

新数久田（しんすくた）橋の調査と補修 — 電気防食工法を用いた補修工事 —

篠原 貴*¹・泉 隆士*²

新数久田橋は、沖縄県名護市数久田地内に位置する一般国道 58 号に架かる橋梁で、昭和 50 年に架橋され建設後 31 年を経過したポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋である。本橋梁は、海岸線に位置する橋梁であるため、飛来塩分の影響で損傷の進行が速く、昭和 59 年に主桁の保護塗装が施された。さらに平成 3 年には当時損傷の著しかった G6 桁、G7 桁に対し電気防食が試験施工され、同時に、それ以外の主桁には全面再保護塗装が施工された。

平成 18 年から平成 19 年にかけて実施した本工事では、すでに電気防食が実施されていた G6 桁、G7 桁を含めた 14 主桁に外部電源方式の電気防食工法により補修を行った。

本報告は、電気防食が施工されて 15 年が経過した G6 桁、G7 桁の現況調査結果、および主桁への電気防食の施工について報告するものである。

キーワード：補修工事、調査、電気防食

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋は、コンクリートと不動態皮膜により保護されている。不動態皮膜とは、コンクリートの強いアルカリ性により鉄筋表面に形成される、厚さ数 nm の酸化被膜である。しかし、コンクリートのひび割れや、かぶり不足等により、コンクリート中に塩化物イオンが浸透し、一定濃度以上になると、不動態皮膜が破壊される。不動態皮膜が破壊された部分（この部分をアノード部と呼ぶ）では、鉄イオン（陽イオン）がコンクリート中に溶け出す。残された電子は鉄筋を通過して不動態皮膜で保護された部分（この部分をカソード部と呼ぶ）へ移動する。これにより、カソード部に比べてアノード部の電位が低くなり、この電位の高低差により腐食電流が流れ鉄筋が腐食してしまう（図 - 1）。

電気防食工法は、不動態皮膜の破壊により生じた電位差をなくし、腐食電流が流れなくする工法である。コンクリート表面に陽極を設置し、鉄筋を陰極にして直流の電流を流す。これを防食電流と呼ぶ。防食電流を徐々に流すこと

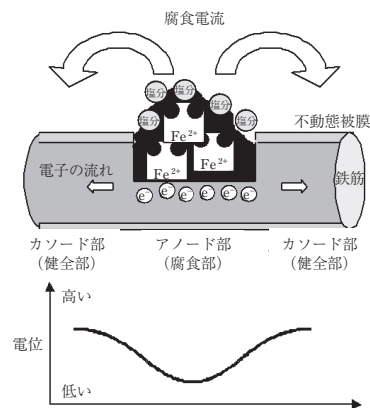


図 - 1 腐食電流

により、電位の高いカソード部から電位が下がりはじめ、ある大きさの防食電流になった時、カソード部とアノード部の電位が同じレベルとなり、腐食電流が流れなくなるという仕組みである（図 - 2）。

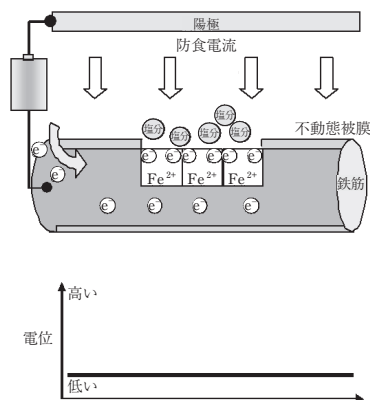
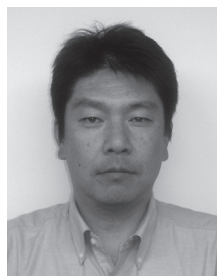


図 - 2 電気防食（防食電流）



*1 Takashi SHINOHARA



*2 Takashi IZUMI

(株) 富士ビー・エス 土木本部
土木技術グループ 土木技術チーム

(株) 富士ビー・エス 施工本部
九州支店 工事チーム

電気防食の方式には、外部電源方式と流電陽極方式がある。外部電源方式は、直流電源装置のプラス出力に対象構造物に設置した陽極材を接続し、マイナス出力に防食対象鋼材を接続して防食電流を供給する方式である。流電陽極方式は、鉄よりイオン化しやすい金属を陽極材とし、これを防食対象構造物のコンクリート表面に設置し、鉄とのイオン化傾向の差を利用して防食電流を供給する方式である。

2. 工事概要

工 事 名：平成 18 年度新数久田橋補修工事
 発 注 者：内閣府沖縄総合事務局開発建設部
 北部国道事務所
 工事場所：沖縄県名護市数久田地内
 路 線 名：一般国道 58 号
 工 期：自) 2006 年 9 月 16 日
 至) 2007 年 4 月 27 日
 構造形式：ポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋
 橋 長：23.6 m
 支 間 長：22.84 m
 有効幅員：2.00 m (歩道) + 8.00 m (車道)
 + 8.00 m (車道) + 2.50 m (歩道)
 工事内容：外部電源方式電気防食による補修
 写真 - 1 に橋梁写真を示す。

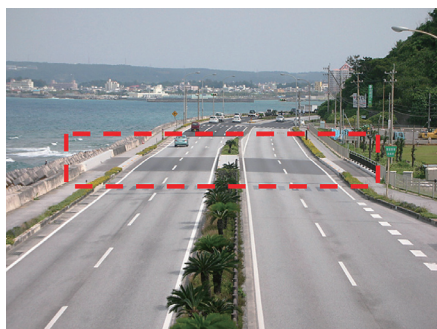


写真 - 1 橋 梁 写 真

3. 事前調査結果

補修方法を選定するための事前調査時のコンクリート試験結果では、海側主桁の鉄筋位置（コンクリート表面から 40 ～ 60 mm：設計かぶり 35 mm）において、2.12 kg/m³、3.31 kg/m³ と腐食発生限界の 1.2 kg/m³ を超える塩分量が確

認された。また、山側についても、外観上は錆汁や浮き、はく離は見当たらないものの、コンクリート表面から 20 ～ 40 mm の位置で 1.58 kg/m³ と 1.2 kg/m³ を越える塩分量が確認された。

写真 - 2 に施工前の橋梁下面の写真を、図 - 3 に橋梁断面図を示す。本橋は前回の補修において、G6 桁、G7 桁以外の主桁には保護塗装が施されているにもかかわらず、腐食発生限界を超える内在塩分量や写真 - 3、4 に示すような損傷が多く見受けられた。これらを総合的に考え、今後本橋を維持していく最終手段として、電気防食による補修方法が採用された。



写真 - 2 施 工 前

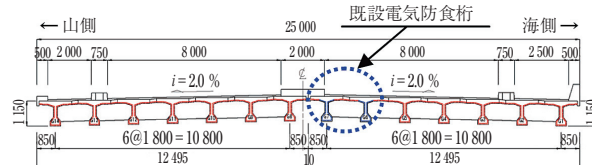


図 - 3 橋梁断面図



写真 - 3 損傷状況 (浮き: 主桁下フランジ)



写真 - 4 損傷状況 (はく離: 主桁上フランジ)

4. 現況調査結果

4.1 断面修復材料の比抵抗測定

平成 3 年の補修では、部分的に主桁の断面修復も実施さ

○特集／工事報告○

れており、内部鋼材およびシースに均一な防食電流の供給を図るために、断面修復材の比抵抗値の把握が必要であった。計測は交流インピーダンス計を用い、SBR系エマルジョンを用いた小断面修復箇所とスラリーレバックドコンクリートを用いた大断面修復箇所、および既設コンクリートの比抵抗を測定した。図 - 4 に測定要領を示す。

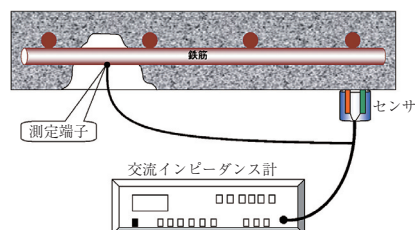


図 - 4 コンクリートの比抵抗測定要領

表 - 1 に海側の G4 桁で測定したコンクリート比抵抗測定結果を示す。コンクリート部に比べ、断面修復部の比抵抗はやや大きい値を示したが、いずれも電気防食と併用して支障のない $100 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下であった。よって、断面修復材の撤去は行わずに電気防食を施工することとした。

表 - 1 コンクリートの比抵抗測定結果

サンプル番号	比抵抗 R_s ($\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$)	備 考
OG-1	12.8	コンクリート部
BP-1	20.6	大断面修復部
BP-2	20.1	
BP-3	16.4	
SP-1	45.1	小断面修復部

4.2 既設電気防食桁現況調査

(1) 現 況 調 査

① G6 桁（チタンメッシュ陽極方式）

オーバーレイモルタルの浮き部と健全部の 2 箇所をはつり取り（写真 - 5）、陽極の健全性を確認した。オーバーレイモルタルが広範囲に浮いているものの、主桁およびチ



写真 - 5 オーバーレイモルタルはつり状況

タンメッシュ陽極に損傷などは見られなかった。

② G7 桁（亜鉛シート方式）

ウェブおよび下フランジの 3 パネルを解体し（写真 - 6）、バックフィルおよび亜鉛陽極の残存状況を目視で確認した。バックフィル材はいまだ適度な湿り気を有しており、主桁に損傷は見られなかった。表 - 2 に亜鉛シートの消耗状況を示す。3 パネルとも 71 ～ 77 % 程度消耗しており、とくに下フランジの消耗が著しかった。



写真 - 6 亜鉛シート撤去状況

(2) 電 位 測 定

施工後 15 年を経過した電気防食の防食効果を確認する目的で、G6 桁、G7 桁の ON 電位、通電停止直後のインスタンオフ電位、および通電停止後 24 時間後の復極量を測定した。測定概要を図 - 5 に示す。表 - 3 に電位測定

表 - 2 亜鉛シート消耗状況

項 目	初期推定質量 (g)	残消耗質量 (g)	消耗率	年間消耗量 (g/年)	推定総寿命 (年)	推定残寿命 (年)
ウェブ（山側）	2182.4	563.85	74.2%	110.1	15.9	1.2
ウェブ（海側）	2182.4	632.35	71.0%	105.4	16.6	1.9
下フランジ	2506.4	567.79	77.3%	131.9	15.2	0.5

表 - 3 電位測定結果

測定部位		G6 桁（チタンメッシュ方式）								G7 桁（亜鉛シート方式）					
		#1			#2		#3-1		#3-2	名護側		中央		那覇側	
		補修部下フランジ			未補修部 フランジ	未補修部 ウェブ	未補修部 ウェブ	未補修部 フランジ	未補修部 ウェブ						
照合電極 No.		①	②	④	③	⑤	⑥	⑦	⑧	ウェブ	フランジ	ウェブ	フランジ	ウェブ	フランジ
防食面積（m ² ）		4.9			25.9		18.1		13.1	21.1		21.1		21.2	
電圧（V）		2.5			2.0		6.1		15.6	－		－		－	
発生電流（mA）		40			40		15		20	25		97		108	
電流密度（mA/m ² ）		8.2			1.5		0.8		1.5	1.2		4.6		5.1	
鉄筋電位 mV （CSE）	ON	-480	-458	-361	-376	-315	-247	－	-396	－	-247	-200	-196	-210	-192
	インスタントオフ	-459	-423	-347	-353	-308	-239	－	-286	－	-225	-176	-163	-198	-181
	オフ 24h	-207	-196	-153	-100	-153	-117	－	-181	－	-115	-43	-31	-88	-60
	復極量（mV）	-252	-227	-194	-253	-155	-122	－	-105	－	-110	-133	-132	-110	-121

※照合電極の種類：飽和塩化銀

結果を示す。照合電極の経年劣化により測定値に異常が見られる2箇所（－表記）を除いて、G6桁、G7桁ともに電気防食の防食規準である100 mV以上¹⁾の復極量を確保できていることを確認した。

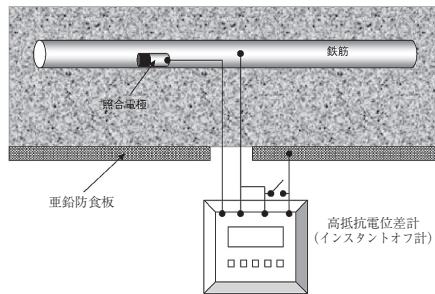


図 - 5 鉄筋電位測定要領

4.3 測定結果による判定

G6桁に適用しているチタンメッシュ陽極方式は、オーバーレイモルタルの浮きが下フランジに見られるものの、電位測定においては防食基準¹⁾（電位変化量 $\geq 100\text{ mV}$ ）を満足していた。しかし、使用しているリボンメッシュ陽極の耐用年数は40年であるが、照合電極の動作不良箇所も見られ、直流電源装置および配線・配管もすでに耐用年数を越えていることから、今回の施工時にオーバーレイモルタル、陽極、照合電極、配線・配管材を撤去し、新たに電気防食を施工することが今後の維持管理上、有効と判断した。

G7桁に適用している亜鉛シート方式の電気防食は、通電期間約14.7年を経過しているが、目視調査においても異状はなく、また電位測定においても防食基準（電位変化量 $\geq 100\text{ mV}$ ）を満足していた。亜鉛陽極の消耗質量は、当初の計画耐用年数である15年間を満足しているものの、消耗率が80%に近いことから、現状は陽極が寿命の末期にあると判断した。よって、G6桁と同様に亜鉛陽極、照合電極、配線・配管材を撤去し、新たに電気防食を施工することが今後の維持管理上有効と判断した。

以上より、当初発注の12本の主桁に既設電気防食桁G6桁、G7桁を含めた14主桁に電気防食を行うこととした。

5. 電気防食の施工

5.1 補修概要

本橋の補修概要を表-4、5に示す。また、従来の陽極配置概要図を図-6に示す。本工事では、施工性・経済性に対する改良型として、陽極材縦置き配置の外部電源チタンリボンメッシュ陽極方式が採用された。本方式は、陽極材を縦に配置するため、溝幅を小さくすることができ、2枚刃のカッターを用いて溝切を行うことで、はつり作業が不要となり、施工性、経済性ともに優れたものである。また、陽極の上方に絶縁カバーを配置するため、確実に電気的短絡を防止でき、図-7の概要図に示すような良好な防食電流の分布が期待でき、部分的な過電流の作用も防止できるものである。これを用い、図-8に示す施工フ

表 - 4 補修概要

防食方式	外部電源チタンリボンメッシュ陽極方式			
防食規準	電位変化量 100 mV 以上 インスタントオフ電位 -1.086 V (VS MnO_2)			
通電方式	定電流方式			
回路数と回路当たり面積	4 回路	No.1 : 260.13 m^2	No.2 : 340.22 m^2	No.3 : 260.13 m^2 No.4 : 340.22 m^2
照合電極の種類と回路当たり数量	二酸化マンガン照合電極 2 個 / 回路			
電源装置容量	30V-15A			

表 - 5 新数久田橋で採用された電気防食方式

電源方式による分類	陽極材による分類	電気防食方式
外部電源	面状陽極	チタンメッシュ陽極方式
		パネル陽極方式
		導電性塗料方式
		チタン溶射方式
		チタン亜鉛溶射方式
		導電性モルタル方式
	線状陽極	チタンリボンメッシュ方式
	点状陽極	チタングリッド方式
流電陽極	面状陽極	亜鉛シート方式
		亜鉛アルミ合金溶射方式

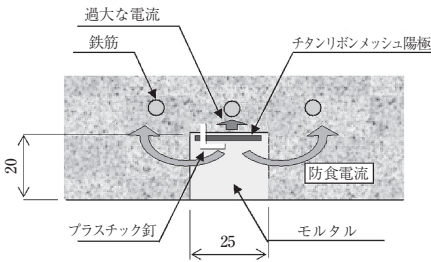


図 - 6 陽極配置概要図（従来）

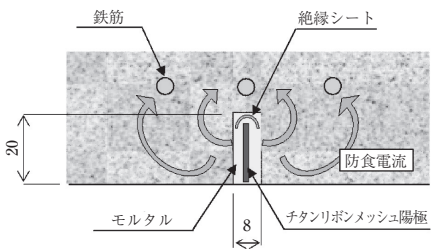


図 - 7 陽極配置概要図（今回施工）

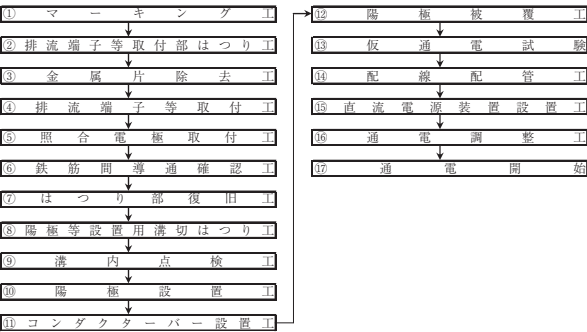


図 - 8 施工フロー

○ 特集／工事報告 ○

ローにより施工を行った。

写真 - 7 に溝切状況、写真 - 8 にチタンリボンメッシュ設置状況、写真 - 9 に陽極間を接続するコンダクターバーの設置状況を示す。



写真 - 7 溝切状況



写真 - 8 陽極（チタンリボンメッシュ）設置状況



写真 - 9 コンダクターバー設置状況

5.2 施工上の留意点

施工上の留意点としては、溝幅が小さいため、溝深さの確認と溝内部の点検が目視では困難であった。これに対しては、定尺棒での深さ確認、金属探査、および磁石を使用

して入念な点検で対応した。写真 - 10 に金属探査状況を示す。



写真 - 10 溝内部の金属探査状況

5.3 通電調整試験結果

表 - 6 に通電調整試験結果を示す。防食電流遮断直後の鉄筋電位（インスタントオフ電位）が通電前の鉄筋自然電位より 100 mV 以上分極していること、鋼材の水素脆化を防止する電位管理値 $-1.086\text{ V}^{(1)}$ （vs 二酸化マンガンの電極基準）より貴な電位であることを確認した。



写真 - 11 直流電源装置



写真 - 12 通電調整状況

表 - 6 通電調整試験結果

回路 No.	桁番号	通電電圧 (V)	防食電流 (A)	電流密度 (mA/m ²)	自然電位 (mV)	ON 電位 (V)	インスタントオフ電位 (V)	分極量 (mV)
1	G2	1.66	1.06	4.1	-284	-442	-442	-158
	G3				-283	-456	-455	-172
2	G4	2.64	2.56	7.5	-326	-573	-572	-246
	G5				-341	-611	-611	-270
3	G9	1.59	1.13	4.4	-251	-487	-485	-234
	G10				-261	-495	-494	-233
4	G13	1.53	1.5	4.4	-267	-480	-479	-212
	G14				-277	-463	-462	-185

6. 定期点検

通電開始後、6ヵ月後、12ヵ月後、24ヵ月後に定期点検を実施した。

(1) 直流電源装置の稼働状況の確認

直流電源装置の稼働状況、外観、通電電流・電圧を確認した。その結果、稼働状況、外観点検に問題はなく、通電電流・電圧も安定していることを確認した。

(2) 電位値の確認

通電中のオン電位を測定した。図 - 9 に測定結果を示す。鋼材の水素脆化を防止する電位管理値 $-1.086 \text{ V}^{1)}$ (vs 二酸化マンガン電極基準) より貴な電位であることを確認した。

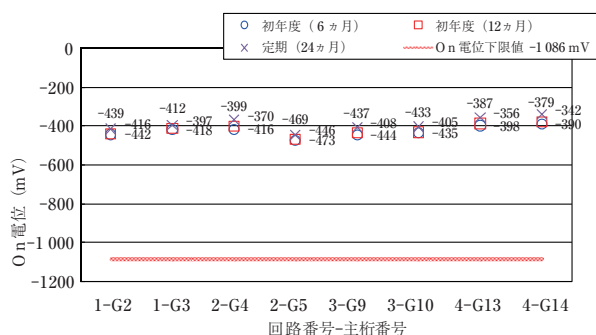


図 - 9 オン電位

(3) 復極量の確認

インスタントオフ電位と通電停止後24時間後のオフ電位の差（復極量）を測定した。図 - 10 に測定結果を示す。防食規準の $100 \text{ mV}^{1)}$ を確保していることを確認した。

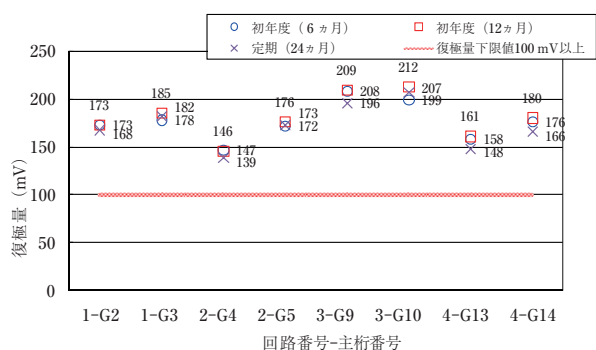


図 - 10 復極量

7. おわりに

本工事で、施工後15年を経過した電気防食の現況調査を行い、15年経過後も健全であることが確認できた。

また、工事では、施工性・経済性・品質の向上を目的に改良された陽極材縦置き配置方式による電気防食を行ったが、施工直後、および施工後2年の間に実施した定期点検でも良好な結果が得られた。今後、維持補修工事の増加に伴い、電気防食の採用も増加していくものと考えられる。

本報告が、今後の設計・施工に役立つことができれば幸いである。



写真 - 13 完成写真

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
- 2) 篠原貴，泉隆士，大城敦，宇地原崇夫：電気防食施工後15年経過した新数久田橋の調査と補修工事報告，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，Vol.16，pp79-82，2007.10

【2011年1月24日受付】