

男鹿大橋の補修・補強工事

遠藤 正幸*1・中村 省巳*2・遠藤 靖*3・山信田 正美*4

1. はじめに

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、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車線化に伴い既設PC桁部の健全性について調査を行った結果、錆汁発生などの損傷が進行していることやコンクリート中の含有塩分量が鋼材腐食発生限界を超えていること、道路橋示方書の改訂（平成8年12月）に伴い活荷重が増大したことにより、塩害対策としての電気防食工事および外ケーブル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）について報告する。

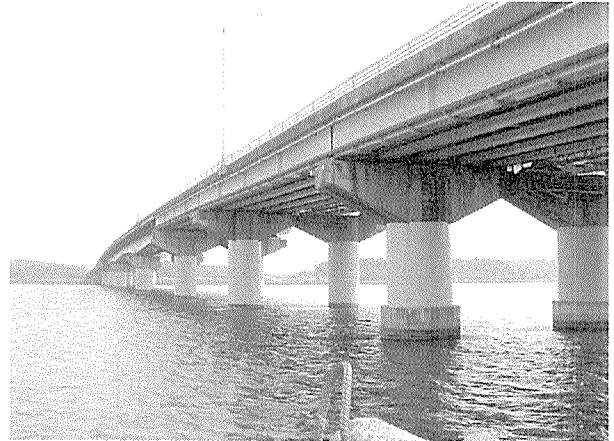


写真 - 1 着工前

2. 工事概要

本橋梁の橋梁諸元を下記に示す。また、写真 - 1 に着工前の状況を、表 - 1 に主要材料数量を示す。

- ・工事名：国道道路改築工事（男鹿大橋）
- ・施主：秋田県
- ・施工：株式会社ピーエス三菱
- ・工期：平成15年3月～平成16年1月
- ・工事場所：秋田県男鹿市船越
- ・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3径間連続箱桁
（中央径間）
- ・橋長：410.0 m
- ・桁長：3@34.7 + 200.9 + 3@34.7 m
- ・支間割：3@34.0 + 60.0 + 80.0 + 60.0 + @34.0 m
- ・有効幅員：8.750 m
- ・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

表 - 1 主要材料数量

項目	細別	単位	数量	備考
外ケーブル	F100 T	本	60	
落橋防止	コンクリート製	基	4	
電気防食範囲	主桁下フランジ	m ²	1 615	
陽極延長	チタングリッド陽極	m	5 628	
照合電極	鉛照合電極	個	36	
計測端子		個	36	
排流端子		個	120	

3. 電気防食工法の概要

コンクリート中に塩分が浸透し、この塩分が鋼材表面に到達すると不動態被膜が破壊される。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や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。その後、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する。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ことが電気防食工法である。

電気防食に必要な電流は、電流密度で約1～30 mA/m²の範囲である。電気防食工法は、コンクリート構造物の共用期間中に電流を流し続ける工法である。

*1 Masayuki ENDO：秋田県秋田地域振興局 建設部

*2 Yoshimi NAKAMURA：秋田県秋田地域振興局 建設部

*3 Yasushi ENDO：(株)ピーエス三菱東北支店 PC事業部

*4 Masami YAMASHIDA：(株)ピーエス三菱東北支店 PC事業部

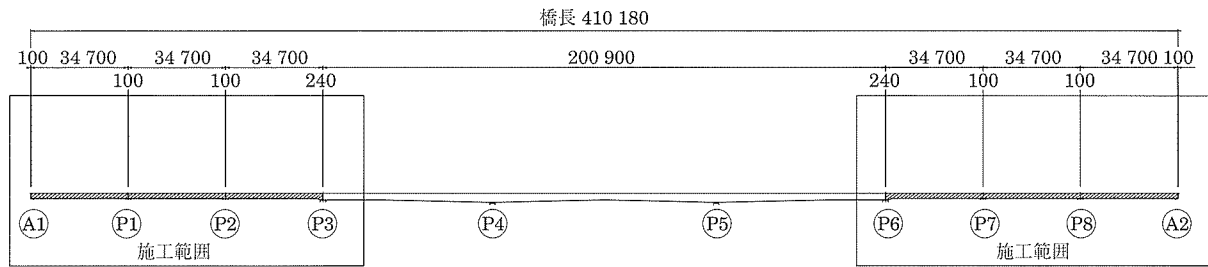


図 - 1 施工範囲

4. 電気防食の設計

4.1 設計条件

電気防食の設計条件および図 - 1 に施工範囲，図 - 2 に防食範囲を示す。

- ・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 : 100 mV 以上のカソード分極
- ・防食電流密度 : 1 ~ 30 mA / m²
- ・防食回路の面積 : 135 m² / 回路
- ・照合電極の設置 : 1 回路あたり 3 箇所
- ・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

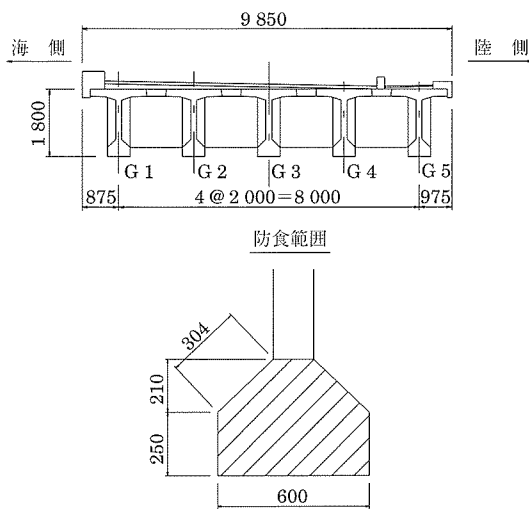


図 - 2 防食範囲

4.2 電気防食の設計

チタングリッド陽極は，鉄筋の配置状況やこれまでの T 桁の実績をもとにハンチ部，側面部，底面部に合計 6 列を配置した。図 - 3 にチタングリッド陽極の配置を示す。また，電気防食回路は細やかな管理と各主桁の監視を考慮して 1 径間あたり 2 回路とし，1 回路あたり 3 個の照合電極を設置した。図 - 4 に 1 径間あたりの照合電極の配置を示す。電源装置は片側 6 回路とし A 1, A 2 橋台部に設置した。

5. 電気防食工事の施工

5.1 使用材料

写真 - 2 にチタングリッド陽極を示す。幅 20.0 mm × 厚

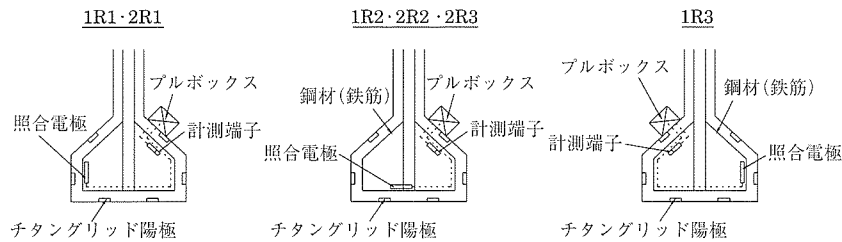


図 - 3 照合電極設置断面図

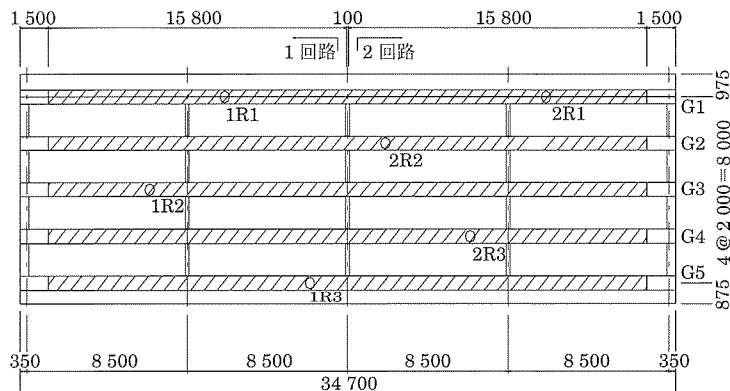


図 - 4 照合電極設置平面図

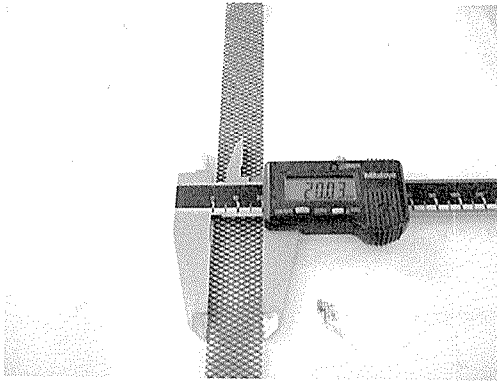


写真-2 チタングリッド陽極

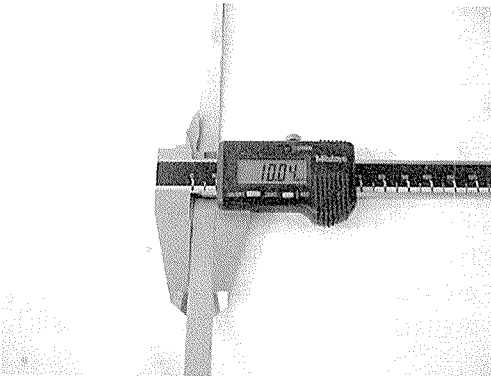


写真-3 ディストリビュータ



写真-4 鉛照合電極

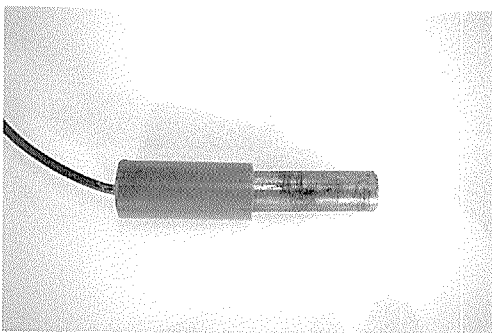


写真-5 排流端子

さ 0.5 mm で基材は、チタンである。写真-3 はチタングリッドとチタングリッドをつなぐ役目をもつディストリビュータで幅 10.0 mm × 厚さ 0.5 mm である。写真-4 は、鉛照合電極を示す。長さ $L = 133 \text{ mm} \times \phi 22$ の形状である。

写真-5 は排流端子を示す。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。

溝補修材は、主桁コンクリートと同等以上の強度が必要であるため、強度が 40 N/mm^2 のポリマーを用いないプレミックスモルタルを使用した。

5.2 電気防食工事フローチャート

図-5 に電気防食工事のフローチャートを示す。工事施工中は全面通行止めで作業を行うため、活荷重の載荷が無いことから電気防食工事完了後、外ケーブル補強工事を行った。

電気防食工フローチャート

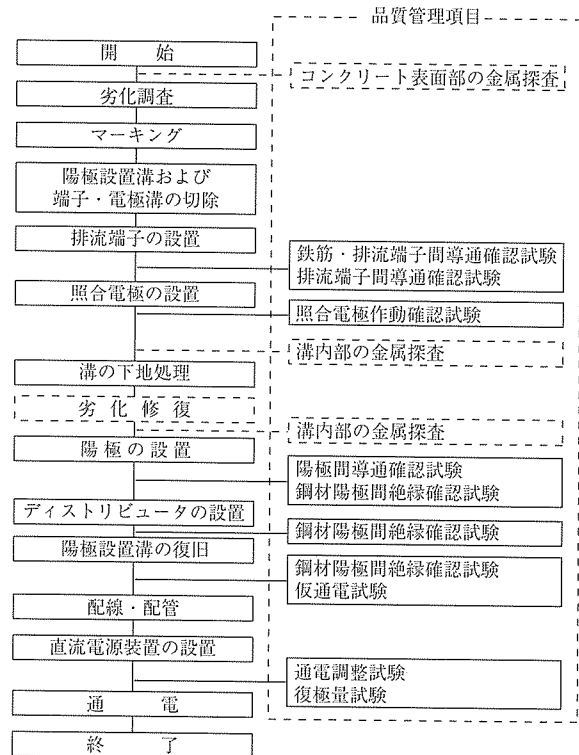


図-5 フローチャート

5.3 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や金属片などの金属類は、単独であると電食が生じるため金属片探査を防食範囲のすべてに行った。また、劣化状況も防食範囲全般で調査を行った。

5.4 溝切り・はつり

陽極設置幅 25 mm × 深さ 20 mm にて切削した。溝切りには、乾式カッター・湿式カッターを使用した。湿式カッターは、レールの取付・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行った。乾式カッターは、場所の狭いところ、レールの取付困難なところなどを主に使用し、場所に応じて使い分けを行った。カッ

○ 工事報告 ○

ターで溝切りを行った後、電動ピックにてはつりを行った。写真 - 6 にカッター状況を示す。また、照合電極部、排流端子部のはつり作業にあわせて劣化部のはつりを行った。はつり後、溝内部に露出鉄筋が無いことを確認し、露出鉄筋が発見されたところは樹脂系材料にて絶縁処理を行った。写真 - 7 に絶縁処理の状況を示す。

5.5 照合電極・排流端子・測定端子の設置

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 - 8 に取付け状況を示す。その後、溝補修材にて被覆し作動の確認を行った。



写真 - 6 カッター状況

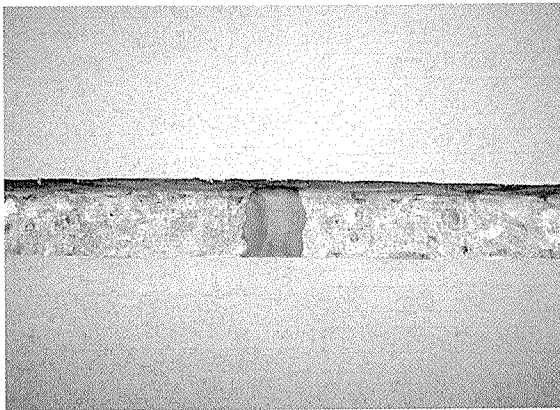


写真 - 7 鉄筋の絶縁処理状況

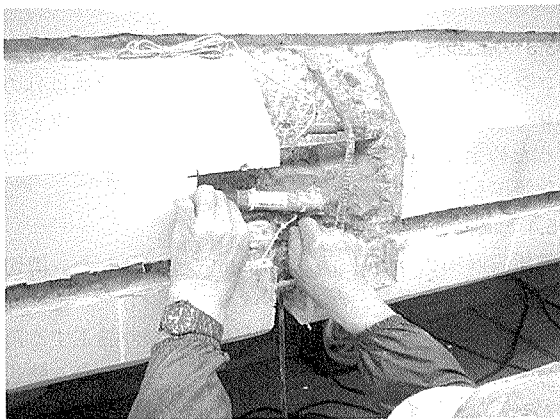


写真 - 8 照合電極取付け状況



写真 - 9 排流端子設置状況

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、計測端子は、鉄筋に溶接し設置した。写真 - 9 に排流端子の設置状況を示す。設置終了後、鉄筋と排流端子・計測端子の導通確認を行った。

5.6 チタングリッド陽極の設置

深さ 20 mm 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を行った。陽極を設置する前に溝内の金属探査を目視と計測器により再度行い、金属が無いことを確認してから陽極を設置した。写真 - 10 に陽極の設置状況を示す。固定には、プラスチック製の固定ピンを使用し、500



写真 - 10 陽極設置状況



写真 - 11 スポット溶接状況

mm ピッチで固定を行った。また、陽極はたるまないように片側から設置した。チタングリッド陽極設置後、再度鉄筋との絶縁の確認を行ってからディストリビュータの設置を行った。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 - 11 にスポット溶接状況を示す。

5.7 陽極の被覆

陽極の設置後、溝補修材により溝部の被覆を行った。また、劣化部の補修も同時に施工した。写真 - 12 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確認した。その後、回路内に電流を流し、分極が基準どおりに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、正常に作動しない回路があれば不適合部分を探査し、再度断面をはつり取り、陽極を設置し直すことが必要である。



写真 - 12 チタングリッド陽極被覆状況

5.8 配管・配線

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、排流端子等の配線に傷を付けないように、プラスチックサドルを使用して配管を固定した。サドルはプラスチック製の固定ピンにて固定した。桁部の配管には、横桁などの障害物があることから比較の変形しやすいPF管を使用し、径間部の幹線には直線的な配管よりVE管を使用した。写真 - 13 に配管の状況を示す。配線については、+、-を間違えないように気をつけながら結線を行い、結線した部分はコネクターシーリングバックを使用し確実に養生を行った。結線は主桁に配置した樹脂製のプルボックス内で行い、終了後、桁との接触面はシールを施し確実に蓋をした。

5.9 直流電源装置

配管・配線終了後、屋外自立式6回路直流電源装置を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。直流電源装置の大きさは、H 1750 × B 1150 × W 850、重量約 650 kg と非常に大きなものである。写真 - 14 に直流電源装置を示す。

直流電源装置を設置した後、配線を確認し受電の工事を

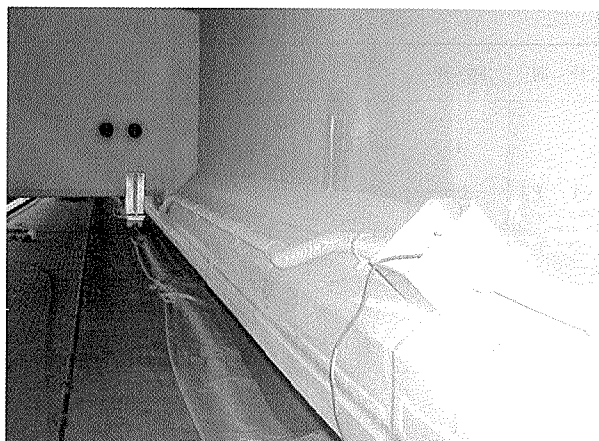


写真 - 13 配管状況



写真 - 14 直流電源装置

を行う。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。

5.10 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。同一回路内すべての分極量が100 mV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、その後、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100 mV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 - 2 に全径間の初期通電量を示す。表をみると防食基準の100 mVを満足しており、これをもとに通電量の調整を行った。

各径間の通電電流密度が4 ~ 25 mA/m²の範囲にあるが問題となるものではない。

5.11 外ケーブル設置装置の絶縁処理

電気防食工事が終了した後、外ケーブル補強を行った。外ケーブルの補強は、主桁端部に設置した定着装置および横桁部に設置した偏向装置により保持され、緊張により主

表 - 2 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

桁に必要な応力を与えるものである。これらの装置は金属製であることから、電気防食部のコンクリートに直接設置した場合、電食が発生するため絶縁処理を行う必要がある。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、その上に定着装置を設置した。写真 - 15 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。

5.12 添架物用吊り金具の絶縁処理

本橋には、添架物として下水管があり、これを支えるための吊り金具が主桁に設置されている。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を行った。写真 - 16 にチタングリッド陽極の絶縁状況を示す。

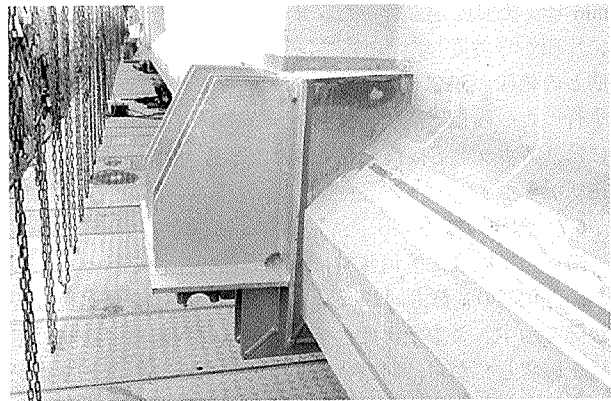


写真 - 15 偏向装置設置状況

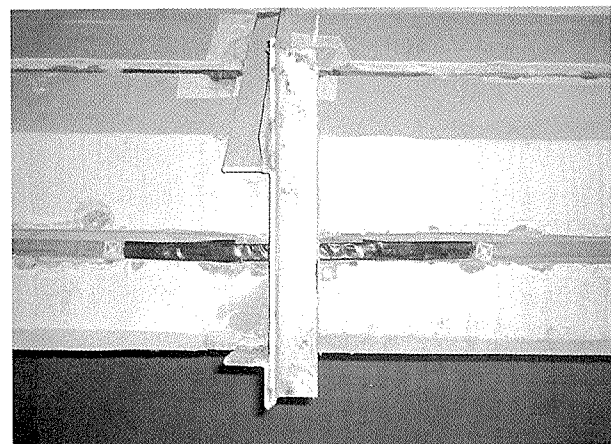


写真 - 16 チタングリッド陽極絶縁状況

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なかで、塩害に対する電気防食工法は増加していくものと考えられる。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にあたり、定着装置など金属製金具との絶縁処理を確実に行うことができた。また、溝切り施工の機械化についても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思われる点を以下に示す。

- ・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化、小型化
- ・チタングリッド陽極の固定方法
- ・溝補修材の選定
- ・配管材などの耐久性を必要とする材料の選定

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、工事費も改善できるものと考えられる。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) (社)日本道路協会：道路示方書・同解説 (I ~ V), 1996, 12
- 2) (社)土木学会：電気化学防食工法 設計施工指針(案), 2001, 11
【2004年3月3日受付】