

電気防食工法による PC-T 桁の補修補強 - 男鹿大橋 -

東北支店 PC 事業部 山信田正美
東北支店 PC 事業部 遠藤 靖

概要:男鹿大橋は、秋田市と男鹿市を結ぶ国道 101 号線の八郎潟河口から日本海にそそぐ船越水道に架かる橋梁である。昭和 47 年に架設され現在に至るまで 32 年が経過しており、平成 6 年には、両側径間の PC 桁について主桁表面を保護塗装する補修を行っている。本工事は道路の 4 車線化に伴い調査を行ったところ、既設橋梁の損傷が進行していること、道路橋示方書の改訂(平成 8 年 12 月)で活荷重が増大したことにより、橋梁全体にわたり補修補強工事を行ったものである。ここでは、男鹿大橋の側径間部分(PC ポストテンション方式 3 径間単純 T 桁橋)の補修補強工事(外ケーブル補強を併用した電気防食工事)について述べる。

Key Words: 電気防食工法, 外ケーブル, チタングリッド陽極, 溝切り

1. 橋梁概要

本橋は日本海沿岸より約 500m 離れた位置に架設され、冬季には海からの強い季節風にさらされる位置にある。昭和 47 年に架設されたこの橋は、側径間コンクリート橋部の損傷が著しく平成 6 年に主桁表面を保護塗装する補修工事を行っている。その後、平成 9 年度に外観の目視調査およびコンクリートの含有塩分量を測定した結果、補修の必要はないものと診断された。しかし、平成 13 年度には道路の 4 車線化に伴う既設橋梁の健全性について再び橋梁調査が行われ、平成 9 年度の調査に比べ錆汁の発生や塗装部の膨れなどの損傷が進行していることが確認されるとともに、コンクリート中の含有塩分量が鋼材腐食発生限界値を超えていることが判明した。しかし、はつり調査では PC 鋼材の腐食は確認されておらず、劣化過程における進展期後半と判断され、早期に塩害に対する対策が必要と診断されている。

本工事は、これらの調査結果をもとに塩害対策として電気防食工法を採用するとともに、道路橋示方書の改訂による活荷重の増大に対して外ケーブル補強を行い、耐震対策として落橋防止装置を設置するものである。ここでは、男鹿大橋側径間部分の外ケーブル補強を併用した電気防食工事について述べる。

(1) 工事概要

- ・ 工事名 :平成14年度国道道路改築工事(男鹿大橋補強工事)
- ・ 施 主 :秋田県
- ・ 工 期 :平成 15 年 3 月 31 日 ~ 平成 16 年 1 月 30 日
- ・ 形 式 :PC ポストテンション方式単純 T 桁(側径間), PC 床版 + 鋼床版鋼 3 径間連続箱桁(中央径間)
- ・ 橋 長 :410.0m
- ・ 桁 長 :3@34.7 + 200.9 + 3@34.7m
- ・ 支間割 :3@34.0 + 60.0 + 80.0 + 60.0 + 3@34.0m
- ・ 幅 員 :8.750m
- ・ 活荷重 :B 活荷重
- ・ 工事内容 :電気防食工事・外ケーブル補強工事・落橋防止工事



山信田正美



遠藤 靖

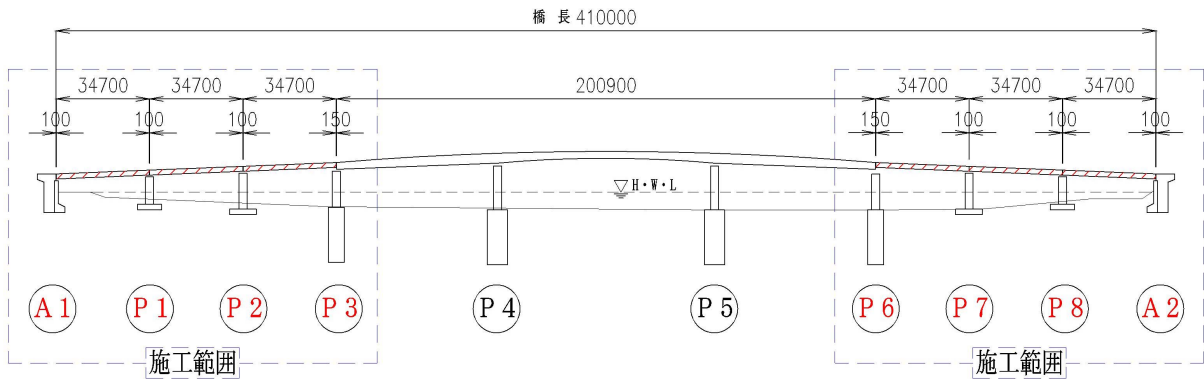


図-1 一般図



写真-1 施工前

(2) 工事数量

表-1 に主桁の外ケーブル補強，落橋防止工および電気防食工の主要材料数量を示す。

表-1 主要材料数量

項目	細別	単位	数量	備考
外ケーブル補強	F100T	本	60	
落橋防止工	コンクリート製	基	4	A1,P3,P6,A2
電気防食範囲	主桁下フランジ部	m ²	1615	
陽極延長	チタングリッド陽極	m	5628	
照合電極	鉛照合電極	個	36	
計測端子		個	36	
排流端子		個	120	

2. 電気防食工法の概要

飛来塩分などの要因でコンクリート中に塩分が浸透し、鋼材表面に到達すると不動態被膜という保護膜が破壊される。この保護膜が破壊された部分では、鋼材がコンクリート中の水と空気と反応して腐食(さび)が始まり、イオンとしてコンクリート中に溶け出す。この腐食は、不動態被膜が破壊された部分と健全な部分で腐食電池が形成され、電流の流れにより腐食が進行していく。この電流を腐食電流といい、この腐食電流を消滅させる防食電流を流す事が電気防食工法である。電気防食に必要な電流は、およそ 1 回路あたり電球 1 個で済むといわれ、電流密度にすれば、1~30mA/m²の範囲である。電気防食工法は、コンクリート構造物の供用期間中に、常に電流を流し続ける工法である。

(1) 電気防食設計条件

- 電気防食方式 : チタングリッド方式
- 防食適用範囲 : 上部工主桁の下フランジ部
- 防食基準 : 100mV 以上のカソード分極
- 防食電流密度 : 1 ~ 30mA / m² 程度
- 防食回路の面積 : 135m² / 回路 (防食総面積 1615m²)
- 照合電極の設置 : 1 回路当たり 3ヶ所
- 電源方式 : 外部電源方式 (直流)
- 防食電流制御方式 : 定電流制御方式

(2) 電気防食の設計

防食基準を満足するようなチタングリッド陽極の配置, 電気防食回路の検討およびモニタリング回路の検討を行う。本橋におけるコンクリートの防食範囲は PC 鋼材の集中する下フランジ部とした。陽極の配置は, 設計電流密度を 20 mA / m² と仮定して下フランジ部配置鉄筋の必要電流量を計算し基準値を満足するとともに, これまでの T 桁の施工実績から, ハンチ部, 側面部, 底面部に合計 6 列のチタングリッド陽極を配置した。今後は, FEM 解析を行い陽極設置位置の妥当性を確認することが望ましいものとする。図-3 にチタングリッド陽極の配置を示す。電気防食回路は全部で 12 回路とし, 秋田市側および男鹿市側で各 6 回路 (1 径間当たり 2 回路) に分けて直流電源装置を設置した。モニタリングを行うための照合電極は, 細やかな管理と各主桁の監視を考え, 各回路 3 個配置した。図-2 に照合電極設置位置を示す。

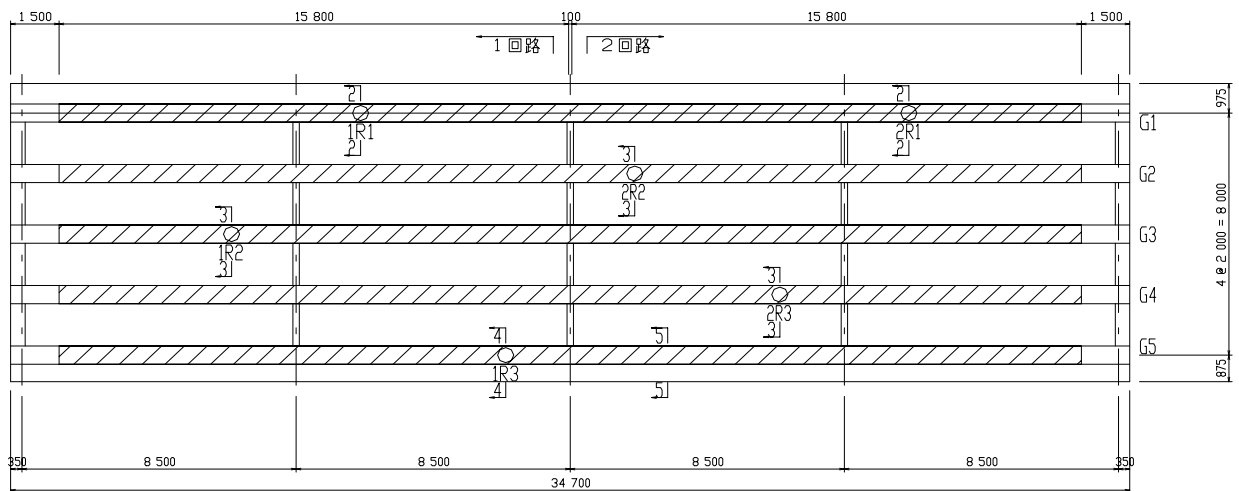


図-2 照合電極設置位置

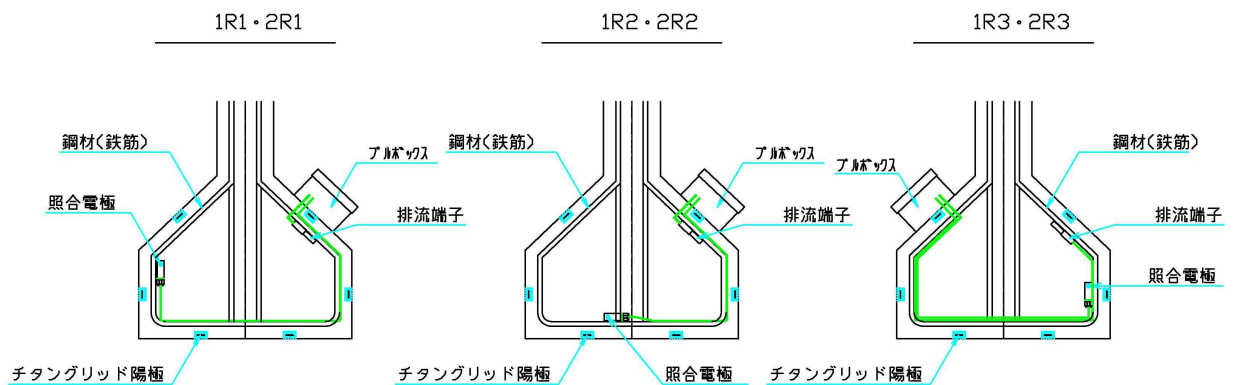


図-3 チタングリッド陽極, 照合電極設置断面図

(3) 使用材料

写真-2 にチタングリッド陽極を、写真-3 にディストリビュータを示す。チタングリッド陽極(幅 20mm×厚さ 0.5mm)は基材がチタンであり、表面を複合貴金属酸化化物でコーティングしている。表-2 にチタングリッド陽極の仕様を示す。ディストリビュータ(幅 10mm×厚さ 0.5mm)はチタングリッド陽極とチタングリッド陽極をつなぐ役目を持つものである。

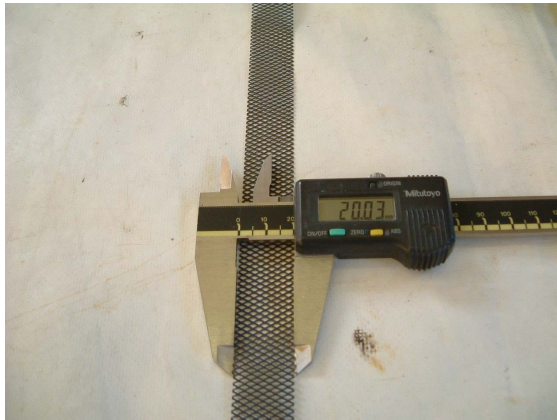


写真-2 チタングリッド陽極



写真-3 ディストリビュータ

写真-4 に鉛照合電極を、写真-5 に排流端子を示す。照合電極は、長さ $L = 133\text{mm}$ 、径 22mm の形状である。計測端子は排流端子と同じ構造であり、ケーブルの色を変えて区別している。また、写真-6 に固定ピン(プラスチック)を示す。

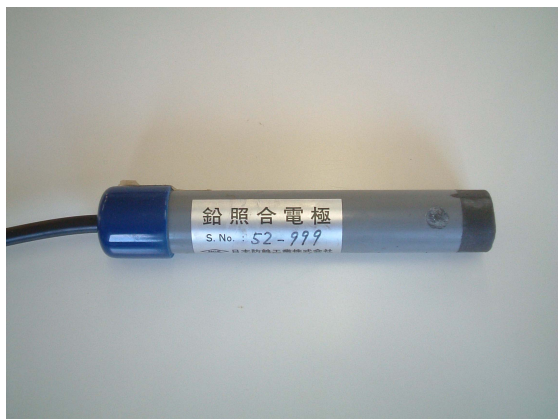


写真-4 照合電極

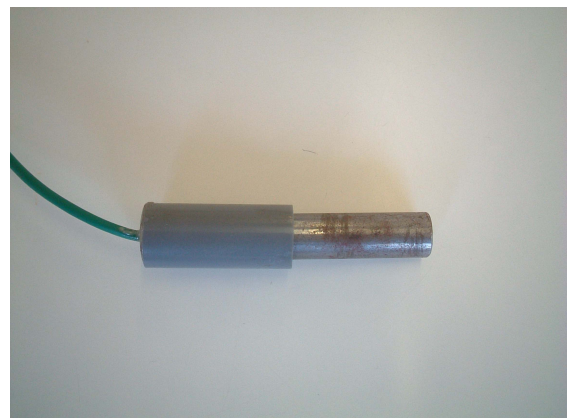


写真-5 排流端子

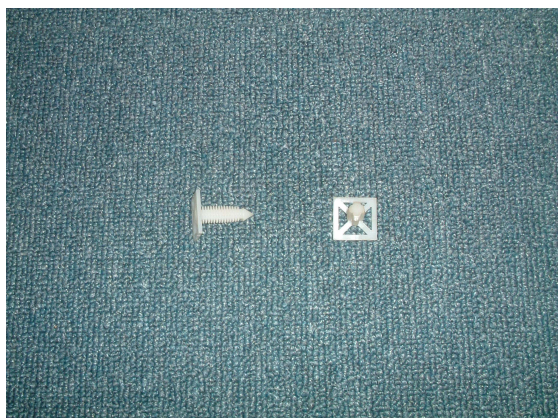


写真-6 固定ピン

表-2 チタングリッド陽極の仕様

名称：チタングリッド陽極

形状：幅 20mm×厚さ 0.5mm，メッシュ帯状

材質：高純度チタンに複合貴金属酸化化物を被覆

表面積：0.048m²/m

最大電流密度：110mA/m²

補修材は、主桁コンクリートと同等もしくは、それ以上の強度を有するセメント系モルタルを使用した。今回は強度が 40N/mm² 以上のポリマーを使用しないプレミックスモルタルを使用した。

3. 電気防食工事の施工

図-4 に電気防食工事のフローチャートを示す。

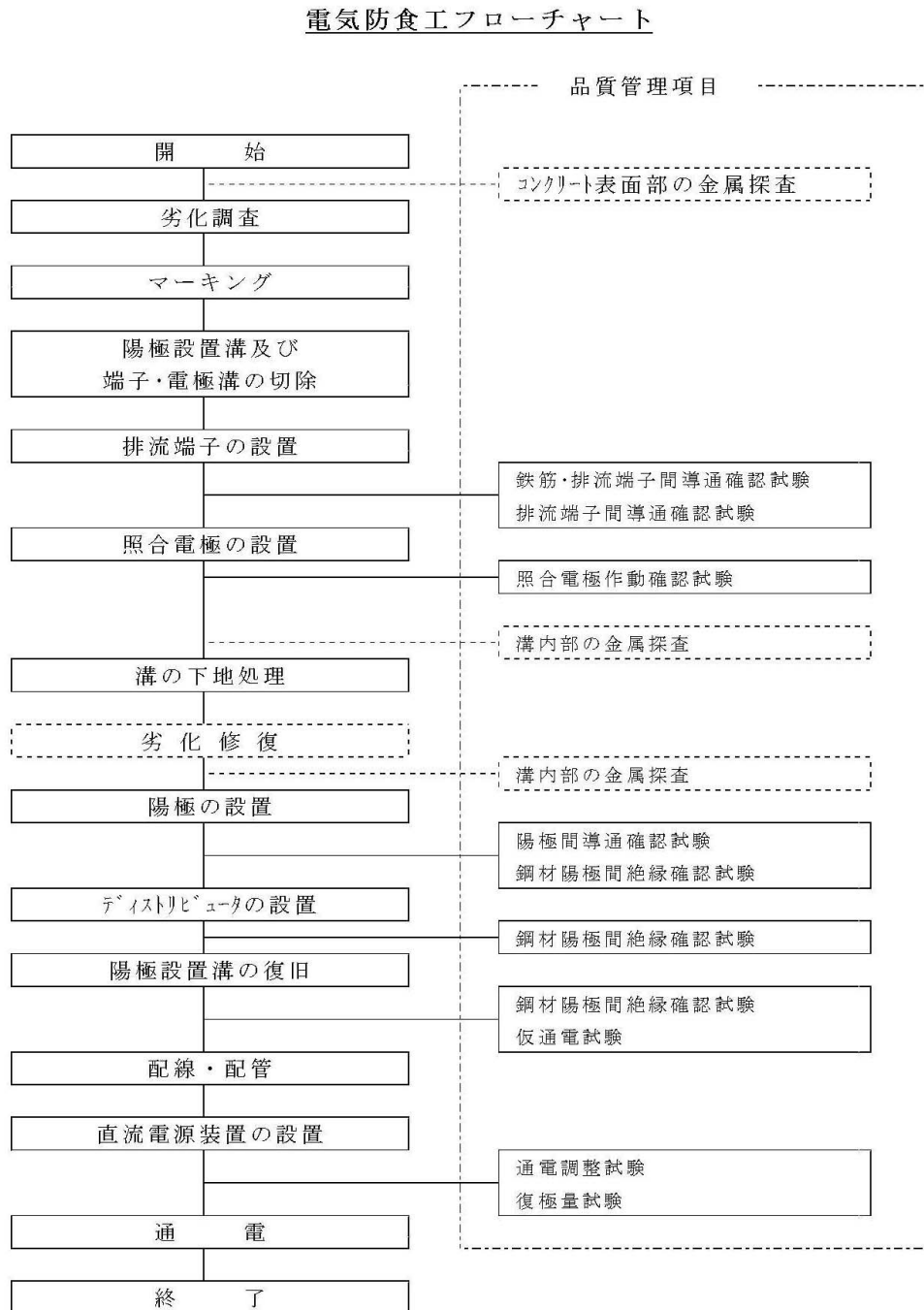


図-4 電気防食工事フローチャート

(1) 施工前処理

コンクリート内部に埋め込まれている配置鉄筋以外のセパレーターや金属片などの金属類は、単独で存在すると電食が起こるため、防食範囲すべてにおいて金属片探査を行いコンクリート表面部の金属片を撤去した。また、劣化状況も防食範囲全般で調査をした。

(2) 溝切り・はつり

溝切りは、陽極設置溝幅25mm×深さ20mmにて切削した。溝切りには、乾式カッターおよび湿式カッターを使用した。写真-7に乾式カッター状況を示す。一部、かぶりがない箇所もあり手動にて鉄筋を切らないように深さを調整しながら切削した。湿式カッターは、レールの取付け・水処理が必要となり施工する箇所が制限されるため、主に、主桁下面を対象に使用した。乾式カッターは、場所の狭いところ、レールの取付けが困難なところなどに使用し、場所に応じて使い分けした。湿式カッターは取付けに時間を必要とするが、切削スピードは速く効率的である。

カッターでの溝切り終了後、電動ピックにて溝部のはつりを行った。写真-8に溝部のはつり状況を示す。また、あわせて劣化部のはつり、照合電極部、排流端子部のはつりも行った。はつり後、溝内部の露出金属類の有無を確認した。露出金属が発見されたところは、エポキシ樹脂系材料にて絶縁処理を行った。写真-9に絶縁処理状況を示す。今回、かぶり少なく鉄筋の露出が多数見受けられ、溝切り施工に手間取ったことから、今後溝切りの機械化施工を考えるうえで、溝切りの深さを容易に調整出来ることが必要である。

G1桁については添架物として下水道管があり、これを支えるための吊り金具が設置されている。この金具も金属製であり電食の対象となる。金具は取り外しができないためエポキシ樹脂塗布による絶縁が不可能であることから、チタングリッド陽極を直接絶縁テープで巻いて溝に埋め絶縁した。写真-10にチタングリッド陽極の絶縁処理状況を示す。



写真-7 カッター状況



写真-8 はつり状況



写真-9 絶縁処理状況



写真-10 チタングリッド陽極絶縁処理状況

(3) 照合電極、排流端子の設置

照合電極の設置は断面のはつり後、鉄筋と接触しないようにケーブルタイにて固定した。写真-11に取付け状況を示す。補修材による埋め込み後、作動を確認した。作動の確認には高入力抵抗直流電圧計を使用した。また、排流端子、測定端子は、鉄筋に溶接し設置した。写真-12に取付け状況を示す。設置後、鉄筋と排流端子の導通を確認した。



写真-11 照合電極取付け状



写真-12 排流端子取付け状

(4) 陽極の設置

深さ 20mm の溝をはつり後、陽極設置場所が平滑になるように下地処理した。その後、溝内の金属探査を目視と計測器により再度確認し、陽極を設置した。写真-13 に陽極設置状況を示す。陽極の固定は、専用のプラスチック固定ピンにて行い、固定ピッチは 500mm とした。また、たるまないように片側から固定を行った。チタングリッド陽極の設置が完了し、鉄筋との絶縁を確認してからディストリビュータを設置した。陽極と陽極、陽極とディストリビュータの接続には、スポット溶接機を使用した。写真-14 にスポット溶接状況を示す。

(5) 陽極の被覆

陽極設置後、溝補修材にて溝部を被覆した。また、劣化部の補修も同時に施工した。写真-15 に陽極被覆状況を示す。

ここで再度、チタングリッド陽極と鉄筋の絶縁を確認してから、回路全体が正常に作動することをチェックした。その後、回路内に電流を流し分極が基準どおり行われているかを確認した。これが仮通電試験である。ここで正常に動かない回路があれば不適合部分を探査し、再度断面をはつり、陽極を設置し直すことが必要である。

(6) 配線・配管

配管の施工は、埋め込まれたチタングリッド陽極や照合電極、端子等の配線に傷を付けないように、プラスチックピンにてサドルを止め配管を固定した。桁部については PF 管を用い、径間部の幹線に関しては VE 管を用いて配管した。写真-16 に桁部の配管状況を写真-17 に径間部の配管状況を示す。

配線については、+、- を間違えないよう確認しながら結線した。結線部分にはプルボックスを配置し、桁との接触面はシールを施した。また、結線部はコネクタシーリングパックを使用し確実に養生した。写真-18 に結線状況を示す。



写真-13 陽極設置状況



写真-14 スポット溶接状況



写真-15 陽極被覆状況



写真-16 桁部配管状況



写真-17 径間部配管状況

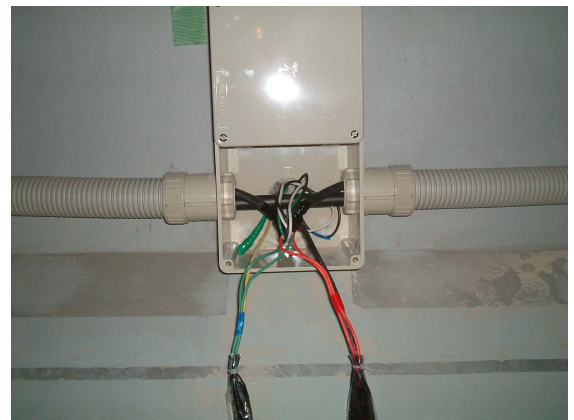


写真-18 結線状況

(7) 直流電源装置

配線配管終了後、屋外自立式6回路直流電源装置ユニットを2基設置した。設置位置を決定した後、土台となる基礎コンクリートを打設した。直流電源装置のサイズは、高さ1750×幅1150×厚さ850、重量約650kgと非常に大きなものである。写真-19に直流電源装置を示す。事前に設置位置を施主と決定し、電源装置位置まで配線配管が終了した上で直流電源装置の設置となる。設置後、配線を確認し受電となる。受電のときには外線工事が必要となり、申請から45日程度の日数を必要とした。

(8) 通電試験

直流電源装置が設置され受電が開始された後、通電試験を行った。この試験では、防食基準を満足する防食電流密度の決定と防食効果の確認を行う。同一回路内のすべての分極量が100mV以上になる防食電流密度を求め、通電電流値を決定した。

決定した通電電流値で1週間程度電流を流し続けた後、復極量試験を行い防食効果を確認した。この試験は電位を測定したあと24時間通電を停止し、その時の電位を測定する。電位の差が100mV以上あれば基準を満足し、適切な防食効果があるといえる。

表-3に全径間の初期通電量を示す。表-3より、全ての測点で復極量が防食基準の100mVを満足していることが判る。また、各回路の通電密度は4~25mA/m²の範囲にあるが、問題となるものではない。



写真-19 直流電源装置

表-3 初期通電量

径間	回路	通電量 (A)	電流密度 (mA/m ²)	電極	復極量 (mV)
A1 ~ P1	1	0.615	4.6	1R1	190
				1R2	139
				1R3	223
	2	1.406	10.4	2R1	225
				2R2	181
				2R3	253
P1 ~ P2	1	1.083	8.0	1R1	377
				1R2	261
				1R3	369
	2	1.142	8.5	2R1	381
				2R2	262
				2R3	277
P2 ~ P3	1	0.439	3.6	1R1	330
				1R2	258
				1R3	267
	2	0.527	3.9	2R1	440
				2R2	261
				2R3	197
P6 ~ P7	1	0.908	6.7	1R1	306
				1R2	218
				1R3	315
	2	0.937	6.9	2R1	319
				2R2	201
				2R3	207
P7 ~ P8	1	2.285	16.9	1R1	182
				1R2	183
				1R3	206
	2	3.427	25.4	2R1	281
				2R2	219
				2R3	206
P8 ~ A2	1	1.142	8.5	1R1	332
				1R2	197
				1R3	222
	2	2.226	16.5	2R1	236
				2R2	416
				2R3	222

4. 外ケーブル補強工事の施工

図-5 に外ケーブル補強工事の施工フローチャートを示す。

外ケーブル工フローチャート

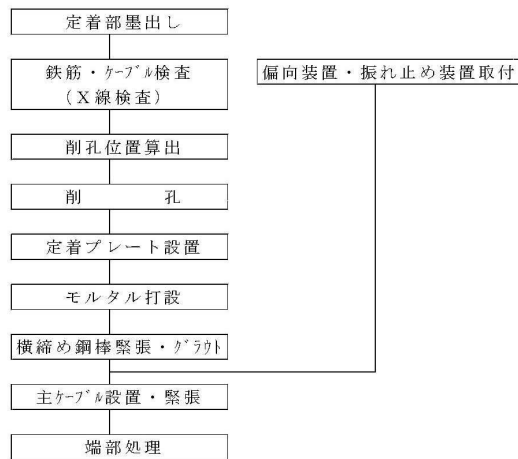


図-5 外ケーブル補強フローチャート

写真-20 偏向装置設置状況

電気防食工事が終了した後、外ケーブル補強を行った。外ケーブル補強は、主桁端部に設置した定着装置(鋼製ブラケット)および横桁部に設置した偏向装置により保持され、油圧ジャッキによる緊張を行い、主桁に必要な応力を与えるものである。

定着装置などは金属製であることから、電気防食範囲のコンクリートに直接設置した場合、電食により腐食する可能性があり、コンクリートとの絶縁を図る必要がある。本工事では、定着装置の設置箇所にあらかじめエポキシ系の樹脂をコンクリート面に塗布しておきコンクリートとの絶縁を図った。写真-20 に偏向装置設置状況を示す。なお、外ケーブル緊張による電気防食に対する悪影響は認められなかった。

5. 今後の維持管理

電気防食工法を適用したコンクリート構造物は、防食期間を通じて期待される効果が維持されているかを確認することが必要である。また、構造物を点検し維持管理することで、今後の橋梁の耐久性を維持させることになる。

本橋梁においては工事終了後、発注者と協議を行い、橋梁点検の方法について検討する予定である。橋梁点検の内容については、目視による損傷状況の確認や電気防食に必要な電流量が流れているかの調査および必要に応じて電流量の調整を行うものとし、定期的に点検を実施する予定である。

6. まとめ

今後、公共事業が削減され、既存の橋梁を補修・補強しながら供用していく中で、塩害に対する電気防食工法は増加するものと考えられる。さらに外ケーブル補強など他の補修・補強工事と併用して施工する場合も多くなるものと考えられる。本工事では、外ケーブル補強と併用するために定着装置などの金属製金具との絶縁を確実に施工できたこと、外ケーブル緊張による電気防食に対する悪影響はないこと、溝切り施工の機械化についても部分的ながら可能であることが確認できた。

今後、電気防食工事を施工する場合に検討が必要とされる項目として以下のことがあげられる。

- ・ 溝切り機械使用方法の検討
- ・ 照合電極の小型化
- ・ 直流電源装置の軽量・小型化
- ・ チタングリッド陽極の固定方法
- ・ 陽極被覆材の選定
- ・ 配管材などの耐久性を必要とする材料の選定
- ・ 絶縁材料の選定
- ・ 維持管理方法の検討

材料の選定や施工方法の改良を行うことで、より容易に施工ができ、工費も改善できる。また、適切な維持管理を行うことで橋梁の耐久性を維持することが可能となる。

この報告が、同様な電気防食工事に何らかの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説(I~V), 1996.12
- 2) 土木学会:電気化学的防食工法 設計施工指針(案), 2001.11