

# チタングリッド工法とはく落防止工法とを併用した跨道橋の補修

## - 栗栖跨道橋 -

大阪支店 PC事業部 久保欣也  
技術本部 技術研究所 穴沢雅明

概要:本報告は、内在塩分により劣化した3径間連続RC中空床版橋を、電気防食工法により補修した工事報告である。当工事は電気防食工法がはく落防止工と併用された工事であり、防食方式として帯状陽極を用いるチタングリッド方式を採用している。また、電気防食工法は施工完了後も鋼材電位のモニタリングが可能なように照合電極を配置し、防食効果の確認や適切な維持管理ができるようになっている。

**Key Words:** 電気防食, チタングリッド, はく落防止工, 陽極, 照合電極, 通電調整試験

### 1. はじめに

一般国道24号栗栖跨道橋は、阪和自動車道と和歌山インターランプ部を跨ぐ3径間連続RC中空床版橋である。本橋は、昭和49年の竣工以来、交通量が多い路線に架かる橋梁として重要な役割を果たしてきた。しかし、近年、本橋上部工にコンクリートのひび割れや浮き・はく離等の著しい劣化が現れ、主桁本体の耐久性・健全性の他、ランプ部を通行する第三者交通への安全性に問題を起こす可能性が生じてきた。

平成11年度より健全性の調査と劣化対策の検討が行われ、本橋の劣化要因はコンクリート製造時における洗浄不足の海砂使用による内在塩分型の塩害と判断されていた。今回、その結果に基づき、はく落防止対策と電気防食工法とを併用した上部工補修工事が行われた。本稿は施工前調査の結果の一部と本工事で採用された電気防食工法(チタングリッド方式)の設計・施工、及び今後の維持管理について報告する。

### 2. 橋梁概要

橋梁諸元は以下の通りである。図-1に断面図を示す。

工事名: 24号栗栖跨道橋補修工事

発注者: 国土交通省近畿地方整備局和歌山工事事務所

(現 和歌山河川国道事務所)

施工箇所名: 和歌山県和歌山市栗栖地内

橋梁条件: 3径間連続RC中空床版橋

橋長 = 40.700m

桁長 = 40.630m

支間割 = 10.000 + 20.000 + 10.000m

有効幅員 = 8.250m(上り線), 15.750m(下り線)

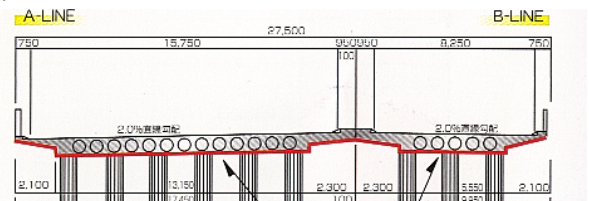


図-1 断面図



久保欣也



穴沢雅明

### 3. 施工前調査と補修工法の選定

#### 3.1 調査目的及び項目

調査目的は、本橋の劣化・損傷状況、既設鉄筋の配筋状況及び添架物の状況等を確認し、電気防食工法の設計及び施工を行うための資料を得ることである。

調査項目は、

- 外観変状調査
- 鉄筋の腐食状況調査
- 既設鉄筋配筋状況調査
- 鉄筋の導通確認調査
- 電気化学的計測(自然電位, 既設鉄筋分極抵抗, コンクリート抵抗)
- 塩化物イオン含有量試験

である。次に、これらの中から一例として塩化物イオン含有量試験の結果を示す。

#### 3.2 調査結果及び劣化原因の推定

塩化物イオン濃度分析結果を表-1 に、塩化物イオン濃度の分布を図-2 にそれぞれ示す。

表-1 塩化物イオン濃度分析結果

採取箇所		塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> )				備考
		0 ~ 20mm	20 ~ 40mm	40 ~ 60mm	60 ~ 80mm	
A2 側上面	1 回目	1.59	2.39	2.26	-	
	2 回目	1.52	2.53	2.32	-	
	平均値	1.56	2.46	2.29	-	
P1-P2 床版上面	1 回目	1.73	1.76	1.83	-	
	2 回目	1.58	1.84	1.98	-	
	平均値	1.65	1.80	1.90	-	
P1-P2 上り線下面	1 回目	0.25	3.43	2.76	2.67	
	2 回目	0.32	3.43	2.79	2.69	
	平均値	0.29	3.43	2.78	2.68	
P1-P2 下り線下面	1 回目	0.22	1.63	1.49	1.24	
	2 回目	0.29	1.76	1.58	1.28	
	平均値	0.26	1.70	1.54	1.26	

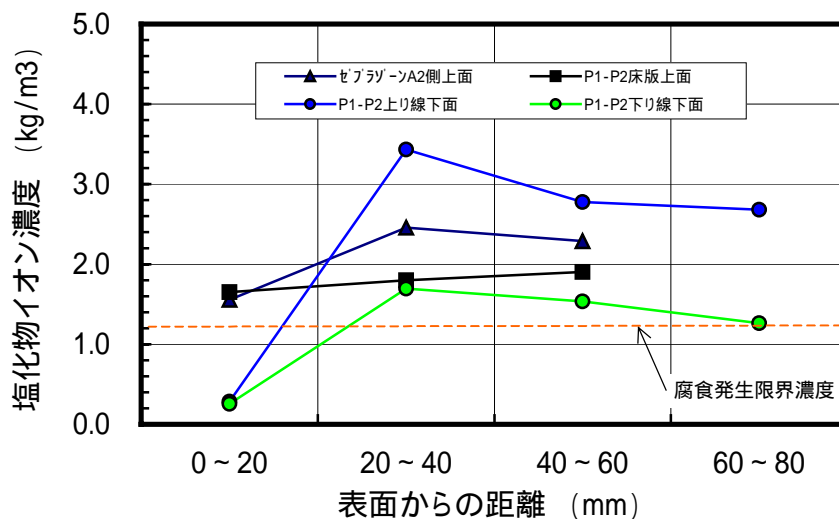


図-2 塩化物イオン濃度の分布

表-1 より、塩化物イオン濃度は、床版下面の 0～20 mm を除き、全体的に発錆限界塩化物イオン濃度 (1.2 kg/m<sup>3</sup>) を超えていることがわかる。本橋は海岸に立地する橋梁でなく、融雪剤の散布量も少ない。さらに、本橋は塩化物イオンの分布が表面近傍に卓越せず、深さ 80 mm までの濃度も高い。

一方、床版下面の 0～20 mm の塩化物イオン濃度が 0.3 kg/m<sup>3</sup> 未満と低く、20～40 mm のそれが高くなっている。これは、コンクリート中の塩化物イオンが中性化の進行に伴い未中性化領域に移動し濃縮したためではないかと推測される。床版下面から採取したコアの中性化深さは 25 mm であった。逆に、中性化が進行していない床版上面から採取したもの (中性化深さ 1mm) では、塩化物イオンの濃度勾配は小さい。

以上のことから、本橋の劣化は、コンクリート打設直後に既に内在していた塩化物が均一な分布から時間の経過とともに徐々に上部工下面に移動していき、発錆限界量を越えた塩化物が鉄筋腐食を誘発してひび割れやはく離・はく落を引き起こした塩害によるものと推察できる。

### 3.3 補修工法の選定

塩害対策補修工法は、従来工法として腐食因子の一つである塩分の浸入を防ぐ表面被覆工法、すでに浸入した塩分を取り除く断面修復工法等があるが、いずれも鋼材の腐食反応を停止させるには至らず再劣化を引き起こす可能性がある。これらに対し、電気防食工法は、コンクリートの表面近傍に設置した陽極から、コンクリートを介して鋼材へ防食電流を流すことにより鋼材の電位をマイナス方向へ変化させ、鋼材の腐食を電気化学的に抑制する工法である。さらに、本工法はコンクリート中の含有塩分量の多少に係わらず採用できる特徴もある。

したがって、本橋の補修工法は、劣化メカニズムと劣化状態を十分考慮した上で、鋼材腐食が再発しない最適な補修工法である電気防食工法が選定された。

次に、電気防食工法には陽極の配置形状の違いによる分類があり、それぞれチタンメッシュ (面状陽極) 方式とチタングリッド (帯状陽極) 方式等がある。本橋の配置形状は、以下の理由から利点の多いチタングリッド方式が選定された。

#### 死荷重が増加しない

本橋は曲げひび割れが確認されている。施工により荷重を増加させると曲げひび割れ幅を増加させることになるが、チタングリッド方式は陽極をコンクリート中に埋設するために死荷重はほとんど増加しない。

#### 維持管理が容易である

通常、定期的な維持管理の一つとして測定の外に、被覆材の点検がある。予想しない何らかのトラブルが発生した場合には、変状がコンクリート表面に現れる可能性が高く、特に陽極被覆部の点検は綿密に行う必要がある。チタンメッシュ方式に比べ、防食対象範囲を全て覆わないチタングリッド方式の方が、対応は部分的に迅速に行え、維持管理も容易である。

#### 均一な防食電流分布が得られる陽極配置ができる

FEM 解析による照査を行い、均一な防食電流分布が得られる陽極の配置が可能である。

#### はく落防止工との併用が可能である

チタングリッド方式は、コンクリート全面に陽極を設置する必要がないため、3軸メッシュシートによるはく落防止工の併用が可能である。なお、3軸メッシュシートは全面に設置したが、電気防食に伴い発生する気体を解放するため、陽極上には樹脂系材料を塗布しなかった。

## 4. 電気防食工法の概要

塩害は、塩化物イオンによりコンクリート中の鋼材が腐食する現象である。この腐食は、鋼材表面の不動態皮膜が破壊された部分と健全な部分とで腐食電池が形成され、この電池により腐食電流が流れて進行するものである。電気防食工法は、この腐食電流を消滅させる防食電流を流し、鋼材腐食を抑制する工法である。

図-3 に概念図を示す。

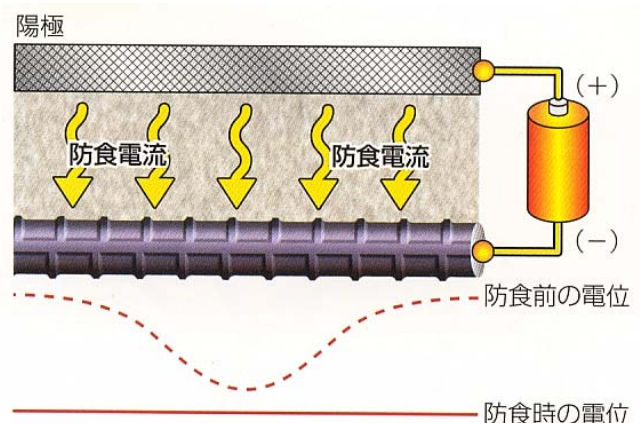


図-3 電気防食工法の概念図

### 5. 電気防食工法の設計

従来の電気防食工法の設計は、通常、防食基準である鋼材の電位をマイナス方向に100mV以上変化させるために必要な防食電流密度を、コンクリート単位表面積当たり1~30mA/m<sup>2</sup>程度と設定している。ところが、電気防食の対象鉄筋に着目すると、防食電流密度が一定ならば、本橋のように主版部と張出床版部の配置鉄筋量が大きく異なる構造物では、鉄筋に流れる電気量も異なり電位変化量も異なる。すなわち、従来のコンクリート単位表面積から防食電流密度を設定する方法では部位により電流密度が異なり、均一な防食効果を得ることが難しくなる。

このチタングリッド工法は、帯状陽極を使用するため、配置鉄筋量に応じた任意の陽極配置が可能であり、適切な設計電流密度を設定することと均一な防食電流を得ることができる特徴がある。

本橋では、陽極に幅20mm×厚さ0.5mmの帯状陽極を用いて主桁のコンクリート表面に所定の間隔で配置した。陽極配置の概略図を図-4に示す。

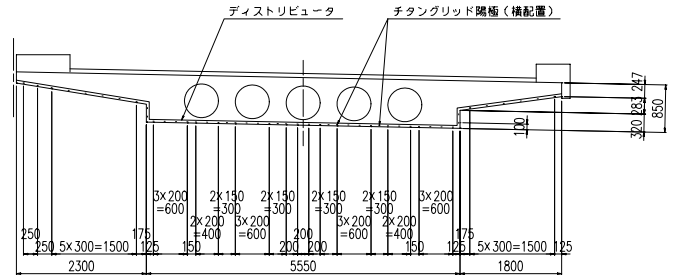


図-4 陽極の配置概略図

#### 5.1 陽極配置の設計

陽極配置の設計は、前述の通り、陽極の設置位置と間隔をコンクリート中の配置鉄筋量と鉄筋位置に応じて決定した。また、設計電流密度は鉄筋の単位表面積当たり20mA/m<sup>2</sup>とし、陽極から鉄筋に流される防食電流量を陽極の限界電流量以下となるように設定した。

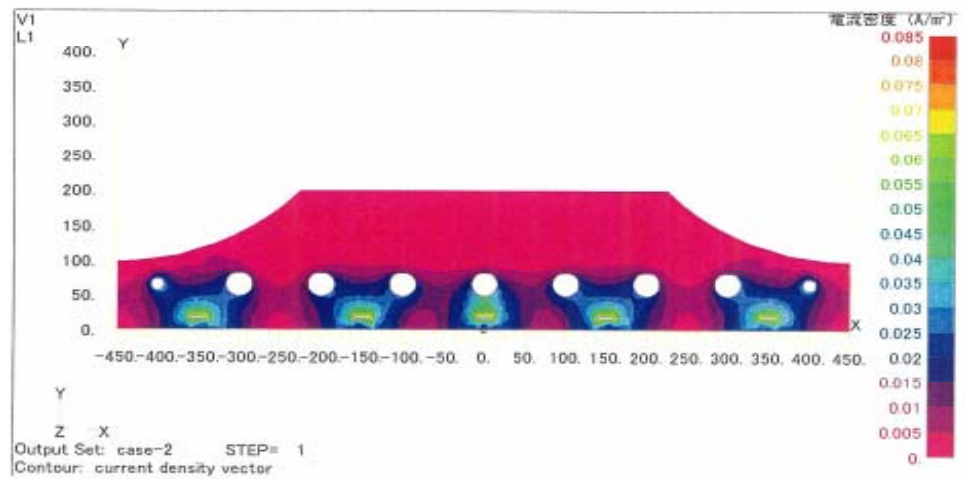


図-5 電流密度のFEM解析結果

なお、防食対象の配置鉄筋に対して均一な防食電流を流すため、陽極配置を基本としたFEM解析による防食電流分布の確認を行っている。図-5に示すように、配置鉄筋に応じて主版下面150~200mmピッチ、張出床版下面300mmピッチに変化させ均一な防食電流分布が確認された。

#### 5.2 防食回路の設計

防食回路の設計は、土木学会コンクリートライブラリー107の基準に従い、1回路当たり500m<sup>2</sup>程度以下とした。防食対象範囲は、主版及び張出床版の下面全域とし、上下線別に各々2回路に分け全4回路とした。また、ディストリビュータ及び通電点の設置位置は、陽極材内の電圧降下が300mV以内となるように設定した。なお、防食基準は鋼材の電位をマイナス方向に100mV以上変化させることとし、設定した設計防食電流密度の妥当性を電位変化量のFEM解析により確認した。ただし、設計で求めた防食電流密度は、陽極の設置位置を決定するための計算上の値であることに留意する必要がある。すなわち、現地で行う通電調整試験によって、電位と電流密度の関係から設定するのが基本であり、本橋も通電調整試験によって設定している。

#### 5.3 モニタリング回路の設計

モニタリング回路は、適切な防食電流の供給と防食効果の確認ができるように設計した。照合電極は、現場状況から判断し、配筋量の異なる主版部と張出床版部に分けて、防食回路1回路当り2箇所設置した。これにより、配筋量の異なることによる防食電流分布の違いを確認することができ、適切な防食電流を設定することが可能である。

## 6. 電気防食工法の施工

今回、チタングリッド方式による施工を高度で確実にするために、陽極設置溝の切削と配線・配管を以下の通りに行った。

### 6.1 陽極設置溝の切削

陽極設置溝切削作業において、専用の溝切削機械を開発した。陽極設置溝は幅 25mm×深さ 20mm、ディストリビュータ設置溝は幅 50mm×深さ 20mm で切削した。切削後、溝内部に露出金属類が現れていないことを確認し、露出金属類があったところは樹脂系材料で絶縁処理を施した。このように、切削時に発生する粉塵を抑え、かつ溝切削幅、間隔等の出来形精度の向上に寄与することができた。

陽極設置の溝切削状況を写真-1 に示す。



写真-1 陽極設置溝切削状況

### 6.2 陽極の設置、溝復旧

陽極及びディストリビュータはセメント系モルタルで溝内の不陸整正を行った後、プラスチックピンで固定した。また、陽極とディストリビュータの結合はスポット溶接を施した。さらに、陽極間の導通試験、陽極・鉄筋間の絶縁確認試験を行い、回路が正常に形成されていることを確認し、溝内をセメント系モルタルで復旧した。

陽極の設置状況を写真-2 に示す。



写真-2 陽極設置状況

### 6.3 配管・配線

回路が正常に形成されていることを仮通電試験によって確認した後、配管・配線した。リード線はプルボックス内で結線し、プルボックス内部に水が浸透し漏電の原因にならないようにプルボックスとコンクリート面との境界を樹脂でコーキングした。

### 6.4 通電調整試験・復極量試験

最適な防食電流密度を設定するために通電調整試験を行った。

防食電流密度は、電流密度とインスタントオフ電位との関係から、各照合電極での初期値に対し 100mV 以上の分極量が得られ、かつ、コンクリートと鋼材との付着力への影響を考慮し、鋼材電位を-1000mV vs. CSE よりプラス方向(貴)の電位を維持できるように設定した。

また、防食効果を確認するために復極量試験を行った。この時、通電調整試験で決定された防食電流密度で約 1 週間通電した後に通電を遮断し、遮断後の経過時間とオフ電位との関係から、各照合電極で復極量が 100mV 以上あることを確認した。

## 7. 今後の維持管理・点検計画について

### 7.1 維持管理の目的

電気防食工法の維持管理の目的は、コンクリート構造物中の鋼材に対する防食効果の確認と防食装置の点検を行うことにより、コンクリート構造物中の耐久性を長期にわたって維持することである。また、コンクリート構造物の点検の目的は、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である。

### 7.2 点検の種類及び点検項目

点検には、日常点検、定期点検、詳細点検及び臨時点検があり、それぞれの目的に応じて点検項目が異なる。点検結果は記録・保存する。

#### 日常点検

管理者が日常の巡回時に目視で実施し、点検結果を記録する。

定期点検

管理者が策定した維持管理計画に基づき定期的を実施し、点検結果を記録する。

詳細点検

日常点検及び定期点検から異常または変状が認められた場合に実施する。継続的な点検から不具合が認められない場合でも、5年または10年毎に実施することが望ましい。また、災害や事故が発生し対象とするコンクリート構造物とその影響を受けている疑いがある場合は特に臨時点検として詳細点検を実施し、必要に応じて対策を講ずる。

点検の実施計画例を表-2に示す。

表-2 点検の実施計画例

種類	実施時期	点検項目	実施月			
			4~6	7~9	10~12	1~3
日常点検	日常巡回時	外観観察 電気防食装置の稼働(表示灯による)				
定期点検	2003年(初年次)	外観観察(変状の有無) 電気防食装置の稼働				
	2004年以降	防食効果(電位測定による)				
詳細点検	2008年(5年後)	外観観察(変状の有無) 電気防食装置の稼働				
	2013年(10年後)	防食効果(電位測定による) 埋設試験体による防食効果の確認				
	2023年(20年後)	必要に応じて、打音検査等				
臨時点検	必要な場合、随時	詳細点検と同内容	○○○	○○○	○○○	○○○

7.3 点検の手順

点検手順のフローを図-6に示す。

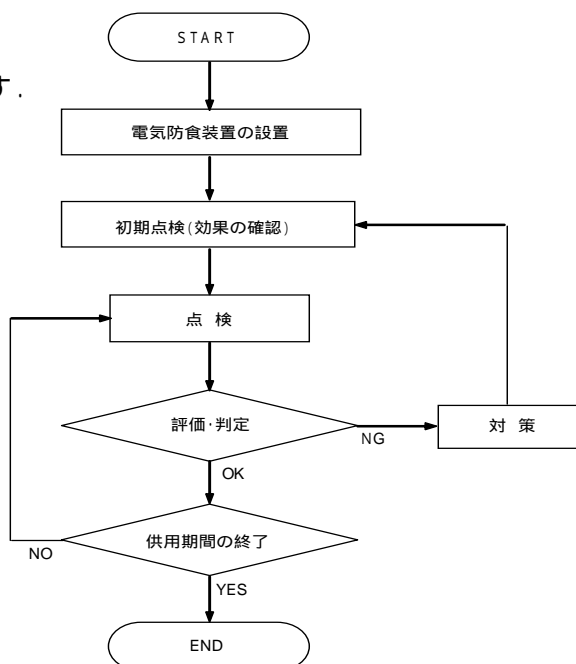


図-6 点検手順のフロー

7.4 評価及び判定

点検項目及び判定基準を表-3に、復極量の概念を図-7にそれぞれ示す。

表-3 点検項目及び判定基準

点検項目		点検方法	判定基準
外観	陽極システム	目視	ひび割れ, 浮き, 錆汁がないこと
	電源装置	目視	損傷や腐食が進行していないこと
	配線・配管	目視	損傷や劣化がないこと
稼働状況	電源装置	目視	表示灯が点灯していること
		測定	電圧・電流が安定していること
防食効果		測定	復極量が 100 mV 以上あること インスタント電位が -200 mV vs PRE よりも貴であること

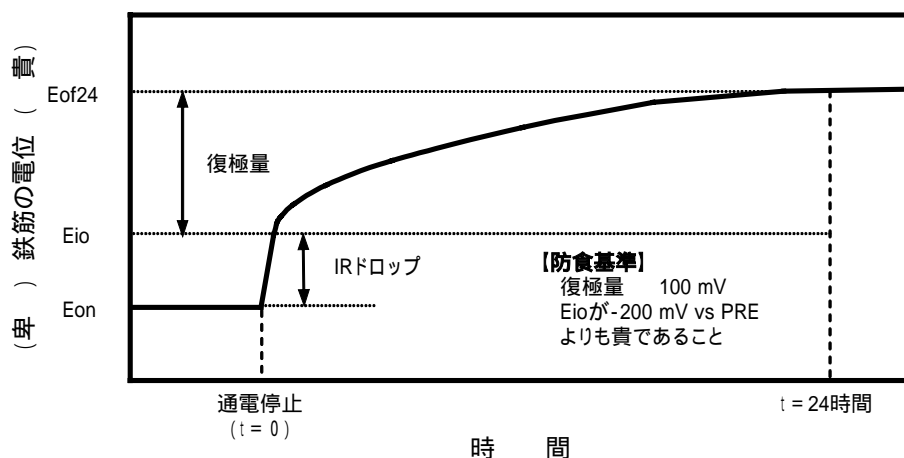


図-7 復極量の概念

7.5 対策

点検結果とその対策例を表-4に示す。

表-4 点検結果とその対策例

点検結果	対策
鉄筋の腐食が進行している	防食回路の不良箇所を特定し, 交換する 新たに陽極を設置する
浮き, はく落がある	たたき落とし, 劣化原因に応じて補修する 鉄筋の腐食による場合は と同じ
防食装置に損傷や腐食がある	以後の使用が困難な場合は交換する
通电していない	原因を調査し, 異常箇所を復旧する
陽極が劣化している	原因を調べ, 交換または増設する
電圧・電流が安定しない	直流電源装置, 陽極システム, 配線について不良箇所を修理した後, 通电調整試験より設定した防食電流密度での通电状況が安定していることを確認する
100 mV 以上の復極量が得られない	通电調整試験から 100 mV 以上の分極が得られる防食電流密度を再設定する
過防食となる	通电を一週間程度中断する 通电調整試験から過防食とならない防食電流密度を再設定する

## 8. おわりに

本橋の補修工事は、平成15年3月無事完成した。今後、電気防食工法により補修される橋梁や既設構造物の施工の際、本稿が一助となれば幸いである。

## 謝辞

最後に本橋の施工及び本文の作成に当たりご指導ご協力頂いた関係各位に、この場をお借りして感謝の意を表します。



写真-3 陽極埋戻し完了時



写真-4 完成写真(全景)

## 参考文献

土木学会:コンクリートライブラリー107 電気化学的防食工法 設計施工指針(案), 2001年11月