

報告

[1089] 道路橋における電気防食工法の試験施工について

長沼 洋 (日本道路公団小松管理事務所)

笹井 幸男 (日本道路公団小松管理事務所)

正会員○新野 孝紀 (飛鳥建設(株)技術開発部)

三田 俊一郎 (中川防蝕工業(株)技術開発研究所)

1. はじめに

アメリカの道路では、凍結防止剤散布によりRC床板が塩害を受け、この対策として電気防食工法が採用されていることが知られている。しかし日本での電気防食工法の採用は、電力・港湾等に関する海洋構造物に対しての実績はあるが、塩害を受けた道路橋に対する例がほとんどないと思われる。

道路橋が塩害を受けた場合の対策は、現在でも確立されていないが、施工上からコンクリート表面をコーティングする方式が一般的である。しかし最近になって、これにより良い成果が得られているケースと、十分な効果が得られず早期に再補修に至るケースが認められている。これはコンクリート中に含まれる塩分量の違いによると思われるが、このような塩分を多量に含有した重度の塩害に対する二次療法として電気防食工法が実用化できないかを検討するものである。また塩害を電気化学的に検討することにより塩害メカニズム解明の技術力向上が期待されるものである。

今回、石川県内で日本海沿いを並行する北陸自動車道大慶寺川橋における塩害対策工事の補修工法の一つとして電気防食工法を試験的に採用した。

本報告では、試験工事の概要と今後の追跡調査方法について述べるものである。

2. 電気防食工法の概要

2.1 鉄筋の腐食機構

鉄筋の腐食機構を図-1鉄筋の腐食プロセスおよび図-2腐食速度、塩分量と経年変化により説明を行なう。なお、図-1と図-2の中のA～Eは対応するものである。

通常コンクリート中の鉄筋は、コンクリートの高いアルカリ性(PH12以上)のため、鉄筋表面に保護皮膜が形成されることによ

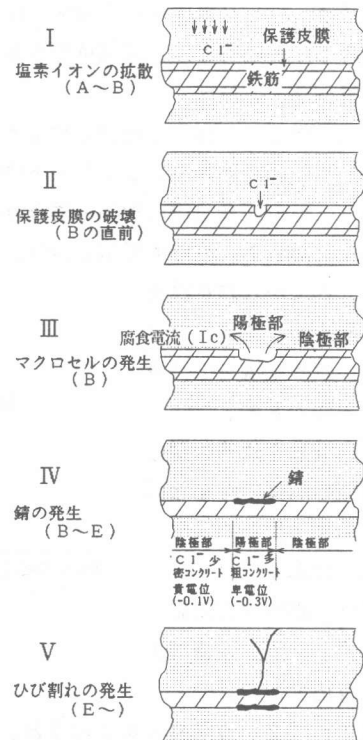


図-1 鉄筋の腐食プロセス

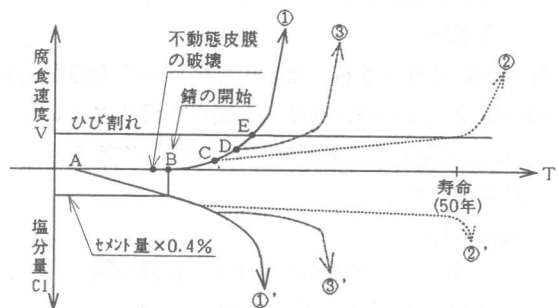


図-2 腐食速度、塩分量と経年変化

り腐食が進行しないとされている（Ⅰ）。

しかしながら、塩害環境にある構造物では、塩素イオンがコンクリート中に拡散し、鉄筋位置まで達すると、保護皮膜を破壊する（Ⅱ）。その結果、保護皮膜が破壊された部分は、鉄素地が露出し、電位の低い（卑な）陽極部となり、電位の高い（貴な）保護皮膜の陰極部との間で電池を形成しマクロセルが発生する（Ⅲ）。これが引金となり腐食が進行し、ひびわれ発生に至るものである（Ⅴ）。

塩害を受けたコンクリート構造物に対する塗装による補修は、図-2のA～Cの段階では有効であるが、C以降では長期的な効果が期待できないと考えられる。

2.2 電気防食の原理

鉄筋の腐食は、図-1Ⅲに示すように、腐食電流（ I_c ）が鉄筋表面からコンクリート中に流出することであり、その腐食電流は周囲の陰極部に流入する。

これに対して、鉄筋の電気防食は、図-3に示すように、外部から防食電流を鉄筋表面に流すことにより、腐食電流を低減させる方法である。

この概念を鉄筋の電位と電流の関係で示すと図-4のようになる。³⁾

この図に示す

- ①は、陽極部の反応。
- ②は、鉄筋の陰極部の反応である。

ここで、③という防食電流を流すと、腐食電流 I_c が I_i に減少する。さらに、大きな防食電流④を流すと腐食電流が0となり防食が完全におこなわれたことがわかる。

3. 大慶寺川橋試験施工

3.1 工事場所

日本海に流れ出る石川県内の2級河川「大慶寺川」の河口を横切る北陸自動車道大慶寺川橋（図-5）であり、海岸線からの距離が約40mである。

3.2 試験橋の概要

(1) 橋梁構造

- イ). 橋種 : PC単純(ポストテンション)T桁橋
- ロ). 橋長(スパン): 26.05m(25.20m)
- ハ). 桁高 : 1.40m
- ニ). PCケーブル : 8本 12-φ7

(2) 大慶寺川橋の補修履歴

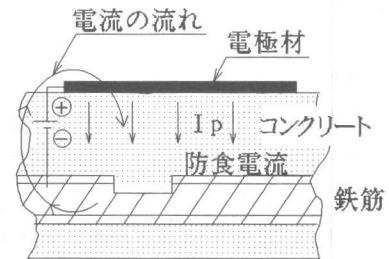


図-3 防食電流の流れ

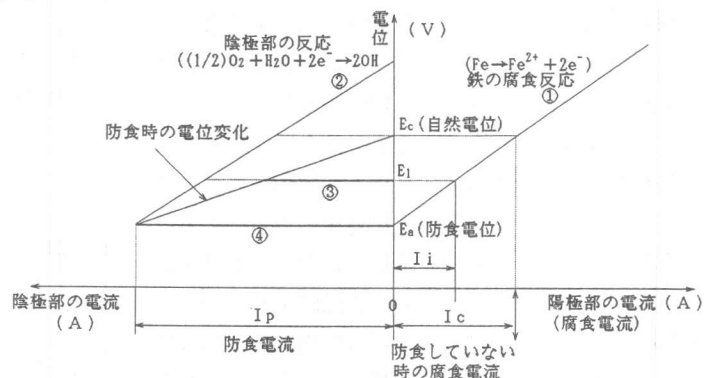


図-4 鉄筋腐食と電気防食の原理

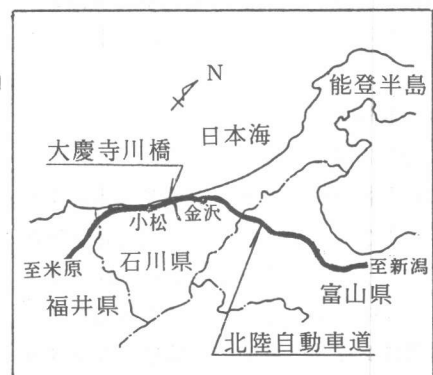


図-5 大慶寺川橋位置図

試験工事対象桁（大慶寺川橋）は、昭和47年に橋梁が完成以来、約17年間にわたり日本海の厳冬の潮風・波しぶき等が直接吹き付けられており、いわゆる飛来塩分による著しい塩害損傷を受けている。大慶寺川橋の塩害対策工事の履歴は、表-1に示す。

(3) 試験桁（ブロック）

表-1 大慶寺川橋補修履歴

年 月	経過年数	工 事・調 査
昭和47年2月	0	上部工完成
昭和56年3月	9	塩害損傷調査
昭和58年11月	11 (0)	塩害補修実験工事（5種類のコンクリート塗装）
昭和59年11月	12 (1)	補修後の追跡調査（第1回）
昭和61年12月	14 (3)	“（第2回）
昭和62年12月	15 (4)	“（第3回）
昭和63年11月	16 (5)	再発部の応急補修工事（断面修復工） 損傷詳細調査
平成 元年11月	17 (6)	部分塗替塗装・PC7ウレタン工 張出床版部分打替工・電気防食工

試験桁は塩害の損傷が著しい下り線G2PC桁（海側の桁より2番目）を選定し、4種類の電気防食工と非防食（コンクリート塗装）が同一条件で比較できるように5分割している。（図-6）

3.3 電気防食の試験方式

電気防食工法には、電源（直流）を使用して電極からコンクリートを通じて鉄筋に流す外部電源方式と、亜鉛と鉄筋の電位差により亜鉛からコンクリートを通じて鉄筋に流す流電陽極方式がある。今回の試験方式は、外部電源法のうち現在までに開発されている導電性塗料覆装方式・チタンメッシュ方式と、塗料方式を改良した部分電極方式及び流電陽極方式の計4方式である。（表-2）

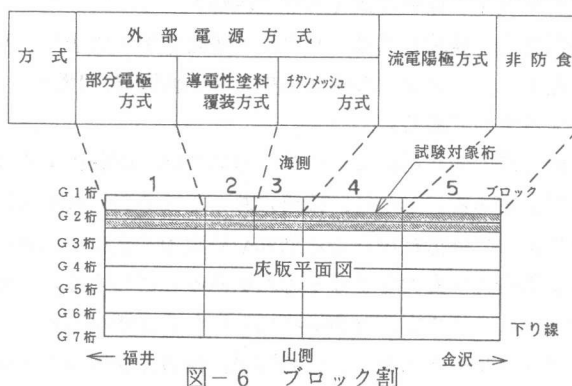


表-2 防食方式

方 式	概 念 図	電 極 材		被 覆 工
		一 次 電 極	二 次 電 極	
外 部 電 源 法	部分電極方式	白金めっき チタン線状電極	導電性パテ	電極部は水溶性アクリル樹脂塗料 その他は既設塗料残置
	導電性塗料覆装方式	白金めっき チタン線状電極	導電性塗料	水溶性アクリル樹脂塗料
	チタンメッシュ方式	酸化被覆 チタンメッシュ	—	※リマーセメントモルタル
流 電 陽 極 法		亜 鉛 シ ー ト		

以下に各方式の特徴及び施工方法を述べる。

(1) 部分電極方式（外部電源方式）

塩害対策として電気防食工法が、道路橋に採用されるときは、ほとんどがコンクリート塗装（一次対策）後の二次対策であると思われる。現在の電気防食工法は、コンクリート面に、コーティングが施されていない条件で開発された技術である。従ってこのコーティング除去が大きな課題になるので今回既設コーティングを活かした（除去しない）合理的な電気防食工法の施工技術に取り組むことにした。ここで提案する工法は、以前から使用されている溝方式型電気防食工法の応用であり、コンクリート表面の全面から電流を流し込む従来の工法に対し、電流を流す箇所の既設コンクリート塗装だけを部分除去しその部分（溝に白金めっきチタン線の設置）より電流をコンクリート中へ流し込むものである。ここでは、これを”部分電極方式”と称している。

この場合、コンクリート中の鉄筋全体に防食電流を確保できるかどうかが課題であり、線状電極の設置間隔(150,300,600mm)をトライアルしてこの点を検討する。溝の大きさは、幅10mm、深さ10mmである。

(2) 導電性塗料覆装方式（外部電源法）

導電性塗料覆装方式は、PC桁の既設塗装を除去した後のコンクリート表面に、電極材となる白金めっきチタン線の線状電極を600mm間隔に設置し、電流分布を良くするため導電性塗料を塗布するものである。

この方式の線状電極のピッチについては、床版のような平面的な構造物においては5～6m間隔も可能である。しかし、橋桁においてはその形状から均一な膜厚の塗膜を得ることが難しい。場所によっては抵抗が異なる恐れや塗膜の劣化に伴い線状電極から流入する電流が塗膜から流入する電流よりも大きくなる恐れがある。このように、線状電極とコンクリート中の鋼材との位置関係によって電流分布は不均一になる課題がある。以上の点を考慮して、今までの研究実績やコンクリート中鋼材の位置関係、構造形状等から今回はピッチを600mmとした。

また、線状電極の設置は、桁の軸方向に沿って設置するのが施工性がよい。しかし塗膜厚の関係からぐう角部は、通電状態が悪くなる恐れがある為、桁の軸直角方向に電極を設置する事とした。

(3) チタンメッシュ方式（外部電源法）

チタンメッシュ方式は、PC桁の既設塗料を除去した後のコンクリート表面に、電極材となる酸化物被覆のチタンメッシュを設置し、モルタルにて表面を保護するものである。

この方式における被覆モルタルは、桁の死荷重増加等を考慮すれば層厚をできるだけ薄くする必要がある。通常、モルタルの吹き付け施工においては20～30mmの薄層吹き付けが限度である。本試験ではより薄層な仕上げを目指し、吹き付けと左官仕上げをする事により15mmの被覆厚とした。

(4) 流電陽極方式

流電陽極方式は、PC桁の既設塗装を除去した後のコンクリート表面に、電極材となる厚さ1.0mmの亜鉛板（設計寿命17年）を全面に設置するものである。

また、亜鉛板とコンクリート面との間には陽極性能保持と不陸を調節することを目的としたペントナイト系のバックフィル材を充填してコンクリート表面に密着させるものとしている。

3.4 施工手順と施工後の通電量

電気防食工法の基本的な施工手順を図-7に示す。

外部電源法における施工後の最初の通電量は、「コンクリート構造物の鋼材の電気防食要領（

案)」⁴⁾に基づき、コンクリート表面積当たり20mA/m²となる値の防食電流を流すものとする。

1ヶ月以降は、P C鋼材に対して水素脆化（過度の電気防食では鋼材表面で水素が発生し、鉄筋では異常ないが、高張力鋼では脆化が起こる。）を生じない値で電位変化量が100mV以上⁴⁾となる防食電流に調節する。

4. 追跡調査計画

4.1 調査要領

(1) 測定項目

本試験の測定項目は①通電電流量、②鉄筋の電位変化量、③鉄筋の分極抵抗、④コンクリートの抵抗率である。

(2) 測定箇所

測定は、各方式毎試験桁下面フランジに1箇所づつ埋め込んだ照合電極と試験桁表面約50cmに1箇所づつ設けた計測孔において、外部からの照合電極により行う。

(3) 測定期間・測定頻度

測定期間は5年とし、初年度は3ヶ月毎の年4回、2年度以降は冬期と夏期の年2回の測定を行う予定である。

4.2 測定結果の評価方法

検討事項と測定項目の関係を表-3に示すが、評価基準は以下のとおりである。

(1) 部分電極方式の開発について

防食効果の評価は鉄筋電位測定により確認し、電位変化量が100mV以上⁴⁾であれば効果ありとする。

(2) マクロセル腐食の確認について

断面修復後の鉄筋の電位分布と電気防食適用後のそれを比較し、

電気防食によるマクロセル腐食電池の消滅が確認できれば効果ありとする。

(3) 各種電気防食工法の評価について

耐久性の検討および工法の選定は、鉄筋電位測定により確認し、電位変化量が100mV以上⁴⁾あれば、その経過年数における耐久性および工法に効果ありとする。

5. まとめ

本試験は現在、通電を開始したところであるが、現段階での技術的課題を以下に示す。

(1) 本工法が、積極的に採用されているアメリカ、カナダ等においては、床版上面からの平面

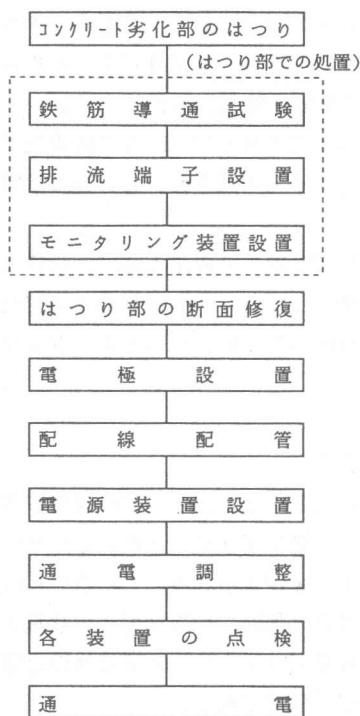


図-7 施工手順

表-3 検討事項と測定項目

	検討事項	測定項目	
(1) 部分電極方式の開発	①電極間隔と通電電流の関係	各電極間隔において	電位変化量 通電電流
(2) マクロセル分布	①電気防食工法の効果 ②コンクリート塗装工法との相違	補修前	電位
		断面修復後	
		電気防食適用後	
(3) 耐久性、選定試験	①各種電気防食工法の効果 ②各種電気防食工法の材料の耐久性	塗料方式 メッシュ方式	電位変化量 通電電流
		亜鉛シート方式	電位変化量 発生電流

部における施工がほとんどである。しかし、本試験のような橋梁の桁は断面形状が複雑なため、それらに伴うコスト高や施工性の検討が今後の最も重要な課題である。

(2) 本試験のような外気中のコンクリート構造物に対する電気防食工法においては、従来から耐久性検討の項目として捉えられてきた電源装置、配線配管材料等の電気設備などの外に今回新たに導電性塗料、導電性パテ、モルタル等の電極材料を加え、総合的システムとして捉えた耐久性の検討が今後の課題である。

(3) 道路橋における電気防食工法の施工は、その多くがコンクリート塗装（一次対策）後の二次対策である予想され、この既設塗膜を活かした部分電極方式に効果があれば評価に値すると考えている。

(4) 電気防食効果の確認方法は、鉄筋の電位変化量で行うことにしている。さらに補足として分極抵抗、コンクリート抵抗率も同時に測定して総合判定することを検討しているが、まだ精度に課題があるため、今後とも、コンクリート中の鋼材腐食の非破壊測定の技術向上が重要である。

6. おわりに

電気防食工法は、コスト高の課題があるが、従来のコーティング方式に比べ劣化コンクリートのハツリ量を少なくできたことから、既設桁のPCケーブル及び健全コンクリートへの工事に伴う損傷を抑えられるので、著しく塩害を受けた箇所には有効と思われる。

またこの試験は、今後補修後の状況を電気化学的手法によりモニタリングすることにより、塩害に対するコンクリート構造物の定量的な耐久性データの蓄積を図り、塩害対策の技術向上への貢献が期待される。

参考文献：

- 1) 文野結紀、長沼洋、笹井幸男：既設コンクリート構造物における塩害対策、土木施工、VOL.30.4、1989
PP107-114
- 2) 文野結紀、笹井幸男、田中徹也：厳しい気象条件下における既設コンクリート構造物の塩害対策について、第18回日本道路会議特定課題論文集、1989、PP218-220
- 3) H. H. ユーリック 他：腐食反応とその制御、産業図書、1984
- 4) 建設省土木研究所：コンクリート構造物の電気防食工法に関する共同研究報告書、1988.8