

# 亜鉛・アルミ擬合金溶射による 新しい電気防食工法

榎 島 修

塩害環境にある鉄筋コンクリート構造物は、塩化物の進入によって鉄筋が腐食し、早期劣化を引き起こす事例が報告されている。このような鉄筋腐食による劣化の進行を停止させる方法として電気防食工法がある。本件では、コンクリート表面に亜鉛とアルミを常温溶射により設置し、内部の鉄筋と導通させることで、外部から電気を供給することなく電気防食効果が得られる新たな工法を紹介する。また、コンクリート試験壁を用いた性能試験では、防食基準とされる 100 mV 以上の復極量が確認され、2 年経過後に行った鉄筋の腐食評価によって高い防食効果が確認された。

キーワード：電気防食工法、流電陽極方式、亜鉛・アルミ擬合金、常温溶射、予防保全

## 1. はじめに

海洋環境や寒冷地における凍結防止剤が散布される環境では、鉄筋コンクリート構造物が早期に劣化する事例が散見されている<sup>1)</sup>。また、鉄筋の腐食が著しい部位を対象に部分的な断面修復を施しても、コンクリート中に侵入した塩化物イオンによって再劣化を生じるケースも報告されている<sup>2)</sup>。

このように、厳しい塩害環境におかれた鉄筋コンクリート構造物を維持管理するためには、コンクリート中に侵入する塩化物を考慮して適切な補修工法の適用を計画しなければならない。そこで、コンクリート中の鋼材腐食を効果的に抑制・制御する補修工法として電気防食工法が挙げられる<sup>3)</sup>。また、近年では劣化が顕在化した既設構造物だけでなく、新設構造物の予防保全技術としても適用された事例があり、厳しい劣化環境における鉄筋コンクリート構造物の維持管理技術として期待が高まっている。

電気防食工法は、コンクリート表面に設置した陽極からコンクリート中の鋼材に電流を供給し、鋼材の腐食反応を停止させるものである。電流の供給方式により外部電源方式と流電陽極方式に大別され、国内では外部電源方式が主流となっている。なお、外部電源方式では継続的に電流を供給する必要があるため、電源装置の点検や防食電流の調整・モニタリングなどの継続的な維持管理が必要とされる。また、耐久性の高い陽極材料の使用や電源供給設備の設置など、初期費用がやや高価となる。

一方、流電陽極方式による電気防食工法は、コンクリート表面に設置された亜鉛やアルミ等の金属とコンクリート中の鋼材（鉄）とのイオン化傾向の差を起電力として電流が供給される。このような流電陽極方式の電気防食工法は、電源装置が不要なため経済性が高く、維持管理が容易であるなどの特徴を有する。

このような流電陽極方式の電気防食工法の特徴に加え、コンクリート表面に陽極材となる亜鉛およびアルミを常温溶射によって簡便に設置可能な新しい電気防食工法「亜鉛・アルミ擬合金溶射による電気防食工法」を開発した。ここでは、本工法の防食システムを紹介し、実用化に向けて実施した壁型模擬部材を用いた防食性能確認試験から得られた結果について述べる。

## 2. 工法概要

### (1) 防食原理

亜鉛・アルミ擬合金溶射による電気防食工法は、異種金属のイオン化傾向の違いを利用した流電陽極方式である。鉄に比べてイオン化傾向の大きい亜鉛・アルミ擬合金と鉄筋を電解液内で導通すると、亜鉛・アルミ擬合金を陽極（アノード）、鉄筋を陰極（カソード）とした電流回路が形成される。アノード側では Zn や Al がイオン化し電子が放出される。カソード側では、 $e^-$  と水が反応し  $OH^-$  と  $H_2$  が生成される。このような電気化学的反応により、図-1 に示すように、鉄筋には電流が常時供給されることとなり、鉄筋の電位は全体的に卑な方向（マイナス方向）にシフトする。ま

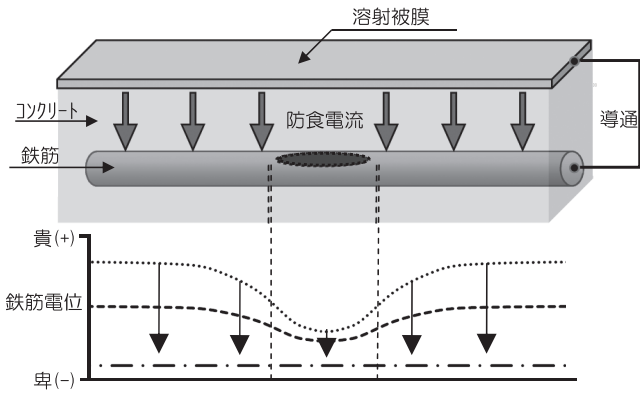


図-1 防食電流と鉄筋電位

た、この結果として鉄筋の発錆の原因であるマクロセルが解消され錆の進行が停止する。

(2) 防食システム

本工法の電気防食システム概念図を図-2に示す。防食システムは、粗面形成材、亜鉛・アルミ擬合金被膜、封孔処理材の3層からなる陽極被膜と、電気回路を形成させるために鉄筋と溶射被膜を接続させるための排流端子で構成される。施工フローを図-3に示し、以下に各工程を示す。

(a) 準備工、コンクリートの前処理

劣化したコンクリート構造物の補修として適用する場合、かぶりコンクリートの損傷部および鋼材の腐食生成物の除去を行い、断面修復を行うこととなる。

(b) 鋼材間通電処理工

電気防食工法を適用する場合、防食対象の全ての鉄筋が導通する必要がある。そのため、部分的に鉄筋を露出させ、鉄筋間に導通があることを電位差計によって確認する。導通が確認できない場合には、細径の鉄筋を配置するなど導通を確保する。

(c) 排流端子、照合電極設置工

排流端子は、15 cm ~ 20 cm 角の鋼板を防食対象のコンクリート面 25 m<sup>2</sup> 程度に1ヶ所に配置し、溶射金属と鉄筋を接続し、電気回路を形成させる。

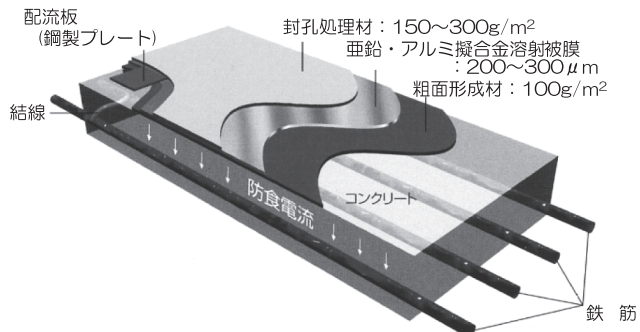


図-2 電気防食システム概念図

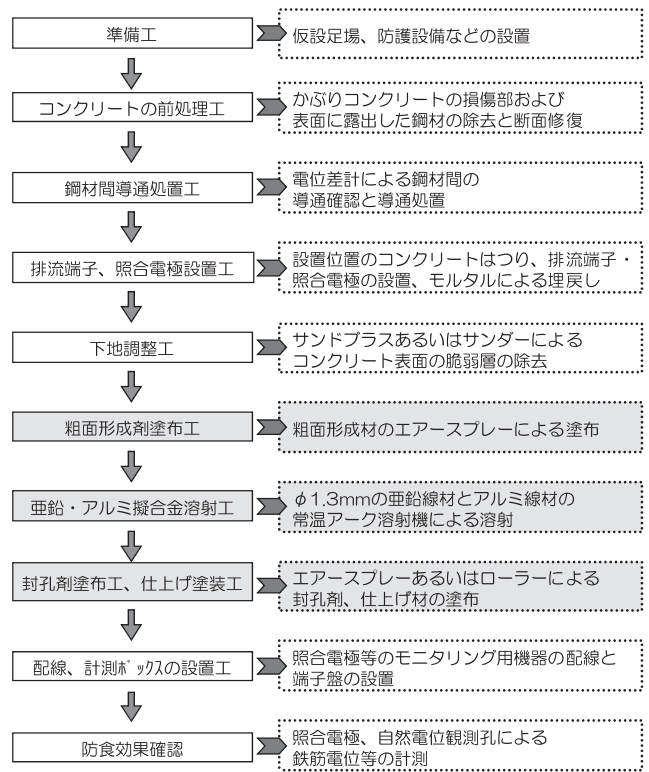


図-3 施工フロー

(d) 下地調整工、粗面形成材塗布工

コンクリートと溶射皮膜の付着性を向上させるためにコンクリート表面に凹凸を付け、機械的な付着力を向上させる粗面化処理を行う。使用する粗面形成材は、無機系粒子を含む二液形エポキシ樹脂系材料であり、赤褐色に着色している。これを、吹付けにより塗布する。なお、コンクリートと溶射皮膜の通電性を確保するためには、コンクリートの素地が一定の割合で露出するように施工する (写真-1)。

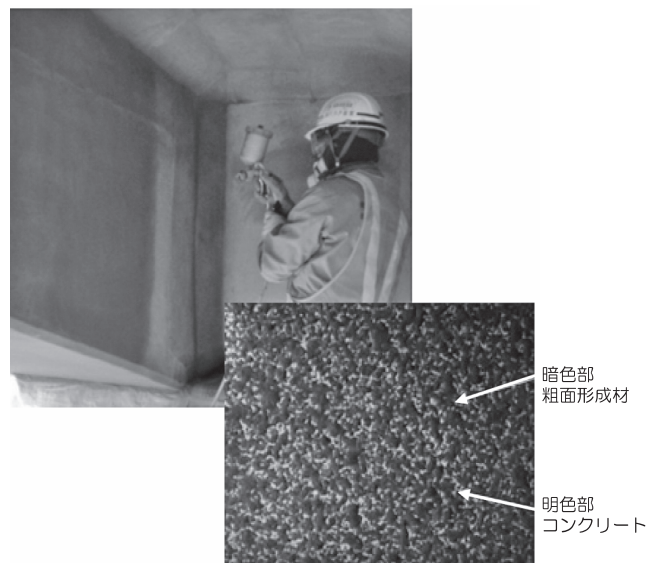
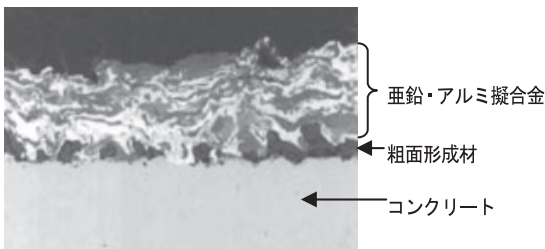
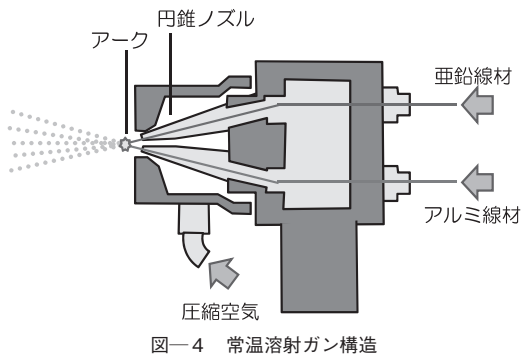


写真-1 粗面形成材塗布状況および拡大写真

(e) 亜鉛・アルミ擬合金溶射工

亜鉛線材，アルミニウム線材を用い，**図一4**に示す常温金属溶射によりコンクリート面に設置し，互層状の亜鉛・アルミ擬合金皮膜を形成する(**写真一2,3**)。皮膜厚さは，200～300 $\mu$ mを基本とする。



(f) 封孔処理材塗布工，仕上げ塗装工

溶射された金属皮膜の内部には微細な気孔が存在するため，腐食性因子が溶射皮膜内に侵入しやすくなる。このため，封孔処理材を溶射皮膜内に浸透・充てんし，金属皮膜の活性を抑制することで耐久性を向上させる。封孔処理材は，リン酸を含有した一液性のブチラール樹脂系の材料で，浸透性が高い。色相は白色で吹き付け塗布により設置する。

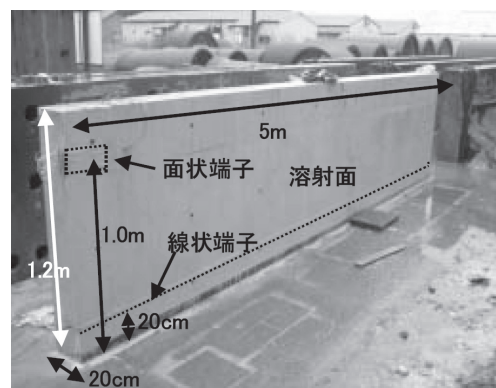
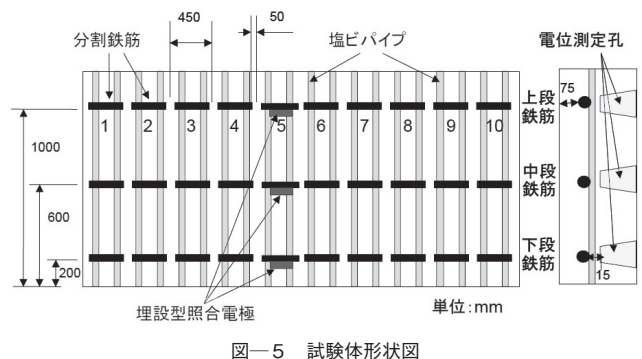
さらに，表面からの雨水，塩化物などの侵入を抑制し亜鉛・アルミ擬合金被膜の表面からの消耗を抑えるためにポリウレタン樹脂塗料による仕上げ塗装を行う。

3. 防食性能試験

(1) 実験概要

塩化物を混入させた壁状試験体に対して亜鉛・アルミ擬合金溶射による電気防食工法を適用し，防食性能を評価した<sup>4)</sup>。

実験に用いた試験体は，**図一5**，**写真一4**に示す高さ1.2m×長さ5m×厚さ0.2mの壁状試験体である。壁の上段，中段，下段の3列に鉄筋を配置し，壁の1面に亜鉛・アルミ擬合金溶射(溶射膜厚250 $\mu$ m)を施した。なお，上段と下段のみ電気防食回路になるように結線を行った。中段については，回路とせず防食の対象外とした。また，鉄筋は，長さ45cmに分割し，各鉄筋間は結線により電氣的に一体となるように配置し，各分割鉄筋への防食電流の供給状態を確認することとした。また，上段と下段は，配流板の形状を変えたものであり，ここでは，壁端部に設置した面状端子にて電流を分配した上段の測定結果について報告する。



使用したコンクリートは，普通ポルトランドセメントを使用し，単位セメント量337kg/m<sup>3</sup>，水セメント比60%，細骨材率52.0%，粗骨材最大寸法25mm，スランプ21cmとした。なお，塩害環境とするためにNaClを外割で12kg/m<sup>3</sup>添加した。

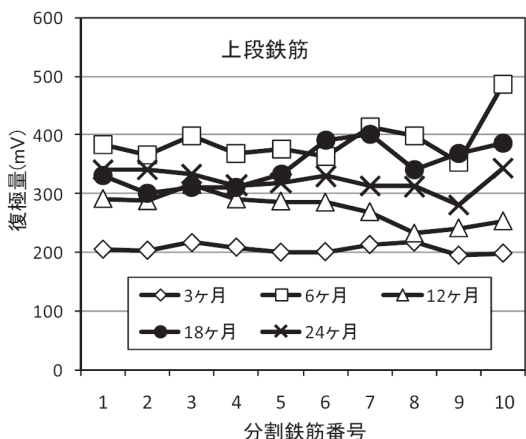
試験項目としては、電気防食効果の指標となる復極量と各鉄筋間の電流量を2年間計測し、2年経過後に鉄筋を解体して腐食量を測定した。

電流量は、無抵抗電流計を用いて分割鉄筋間を計測した。また、鉄筋電位は、壁試験体の溶射背面から照合電極を用いて通電時電位（ON電位）、通電遮断時電位（インスタントOFF電位）ならびに通電遮断後24時間電位（OFF電位）を測定した。また、復極量はインスタントOFF電位とOFF電位の差として算出した。

(2) 測定結果

(a) 復極量

復極量の測定結果を図一六に示す。復極量は、約200 mV から490 mV の範囲にあり、土木学会「電気化学的防食工法設計施工指針」に防食基準として示される100 mV を満足していることが確認された。



図一六 復極量の測定結果

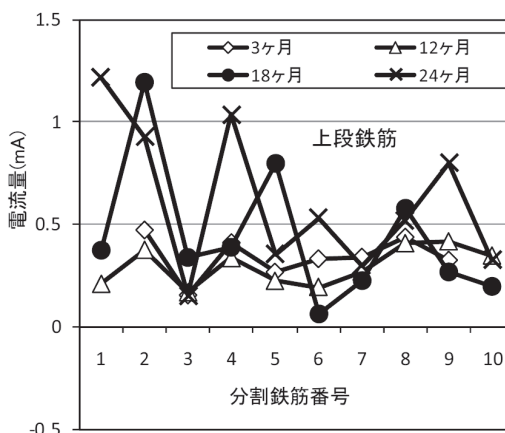
(b) 電流量

電流量の測定結果を図一七に示す。電流量は、測定した分割鉄筋間で若干の差異が見られるものの、約0.1 mA から約1.2 mA の範囲で、いずれの鉄筋に対しても正の電流値が確認され、防食電流が全ての鉄筋に対して流入している状況が確認された。

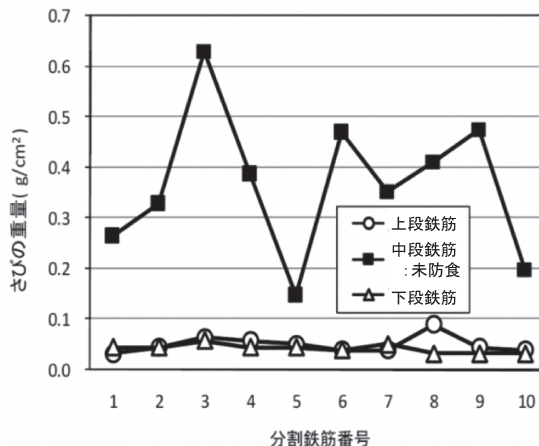
なお、電流量は、配流板からの距離との関係は見られず5 m の距離であれば1箇所配流板から概ね均等な電流が供給できることが確認された。

(c) 腐食量

2年経過時の鉄筋腐食状況の評価として行った、錆の重量の測定結果を図一八に示す。電気防食の対象とした、上段と下段では錆の重量が極めて小さい状況が認められ、防食の対象外とした中段の腐食量と明確な差が生じており、高い防食効果が認められた。



図一七 電流量の測定結果



図一八 腐食量の測定結果

4. おわりに

亜鉛・アルミ擬合金を用いた流電陽極方式による電気防食工法の適用性について、性能試験によって得られた知見を以下に示す。

- ①復極量は、防食基準とされる100 mV を満足することが確認され、良好な防食性能が確認された。
- ②電流量は、配流板から遠い箇所においても電流が供給されていることが確認され、いずれの鉄筋も防食状態にあった。
- ③錆の重量の測定結果から、電気防食によって腐食の進行が抑制されている状況が確認された。

今回の実験では、全ての評価項目において良好な防食性能が確認されたが、流電陽極方式の電気防食では、腐食環境によって電流量や復極量が低下する状況も認められている<sup>5), 6)</sup>ため、当該工法の適用範囲とその効果を評価する予定である。

謝辞：本実験の実施にあたっては、電気化学工業(株)芦田公伸様、松久保博敬様、大日本塗料(株)里隆幸様、相

澤匡様、飛鳥建設(株)名倉政雄様をはじめとする関係各位にご協力いただいた。また、鹿児島大学工学部海洋土木工学科武若耕司教授、山口明伸准教授にご指導いただいた。ここに謝意を示す。

J C M A

## 《参考文献》

- 1) 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報告書, 1988.11
- 2) 西川和廣, 見波 潔, 柏原莊助, 山本幹雄: 暮坪陸橋の塩害による損傷と対策-①過去の損傷および補修-, 橋梁と基礎, V-27, No.11, pp.28-32, 1993
- 3) 電気化学的防食工法・設計施工指針(案), コンクリートライブラリー107, 土木学会, 2001.11
- 4) 山本賢司, 芦田公伸, 榎島 修, 武若耕司: 鉄筋コンクリート壁試験体を用いた犠牲陽極法電気防食工法の防食効果に関する実証的研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, 日本材料学会, 2008

- 5) 山口明伸, 武若耕司, 名倉政雄, 川俣孝治: 各種環境下における犠牲陽極方式電気防食工法の防食効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.1173-1178, 2008
- 6) 清水鉄兵, 武若耕司, 山口明伸, 入江隼輝: 金属溶射を応用した流電陽極方式電気防食工法の防食効果とその評価手法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1381-1386, 2009

## [筆者紹介]

榎島 修 (まさしま おさむ)  
飛鳥建設(株)  
建設事業本部 技術研究所 設計グループ



## 「建設機械施工ハンドブック」改訂4版

建設機械及び施工の基礎知識, 最新の技術動向, 排出ガス規制・地球温暖化とその対応, 情報化施工などを, 最新情報も織り込み収録。

建設機械を用いた施工現場における監理・主任技術者, 監督, 世話役, オペレータなどの現場技術者, 建設機械メーカー, 輸入商社, リース・レンタル業, サービス業などの建設機械技術者や, 大学・高等専門学校・高等学校において建設機械と施工法を勉強する学生などに必携です。

建設機械施工技術の修得, また1・2級建設機械施工技士などの国家資格取得のためにも大変有効です。

## [構成]

1. 概要
2. 土木工学一般
3. 建設機械一般
4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令

6. トラクタ系機械
7. ショベル系機械
8. 運搬機械
9. 基礎工事機械
10. モータグレーダ
11. 締固め機械
12. 舗装機械

●A4判/約800ページ

## ●定 価

非 会 員 : 6,300円 (本体6,000円)

会 員 : 5,350円 (本体5,095円)

特別会員 : 4,800円 (本体4,570円)

【ただし, 特別価格は学校教材販売(学校等教育機関で20冊以上を一括購入申込みされる場合)】

※送料は会員・非会員とも沖縄県以外700円, 沖縄県1,050円

※官公庁(学校関係を含む)は会員と同等の取扱いとします。

●発刊 平成23年4月

### 社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>