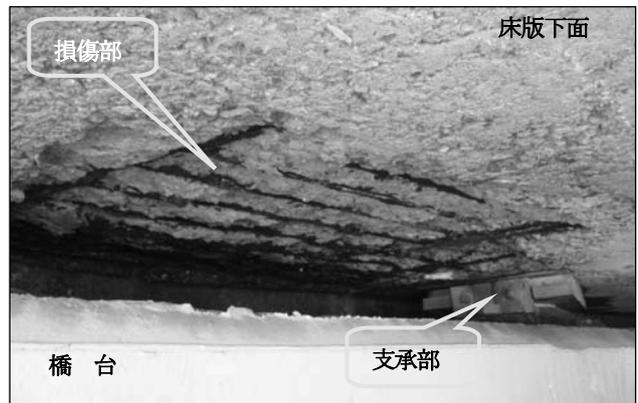


写真-5 施工対象橋梁の狭隘部の状況

4. 狭隘部用電気防食施工システムの適用事例

上記の開発による狭隘部用電気防食施工システムの実構造物への適用事例および通電状況、防食効果等を以下に紹介する。

4.1 適用対象構造物の概要

適用の対象とした橋梁は、写真-4に示す東北地方の高規格道路に架設されたRC中空床版橋であり、床版と下部工の空間は180mm程度で、狭隘部として対象となる橋座部は、奥行き約1100mm、幅8500mmである。当該床版は、冬季の交通安全対策として大量に散布される凍結防止剤の影響を受け、写真-5に示すように橋梁端部の狭隘部は、ほぼ全面にわたり、かぶりコンクリートのはく落および剥離が確認されている。また、表-2に示す塩化物イオンの含有量試験結果では、下側鉄筋の内側まで多量の塩化物を含有しており、早期の塩害対策工事の実施が必要と判定された。

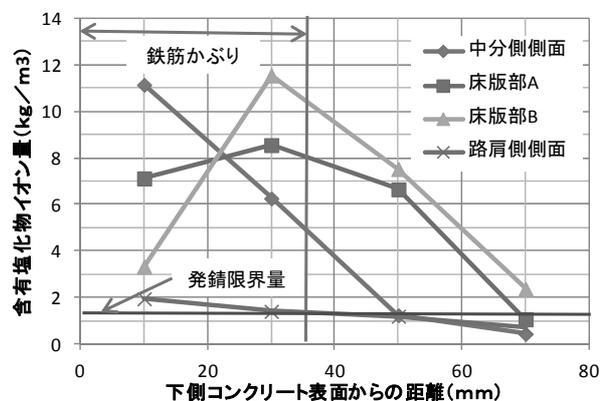


図-4 塩化物イオン含有量試験結果

4.2 塩害損傷部のはつりおよび断面修復

塩害による損傷を受けた狭隘部のはつりは、3.1において狭隘部用に開発したウォータージェットを用いて実施した。開発したウォータージェットを用いたのはつりは、

順調に稼働し、対象面積（床版部；8.5×1.55m，側面および張出し部；7.09 m²，合計；20.3 m²），はつり深さ；70 mmを計画施工工程で終了した。ウォータージェットによるはつり完了後の床版の状況を写真-6に示す。

一方、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-7に断面修復の状況を示す。なお、本断面修復も計画施工工程内で問題なく終了することができた。

4.3 陽極材の設置

本開発における狭隘部への陽極材の設置フローを図-4に示す。

図-4のうち、③の狭隘部以外の溝切りは、ハンドダイヤモンドカッターを用いた手作業で実施し、通常の厚さのカッターでの切断後、4.5mm厚さのカッターで再切断する2段階での溝切りを行った。④の狭隘部の溝切りは、先に手作業で溝切りした溝を起点としてフレーム溝切機を固定し、溝に4.5mm厚さのカッターを入れ込み、カッター押込みガイド棒を手で押し、1回での溝切りを実施した。切断状況を写真-8に示す。⑤の溝内金属探査は、今回の工事においては、陽極適用箇所全てに断面修復が実施されており、また、陽極と鉄筋間も所定の間隔が確保されているため基本的には必要ないが、断面修復が全面でない場合を想定して探査方法の確認の試験として実施した。写真-9に⑥のモルタル敷設状況を示す。モルタル充てん機は、注入口を溝幅に合わせた長楕円形で、溝奥への充てんが確実にできるようにガイドの高さが大きくなっている。⑦のV型陽極の押込み状況を写真-10に示す。

このような施工工程を経て実施された橋梁床版狭隘部への電気防食陽極材の設置完了後の状況を写真-11に示す。

4.4 通電装置の設置

ソーラー電源装置は、防食に供する二次配線・配管の手間を簡略化するため、構造物近傍（直線距離10m程度）に立て込んだポールに設置することとした。写真-12にソーラー電源装置の設置後の状況を示す。

4.5 通電試験および防食性能

上記の工事終了後、通電する防食電流密度を決定するための通電試験（E-logI試験）を実施した。試験結果を図-5に示す。試験の結果では、防食基準である100mVシフトを満足する電流密度は、10mA/m²程度であるが、初期通電電流密度を約18mA/m²とし、150mVシフトを目標に設定した。これは、対象部位の損傷が激しいため、通電初期の確実な防食効果に配慮したためである。



写真-6 ウォータージェットはつり完了状況



写真-7 吹付けによるはつり部の断面修復状況

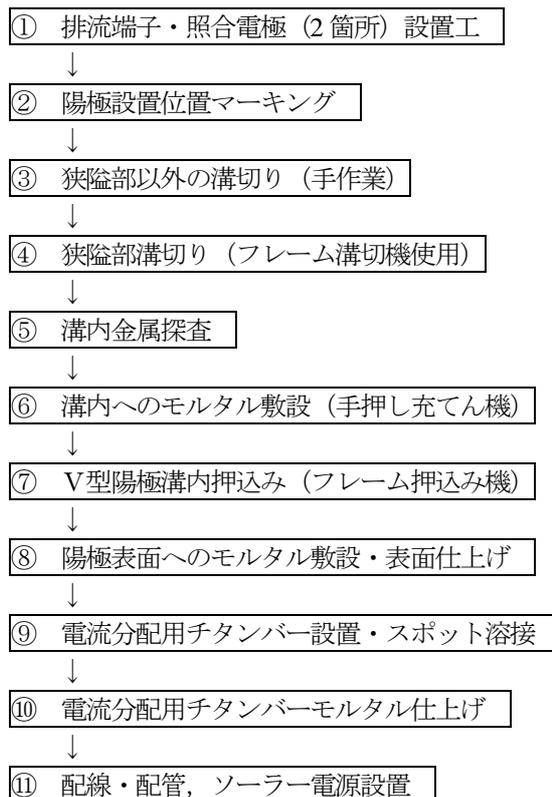


図-5 狭隘部へのV型陽極設置の施工フロー

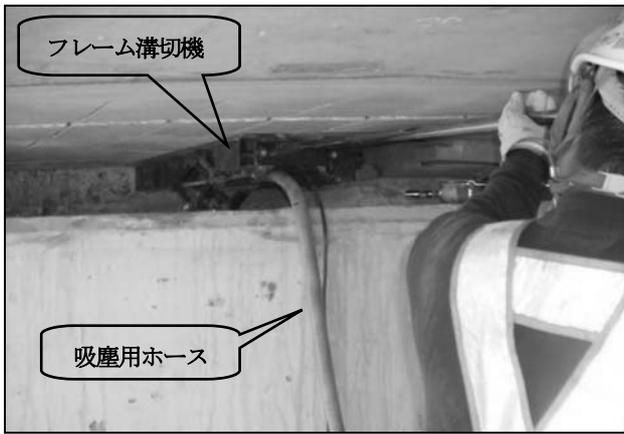


写真-8 フレーム溝切機による溝切り状況



写真-9 狭隘部電気防食用モルタル充てん機



写真-10 フレーム押込み機によるV型陽極の押込み



写真-11 狭隘部電気防食施工完了状況

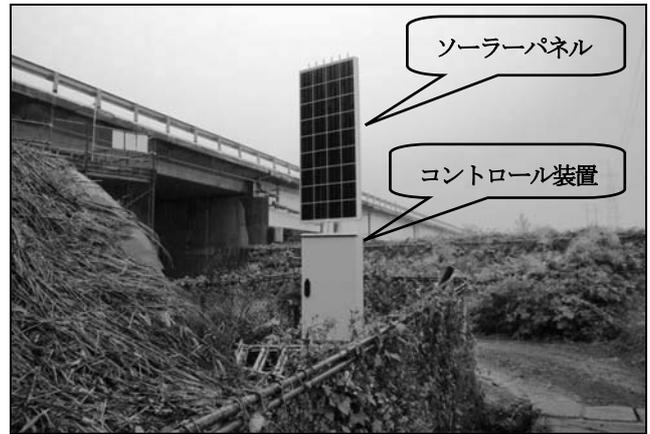


写真-12 ソーラー電源装置の設置後の状況

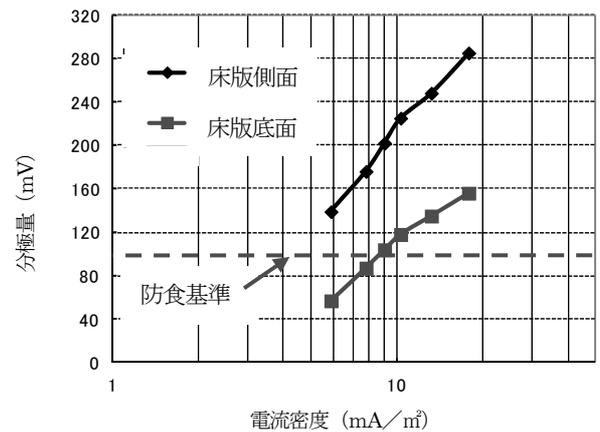


図-6 通電試験結果

5. まとめ

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。

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) 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.
- 5) 真鈿年次他；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.