

3. 電気防食の現状

3.1 電気防食の国内状況

我が国でのコンクリート構造物の電気防食は、1980年代後半に適用に関する実験が開始され、エルガードチタンメッシュは、1989年に施工が開始された。

現在、我が国では、10種類程度のコンクリート構造物の電気防食工法の施工実績があり、これら全ての2008年3月までの施工累計⁴⁾は、約178,000㎡で、この内、約110,000㎡はエルガード工法である。

我が国における電気防食の施工実績は、米国やカナダなどが凍結防止剤に起因する道路上面等への施工であるのに対し、海洋からの塩化物や海砂に起因する塩害で、凍結防止剤に起因する道路上面への施工事例は存在しない。但し、1991年のスパイクタイヤ禁止後、凍結防止剤の散布量が大幅に増加しており、これによる塩害が懸念され始めている。

以下、我が国および世界的にも最も施工事例が多いエルガード工法を紹介し、我が国における適用事例のいくつかを紹介する。

3.2 エルガード工法

エルガード工法は、先に述べたように金属チタンに白金系貴金属の酸化物を焼付コーティングした陽極を用いた電気防食工法の総称で、面状陽極のチタンメッシュと線状陽極のチタンリボンメッシュがある。

チタンメッシュは、34×76mm (1・1/3×3in) 目のエキスパンドメタル状に加工したチタンを基材とする陽極で、チタンリボンメッシュは、2.5×4.6mm (0.10×0.18in) 目のエキスパンドメタル状のチタン基材の陽極で、幅12.7mm (1/2in)、t=0.6mmである。

チタンメッシュによる最も一般的な電気防食の施工法は、下地処理を行ったコンクリート表面全体にチタンメッシュを固定し、陽極の接続等を実施した後、モルタルで陽極を被覆する方法である。写真-7に施工状況を示す。

また、干満帯への電気防食の適用や大断面の断面修復を伴う場合などは、樹脂パネルなどにチタンメッシュ陽極を取り付けた永久型枠材を作製し、これを防食対象個所に設置、グラウト材を注入し、施工の簡便化を図る工法もある。この施工法には、チタンリボンメッシュを適用することも可能であるが、防食効果の均一性などから、チタンメッシュの方が効果的である。写真-8にこの施工法による干満帯梁部の施工完了時の状況を示す。



写真-7 チタンメッシュ陽極の設置状況



写真-8 永久型枠方式の電気防食の施工完了状況

一方、チタンリボンメッシュ方式の最も一般的な電気防食は、コンクリート表面に溝を切り、この中にチタンリボンメッシュを設置し、モルタルで被覆する施工法である。橋梁への適用事例の大部分を占め、栈橋への適用事例の約半数を占めている。写真-9に溝式チタンリボンメッシュの施工状況を示す。

また、新設構造物への電気防食の適用事例は、我が国では、3件の適用事例があり、エルガード工法は、いち早く、1991年に実施している。



写真-9 チタンリボンメッシュ陽極の設置状況

電気防食の新設構造物への適用事例として、最も有名な事例は、イタリアアルプスの道路への適用で、約100,000 m²以上にチタンリボンメッシュ方式の電気防食が適用されている。我が国における新設橋梁へのチタンリボンメッシュの施工状況を写真-10 に示す。この施工方法は、陽極が鉄筋と接触しないようにするために設置した専用モールドの中にチタンリボンメッシュを設置し、電氣的通電回路を構成した後、コンクリートを打設することで、新設構造物への陽極の設置を行っている。

この専用モールドを用いる方式は、大断面修復を伴う電気防食の施工の際にも用いられており、大断面のはつりが終了した後に、専用モールドとチタンリボンメッシュ陽極を設置し、型枠設置後、グラウト注入、型枠脱型には、陽極が設置され、断面修復と陽極設置が同時に行える陽極先付工法として適用されている。



写真-10 リボンメッシュの新設構造物への適用

さらに、施工時の粉じん等を極力避けるための施工方法として生み出された施工法が、写真-11 に示すチタンリボンモールド方式である。この施工法は、専用のモールドをコンクリート表面に設置後、この中にチ



写真-11 モールド方式チタンリボンの施工状況

タンリボンメッシュ設置後、陽極をモルタルで被覆する方式である。

この様に、エルガード工法は、土木学会の性能照査型示方書に準じる形で、適材適所に応じた最適な電気防食を提案することを基本方針とし、現在も、安価で簡便な施工方法求めて鋭意活動中です。

3.3 電気防食の適用事例

世界中で約160万m²の施工実績を有するエルガード工法の電気防食の施工実績のうち、我が国における適用事例のいくつかを紹介する。

適用事例 ①

写真-12 および写真-13 は、1989年に施工を実施した沖縄県の擁壁の施工直後の状況とその後17年経過した状況で、チタンメッシュ方式を適用している。また、写真-14 は、非電気防食部の17年後の状況である。これらの写真から電気防食による防食効果が確実であることを確認することができる。施工17年後の写真-13 では、美観対策として塗布した通気性を有する塗膜に若干のはがれが認められるものの、腐食による錆汁等は全く認められていない。



写真-12 電気防食後の状況 (1989年)

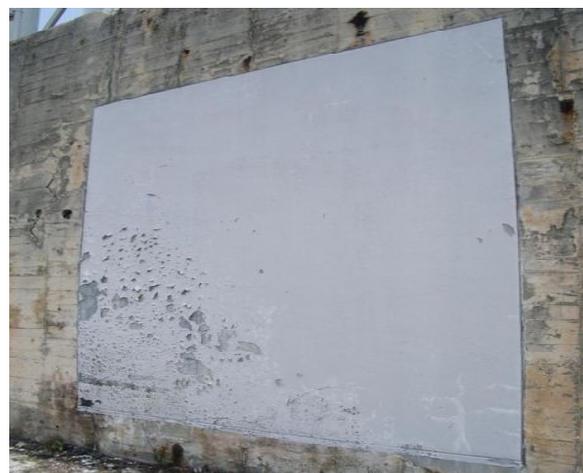


写真-13 電気防食施工後17年目の状況 (2006年)



写真-14 非電気防食部の状況（2006年）

また、非電気防食部である写真-14では、塩害によるコンクリートかぶりのはく離が大きく進行しており、防食効果の確実性を把握することができる。

適用事例 ②



写真-15 電気防食後の状況（1991年）



写真-16 電気防食施工後15年目の状況（2006年）

同様に写真-15および写真-16は、1991年に電気防食の施工を実施した沖縄県の建築建屋の施工直後と施工後15年後（2006年）の状況で、本電気防食もチタンメッシュ方式である。電気防食の施工対象は、柱と梁部である。施工15年後の状況では、塩害の進展は全く認められず、また、電気防食施工後に壁面の塗装を実施したこともあり、施工直後よりも現状の方が美観的には優れている。

このように電気防食は、適用事例からも電気防食の効果を把握することが可能な域に達しており、種々のコンクリート構造物に適用されるに至っている。

適用事例で施工件数の多い構造物は、橋梁と栈橋である。

適用事例 ③

橋梁は、栈橋と比較して、塩害環境が比較的穏やかであるため、栈橋よりも少ない通電電流密度で所定の防食効果を得ることが可能な場合が多いため、現状では、写真-17に示すチタンリボンメッシュを用いた溝切方式を用いることが多い。また、この方式では、溝内に陽極が設置されているため、橋梁の変形に対する追従性の面からも適用性が高く、さらに、表面塗装などの補修が既に実施されている場合でも、塗膜の除去が必要ないため、再補修での電気防食の適用性に優れている。

なお、写真-17は、幅25mm程度の溝を切り、チタンリボンメッシュを溝に対して横置きで配置した事例であるが、溝切の幅を小さくして、チタンリボンメッシュを縦置きで配置する手法も実施されており、施工コストの低減を図っているが、この場合、陽極のかぶりが小さくなる場合があるため、この点に注意する必要がある。



写真-17 橋梁へのチタンリボン方式の適用例

一方、栈橋の場合は、橋梁と比較して、塩害腐食環境が厳しく、また、潮位の影響を受ける場合が多いため、状況に応じた防食方式の選定が必要になる。

土木学会の電気化学的防食工法設計施工指針（案）では、大気中と干満帯や水中部を同時に電気防食の対象とする場合には、防食回路を分けることを基本としており、以下に、このような場合の適用事例を紹介する⁵⁾。

適用事例 ④

図-4は、防食対象部が梁部のみで、梁の位置と潮位との関係は、HWLの約1m上部が梁底面であるため、大気中のみで防食回路を構成し、チタンメッシュ方式の電気防食を採用した事例である。東京港の大井コンテナ埠頭が代表的な事例で、約1万㎡に適用されている。写真-18に大井埠頭の状況を示す。

なお、大井埠頭栈橋では、コンテナクレーンのレール下の桁は、クレーン荷重を受けるため、桁が大きく、約20cm程度が水中に水没し、塩害による劣化損傷が非常に激しく、桁全体の断面修復を伴ったため、先に述べた陽極先付のグラウト工法も適用している。

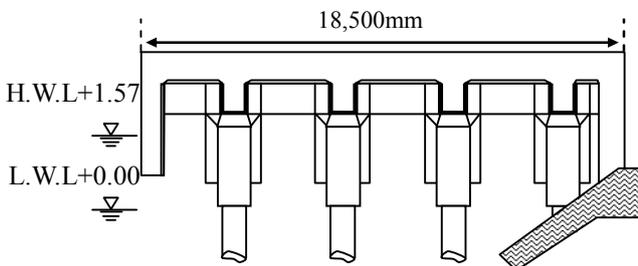


図-4 大気中のみが防食対象栈橋の事例



写真-18 大井コンテナ埠頭での適用事例

適用事例 ⑤

図-5は、瀬戸内海にある栈橋の事例で、梁高が大きいことおよび瀬戸内海は干満差が大きいこともあり、HWLが梁の中間部にあり、梁全体を防食対象とした事例である。

この場合、防食対象の梁は、大気中と干満帯に分けて防食回路を構成することが基本であり、防食回路を分けることとした。また、干満帯では、流木等により設置した電気防食用の陽極が破損する可能性があるため、これを最小限に抑えるために、溝切方式でチタンリボンメッシュを適用することとした。写真-19に施工後の状況を示す。

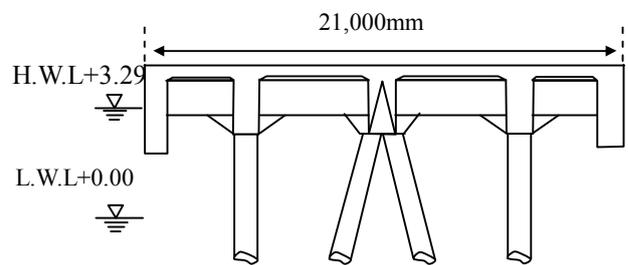


図-5 溝切方式での水中と干満帯の電気防食事例

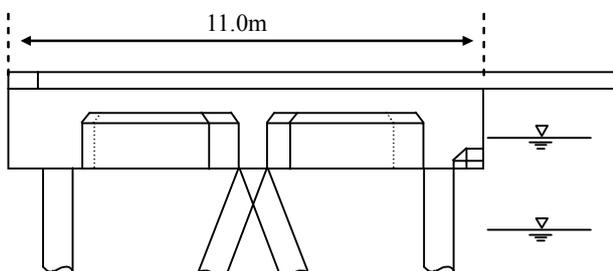


写真-19 瀬戸内海にある栈橋への適用事例

適用事例 ⑥

図-6は、腐食環境がさらに厳しく、梁の大部分がHWLで水没し、工事に確保できる作業時間が4時間程度の場合の事例である。当然、腐食環境も非常に厳しく、梁部の防食基準を満足するための通電電流密度が大きく、床版部も電気防食の対象となる状況である。必然的に、梁部では、陽極の被覆をモルタルを左官で施工する手法では、モルタル硬化前に水没し、モルタルが流される可能性が大きいため、梁部では、3.2で紹介した永久型枠方式での施工のみが可能で、これを

適用することとした（写真－8参照）。なお、床版部は、水没しないため、施工コストが安価な溝切によるチタンリボンメッシュ方式とした。



図－6 梁の大部分が水没する場合の適用事例

適用事例 ⑦

本適用事例は、沖縄県に存在する栈橋で、塩害による鉄筋の腐食が非常に激しく、かぶりコンクリートはつり後、全ての鉄筋を置き換える必要があった。また、置き換えた鉄筋も再腐食の可能性が非常に大きいため、電気防食を併用することとした。



写真－20 置き換え鉄筋の設置状況



写真－21 補強併用電気防食用陽極の設置状況

その際、従来と同様の径の鉄筋を用いる場合では、断面復旧厚さが約 100 mm と非常に大きくなるため、新たに設置する鉄筋の径を小さくし、これに炭素繊維製の格子状補強材とチタンリボンメッシュを併用した製品（エルグリッド）を使用し、断面復旧厚さを 55 mm とすることを可能とした。なお、本補強用電気防食陽極と鉄筋との合計設計曲げ耐力は同等となるように置き換え鉄筋の径および炭素繊維補強材の大きさおよび格子目を決定した。写真－20 に鉄筋設置状況、写真－21 に電気防食併用補強材の設置状況を示す。

4. おわりに

コンクリート構造物への電気防食の適用に関して約 20 年に至る経緯を紹介したが、現在でも、コンクリート構造物の電気防食は、適材適所に応じた最適な施工方法や施工コストの低減を目指した技術開発を実施しており、本解説には、紙面の都合で記述することができなかったが、ライフサイクルコスト（LCC）や遠隔管理制御システムなど、最新の情報も多数存在する。これらについては、次回、紹介することとする。

本解説がコンクリート構造物の電気防食を理解するための一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会；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, 2001.11
- 2) 栗原哲彦；コンクリート劣化診断と補修技術概論，工業用水，No587, 2008.3
- 3) 蒔田實，福手勤監修，日本エルガード協会編；最新コンクリート構造物の電気防食Q&A，新建新聞社，2008.5
- 4) 電気化学的防食工法研究会；総会資料，2008.7
- 5) 峰松敏和；コンクリート構造物の電気防食（2005年），コンクリート診断士研修会 調査報告書 '06，日本コンクリート工学協会，2006.9