

鉄道橋における電気防食工法 20 年経過後の実態調査結果

JR 東日本 構造技術センター 正会員 ○松尾 賢
 JR 東日本 構造技術センター 正会員 廣田 元嗣
 JR 東日本 新潟支社 新潟土木技術センター 丸山 秀紀

1. はじめに

1998 年に日本海沿線の鉄道橋において電気防食工法を採用し、21 年が経過した。当時、塩害対策は、低コストで一般的な断面修復が主な工法であったが、再劣化を繰り返しており、恒久的な補修工法を期待し、電気防食工法を当社で初めて採用した。当該橋梁は、電気防食工法の 5 方式（流電陽極方式 1 連、外部電源方式 4 連）を採用し、施工性や維持管理性、効果の比較検証を同環境で行うことも意図する対策現場である。本報告では、2019 年に詳細調査を実施したうち、流電陽極方式の調査結果を報告する。

2. 電気防食工法採用時の構造物状況と施工状況

対象構造物は、日本海沿岸に位置する 1974 年に建設された 7 連構成の鉄道橋である。7 連構成の内 1～5 連目に電気防食工法の 5 方式を 1998 年に採用し、1 連目のみ流電陽極方式（亜鉛シート方式）を採用した。1～5 連目桁の諸元を表-1 に示す。電気防食工法採用時の構造物の状況は、PC 鋼材に腐食等の変状は確認されず、主桁下フランジコーナー部のかぶりコンクリートに剥離・剥落、軸方向鉄筋は腐食し一部に断面欠損が見られる状況であった。電気防食工法採用時のコンクリート中の含有塩化物イオン量は、図-1 の通りである。海側桁ウェブの海側面において塩化物イオン量を Fick の拡散方程式によりフィッティング予測すると、表面塩化物イオン量、見掛けの拡散係数、初期塩化物イオン量は、それぞれ 7.5kg/m^3 、 $0.57\text{cm}^2/\text{year}$ 、 0.2kg/m^3 と推定された。

防食範囲は、図-2 の様に下フランジ部 85.5m^2 とした。亜鉛シート板取り付け時の特異事項として、桁下面の一部において、コンクリート面に凸部が存在していたため亜鉛シート板が密着しない部分が生じた。この対策として、亜鉛シート板の構成材料であるバックフィル材と同じパテ材をコンクリート面に塗布し、面を平滑に成形した後に亜鉛シート板を設置している。また、亜鉛シート板同士の隙間には、エポキシ樹脂を充填している。

3. 20 年間の防食電流及び復極量等

電流密度は年々減少しており、一般的な電気防食に見られる傾向を示した（図-3）。また、24 時間オフ電位及びインスタンオフ電位は、図-4 のとおり貴化傾向にある。これらのことから、鉄筋表面の不動態被膜が徐々に再形成されたと考えられる。復極量は、概ね 100mV 以上が維持されてきた。

表-1 構造諸元

建設年	1974年
構造形式	ポストテンションPCI形3主桁
桁長・支間	19.8m・19.0m
電気防食	1998年施工

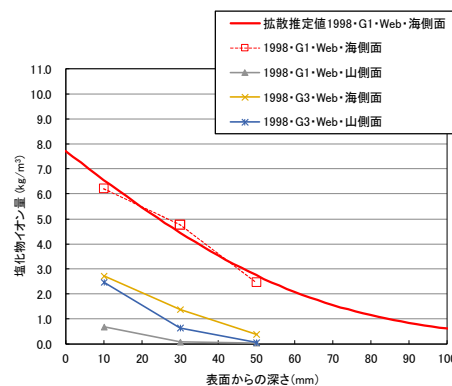


図-1 塩化物イオン量分布

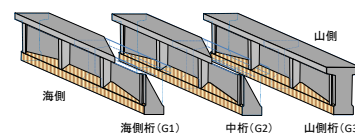


図-2 電気防食範囲（主桁下フランジ）

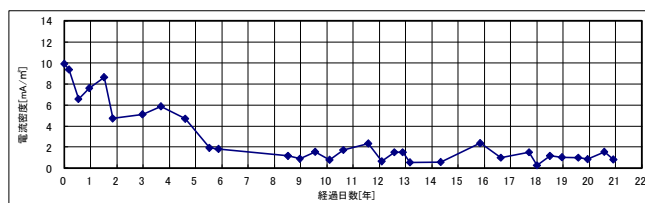


図-3 電流密度

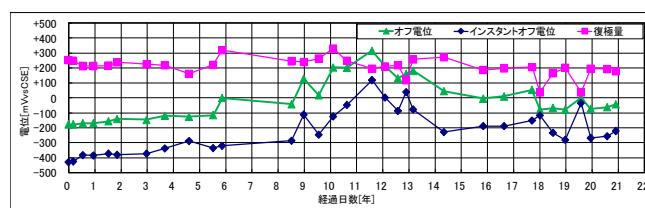


図-4 電位と復極量

キーワード 電気防食工法，流電陽極方式，亜鉛シート，塩化物イオン，復極量，余寿命

連絡先 〒163-0231 東京都新宿区西新宿 2 丁目 6 番 1 号新宿住友ビル 31 階 構造技術センター TEL 080-9688-9787

4. 調査結果

調査は、全体目視の他、電気防食効果の確認や長期期間の通電における物性の変化や現在の損傷などを把握するため、図-5 のとおり海側の第1主桁において3断面（概ね端部・桁中央・桁の1/4の位置）でパネル各5枚（全15枚）の取り外しを行った。

4-1. 目視調査

亜鉛シート板のFRP保護板のガラス繊維の露出（図-6）が海側桁の海側面、山側桁の山側面に確認された。また、一部に亜鉛板の膨れ（図-6）やボルトキャップからの錆汁が確認された。なお、ボルトキャップからの錆汁は、キャップを外し確認したところ、キャップ内の板取付けアンカー頭部の錆であった。

4-2. コンクリート表面における復極量の分布（マッピング）

パネルを取り外した3箇所において、橋軸方向に10cmピッチで電位測定し、図-7の通り復極量をマッピングした。全体的に防食基準である復極量100mV以上が得られており、モニタリング照合電極の代表点管理の適確性が確認できた。また、防食範囲外となる桁のウェブ下端から30cmの範囲においても、概ね50mV以上の復極量が維持されていることが分かった。

4-3. 塩化物イオン量調査

桁中央においてφ50×100mmの小孔径コアを採取し20mmピッチに粉碎し、塩化物イオン量について「JIS A 1154 硬化コンクリートに含まれる塩化物イオンの試験方法」により分析した。1998年（ウェブ）と2019年（フランジ）の桁中央付近海側面での塩化物イオン浸透量を図-8に示す。同一部位での比較ではないが、1998年と比較し2019年では表層の塩化物イオンが増加し、表面から40mm程度以深から減少する傾向が確認される。これは、コンクリート表面にある陽極材が、塩化物イオンを引き付けたと考えられ、10mA/m²程度から始まり現在1mA/m²程度という小さな電流密度を維持した亜鉛シートに脱塩効果があることを示している可能性がある。

4-4. 陽極材の消耗確認及び残存量

亜鉛シート板を取り外し、亜鉛以外の構成材料を除去した後、腐食によって生成した酸化物を薬液浸漬により溶解し、目視による状態観察及び残存亜鉛を秤量した。亜鉛は、偏って消耗する点が憂慮されていたが、そのような状態ではなく全体的に消耗している様相であった（図-9）。また、残存量から亜鉛の消耗率を算出すると表-2の通りとなる。塩化物イオン量が高い位置において消耗率が高いという傾向は見られず、概ね30%程度の消耗率であった。なお、消耗率から推定総寿命を計算すると60年以上となることが分かった。

5. まとめ

亜鉛シート方式を採用して21年が経過し、モニタリング照合電極による復極量は、100mV以上を概ね維持してきており、防食範囲における復極量の分布も100mV以上が確認された。また、防食範囲において躯体は健全であり、電気防食適用後の21年間は躯体補修をしていない。陽極材に関しては、更に40年以上の余寿命が予想される。

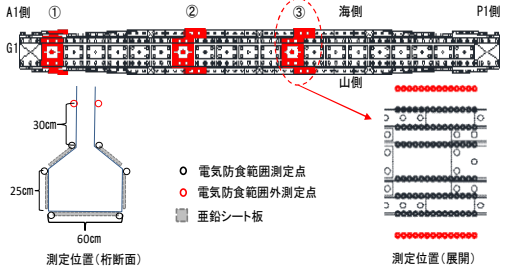


図-5 調査位置と電位測定位置



図-6 ガラス繊維露出・板膨れ

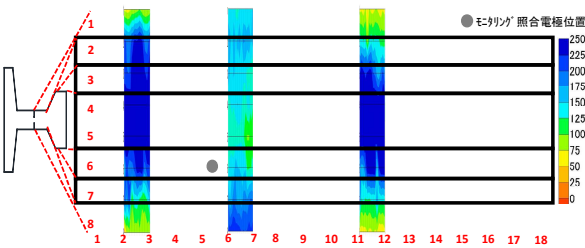


図-7 復極量マッピング

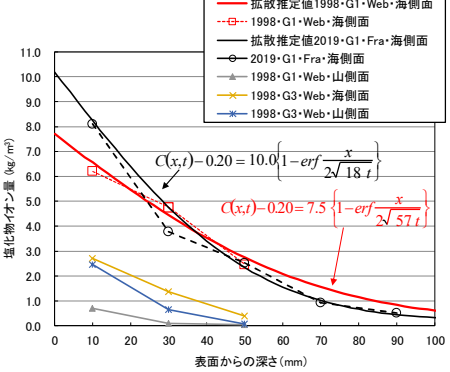


図-8 塩化物イオンの分布変化



図-9 亜鉛消耗状態

表-2 亜鉛消耗量 (G1)

試料名	亜鉛板				
	原板寸法 W (mm)	初期質量 W _i (g)	残質量 W _c (g)	消耗質量 W _e (g)	消耗率 W _e /W _i
③中央下面	460×760	2457.1	1601.3	855.8	34.8
③中央海側面	210×760	1118.1	809.4	308.7	27.6
③中央山側面	210×760	1118.1	733.8	384.3	34.4
③中央海側面斜	160×760	848.3	593.4	254.9	30.0
③中央山側面斜	160×760	848.3	597.9	250.4	29.5