

コンクリート構造物の電気防食技術とその適用事例*

日本エルガード協会**

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の耐久性に起因する劣化損傷の顕在化が問題となっている。

これに伴い、(財)土木学会は、2001年にコンクリート標準示方書に〔維持管理編〕を新たに追加し、また、日本コンクリート工学協会は、2000年から「コンクリート診断士」の資格を新たに設置するなど、コンクリート構造物の耐久性に着目した活動も活発化している。

コンクリート構造物の耐久性を低下させる劣化の原因としては、① 中性化、② 塩害、③ 凍害、④ アルカリ骨材反応、⑤ 化学的腐食、などがあり、これらの複合劣化も問題となっている。

これらの劣化因子のうち、塩害は、米国や欧州、中近東、東南アジアなども含めた世界的問題になっており、その対策が急がれ、電気防食は、世界的標準として適用されている。

我が国では、2001年に(財)土木学会が「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)¹⁾を発刊し、電気防食工法を塩害や中性化で劣化損傷したコンクリート構造物の補修工法として取り上げ、また、新設構造物への適用もその範疇としている。

本解説においては、上記の設計施工指針(案)も含め、コンクリート構造物の電気防食技術や電気防食適用の経緯および現状での電気防食の適用事例とその状況等について紹介する。

2. コンクリート構造物の電気防食技術

2.1 塩害と腐食反応

コンクリート中の鋼材(鉄筋)は、コンクリート(セメント)の高アルカリにより、鋼材表面に不動態皮膜が形成されており、鋼材は腐食から保護されている²⁾。これは鉄筋コンクリートが成り立つための条件の1

つとなっている。

コンクリート構造物の塩害は、コンクリート中に塩化物イオンが浸透し、塩化物イオンの影響で不動態皮膜が破壊され、不動態皮膜が破壊された部分では、鉄は安定な状態に移行していく。すなわち、鉄は自然界では、酸化鉄として存在し、これを強制的に還元して使用しているものが鉄であり、鉄の安定な状態とは、酸化鉄(錆)である。そのために、不動態皮膜が破壊された部分(アノード部)では、鉄は電子を放出し、酸素や水と結びついて錆となる。

錆は、元の体積の約2.5倍に膨張するため、引張強度の小さいコンクリートにひび割れを生じさせ、ひび割れが更に進行すると、かぶりコンクリートを剥離、剥落させ、鋼材は、大気と直接接触することとなり、錆は、更に進行し、鋼材の断面欠損が大きく進行することとなる。

図-1は、腐食発生のモデル図で、鉄が電子を放出する現象は、鋼材中で電流が流れる現象であり、この電流を腐食電流と呼び、また、電子を放出する部位(アノード部)と受け取る部位(カソード部)の間では、電位の差が生じる。この電位の差は、図-2に示すように腐食が激しいものほど大きくなり、この原理を利用した腐食程度の判定試験方法が、ASTM-C876である。このように腐食反応は、電気化学的反応である。

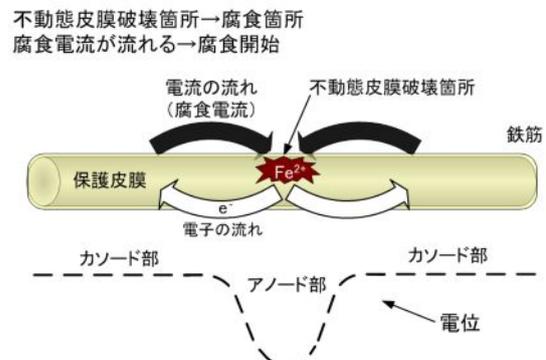


図-1 腐食発生の概要図(腐食は電気化学)

*Application and Technology of Cathodic Protection for Concrete Structures

**JAPAN ELGARD ASSOCIATION, (102-8465 東京都千代田区六番町 6-28)

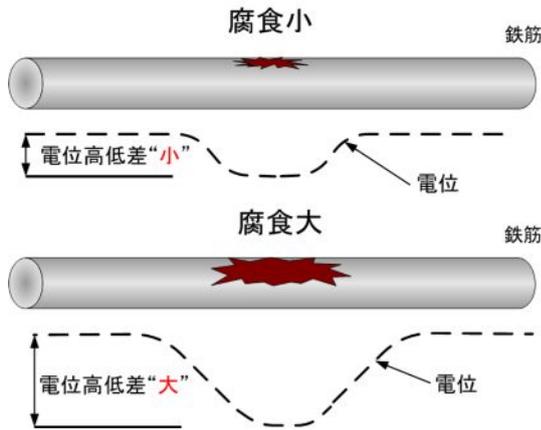


図-2 腐食の大小と電位差の大小

2.2 電気防食の原理³⁾

電気防食の原理は、図-3に示すように、腐食反応によって発生する電位の差を無くし、腐食電流の流れを停止することである。そのためには、コンクリートの表面に新たに陽極を取り付け、陽極をプラス、鉄筋をマイナスにして、直流電流(防食電流)を通電する。これを陰極防食(Cathodic Protection)と言う。

この供給する防食電流が、発生している腐食電流を上回り、適正な防食電流量に達した時に腐食電流による電位差が消滅し、腐食が停止することとなる。この適正な防食電流量は、土木学会の指針(案)等では、非電気防食時の電位(自然電位)からマイナス側に100mV以上シフトした電位が得られる防食電流量を目安としている。

また、図-3にあるように、防食電流を供給することは、常時、電子(e-)供給することでもあり、電子を放出した Fe^{2+} が多量の電子と接触し、 Fe に戻ることと、電気防食を説明することもできる。

このように外部から強制的に防食電流を供給し、腐食を停止させる防食方式を外部電源方式と呼ぶ。

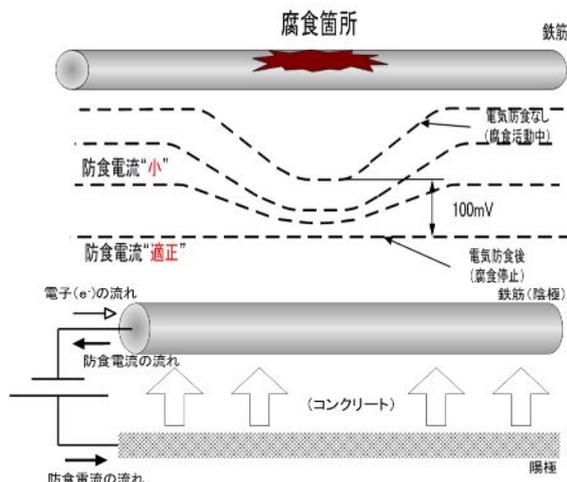


図-3 電気防食の原理の概要

一方、海水中の鋼管杭や土中の埋設管などにおいては、鉄よりも卑(マイナス)な金属、たとえば、亜鉛やアルミニウムなどを用い、鉄と卑な金属の電位差で電流を発生させ、この発生電流で腐食電流を打ち消す流電陽極(犠牲陽極)方式がある。流電陽極方式は、電源装置を必要としない利点を有しているが、発生する電流量を調整することができないため、コンクリート構造物の電気防食においては、コンクリートの抵抗や腐食程度に応じた制御が不可であり、外部電源方式の電気防食と比較して、その施工実績は非常に少ない。

また、防食電流を供給するための陽極材の形状で、面状方式、線状方式、点状方式に分類され、防食効果の均一性は、面>線>点状の順である。

2.3 コンクリート構造物への電気防食適用の経緯

電気防食技術は、1824年に船舶への流電陽極方式が、1905年に蒸気ボイラーや配管への外部電源方式の電気防食適用が実施されるなど、海水中や土中の鋼構造物への適用の歴史は古い。

コンクリート構造物の塩害が最初に問題となったのは、米国である。

米国では、1960年代に「完全除雪道路対策(Bare Road Policy)」が多くの州で採用され、凍結防止剤の散布量が大幅に増加した。この結果、1970年代後半から塩害による鋼材の腐食が問題となり始めた。写真-1は、この頃の道路上面の塩害による劣化損傷状況で、写真-2は、橋梁下面の損傷状況である。また、散布された凍結防止剤は、車に付着して駐車場に運ばれ、駐車場で融解して蓄積し、写真-3にあるような崩壊事故につながる事例も存在した。



写真-1 米国における道路上面の塩害劣化損傷

これらの対策として断面修復などの補修が実施されたが、全く効果がなく、新しい対策として検討された工法が電気防食工法である。電気防食は、海洋の鋼構造物やパイプラインなどでは多数の実績を有していたが、電気抵抗の大きいコンクリートに適した工法を開発することに注力された。



写真-2 米国における橋梁下面の塩害劣化損傷



写真-3 米国の駐車場の塩害による崩落事故

写真-4³⁾は、1974年頃に実施された世界最初のコンクリート構造物の電気防食に適用された陽極で、直径30cm程度の高珪素の铸铁を1次陽極とし、これを導電性

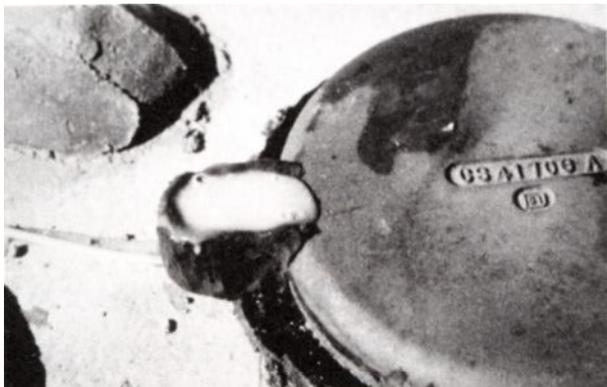


写真-4 珪素鉄の铸件による陽極

のアスファルトで覆う方法で、道路上面の電気防食が行われ、電気防食の有効性は確認されたが、寿命が短いなどの理由で、定着するには至らなかった。

その後、カーボン（炭素）を陽極材に使用する電気防食の工法がいくつか開発されたが、通電によるカーボンの消耗激しく、寿命が短いことが欠点であった。

写真-5は、カーボンを用いた電気防食の一例で、コンクリート上面に一定間隔の溝を切り、この溝に白金ニオブ銅線を入れ、カーボンを混入したペーストを流し込む工法で、溝式ノンオーバーレイと呼ばれる工法である。



写真-5 溝式ノンオーバーレイ方式の電気防食

この陽極材の寿命を延ばす電気防食として開発された技術が、工業用電解槽プラントなどで用いられている金属チタンの表面に白金系貴金属の酸化物を焼付コーティングした高耐久性の電解用電極を応用する技術で、1984年に開発されたエルガードチタンメッシュ陽極である。

この陽極材は、大電流を通電する促進試験を実施し、試験に合格したものは、40年の陽極寿命を保証している。

写真-6は、このエルガードチタンメッシュを用いた道路上面の電気防食の陽極設置状況で、ロール状の陽極を防食対象に広げ、所定の接続等を行った後に、コンクリートを打設するため、施工も非常に簡便である。



写真-6 チタンメッシュ方式の陽極設置状況