

チタングリッド工法による塩害対策について

駄場 省二

四国地方整備局 中村河川国道事務所 中村国道出張所(〒787-0010 高知県四万十市古津賀山2286-6)

従来、鉄筋コンクリート構造物は耐久性に優れていると言われてきたが、近年塩害や中性化等などの要因により、構造物の劣化が全国的に報告されている。本報告では、四国では初めてとなる大がかりな橋梁の電気防食工事を行ったため、現況調査から対策工事施工までの報告をするものである。

キーワード 有井川橋、塩害、電気防食、チタングリッド

1. はじめに

有井川橋は一般国道56号高知県西部の幡多郡黒潮町に設置されている3径間単純ポストテンションT桁橋であり、昭和44年(1969年)に竣工した。高知県の東西を結ぶ橋梁として重要な役割を果たしている橋梁だが、海岸線から約30mという厳しい環境におかれた橋梁である。

本橋梁は塩害による劣化が顕著になったため平成13年(2001年)に部分断面修復及び表面被覆塗装を行った。

表-1に過去の補修履歴を示す。

その後さらに劣化が確認されたため、2006年に対策検討を行い、2007年に対策工事を行った。

表-1 補修履歴

	架設後	記事
1969年		有井川橋竣工
1980年	11年	主桁等部分断面補修
1989年	20年	主桁等部分断面補修
1992年	23年	沓座補修・落橋防止装置修復
1997年	28年	橋梁点検で塩害劣化の指摘
2001年	31年	部分断面修復+表面被覆塗装

表-2 塩分量試験結果



2. 現況調査

対策を行うにあたり、桁の塩分量試験及び中性化試験について現況調査を行った。塩分量試験は主桁側面2箇所及び横桁側面2箇所においてコンクリートコア削孔を行い、電位差滴定法を用い調査を行った。中性化試験については主桁側面2箇所及び横桁側面2箇所においてコンクリート削孔を行い、フェノールフタレイン溶液による反応の測定を行った。

調査の結果を表-2に示すが塩分量試験の結果においては桁の鉄筋位置において1.40kg/m³~3.13kg/m³の塩化物が含まれている結果となり、鋼材腐食発生限界濃度¹⁾の1.2kg/m³の数値を全ての調査箇所を上回った。中性化試験の結果については調査箇所の1つで最大11mmの中性化が確認されたが、その他の箇所では大きな中性化の進行は確認されなかった。調査の結果、劣化の要因は飛来塩分及び内塩分による塩化物イオンの影響が大きく、中性化は直積的な劣化要因ではないと考えられる。

	採取位置	試料	CL- (%)	CL- kg /m ³		採取位置	試料	CL- (%)	CL- kg /m ³
1	A1 ~ P1 主桁側面	①	0.118	2.71	2	A1 ~ P1 横桁側面	①	0.091	2.09
		②	0.061	1.40			②	0.063	1.45
		③	0.058	1.33			③	0.048	1.10
		④	0.056	1.29			④	0.040	0.92
		⑤	0.053	1.22			⑤	0.036	0.83
3	P2 ~ A2 主桁側面	①	0.145	3.34	4	P2 ~ A2 横桁側面	①	0.174	4.00
		②	0.075	1.73			②	0.136	3.13
		③	0.050	1.15			③	0.044	1.01
		④	0.034	0.78			④	0.031	0.71
		⑤	0.027	0.62			⑤	0.039	0.90

3. 対策工法の検討

(1) 対策工法の比較

対策工法として従来工法も含めた3案の対策案について検討を行った。

- 第1案 部分断面修復+電気防食工法
- 第2案 部分断面修復+表面被覆塗装(従来工法)
- 第3案 全断面修復+表面被覆塗装

第1案は、電気防食に使用する陽極材の設置箇所を切削するだけで施工が可能のため、桁に与える影響が最小限であり、供用中の施工にも適している。施工にかかる工事費については従来工法に比べ約4倍の工事費が必要である。施工後は、年に1回程度の点検を行い防食効果の確認を行う必要がある。

第2案は塩害対策工法として従来から行われている施工方法である。劣化箇所のコンクリートをはつり、断面補修材で埋め戻す。そのため、補修箇所以外の塩分が除去されておらず、さらには補修部と未補修部との間で電位差が生じ、マクロセル腐食が起こる可能性もあり、比較的早い段階で再劣化が発生することが予想される。工事費については、劣化部分のみの補修のため3案中最も安価である。

第3案は鉄筋位置まで塩化物を除去するために、桁の全断面においてコンクリートのはつりを行い、断面修復材にて埋め戻す方法である。塩化物を完全に除去するため、第2案に比べると再劣化の可能性は低くなるが、桁全面において深さ60mm程度のはつりを行うことが予想され、PC桁の軸力断面を大幅に喪失させてしまうことが考えられる。一度喪失した軸力は断面修復では回復しないため、橋梁の耐荷力不足が考えられ橋梁の構造上問題があると考えられる。工事費についても3案中最も高価となる。

また、有井川橋の残存供用年数を仮に40年と設定した場合のライフサイクルコスト(初期工事費に40年後までに必要と考えられる維持補修費を加味)を比較してみると、第1案が第2案に比べ約30%のコスト削減となり第1案が最も安価となる。

以上の結果より総合的に判断した結果、第1案の部分断面修復+電気防食工法を採用した。

(2) 電気防食工法の比較

電気防食工法にも種類があり、図-1に示すように電流を通電する陽極材の設置方法により方式が異なる。

陽極材を防食範囲全面に貼り付けや溶射する面状陽極方式、コンクリート表面に溝を切削しチタングリッド等の線状陽極材を設置後、断面補修材にて埋戻す線状陽極方式、一定間隔で削孔し、削孔穴に陽極材を設置する点

状陽極方式がある。

各方式ともに工事費についてはあまり差がなく、有井川橋での施工性を考慮した。

有井川橋は平成13年(2001年)に表面被覆塗装を行っており、面状陽極方式の場合、防食電流の均一性については優れるが表面被覆塗装を一度、全面的に除去する必要がある。

点状陽極方式は防食電流の分布について均一でなく、局所的な防食に向いている。

以上の結果より有井川橋における電気防食工法は線状陽極方式(チタングリッド工法)を採用した。

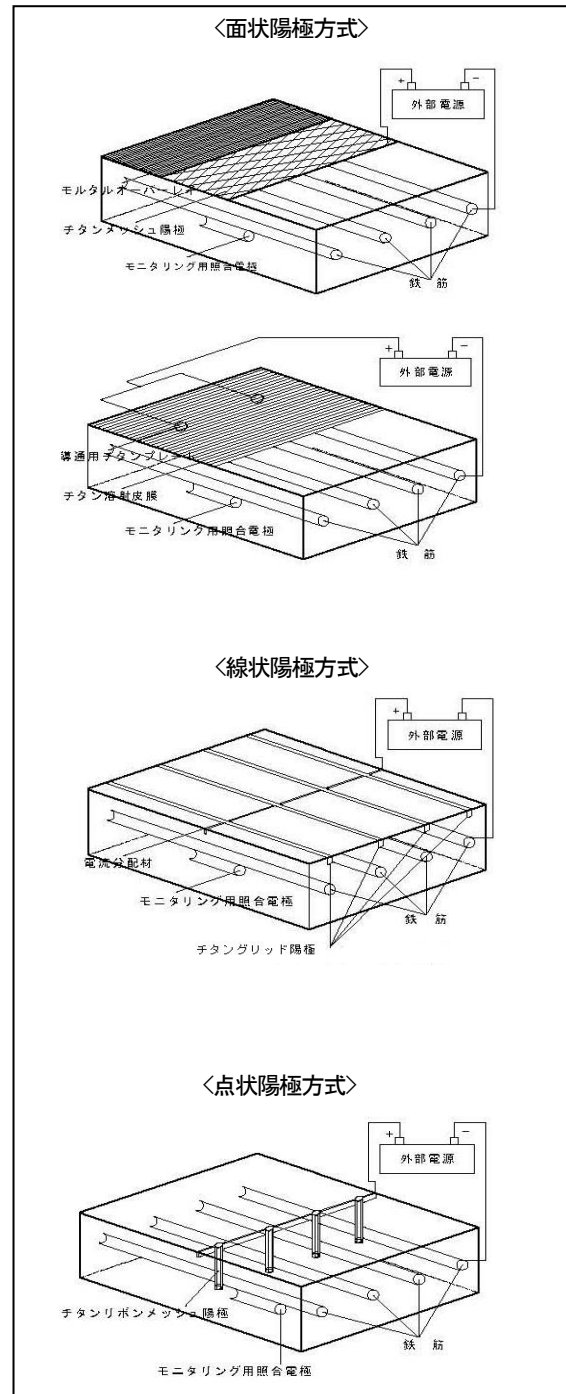


図-1 電気防食方式

4.電気防食の仕組み

電気防食の仕組みについて図-2に示す。

(1)不動態皮膜の形成

本来、鉄筋中に設置されている鉄筋はコンクリートのアルカリによって鉄筋の周りに不動態皮膜を形成し、コンクリート中に溶けている酸素や水分から鉄筋を守る役割をしている。

(2)不動態皮膜の破壊

コンクリート中の鉄筋はコンクリートという保護体と不動態皮膜という保護膜に守られているため、直接外気に触れることが無く腐食を起こすことはないと考えられてきた。しかし常に、潮風などを受けるコンクリート構造物は時間の経過と共に塩分がコンクリート内に浸透していき、塩分が鉄筋表面に到達すると鉄筋の不動態皮膜を破壊する。

(3)腐食電流の発生

鉄は鉄鉱石を人工的に精錬して作った不安定な物質であり、不動態皮膜が破壊された箇所では鉄筋が安定した状態に戻ろうとする反応つまり、腐食が始まる。

腐食の進行している箇所では鉄がイオン化しコンクリートに溶け出す一方で電子が鉄筋中に残されるため、腐食部と腐食していない健全部との間に電子量のアンバラ

ンスが発生する。それに伴い鉄筋中の電子バランスを保つために腐食部から健全部へ向けて電子の移動が発生する。

電子の移動に伴い、腐食部と健全部で電池が形成され電流が発生する。腐食電流の発生である。

腐食電流はコンクリートを介して、腐食部から健全部へ流れ腐食が進行していく。

(4)電気防食の原理

物質には電位という電気的な位置エネルギーがあり、腐食の進行している箇所では鉄がイオン化することにより電子が鉄内部に残されるため、腐食の進行していない健全部に比べ電位が低くなる。

腐食の進行速度は腐食部と健全部での電位の高低差と同じであり、電位の高低差が大きいほど腐食の進行が早いということである。

そのため、電気防食は腐食の原因である電位の高低差を無くすためコンクリート表面に陽極材を設置し、鉄筋やPC鋼材を陰極として直流の電流、いわゆる防食電流を流す。

防食電流は腐食していない健全部へ流れ、健全部の電位が下がる。これは、防食電流を流すことにより、電子の少ない健全部に電子が供給されるためである。

防食電流を増加させていくと、やがて腐食部と同じレベルまで電位が下がり、電位の高低差が無くなる。電位の高低差が無くなることにより、腐食電流が消滅し腐食の進行が止まるという仕組みである。

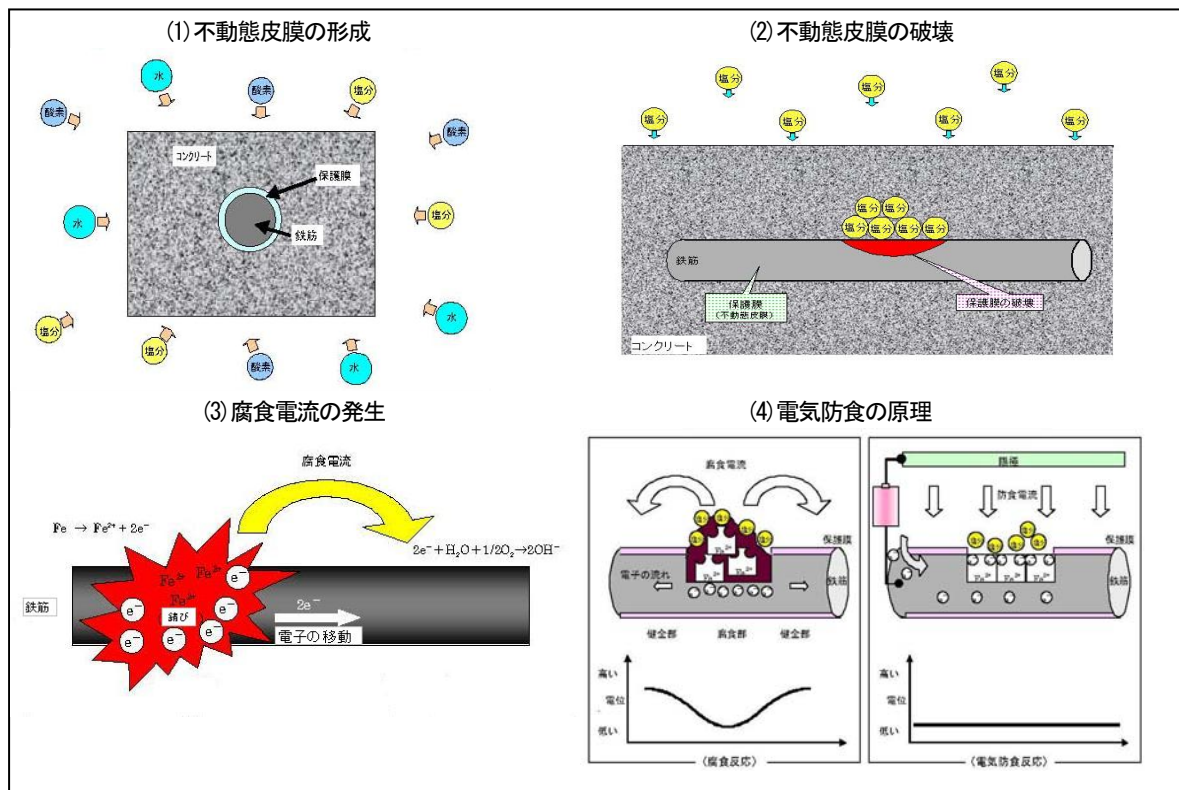


図-2 電気防食の仕組み

5.チタングリッド工法の概要

(1)構成部材

図-3にチタングリッド工法の概要図を示す。

チタングリッド工法は陽極材(チタングリッド), 電流分配材, モニタリング用照合電極, 外部電源装置にて構成される。以下構成部材について説明する。

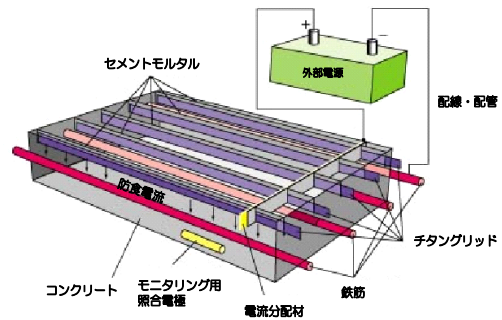


図-3 チタングリッドの概要

(2)陽極材(チタングリッド)

陽極材はコンクリート内部に設置して、コンクリートを通して鉄筋等の鋼材に電流を流す目的がある。

陽極材は電流を流すため金属が溶解することを避けるために一般に耐食性の優れたチタンが使用される。形状はメッシュ状であり、写真-1に状況を示す。

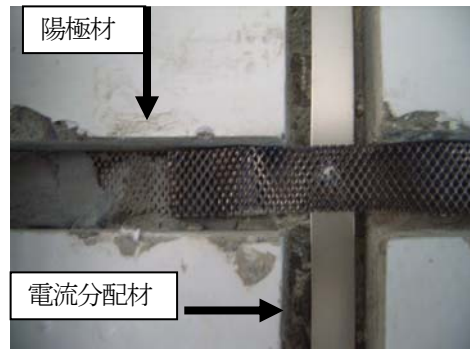


写真-1 陽極材及び電流分配材

(3)電流分配材

電流分配材は線状に設置された陽極材同士を接続し電流を流すため設置する。形状は帯状で材質は陽極材と同様にチタンである。陽極材との接続はスポット溶接を行った。写真-1に状況を示す。

(4)モニタリング用照合電極

電気防食は、対象とする防食箇所どの程度の電流を流せば良いか、正常に電気防食が作動しているか判断をする必要がある。照合電極は鋼材の電位を測定するセンサーで通電する電流量や電気防食が正常に作動しているかを判断するために設置する。

写真-2に状況を示す。



写真-2 モニタリング用照合電極

(5)外部電源装置

外部電源装置は、直流電源装置と測定回路板で構成されており、照合電極で測定された電位量や電流量、電圧がモニタ出来る仕組みとなっている。

写真-3に状況を示す。



写真-3 外部電源装置

6.工事概要

今回工事では橋梁桁下面1308.8㎡の対策を行った。
 図-4に電気防食適用範囲を示す。

7.チタングリッド工法の施工

チタングリッド工法の施工について主要な施工手順を
 図-5に示す。

(1)陽極材設置溝の切削

桁にマーキングを行い、切削位置の鉄筋探査を行った後、陽極材については幅16mm深さ15mm、電流分配材については幅12mm深さ15mmの切削を行った。

(2)排流端子・照合電極設置工

防食対象となる鉄筋に電流を流すため、排流端子を鉄筋に溶接し、設置を行う。モニタリング用照合電極はケーブルタイを使用し、所定の位置に設置した。また設置後は鉄筋間の導通確認試験を行い回路が正常に作動していることを確認した。

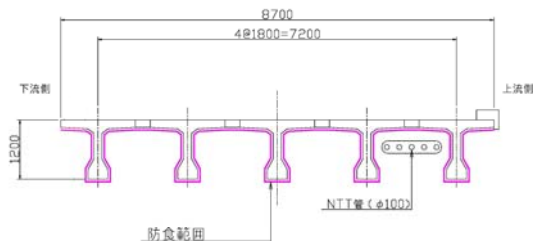
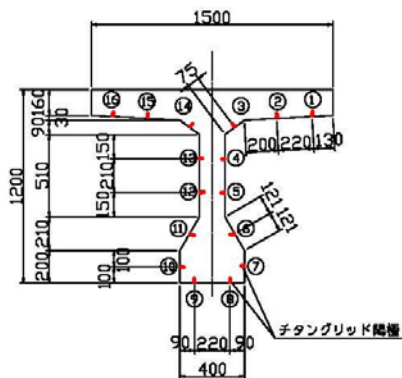


図-4 工事概要



(3)溝内部金属探査

溝切削後、コンクリート表面部に埋め込まれている鋼製スペーサーやセパレータ等の金属類が露出していないか確認を行った。金属類が露出している場合、これらの金属と陽極材が接触し腐食を起こすため撤去を行った。

(4)陽極材・電流分配材設置及び跡埋工

溝内の不陸整正を行った後、陽極材及び電流分配材の設置を行った。その後、陽極材間の導通確認及び陽極材と鉄筋間の絶縁試験を行いセメント系モルタルにて跡埋を行った。

(5)配線配管工

照合電極や排流端子に接続された電線を、合成樹脂可とう性電線管を使用し直流電源装置まで配管を行った。

(6)通電調整試験

通電する電流量を決定するため通電調整試験を行った。まず、電流量を徐々に大きくし、各回路において通電遮断直後の電位を計測した。その後、通電していない時(通電を遮断してから24時間後)の電位と通電遮断直後の電位の差が100mV以上となる電流量を決定した。

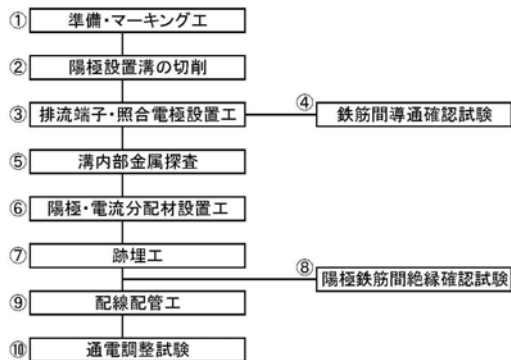


図-5 施工手順

8.おわりに

これまでの塩害防止方法としては、腐食の要因の一つである塩分の進入を防いだり既に進入した塩分を除去する方法が用いられてきた。しかしこのような方法では腐食の反応を停止させていないため、補修後に再劣化を繰り返してきた。塩害による鋼材腐食は電気化学的なものであり、電気防食は防食電流を流すことにより腐食反応自身を停止させるため信頼性の高い塩害対策工法である。残存供用年数を考慮し、検討を行えば今回のケースの用にトータルでは安価になる工法である。

参考文献

1)土木学会：コンクリート標準示方書(施工編)