

コストパフォーマンスに優位性のある電気防食の施工例

—導電性塗料方式—

北陸支店	土木工事事務部	北山耕造
北陸支店	土木工事事務部	清水隆
北陸支店	土木工事事務部	山本達郎
土木本部	メンテナンス部	貝原巨利

概要：従来の電気防食工法は、チタンを母材とした陽極を使用するため、耐用年数の面では優れているが、コストの面では高価な印象を与えていた。石川県輪島市に架かる船通橋では、従来型に比べより安価な電気防食工法の採用が求められ、種々検討の結果、施工が容易で低コストの導電性塗料方式電気防食工法（以下、導電性塗料工法という）が選定された。この事例は国内でも少なく、本稿では導電性塗料工法の施工概要、品質管理方法および工法適用後の防食効果について報告する。また、一部 PC 鋼材の代用として使用した炭素繊維プレートによる曲げ補強についても紹介する。

Key Words：塩害、電気防食工法、導電性塗料方式、炭素繊維プレート

1. はじめに

船通橋^{ふなとおし}は、日本海沿岸を走る国道 249 号線に架かるプレテンション方式 PC 単純 T 桁橋である。現在、供用年数は既に 30 年を経過しており、架橋位置は直接波飛沫を受ける厳しい塩害環境下にある。施工前調査ではコンクリート表面に飛来塩分が原因である鋼材の腐食膨張による損傷の顕在化が散見された。特に、飛来塩分が堆積しやすい下フランジやウェブのかぶり不足部にひび割れや錆が認められた。補修前の主桁全景を写真-1 に、主桁劣化部を写真-2 に示す。

船通橋では、塩害補修として従来に比べより安価な電気防食工法の採用が求められ、種々検討の結果、施工が容易で低コストの導電性塗料方式の電気防食工法（以下、導電性塗料工法という）が選定された。この



写真-1 主桁全景



写真-2 主桁劣化部



北山耕造



清水 隆



山本達郎



貝原巨利

導電性塗料工法の施工実績は少なく希有であるため、本稿では導電性塗料工法の施工概要、品質管理方法および工法適用後の防食効果を中心に報告する。また、施工前調査の結果から PC 鋼材の腐食減肉による主桁の耐荷力不足が判明したため、炭素繊維プレート接着工法による主桁の曲げ補強も行ったので紹介する。

2. 工事概要

2.1 架橋位置

船通橋の架橋位置を図-1に示す。

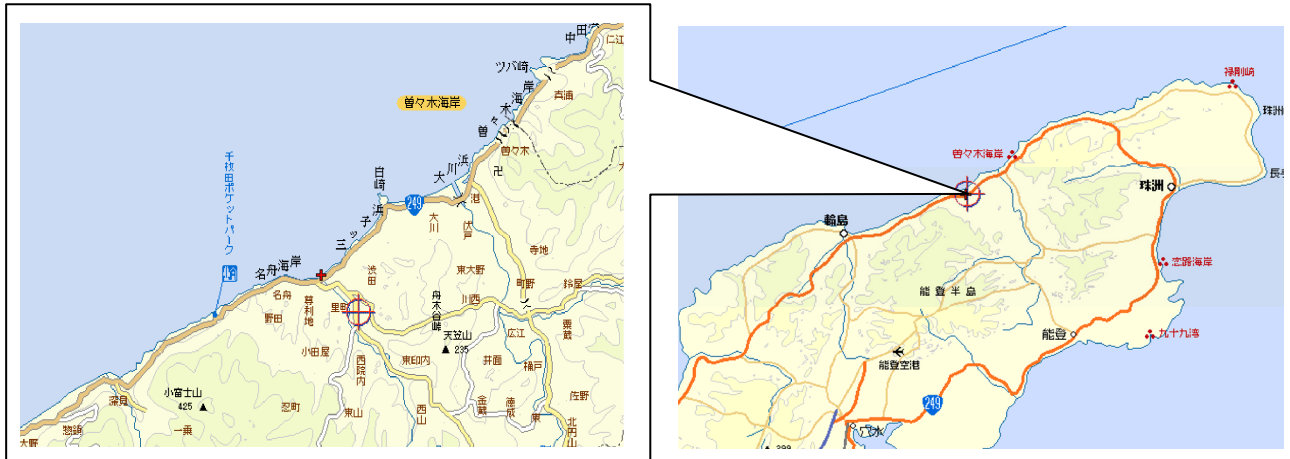


図-1 架橋位置

2.2 構造諸元

船通橋の構造諸元は下記の通りである。

- ・ 橋 長 : 20.00m
- ・ 有効幅員 : 11.75m(=8.25m+0.50m+3.00m)
- ・ 構造形式 : プレテンション方式 PC 単純 T 桁橋桁 主桁数 12 本

また、構造一般を図-2に示す。

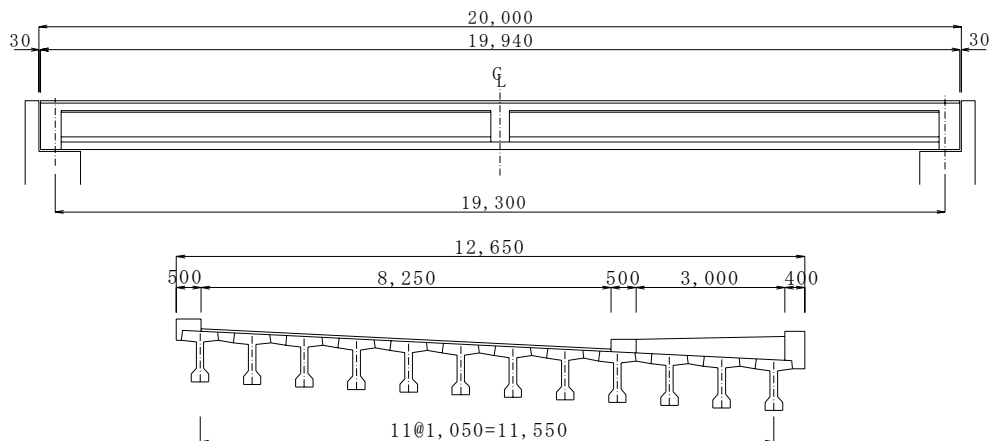


図-2 構造一般

2.3 工事概要

(1) 電気防食工

電気防食に関する条件は下記の通りである。

- ・ 防食工法 : 導電性塗料方式
- ・ 防食面積 : 590m²
- ・ 防食回路 : 2 回路
- ・ モニタリング装置 : 2 個/回路

また、陽極配置図を図-3に示す。

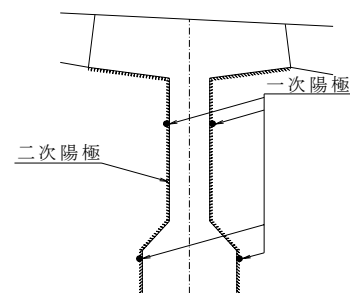


図-3 陽極配置図

(2) 曲げ補強工

曲げ補強に関する条件は下記の通りである。

- ・ 補強工法：炭素繊維プレート接着工法
- ・ 施工箇所：主桁下フランジ下面
- ・ 補強延長：180m(15m/桁×12主桁)

また、炭素繊維プレートの配置を図-4に示す。

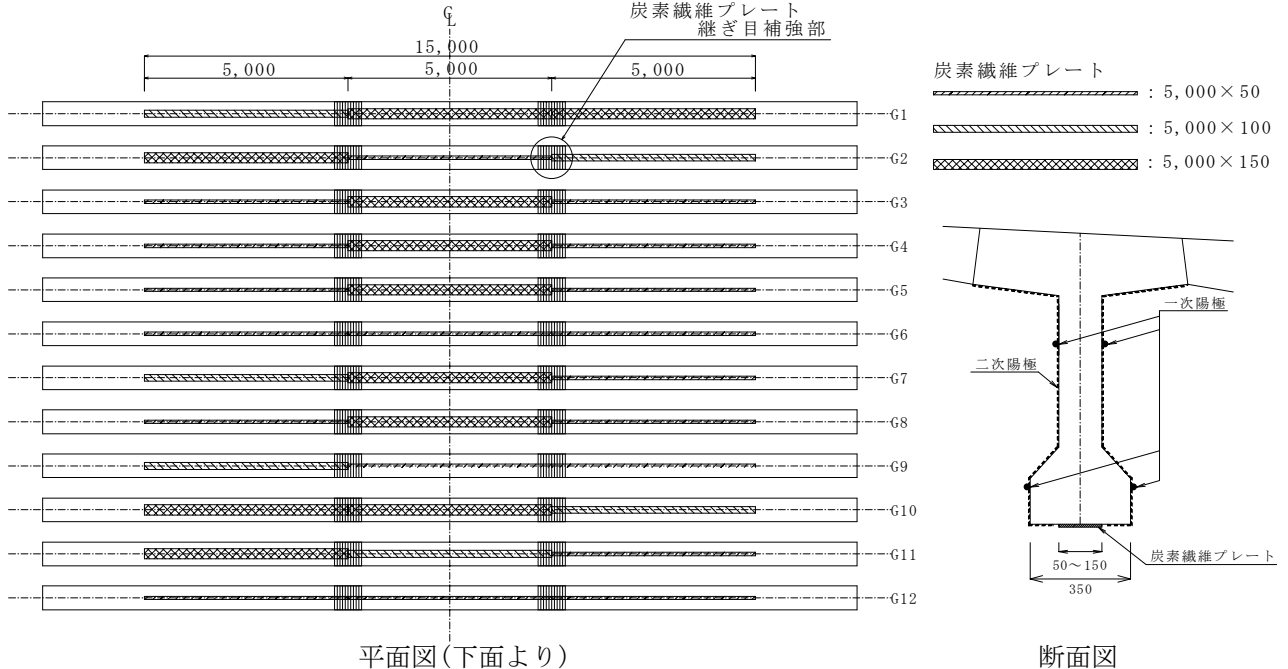


図-4 炭素繊維プレートの配置

3. 電気防食工法

3.1 電気防食工法とは

電気防食工法は、コンクリート構造物の表面近傍に設置した陽極から、かぶりコンクリートを介して腐食鋼材（陰極）に防食電流を流し続けることで、鋼材の腐食を抑制する防食工法であり、電気化学的応用した補修工法である。本稿で報告する導電性塗料工法も同様のシステムである。

3.2 導電性塗料工法とは

導電性塗料工法の概要を図-5に示す。

導電性塗料工法は、面状陽極に分類される電気防食工法であり、電源方式は外部電源方式である。陽極は、一次陽極にプラチナ・ニオブ被覆銅線（直径0.8mm）を使用し、この一次陽極をコンクリート表面に固定した後、その上から二次陽極である導電性塗料を塗布して形成する。その後、一次陽極と防食対象鋼材にそれぞれ直流電源装置の(+)側と(-)側を接続し、防食電流を流す。

本施工例では、陽極保護とガス抜きを目的として、二次陽極の上に透気性の高いトップコート塗料を塗布した。

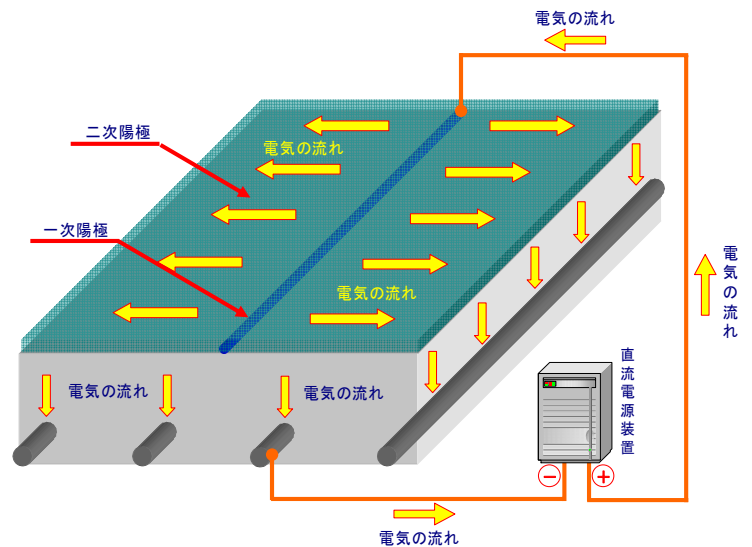


図-5 導電性塗料工法の概要

4. 施工概要

4.1 施工フロー

施工フローを図-6に示す。

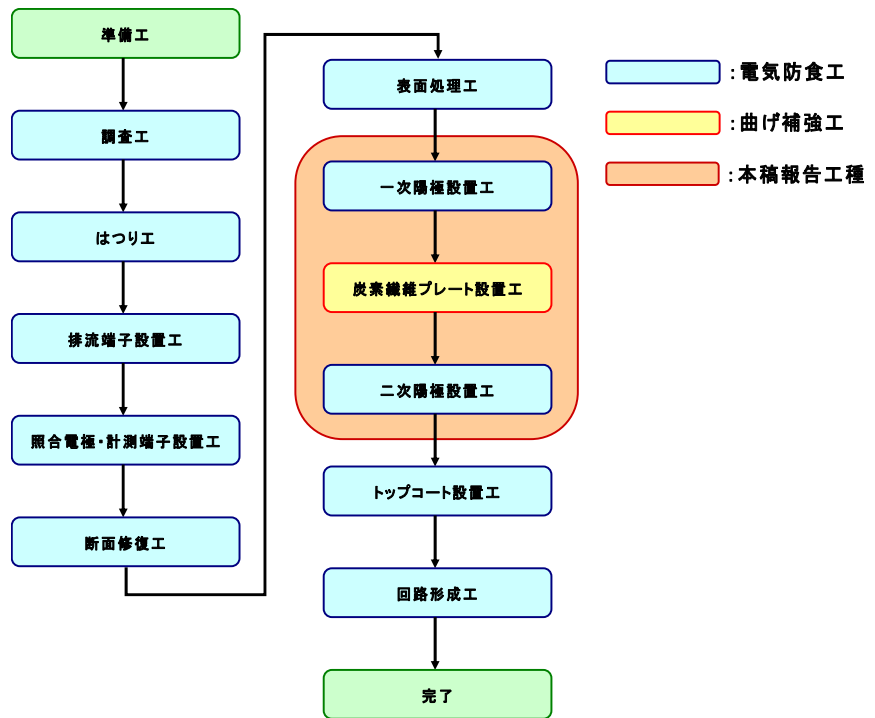


図-6 施工フロー

4.2 施工方法

(1) 一次陽極設置工

一次陽極は、二次陽極に防食電流を分配する線材である。この線材は、あらかじめマーキングしておいたコンクリート表面の所定の位置にプラスチック製ピンを使用して固定する（約 1.0m 間隔）。その中間部はエポキシ樹脂系接着剤でたるまないように固定する。

一次陽極を写真-3に、一次陽極の固定状況を写真-4に示す。



写真-3 一次陽極

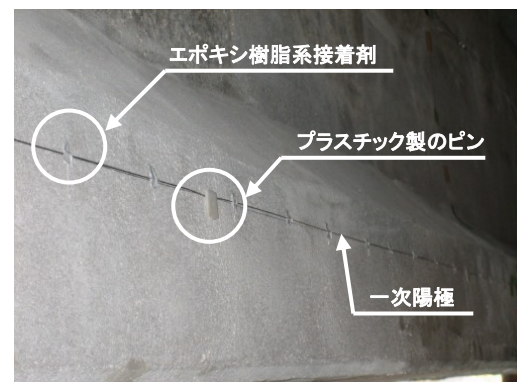


写真-4 一次陽極の固定状況

(2) 炭素繊維プレート設置工

炭素繊維プレートは、コンクリート表面の素地調整を行った後、エポキシ樹脂系接着剤を使用してコンクリート表面の所定の位置に貼り付ける。

炭素繊維プレートの設置状況を写真-5に示す。

また、炭素繊維プレートは導電性を有しているため、陽極との短絡を避けるために、陽極とは一定の距離を置いて設置する。

炭素繊維プレートの施工方法を図-7に、施工状況を写真-6に示す。



写真-5 炭素繊維プレートの設置状況

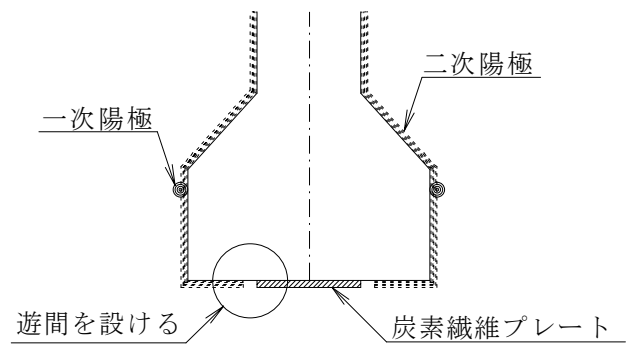


図-7 炭素繊維プレートの施工方法

(3) 二次陽極設置工

二次陽極は、吹付け施工を2層に分けて行う。また、一次陽極の保護用として、1層吹付け後に幅50mm程度のビニロンメッシュを一次陽極に沿って貼り付ける。ビニロンメッシュは、短毛ローラーやゴムヘラを用いて押さえ付け、二次陽極に十分馴染ませる。

二次陽極の攪拌状況を写真-7に、吹付け状況を写真-8に、ビニロンメッシュの貼付け状況を写真-9に示す。



写真-6 炭素繊維プレートの施工状況



写真-7 二次陽極の攪拌状況



写真-8 二次陽極の吹付け状況



写真-9 ビニロンメッシュの貼付け状況

5. 品質管理

導電性塗料工法の施工ポイントは、防食電流を均等に流すための二次陽極の膜厚を均一にすることである。本施工例では二次陽極を吹付け施工したため、試験時と実施工時とで吹付け膜厚を管理し、その後に実施した仮通電試験で防食電流が均等に流れていることを確認した。

管理内容を下記に示す。

(1) 試験吹付け

試験吹付けは、合板にプラスチック板を貼り付け、どの程度の吹付けで管理値を満足するかを確認した。本事例では作業を再開する毎に試験吹付けを行った。試験吹き状況を写真-10に示す。



写真-10 試験吹き状況

(2) 実施工時の膜厚管理

実施工時の二次陽極の膜厚は、コンクリート面にプラスチック板を取付け、吹付け後、そのプラスチック板の単位面積当たりの重量を計測することで管理した。

膜厚管理状況を写真-11に示す。

管理値算出例

- ・ プラスチック板形状：100mm×100mm
- ・ 二次陽極塗料比重：1,050kg/m³
- ・ 吹付け厚さ：0.5mm/1層（吹付け直後）
- ・ 二次陽極重量：

$$100 \times 100 \times 0.5$$

$$\times 1,050 / 1000^3 = 0.00525 \text{kg}$$

$$= 5.25 \text{g}$$

- ・ 重量管理：5.25g 以上
- ・ 目視管理：均一性

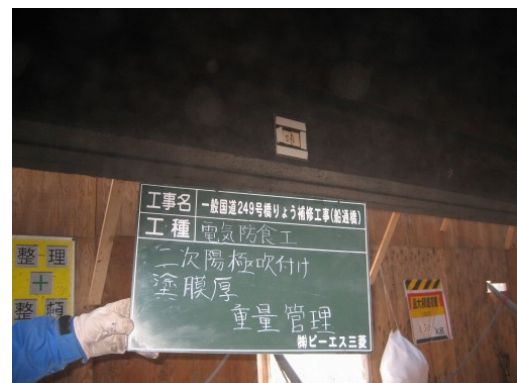


写真-11 膜厚管理

(3) 仮通電試験

仮通電試験は配線配管の施工を行う前に実施した。試験では電流密度 10mA/m² 程度の電気を流し、防食対象鋼材が正常に分極していること、および、電流が均一に分配していることを確認した。

仮通電試験状況を写真-12に、試験で使用した測定機器を写真-13に示す。



写真-12 仮通電試験状況



写真-13 測定機器

6. 防食効果

陽極を設置した後、回路形成の配線配管を行い、最後に直流電源装置を設置した。その後、通電調整試験を行い、試験結果から防食電流量を決定して通電を開始した。試験の結果、回路1と回路2の防食電流密度は1.5mA/m²および2.0mA/m²とした。

通電調整の試験結果を図-8に、初期通電の結果を表-1に示す。

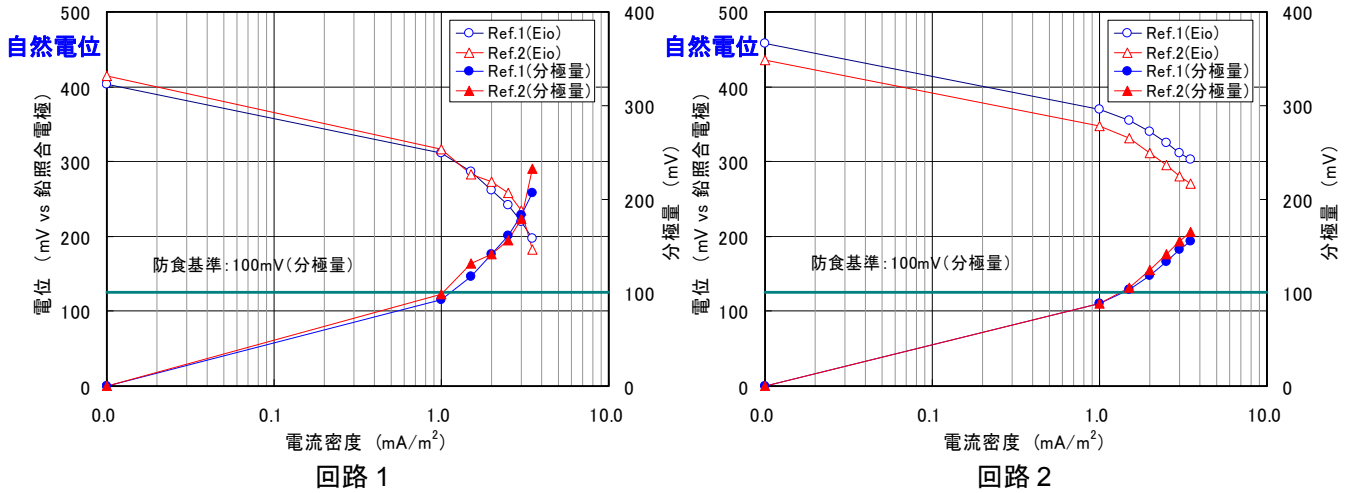


図-8 通電調整の試験結果

表-1 初期通電の結果

		回路1	回路2
防食電流密度 (mA/m ²)		1.5	2.0
Ref1	自然電位(mV)	403	458
	Eio(mV)	286	340
	分極量	117	118
Ref2	自然電位(mV)	414	436
	Eio(mV)	283	312
	分極量	131	124

* Ref : 照合電極
Eio : インスタントオフ電位

本施工例では遠隔監視システムを採用し、月1回の頻度で復極量試験を行った。

その結果を図-9に示す。

復極量はいずれの防食回路でも100mV以上得られており、十分な防食状況にあるものと推察される。

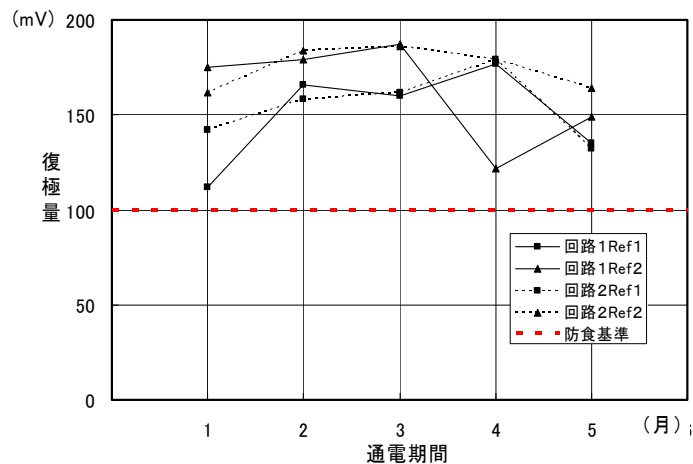


図-9 復極量試験結果

7. 工法比較

(1) コスト比較

導電性塗料工法と従来工法の設計単価を比較した。

その結果を表-2に示す。

表-2より導電性塗料工法は従来工法の5割程度
のコストで施工ができることがわかる。

ただし、比較は下記の施工条件で行った。

【施工条件】

- ・構造条件：プレテンション方式 PC 単純 T 桁橋
橋長：20.0m 程度，幅員：13.0m 程度，桁高：1.0m 程度
- ・施工面積：600m² 程度
- ・その他：塗装が可能

表-2 設計単価比較【直接工事費(材工)】

工種	導電性塗料工法	従来工法
設計単価	約40,000円/m ²	約75,000円/m ²

(2) 工期比較

工期比較の施工条件はコスト比較の場合と同様
とした。

その結果を表-3に示す。

表-3より、導電性塗料工法は従来工法の6割
程度の工期で陽極設置ができることがわかる。

表-3 工期比較

工種	導電性塗料工法	従来工法
陽極設置工期	約3週間	約5週間

* 陽極設置工
(表面処理工，陽極設置工，陽極被覆工)含む

8. おわりに

船通橋の塩害補修工事は平成19年3月に無事竣工を迎えました。完成状況を写真-14に示す。今回報告した導電性塗料工法は、陽極設置が容易に行えるため、工期の短縮化やコストの縮減化が期待できる電気防食工法であり、特にコストパフォーマンスの面では優位性の高い工法といえる。ただし、耐久性の面では耐用年数10～15年程度といわれ、まだ長期間の実績がないため、今後は適材適所で適切な活用を提案しながら着実に実績を拡大していくことが本工法の将来の発展のためには必要と考える。本工法の実績の拡大と更なる技術の発展に大いに期待するところである。また、BASF ポゾリス株式会社をはじめ関係各位には懇切丁寧なご指導とご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。



写真-14 完成状況