

道路橋RC床版の塩害に着目した電気防食技術の動向

日本エルガード協会 ○峰松 敏和 若杉 三紀夫
日大生産工 阿部 忠

1 まえがき

道路RC橋床版の主たる損傷・劣化の原因は、走行輪荷重に起因する疲労であるが、近年、道路の凍結対策として散布される凍結防止剤の増加に伴う塩害による損傷も問題となっている。凍結防止剤の散布量の増加に伴う塩害は、1980年代の米国において重大な問題となった先例がある。この事象は、1980年代の「荒廃するアメリカ」の一因でもあり、現在でも、この後遺症から完全に脱却できてはいない。

この凍結防止剤による塩害の対策技術として開発された工法が、コンクリート構造物に対する電気防食技術である。

本報告では、上記を踏まえ、コンクリート中の鋼材の腐食のメカニズムや電気防食の原理、米国における道路橋床版への電気防食技術の開発および適用、我が国における道路橋床版への電気防食の適用の状況等について紹介する。

2 腐食のメカニズムと電気防食の原理

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、鋼材は腐食から保護されている。これは鉄筋コンクリートが成り立つための条件の1つである。

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

りコンクリートをはく離、剥落させ、鋼材は、大気と直接接触することとなり、錆は、更に進行して、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る。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、各々の電位に差が生じる。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る。この原理を利用した試験方法がASTM-C876の自然電位による腐食度判定であり、腐食反応は、電気化学的反応であると云える。

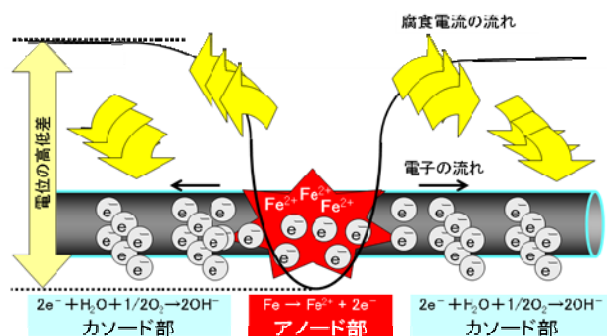


図1 腐食発生の概要図

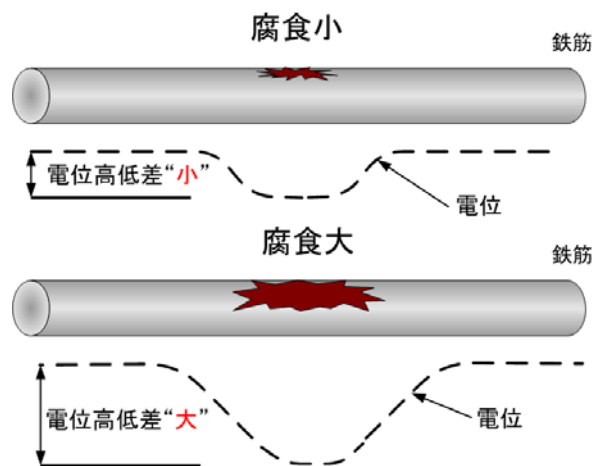


図2 腐食の大小と電位差の大小

Technical Situation of Cathodic Protection for Reinforced Concrete Slab Bridges

Toshikazu MINEMATSU, Mikio WAKASUGI and Tadasu ABE

一方、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腐食電流によって生じ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、直流の電流（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）¹⁾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、防食電流を供給することは、常時、電子（ e^- ）を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。

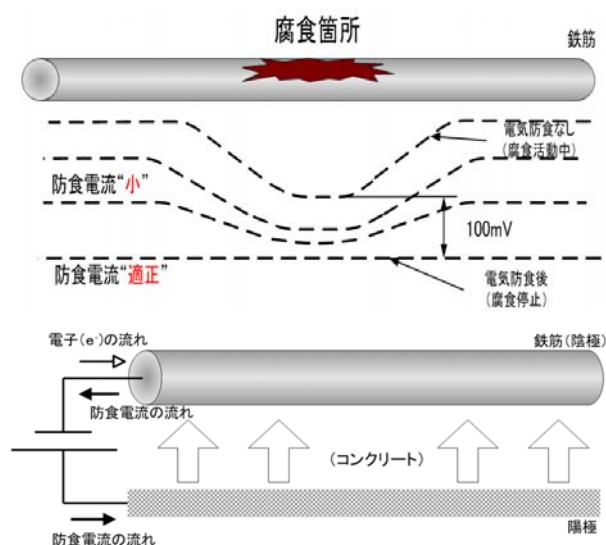


図3 電気防食の原理の概要

3 道路橋床版への電気防食技術の開発

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。

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

橋梁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のような崩壊事故も発生した。

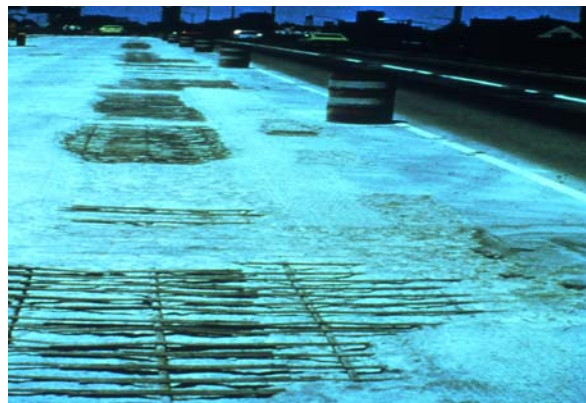


写真1 橋梁上面の塩害による損傷（米国）



写真2 橋梁下面の塩害による損傷（米国）



写真3 駐車場の塩害による崩落（米国）

このような凍結防止剤による塩害の対策として、断面復旧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るが、電気抵抗の大きいコンク

リートに適用するための改良が進められた。

写真4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程度の高珪素の鑄鉄を1次陽極とし、これを導電性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。



写真4 珪素鉄の鑄物による陽極

その後、カーボン（炭素）を陽極材に使用する電気防食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が激しく、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

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橋床版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

4 日本における道路橋床版の電気防食

我が国におけるコンクリート構造物への電気防食の適用は、1980年代後半からである。

この頃の日本での塩害は、凍結防止剤による塩害よりも飛来塩化物イオンによる塩害が顕著で、道路橋床版においても、桁を含めた橋梁下面への適用が主であった。

写真7は、沖縄県のPCT桁橋梁下面への電気防食の適用事例で、1992年に全16桁のPCT桁と床版の塩害補修が実施された。補修工法は、14桁に対してのシース管へのグラウト注入、断面修復および表面被覆で、他の2桁には、電気防食の試験施工が実施された。試験施工に適用された電気防食の方式は、防食対象のコンクリート表面全体に陽極を設置するチタンメッシュ方式と亜鉛シート方式で、チタンメッシュ方式は、外部電源方式、亜鉛シート方式は、流電陽極方式である。

補修後、10年程度経過の後、断面修復＋表面被覆での箇所にも再劣化の兆候が確認され始め、損傷の進行が顕著になったことや流電陽極方式の亜鉛シートの消耗耐用年数が15年であることなどを考慮し、2007年に再補修工事が実施された。

再補修に適用された補修工法は、電気防食の試験施工の結果を踏まえて、外部電源方式の電気防食で、線状の陽極をコンクリート表面の溝切部に設置するチタンリボンメッシュ方式である。（面状方式のチタンメッシュ方

式では、試験施工の結果、陽極のモルタル被覆の一部に浮きやひび割れが散見された。)

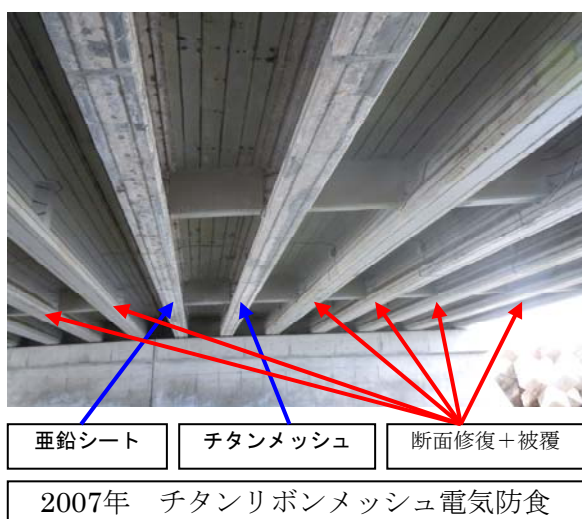


写真7 PCT桁橋梁下面の電気防食事例

表1は、日本における道路橋床版への電気防食の適用事例の主たる実績であるが、いずれも橋梁下面への適用であり、上面からの適用事例は、試験施工を除き、皆無である。これは、米国の道路や橋梁がコンクリート舗装が主であるのに対し、我が国では、アスファルト舗装が主であるため、塩害による損傷が直接的に目視確認できないことも一因であると考えられる。

表1 道路橋床版への電気防食の適用事例

件名	施工面積	施工時期	構造
北海道古平町道路橋	40	90.8～91.9	RC桁
沖縄県名護市道路橋	70	92.2～92.3	PCT桁
北海道古平町道路橋	280	94.9～94.12	RC桁
神奈川県横浜市道路橋	3,293	98.8～99.3	PCT桁
青森県道路橋	1,479	02.11～03.3	RC桁
鹿児島県川内市跨線橋	1,222	04.06～05.01	PCT桁
福岡県福岡市道路橋	303	04.09～05.03	PCT桁
福岡県福岡市道路橋	625	06.02	未確認
長崎県道路橋	386	6.03	鋼桁
宮崎県道路橋	571	6.03	PCT桁
沖縄県名護市道路橋	1,201	2007.03	PCT桁
鹿児島県阿久根市道路橋	2,668	2006.12	PCT桁
宮崎県日南市道路橋	534	2007.03	PCT桁
鹿児島県道路橋	222	07.08	RC桁

しかしながら、1991年のスパイクタイヤ禁止条例後、我が国でも凍結防止剤の散布量が大幅に増加し、20年を経過した現在、凍結防止剤による塩害は、重大な問題となっている。

写真8は、凍結防止剤が比較的多量に散布される地域のPCT桁橋梁下面の状況である。床版上面に散布された凍結防止剤がアスファルトを透過し、コンクリートに浸透して、間詰めコンクリート下面に白色析出物とし現れている。PCT桁橋梁は、桁と間詰めコンクリ

ートで構成され、間詰めコンクリートは桁部より、品質が劣り、通常の状態でも濃淡電池が形成される。さらに、塩化物イオンは品質の劣る間詰め部に、より浸透するため、塩化物の濃淡によるマクロセル腐食が生じ易い構造であり、凍結防止剤による塩害の進行には注意を要する構造と考えることができる。



写真8 凍結防止剤散布地域のPCT桁橋梁

また、現在、我が国で問題となっている凍結防止剤による塩害は、散布された凍結防止剤が橋梁ジョイント間から下面へ流れ込み橋梁端部での塩害が進行する事例がある。この対策として断面修復等の対策が実施されているが、更なる対策として、電気防食を適用するための研究も進められている。

5 まとめ

道路橋床版の塩害に着目し、腐食のメカニズムや電気防食の原理、米国における道路橋床版の塩害と電気防食技術開発、並びに日本における道路橋床版への電気防食の適用の現状などについて紹介した。

日本における凍結防止剤の散布量は、スパイクタイヤ禁止後急激に増加している。凍結防止剤の影響を最も顕著に受ける構造物は、橋梁であり、床版である。道路橋床版の塩害対策は、非常に重要な課題となると考える。

「荒廃するアメリカ」とならないように適切な維持管理の実施や、適切な対策が実施できる技術開発が行われることを期待します。

「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) 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
- 3) 日本エルガード協会各種資料