

報告

[1126] 新設プレストレストコンクリート構造物への電気防食法の適用

竹谷正造*1・香川浩司*2・峰松敏和*3・川俣孝治*4

1. はじめに

塩害によるコンクリート構造物中の鋼材の腐食は、構造物の安全性の面からも非常に重要な問題であり、劣化損傷状況が非常に激しい場合には掛け替え等が実施される場合も多々ある。しかし、このように改修された構造物も厳しい塩害環境下では再び劣化損傷を受けることも懸念されエポキシ樹脂塗装鉄筋の使用やかぶり厚さの増加など、使用材料や設計の面からの耐久性向上の対策が講じられている。

また、近年、我が国においては、電気防食法が塩害劣化を受けたコンクリート構造物の補修対策として着目され、実際の補修工事への適用を目的とした検討も行われている [1] [2] [3]。

一方、欧米においては、電気防食法の研究が比較的早くから進められ、補修対策としての確実性が認められるとともに、新設時に適用する事例やコンクリート打ち替え時に電気防食設備を設置し、コンクリートを一体打設した事例なども報告されている。

このような世界的な動向を参考として、塩害により劣化した栈橋の掛け替え工事を実施するにあたり、新設コンクリート構造物の海洋環境下での耐久性向上の一手法として、電気防食法の適用を検討することとした。本報告は、この場合の施工性や通電試験結果並びに通電後の防食効果の追跡調査等について述べたものである。なお、今回検討した電気防食法は高純度チタンをリボン状に加工した陽極を用いた外部電源方式であり、適用構造物はプレテンション方式のプレストレストコンクリート（以下PC）桁である。

2. 対象構造物の概要

2. 1 既設PC桁の損傷状況

既設構造物は、昭和46年に建設されたプレテンション方式のPC単純中空床版橋の栈橋で、図-1に示すように、瀬戸内海に面した愛媛県新居浜港の内港に位置している。

既設PC桁は、建設後20年を経過し、PC桁下面にかぶりコンクリートの剥落やPCストランドの露出、断面欠損が顕著に認められるようになり（写真-1参照）、構造物の補修により供用中の安全を確保することは困難であると判断されるまでに劣化損傷していた。図-2は損傷箇所を示したものであるが、これらの損傷は栈橋三角部東岸部に集中し、反対側の西岸部はひびわれ等の変状は殆ど認められず、比較的健全な状態を保持していた。これは、東岸部が港内の潮流の影響により直接波しぶきがあたる位置にあり、いわゆる潮溜まりで、極めて過酷な海洋環境下に置かれていたためと推察される。なお、このPC桁下面のかぶりは30mmであった。

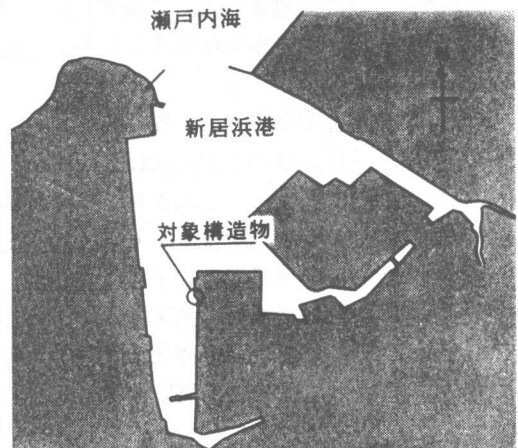


図-1 対象構造物位置図

たものであるが、これらの損傷は栈橋三角部東岸部に集中し、反対側の西岸部はひびわれ等の変状は殆ど認められず、比較的健全な状態を保持していた。これは、東岸部が港内の潮流の影響により直接波しぶきがあたる位置にあり、いわゆる潮溜まりで、極めて過酷な海洋環境下に置かれていたためと推察される。なお、このPC桁下面のかぶりは30mmであった。

* 1 住友防蝕（株）技術部（正会員）
 * 2 住友金属鉱山（株）別子事業所設備技術センター工事課、工修
 * 3 住友セメント（株）中央研究所セメントコンクリート研究所商品開発室主任研究員、工博（正会員）
 * 4 住友セメント（株）中央研究所セメントコンクリート研究所商品開発室研究員、工修（正会員）



写真-1 既設構造物の劣化状況

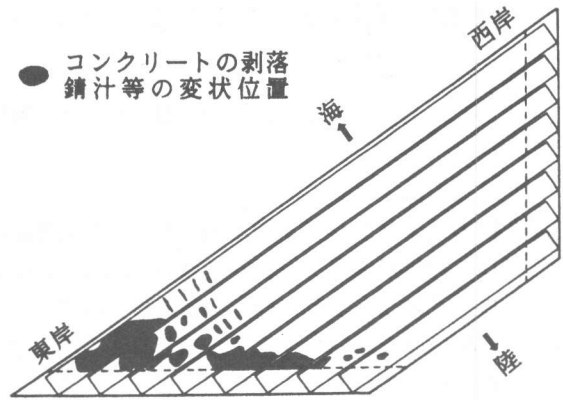


図-2 既設構造物の劣化損傷位置

2.2 新設PC桁への電気防食の概要
 電気防食を適用したPC桁は、既設PC桁と同様にプレテンション方式のPC単空中床版橋の主桁構造で、栈橋を構成する7本のPC桁の内、既設構造物において損傷程度が大きかった図-3に示すG1~G3の桁3本とし、非電気防食桁との比較検討を実施することとした。なお、主な防食対象を桁下部に二段に配置されたPC鋼線としたため、下面のみに陽極を設置することとした。

防食対象桁 G1~G3

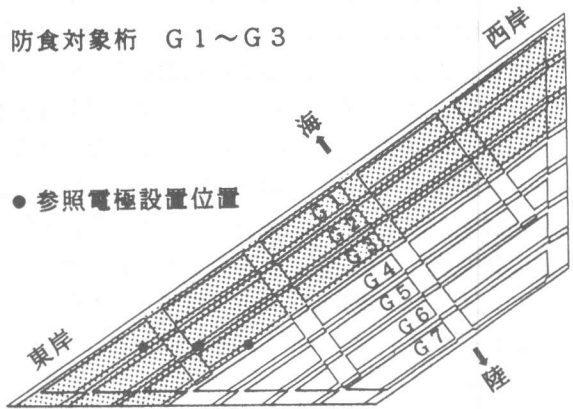


図-3 新設構造物の防食対象

今回採用した電気防食法は、製品工場でのPC桁製作時に、リボン状の陽極を専用治具に10cm間隔で固定し、これをPC鋼線から40mm離れた位置に設置、コンクリートを一体打設し現地に桁設置後、外部電源方式で通電する方法であり、陽極や参照電極等の電気防食設備を桁の断面寸法を増加せることなく一体化した形で設置することが可能となる。この電気防食法の施工断面の概念図を、図-4に示す。また、本方式の特徴として以下の様な項目が上げられる。

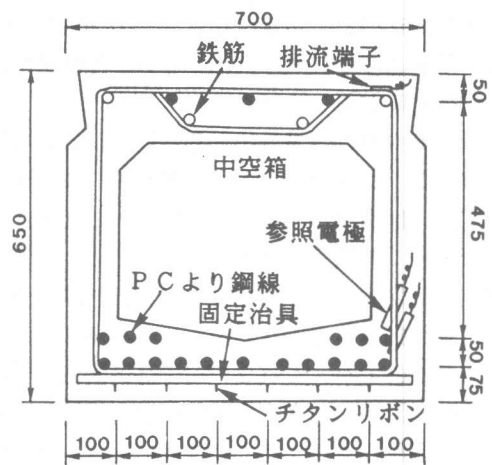


図-4 施工断面図

- ① 桁作製時に桁内部に電気防食設備を設置し、コンクリートを打設するため、プラスト処理、陽極設置、陽極被覆等の工程が必要ない。
- ② リボン状に加工した陽極を使用するため、桁下部のコンクリートの品質に影響を及ぼさずことなくコンクリートの打設が可能である。
- ③ チタン陽極は耐久性に優れ、また、外部電源方式であるため、環境に応じた防食電流の供給が可能である。

桁長 G 2 = 14795 G 3 = 13239

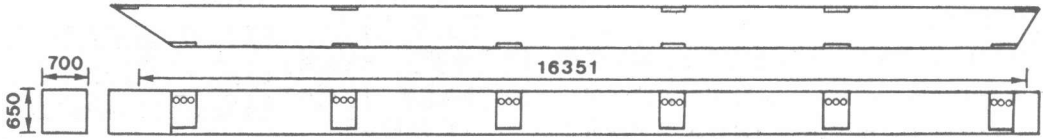


図-5 G1桁の形状

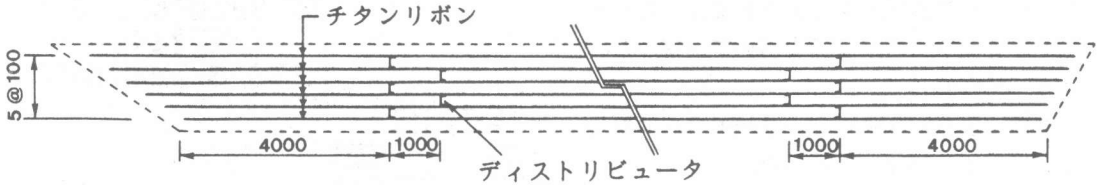


図-6 チタンリボン陽極

3. 電気防食を適用したPC桁の作製

3.1 適用PC桁の形状

栈橋を構成する7本のPC桁は、桁長が異なるのみで、断面形状は全て等しくまた、標準設計断面を変更することなく陽極の設置が可能であった。

図-5に、今回適用したPC桁のうち、一例としてG1桁の形状を示す。断面は、図-4に示すように700×650mmの矩形で断面中央部に中空を有し、IT 12.4のPCより鋼線を桁上部に3本、下部に6本と11本を二段配置し、スターラップ筋が約30cm間隔で配筋されている。なお、桁下部のスターラップからの最小かぶり厚さは60mmである。

コンクリートの示方配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

Gmax (mm)	スラブ (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位置 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	M
20	8	2	36	39	151	416	720	1141	6.24

3.2 電気防食設備

陽極は、ASTM265に規定されたグレード1の高純度チタンを幅0.50インチ、厚さ0.025インチのリボン状に加工し、これにルテニウム等の特殊酸化貴金属を焼き付けコーティングしたリボン陽極を、図-6に示すように、桁長方向に10cm間隔に、鋼材とリボン陽極との間のスペーサーを兼用した固定治具に専用の樹脂製釘で固定した。また、各リボン陽極間は、チタン製のディストリビュータをスポット溶接により設置し、各々のリボン陽極に防食電流が均一に配分される様にした。このリボン陽極の固定概念図を図-7に示す。

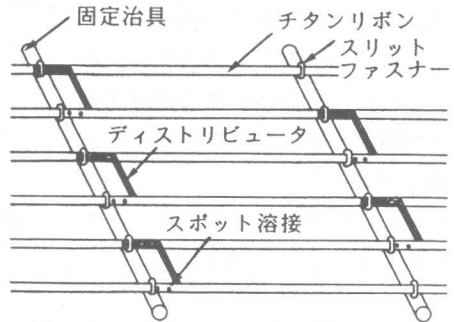


図-7 チタンリボン陽極の施工概念図

各桁の内部に設置した参照電極は、銀/塩化銀電極であり、二段配筋となる桁下部の upper および lower のPC鋼線の電位が計測できるように設置した。なお、各桁の参照電極設置位置は、既設PC桁で腐食損傷が激しかった栈橋三角部東岸部とし、その設置位置を図-3に示す。

3.3 施工方法

施工手順のフローチャートを図-8に示す。このフローチャートのうち、①～⑤はPC桁製作時の各工程であり、⑥以降は桁製作後、現地に桁を設置した後の工程である。

各工程の概略を以下に紹介する。

①陽極の組立

各桁10本ずつ、ロール巻されたりボン陽極を所定の長さに切断し、各リボンの間隔が10cmとなるよう専用の固定治具を用いて組み立てた。また、図-6に示す位置に、各リボン間に均一に防食電流が配分されるようにディストリビュータを溶接器を用いて溶接した。

(図-7参照)

また、防食電流通電用のリード線を所定の位置にリボン陽極と圧着した。

②陽極の設置

PC桁製作フローにおけるPC鋼線の緊張各鉄筋の組立・固定が終了した後に、①で組み立てた陽極を桁下部に挿入し、桁端部から順にリボン陽極を緊張させながら、樹脂製の固定バンドで陽極組立治具の端部をPC鋼線に固定した。(図-9参照)

なお、この陽極組立治具により、陽極とPC鋼線との距離を確保した。

③参照電極・排流端子の取り付け

参照電極は、桁下部のPC鋼線上段及び下段の電位がそれぞれモニタリングできるように、銀/塩化銀電極を設置した。(図-4参照)

排流端子は、PC鋼線への溶接が不可能であるため、桁上部の組立筋に溶接し、さらに、組立筋とPC鋼線間の電気的な導通を確実に確保することとした。

④鋼材の導通確認

排流端子と防食対象となる桁下部のPC鋼線との導通を確認し、防食対象全体に防食電流の供給が可能であることを確認した。

⑤陽極と鋼材の絶縁の確認

①～④の電気防食設備の設置後、陽極通電用リード線と排流端子を用いて、陽極と鋼材の絶縁を確認した。また、コンクリート打設時には、コンクリートの打設・締め固めにより、陽極と鋼材が接触することも考えられるため、コンクリート打設中にも上記確認作業を実施した。

⑥配線・配管

PC桁製作・養生後、現地に搬入・設置し、その他の付帯工事が終了した後に、防食用通電回路およびモニタリング回路形成のため、電気防食対象桁から通電装置設置位置までの配線・配管工事を実施した。

⑦通電試験

防食電流量を求めるためのE-logI試験を実施し、この結果に基づき通電を開始した。

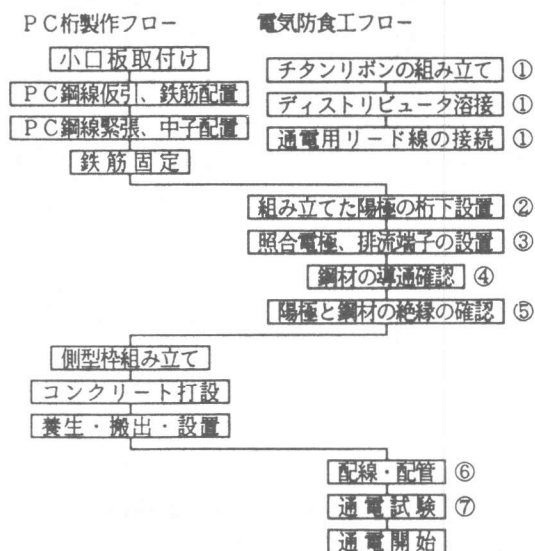


図-8 施工のフローチャート

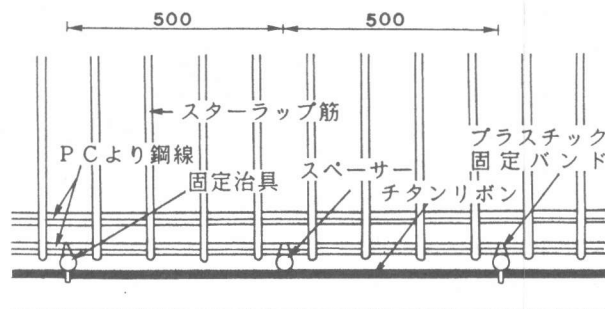


図-9 陽極の設置概念図

4. 通電試験結果

E-logI試験[2][3]を行い、通電電流量と鋼材電位の関係から防食電流密度を決定した。この試験結果をとりまとめて表-2に、また、試験結果の一例を図-10に示す。

これまでに実施したコンクリート構造物の塩害劣化の補修対策として適用した電気防食法の場合、100～200mVのシフト量を得るに必要な電流密度は、コンクリート単位面積当たり10～30mA/m²程度であったが[1][2][3]、これら試験結果は、いずれも極めて小さな電流密度で防食可能であることを示している。

これは、補修時と今回のような新設時では、鋼材の表面状態が異なることやコンクリート中の塩化物の有無などの影響によるものと考えられ、新設時からの電気防食法の適用は、その通電電流量が補修工事の場合の10%程度と非常に小さく、通電維持費が低減できることを示唆している。

図-11は、通電試験時に桁下面から測定した電位の分布を示したものであり、この結果より各測定点での100mA通電時の電位分布は-450～-550mVの範囲内にあり、本電気防食における防食電流は各PC鋼線に均一に流れていることが確認できた。

これらの試験結果に基づき、自然電位から150mV以上シフトする電流量を防食電流密度とし

2.57mA/m²を選定、G1,G2,G3桁を1電源並列回路で、定電流方式による通電を開始した。

表-2 E-logI試験結果

(単位 mA/m²)

シフト量	G-1		G-2		G-3	
	上段	下段	上段	下段	上段	下段
100mV	0.96	0.75	1.03	0.98	0.82	0.71
150mV	2.86	1.58	2.23	2.00	1.80	1.32
200mV	7.25	5.19	4.85	4.24	3.63	3.06

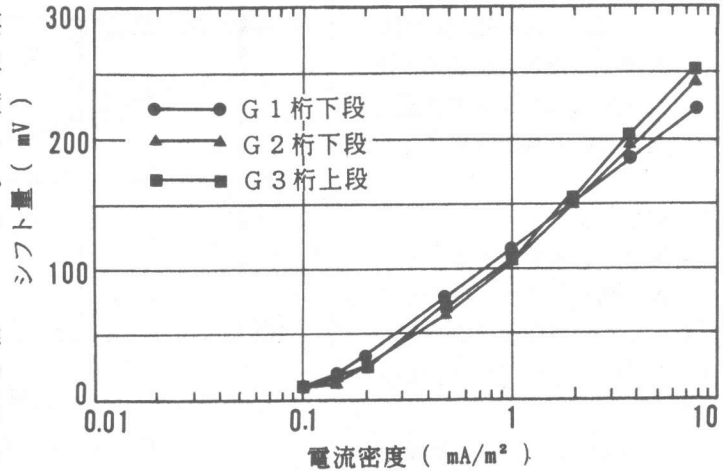


図-10 E-logI試験結果の一例

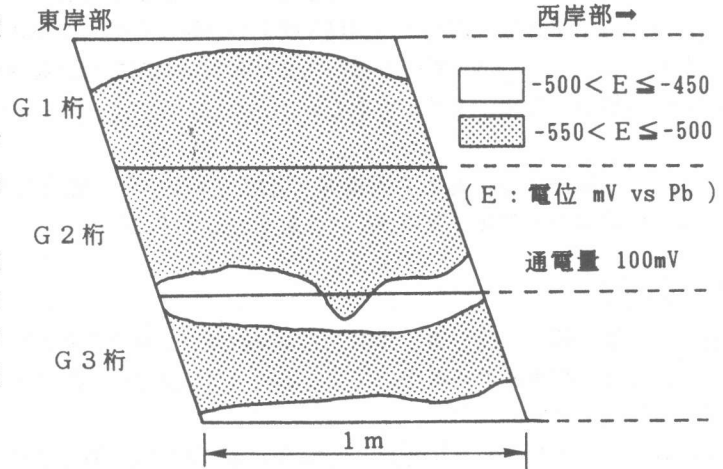


図-11 桁下部の通電時の電位分布

5. 防食効果の確認

先に示した通電量で通電を開始し、通電後約2カ月後、7カ月後に防食効果の確認をした。防食効果の確認は、通電遮断直後の電位 (Instant off 電位) とその後4時間後の電位の差 (復極

量)が通電当初に設定した150mV以上が得られていれば、防食効果が維持されているとした[4]。

表-3に各桁の復極量の測定結果を示す。この結果より、通電2カ月後の復極量は目標とする値が得られており、また、通電後7カ月後では200mV以上の値を示している。これは、図-12に示すように、Instant off 電位が通電の継続により卑化したことによると考えられ、さらに少ない電流量での防食が可能と判断される。

6. まとめ

新設プレレストコンクリート構造物へのチタンリボンを陽極とした電気防食法を適用した。その結果、以下の様な知見が得られた。

1) 本工法による施工上の問題

はなく、補修工法と比べその施工は簡便である。

2) 桁製作時に陽極等を型枠内部に設置することによる桁自体への品質の影響はない。

3) 通電時の防食電流密度は、補修工法の1/10程度と極めて小さい。

なお、今後さらに追跡調査を継続するとともに、電気防食を適用していない他の桁との防食効果の比較検討を実施する予定である。

本施工を実施するにあたり御指導・御協力を頂いた、鹿児島大学武若助教授および住友建設(株)新居浜PC工場の関係諸氏に謝意を表します。

<参考文献>

[1] 三田俊一郎・武藤一雄・井川一弘・加納伸人：コンクリート構造物における流電陽極方式による電気防食法の実用化に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12, No1, pp 517~520、1990

[2] 堺孝司・大越威・石川光男・山本悟：積雪寒冷地におけるRC桁橋への導電性被覆電極方式による電気防食の適用、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14, No1, pp803~808、1990

[3] 川俣孝治・峰松敏和・川田秀夫・高橋久衛：電気防食による港湾コンクリート構造物中の鋼材の防食、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12, No1, pp511~516、1990

[4] 建設省：コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書、1988.8

[5] 武若耕司、峰松敏和、内田美生、荒瀬圭介：外部電源法によるコンクリート中の鉄筋の電気防食に関する研究、鉄筋腐食により損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術に関するシンポジウム論文集、pp95~102、1990

表-3 復極量の測定結果

(単位 mV)

通電材令	G-1		G-2		G-3	
	上段	下段	上段	下段	上段	下段
2か月後	154	166	155	163	165	176
7か月後	200	216	217	222	218	220

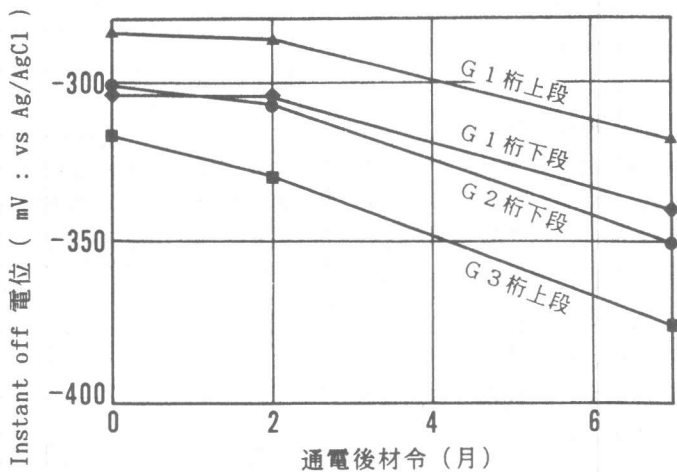


図-12 Instant off 電位の経時変化