

阿曾・拳野洞門の補修工事

大阪支店 土木工事統括部技術部 久保欣也

大阪支店 土木工事統括部PC工事部 小椋博文

概要:本報告は、飛来塩分により損傷を受けた RC 構造の洞門を、電気防食、表面被覆、支柱再構築の3種類の方法によって補修した工事報告である。完成から30年を経過した構造物は、構造物のいたるところにコンクリートのひび割れ、はく離などの著しい損傷が現れ、早急に補修・補強することが求められていた。これらの中から電気防食工法を中心に報告する。なお、本工事の電気防食工法の総面積は 4000m² 以上であり、国内の一つの工事として最大規模のものである。

Key Words: 電気防食, チタングリッド, 陽極, 照合電極, 通電調整試験, 復極量試験

1. はじめに

阿曾・拳野洞門は、一般国道 8 号敦賀市阿曾～拳野地先の海岸線に立地する全長約 500m の洞門である。昭和 48 年の竣工以来、関西圏と北陸圏を結ぶ重要交通路線を防護する構造物として重要な役割を果たしてきた。

しかし、この洞門は建設後 30 年間日本海から絶えず塩分を受ける厳しい環境下に曝されており、コンクリート構造物にひび割れや浮き、はく離等の著しい損傷が現れ、洞門の耐久性低下、通行車両への安全性に問題を起こす可能性が生じてきた。過年度の詳細調査や試験施工等の結果¹⁾から、損傷要因は中性化、塩害が進行した複合的なものであることが判明し、ライフサイクルコストを検討した結果、補修工法として電気防食、表面被覆、支柱再構築の3種類の工法が選定された。

その中の電気防食工法は、コンクリート中の鋼材に微弱電流を流すことにより、鋼材腐食を抑える工法として近年採用事例が増加している。本工事の電気防食工法では線状陽極を用いるチタングリッド方式を採用し、施工総面積は約 4400m² と国内の一つの工事として最大規模のものである。

本稿では、平成 17 年 3 月に竣工した電気防食工法の施工について報告する。

2. 工事概要

構造物諸元は以下のとおりである。平面図および断面図を図-1 に示す。

工 事 名: 8 号阿曾・拳野洞門補修工事

発 注 者: 国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所

工 事 場 所: 福井県敦賀市阿曾～拳野地内

構造物延長: 阿曾側 延長約 280m

拳野側 延長約 200m

工 期: 平成 16 年 3 月 2 日～平成 17 年 3 月 10 日

工 種: 電気防食工: 4460m² 表面被覆工: 4410m²

支柱再構築工: 丸支柱 7 本 角支柱 29 本



久保欣也



小椋博文

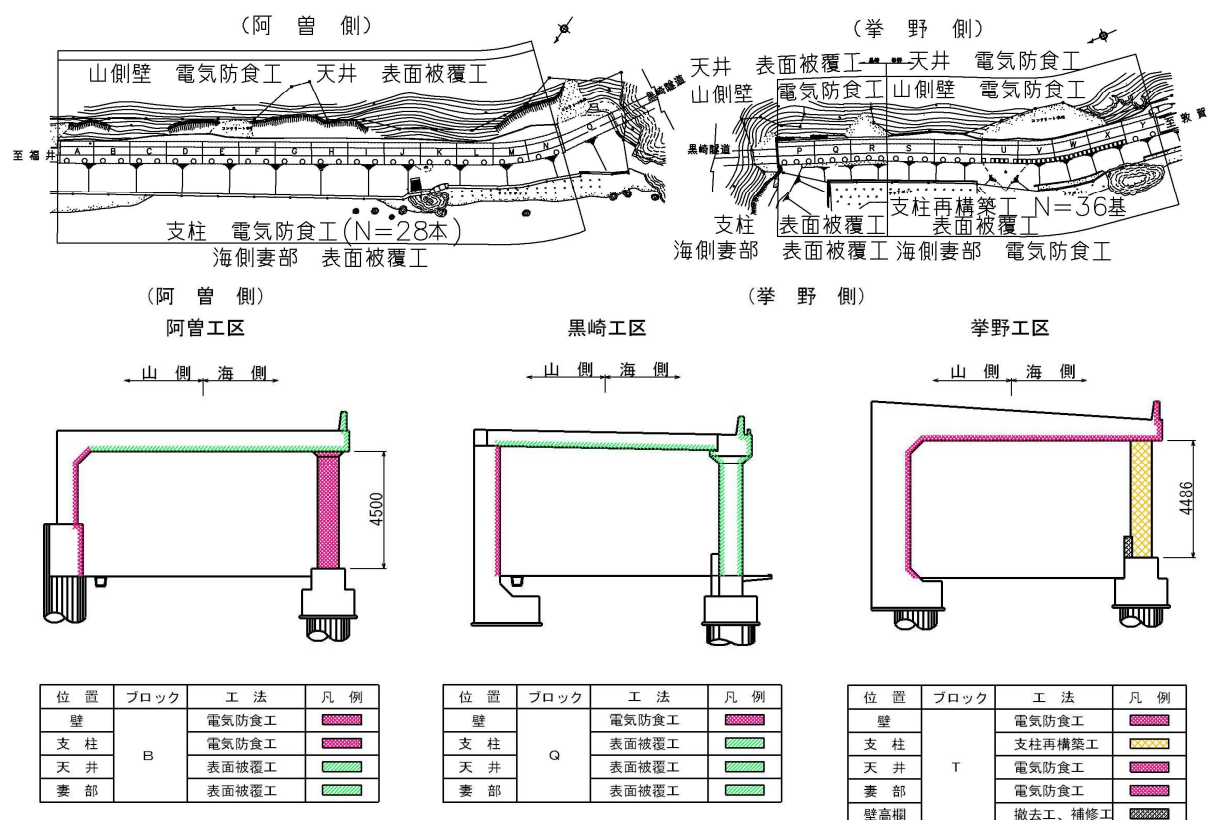


図-1 平面図

3. 補修・補修工法選定の背景

構造物の補修工法は、平成12年度から14年度にかけて詳細調査²⁾や調査を兼ねた先行補修工事を行った結果、洞門の損傷原因を究明し、ライフサイクルコストを最小にする観点から選定されている。

(1) 劣化度と補修・補強工法の選定

選定条件のフローを図-2 に示す。

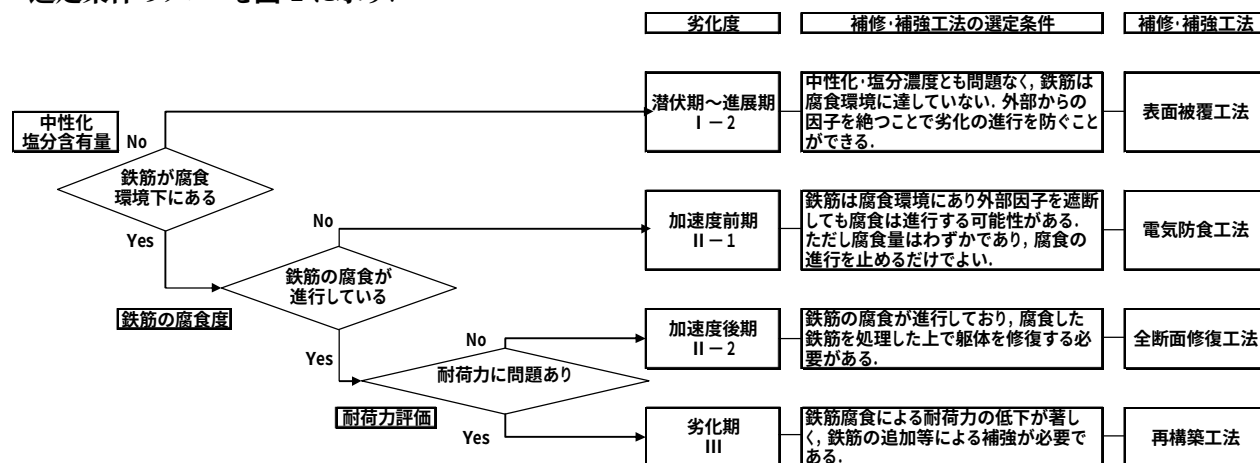


図-2 補修工法選定のフロー

(2) 詳細調査

詳細調査内容は、中性化試験、塩分含有量試験、コア採取による圧縮強度・弾性係数の確認、配合推定である。それぞれの結果は次のとおりである。

1) 中性化試験

- ・中性化の進行速度は速い。
- ・中性化のこり深さ 25mm 以下の鉄筋が多く、発錆限界を超えている。

2) 塩分含有量試験

- ・支柱・側壁は塩分濃度が高く、鉄筋位置で発錆限界 (1.2kg/m^3) を超えている。
- ・コンクリート内部に進むにしたがって塩分濃度が低下していくため、飛来塩分による塩害と推測される。

3) コアの圧縮強度、配合推定試験

- ・拳野側は設計基準強度を下回っている箇所もあり、配合推定でも高い水セメント比が推定された。

以上の結果から、構造物の損傷原因は、かぶり不足、飛来塩分の塩害と中性化による複合劣化であると推測された。

(3) 補修工法の検討

補修にかかるコストとして

- ① 初期工事費
- ② 今後の維持管理
- ③ 通行規制に伴う利用者コスト

を評価対象とした。また、竣工してから100年を洞門の耐用期間として今後70年を評価期間とした。

その結果、中性化深さ、塩分濃度と鉄筋腐食状況から、洞門を3工区にグループ化し、図-2を参考にそれぞれの劣化度に応じてライフサイクルコストを最小とする最適な工法を選定した結果を表-1に示す。

表-1 補修工法選定

工法	適用 限界	阿曾 支柱	阿曾 天井	阿曾 側壁	黒崎 支柱	拳野 支柱	拳野 側壁	拳野 天井
		II-1	I-2	II-1	I-2	II-2	II-1	II-1
表面被覆工	I-2	×	○	×	○	×	×	×
電気防食工	II-1	○	○	○	○	×	○	○
脱塩・再アルカリ工	II-1	○	○	○	○	×	○	○
全断面修復工	II-2	○	○	○	○	○	○	○
再構築	III	○	×	×	○	○	×	×
巻き立て	III	○	×	×	○	○	×	×
選定案 (最適案)		電気防食	表面被覆	電気防食	表面被覆	全断面修復	電気防食	電気防食

4. 電気防食工法の概要

コンクリート中の鋼材の腐食は、鋼材表面の不動態皮膜が破壊された部分と健全な部分で腐食電池が形成され、腐食電流が流れて進行する。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。

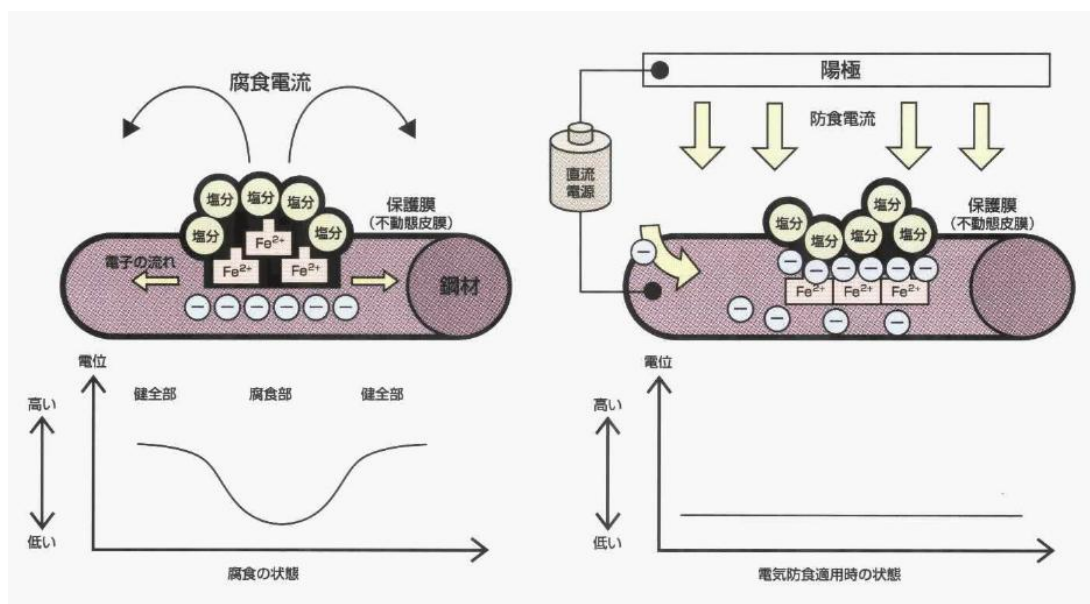


図-3 概念図

5. 電気防食工法の施工

施工手順を図-4 に示し、主な工種について詳述する。

本工事の防食回路は阿曾側が5回路、拳野側が8回路である。

(1) 施工前処理、照合電極の設置

コンクリート表面部に埋め込まれている鋼材以外の鋼製セパレータ等の金属類は、防食電流による電食を避けるためにあらかじめ除去し、除去できない金属類は樹脂系材料で絶縁処理を施した。また、電気防食回路形成のための排流端子、鋼材の電気化学的状态(電位)をモニタリングするための照合電極・計測端子は所定の位置に設置し、鉄筋間の導通確認試験と照合電極の作動確認試験を行い、照合電極の作動状態を確認した。

(2) 陽極設置溝の切削

陽極は、防食電流がコンクリート中の鋼材に均一に流れるように、コンクリート構造物に対して面的に保護するため最大300mm 間隔にて設置し、陽極設置溝は幅 25mm×深さ20mm で切削した。切削後、溝内部に露出金属類がないことを確認し、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。また、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、切削時に発生する粉塵を抑え、溝切削幅・間隔等の出来形を向上することが可能となった。

陽極設置の溝切削状況を写真-1 に示す。

(3) 陽極の設置、溝復旧

陽極及び電流分配材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、陽極と電流分配材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。

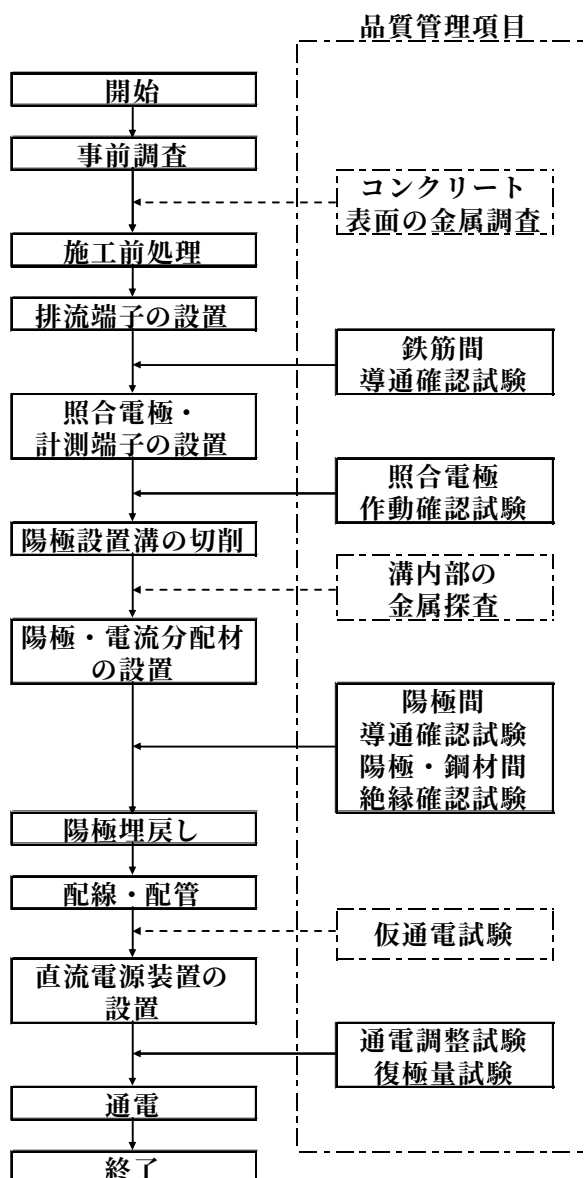


図-4 施工手順



写真-1 溝切削状況



写真-2 陽極設置状況

(4) 配線・配管

電流分配材部の通電点と排流端子からのリード線を防食回路毎に、照合電極と計測端子からのリード線をモニタリング回路毎に直流電源装置まで配線・配管した。その際に仮通電試験を行い、回路が正常に形成されていることを確認した。

(5) 通電調整試験・復極量試験

最適な防食電流密度を決定するために通電調整試験を行った。この防食電流密度は、電流密度とインスタントオフ電位との関係から、各照合電極で初期値に対し 100mV 以上の分極量が得られ、防食基準を満足するように設定されるものである³⁾。

通電調整試験結果の一例を図-5 に示す。

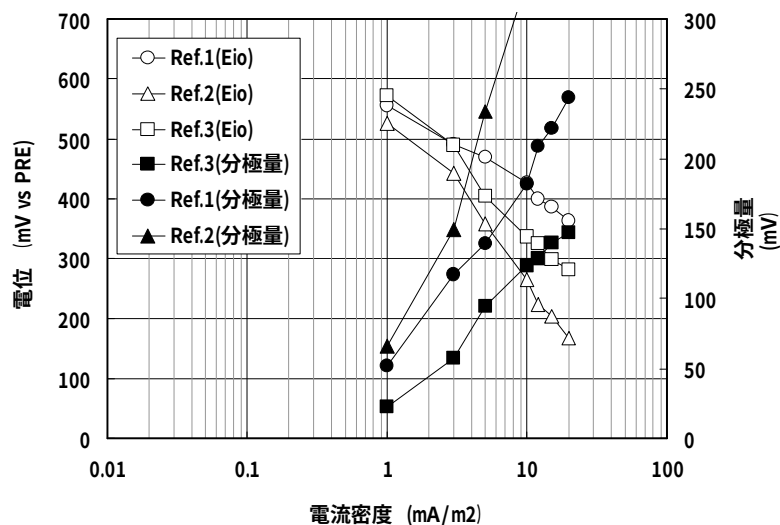


図-5 通電調整試験結果の一例

また、防食効果を確認するために復極量試験を行った。この復極量試験は、通電調整試験で決定した防食電流密度で約 1 週間通電した後に通電を遮断し、各照合電極復極量 (遮断直後の電位と遮断 24 時間後の電位の差) が 100mV 以上あることを確認するものである。

復極量試験結果の一例を図-6 に示す。

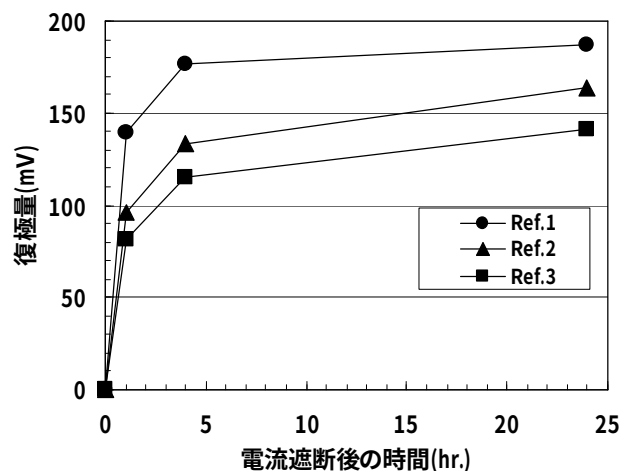


図-6 復極量試験結果の一例

6. 維持管理・点検計画

(1) 維持管理の目的

維持管理の目的は、電気防食工法による鋼材の防食効果の確認と防食装置の正常な作動の確認を行い、構造物の健全性を長期にわたって維持することである。

(2) 点検の種類および点検項目

点検は、日常点検、定期点検、詳細点検及び臨時点検に分かれ、以下に各点検の概要を示す。

① 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。

② 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の実施し、点検結果を記録する。

③ 詳細点検 (臨時点検)

日常点検及び定期点検の結果から異常または変状が認められた場合に実施する場合と、5年または10年毎に実施する場合がある。また、災害や事故が発生し対象とする構造物が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する。

点検の実施計画例を表-2に示す。

表-2 点検の実施計画例

点検の種類	点検対象		点検項目	点検頻度
日常点検	直流電源装置	表示灯	点灯、消灯の確認	巡回時
定期点検	構造物	コンクリート	コンクリートの浮き・剥離・錆汁発生	初年度年4回 次年度以降年1回
		陽極被覆材	陽極被覆材の浮き・剥離	
		配管材	配管材の剥がれ、割れ、たるみ	
	直流電源装置	収納ボックス外部	錆、塗膜の剥がれ、扉の開閉	
		収納ボックス内部	錆、塗膜の剥がれ	
		表示灯	点灯、消灯の確認	
		故障ランプ	故障ランプ点灯の有無	
		避雷装置	ランプの点灯/消灯、割れ	
		防食効果	復極試験	
		防食電流調整	復極試験結果参照	
詳細点検 (臨時点検)	構造物	コンクリート	コンクリートの浮き・剥離・錆汁発生	5年後 10年後 20年後
		陽極被覆材	陽極被覆材の浮き・剥離	
		配管材	配管材の剥がれ、割れ、たるみ	
		配線材	配線材の絶縁	
	直流電源装置	収納ボックス外部	錆、塗膜の剥がれ、扉の開閉	
		収納ボックス内部	錆、塗膜の剥がれ	
		表示灯	点灯、消灯の確認	
		故障ランプ	故障ランプ点灯の有無	
		避雷装置	ランプの点灯/消灯、割れ	
		端子盤	錆汁発生	
		電源ユニット	出力電流、電圧	
		制御ユニット	測定電流、電圧、電位、インスタントオフ電位	
		防食効果	復極試験	
		防食電流調整	復極試験結果参照	

7. その他工事を行う上でポイントとなった交通規制について

構造物は、急峻な斜面と海岸の境界線に位置し、他に迂回路がないため、国道の片側交互規制により施工する計画となっている。通行規制による渋滞は地域経済に大きな影響を及ぼすことや、本工事が幹線道路である国道8号直上において施工されることを考慮すると、提案する施工方法は片側交互規制日数の短縮が社会的要請であると考え、「片側交互通行規制の切り替え回数を最小限にすること」、「各工種の迅速化を図ること」および「複数工種の同時作業における人的、機械的設備の効率化」を目的として計画した。概要は以下のとおりである。

片側交互通行規制の切替え回数：全工期を通じて1回

片側交互通行規制の日数：	海側規制	135日	(不稼働日数考慮せず)
	山側規制	65日	(　　　　　〃　　　　　)
	合計規制	200日	(　　　　　〃　　　　　)

実施規制日数は上記より9日短い191日であった。

8. おわりに

完成写真を写真-3,4に示す。本工事は、ライフサイクルコストを最小にする観点から表面被覆工、支柱再構築工等の工法を併せて実施することで、構造物の耐久性が回復されるとともに、鋼材電位のモニタリングは照合電極を配置することにより防食効果の確認、適切な維持管理が可能なものとなった。

今後は構造物の維持管理が増大することが予想され、多様な補修補強方法の開発が求められている。本工事の電気防食工法は国内工事として最大規模のものであり、同類補修工事の参考になることが期待される。また、電気防食技術を確立するため、今後も定期的に点検・計測を実施し、防食効果を長期的に検証することが課題である。



写真-3 完成写真 (阿曾側)



写真-4 完成写真 (挙野側)

謝辞

本工事の施工及び本稿の作成に当たりご指導ご協力頂いた、国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所関係各位に、この場をお借りして感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 塩害環境下にあるコンクリート構造物の最適補修工法の選定：平成15年度管内技術研究発表会論文集 防災・保全部門 18-1～4
- 2) 平成14年度 8号黒崎ロックシェッド補修検討業務(概要集)：国土交通省近畿地方整備局 福井河川国道事務所、株式会社建設技術研究所：平成15年6月
- 3) 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)：土木学会