

## 弥生橋への電気防食新工法の適用試験工事

|        |        |       |
|--------|--------|-------|
| 九州支店   | PC 工事部 | 吉澤直樹  |
| 九州支店   | 開発営業部  | 平安山良和 |
| ニューテック | 出向     | 石橋徹也  |
| ニューテック | 出向     | 宮尾秀一  |

**概要:** 本稿では、表面被覆工法が施工された既設橋梁に、新たにチタングリッド方式、導電性塗料方式および導電性モルタル方式の3種の電気防食工法を適用し、その施工性や耐久性および防食性能を比較することを目的とした電気防食試験工事について報告する。試験は5年間継続し、実橋を通して各電気防食工法の性能を把握する。

**Key Words:** チタングリッド方式、導電性塗料方式、導電性モルタル方式、復極量

### 1. はじめに

弥生橋は昭和53年(1978年)に、宮崎市青島町の海上部に架設されたプレテンション方式単純ホロー桁橋である。本橋は外部環境から飛来塩分がコンクリート中に浸透しており、平成14年度に実施された損傷調査から鋼材腐食が判明し、平成15年度に従来の表面被覆工法で補修を行っている。

本試験工事では、従来の表面被覆工法と新たに施工するチタングリッド方式、導電性塗料方式および導電性モルタル方式の3種類の電気防食工法の施工性や耐久性および防食性能を、5年間の試験で把握することを目的としている。

### 2. 工事概要

本試験工事の工事概要は以下の通りである。

|                    |                    |                       |     |
|--------------------|--------------------|-----------------------|-----|
| 施工範囲               | : A1-P1 径間 主桁 6 本分 |                       |     |
| 従来工法 (断面修復+表面被覆工法) | : 主桁=1 本           | 面積=5.9m <sup>2</sup>  | 施工済 |
| チタングリッド方式          | : 主桁=1 本           | 面積=5.9m <sup>2</sup>  |     |
| 導電性塗料方式            | : 主桁=2 本           | 面積=11.9m <sup>2</sup> |     |
| 導電性モルタル方式          | : 主桁=2 本           | 面積=11.9m <sup>2</sup> |     |

図-1 に施工箇所を示す。



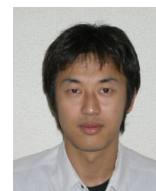
吉澤直樹



平安山良和



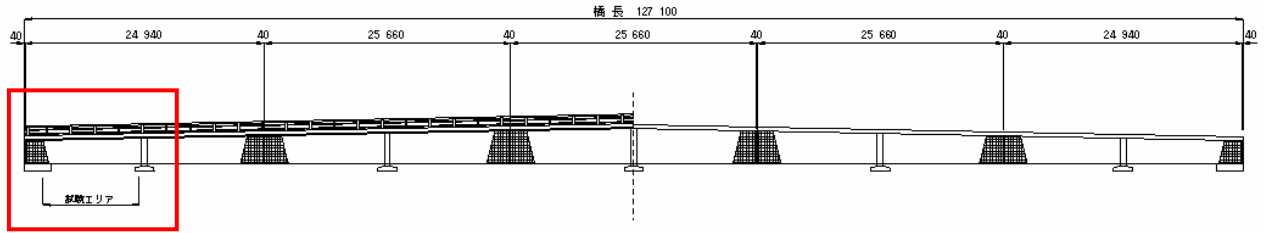
石橋徹也



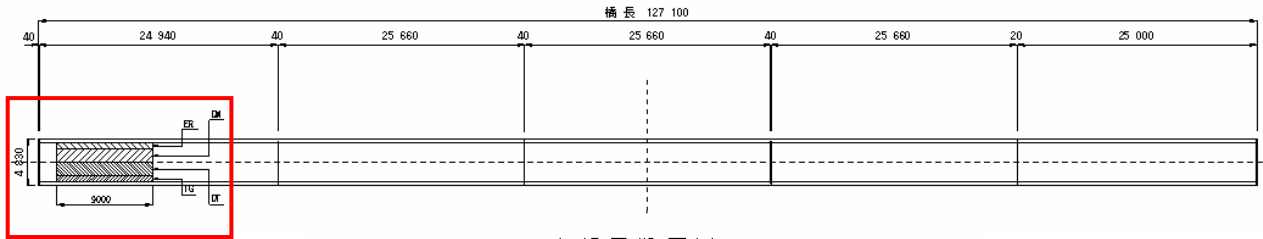
宮尾秀一

弥生橋施工位置図

側面図



平面図



上部工断面図

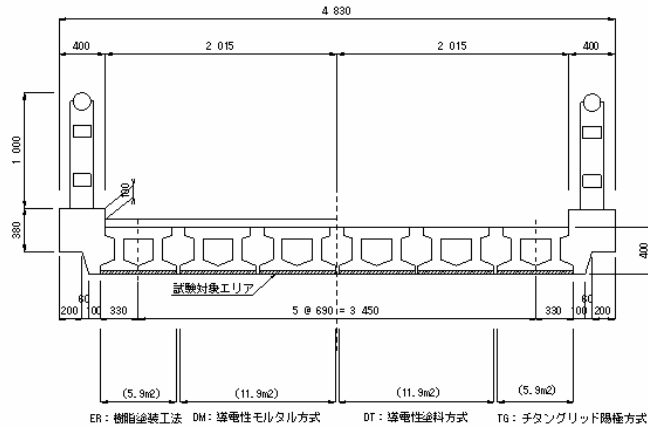


図-1 施工箇所

3. 施工内容

図-2 に施工フロー図を示す。

3.1 前処理工

3.1.1 樹脂塗装除去工

導電性塗料方式および導電性モルタル方式では陽極材設置の前処理として、表面被覆材を除去する必要がある。採用した除去方法は写真-1、写真-2 に示すように専用機械のチーゼルワイズで樹脂を削り取り、その後、カップサンダー等を用いて表面の下地プライマーを除去した。

3.1.2 マーキング工

マーキングは下記に示す電気防食材料の位置を示すための作業である。事前に鉄筋探索器を

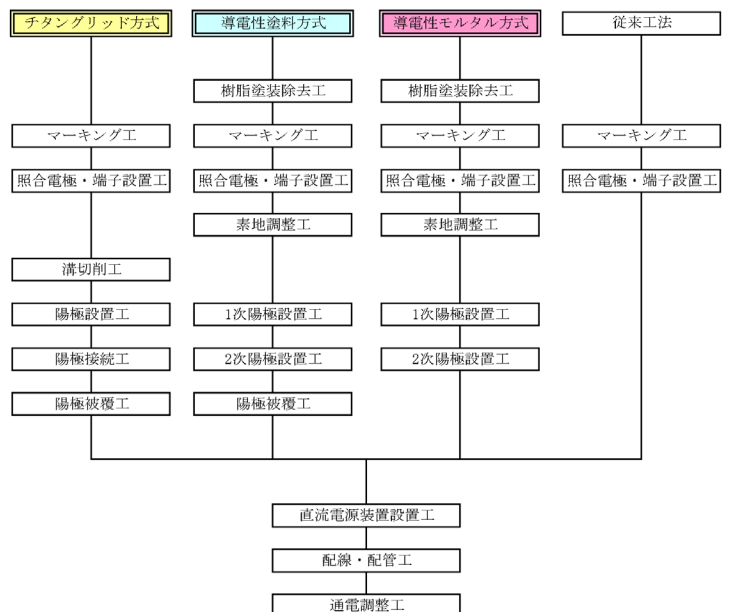


図-2 施工フロー図



写真—1 チェゼルワイズ



写真—2 樹脂塗装除去状況

用いて鋼材位置を把握すると良い。

- ①照合電極設置位置
- ②計測・排流端子設置位置
- ③陽極設置位置

### 3.1.3 照合電極・端子設置工

所定の位置のコンクリートをはつり取り、写真—3に示すように照合電極と端子を設置した。設置前にコンクリート中鋼材の電氣的導通の確認を行ったところ、PC 鋼材全本数(N=11 本)が導通確保されておらず、対策を施した。



写真—3 照合電極・端子取付

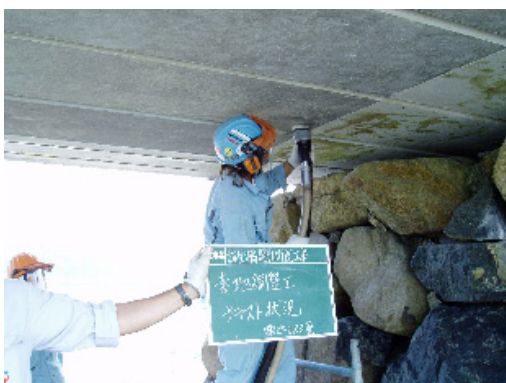
設置後は無機系補修材を用いて断面修復を行った。完了状況を写真—4に示す。

### 3.1.4 素地調整工

本工事では、導電性塗料と導電性モルタルのコンクリートとの付着力を向上させるために、サーブラスト工法を採用した。サーブラスト工法とは、タンク内の研磨材にエア圧力を加えホースで圧送し、ブラストガンから噴射する乾式ブラスト装置による工法である。処理能力が従来のエアブラスト等と比べ高く、研磨処理を行いながら同時にバキュームにより清掃作業を行うことができるという利点がある。施工状況を写真—5に示す。



写真—4 断面修復完了



写真—5 施工状況



## 3.2 チタングリッド方式

### 3.2.1 溝切削工

溝切削は人力により行った。溝切削後は、溝内露出鋼材の確認と対策、不陸調整を行って溝を形成した。

### 3.2.2 陽極設置工

写真-6に示すように、切削した溝内に樹脂ピンを用いてチタングリッド陽極を設置した。

### 3.2.3 陽極接続工

設置したチタングリッド陽極とディストリビュータを専用のスポット溶接機により接続した。

完了状況を写真-7に示す。

### 3.2.4 陽極被覆工

各チタングリッド陽極間の電氣的導通の確認と各チタングリッド陽極と鉄筋との電氣的絶縁の確認を行った後に無機系充填材を用いて陽極を被覆した。

写真-8に完了状況を示す。

## 3.3 導電性塗料方式

### 3.3.1 1次陽極設置工

写真-9に示す1次陽極のプラチナ・ニオブ銅線(直径0.8mm)は樹脂ピンとエポキシ樹脂を用いてたるみがないように設置した。

### 3.3.2 2次陽極設置工

使用した2次陽極はソロアノードCP30である。施工面をハイウォッシャーを用いて水洗いした後、十分に乾燥させ、塗料を塗布しない箇所を養生テープでマスキングした。ハンドミキサで塗料が均一になるまで攪拌した後に、専用の吹き付け機を用いて1層目(0.3mm)を吹き付けた。

吹き付け状況を写真-10に示す。

1層目の吹き付け終了後、写真-11に示すように、乾燥前にビニロンメッシュを1次陽極上に短毛ローラを用いて設置した。1層目の乾燥後、同様に2層目を吹き付け、所定の膜厚(0.5mm)とした。

完了状況を写真-12に示す。



写真-6 チタングリッド陽極設置状況



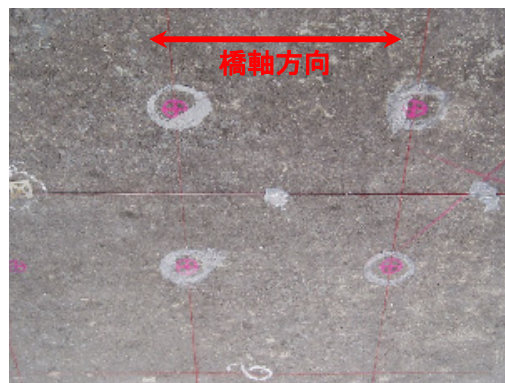
写真-7 陽極接続完了



写真-8 陽極被覆完了



写真-9 プラチナ・ニオブ銅線(直径0.8mm)





写真—10 導電性塗料吹付状況



写真—11 ビニロンメッシュ取付



写真—12 導線性塗料吹付完了

### 3.3.3 陽極被覆工

トップコートは2次陽極の保護および美装コーティング材として、構造物の耐久性を向上させるために行うものである。本工事では、ソロラスティック TF を使用した。

2次陽極の施工終了後、24時間以上の養生を行った。表面の乾燥を確認した後、トップコートの吹付けを行った。吹付けは2次陽極設置工と同様に2層に分けて行い、所定の膜厚(0.4mm)とした。

完了状況を写真—13に示す。



写真—13 トップコート吹付完了

## 3.4 導電性モルタル方式

### 3.4.1 1次陽極設置工

使用した1次陽極材料はプラチナ・ニオブ銅線(直径1.6mm)であり、施工方法は導電性塗料方式と同様である。

### 3.4.2 2次陽極設置工

使用した2次陽極材料はソロアノード CP60 である。

吹付け前に噴霧器を用いてコンクリート面を湿潤状態に保ち、専用の吹付け機を使用して施工を行った。

吹付け状況を写真—14に示す。

1層目の吹付けは約1mm程度であり、付着性を確実にするため、写真—15に示すように、すぐに専用ブラシを用いてコンクリート表面に擦り込んだ。

2層目を吹付け、所定の吹付け厚(8.0mm)とした。

最後に、吹き付けたモルタルの端部から水が浸入するのを防ぐため、コーキング処理を行った。

完了状況を写真—16に示す。



写真—14 導電性モルタル吹付状況





写真—15 擦り込み状況



写真—16 導電性モルタル吹付完了

### 3.5 配線・配管工

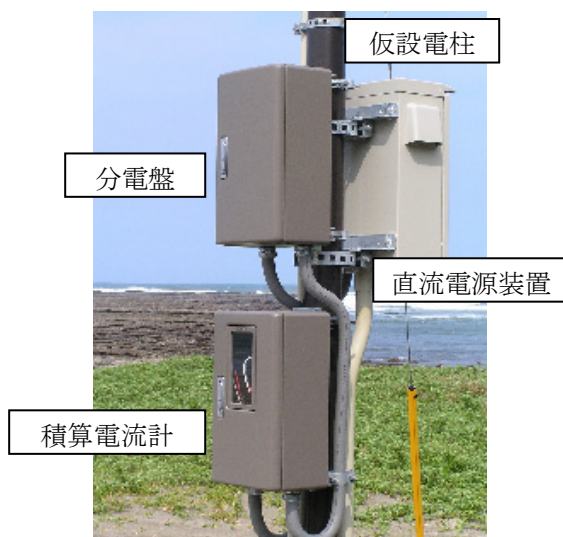
主桁に設置した各陽極材に防食電流を流すため配線、配管作業を行った。

#### 3.5.1 直流電源装置設置工

仮設電柱用の基礎コンクリート部の掘削を行い、型枠、配管の後にコンクリートを打設し、仮設電柱を建て込んだ。仮設電柱には直流電源装置、分電盤、積算電流計を取り付けた。

写真—17, 18に取付機器を示す。

表—1に直流電源装置の規格を示す。



写真—17 取付機器



写真—18 直流電源装置

表—1 直流電源装置規格

|        |  |
|--------|--|
| 直流電源   | 出力電圧範囲 0V~5V(最小 20mV)<br>出力電流範囲 0A~0.5A(最小 10mA) |
| 電源電圧   | 測定範囲 0V~5V 3回路<br>測定端子に接続した直流電圧計により測定可能          |
| 電源電流   | 測定範囲 0A~0.5A 3回路<br>測定端子に接続した直流電流計により測定可能        |
| 鋼材電位計測 | 測定範囲 max±5.00V 8チャンネル<br>測定端子に接続した直流電圧計により測定可能   |
| 1次電源   | AC100V±10% 50/60Hz(単相)                           |
| 消費電力   | 最大約 120VA  |

### 3.5.2 配線・配管工

仮設電柱から現場までは、景観を考慮して写真—19に示すように地中に配線・配管材を埋設した。

桁下の配管・配線作業は、防食電流による電食と配線材接続部の絶縁低下に留意して行った。

作業状況を写真—20に示す。

桁下配線の概要図を図—3に示す。

### 3.6 通電調整工

通電調整工とは、通電する初期防食電流量を決定する目的で、直流電源装置を用いて施工箇所に防食電流を仮通電する試験である。

代表例として、図—4にチタングリッド方式の通電調整試験結果を示す。

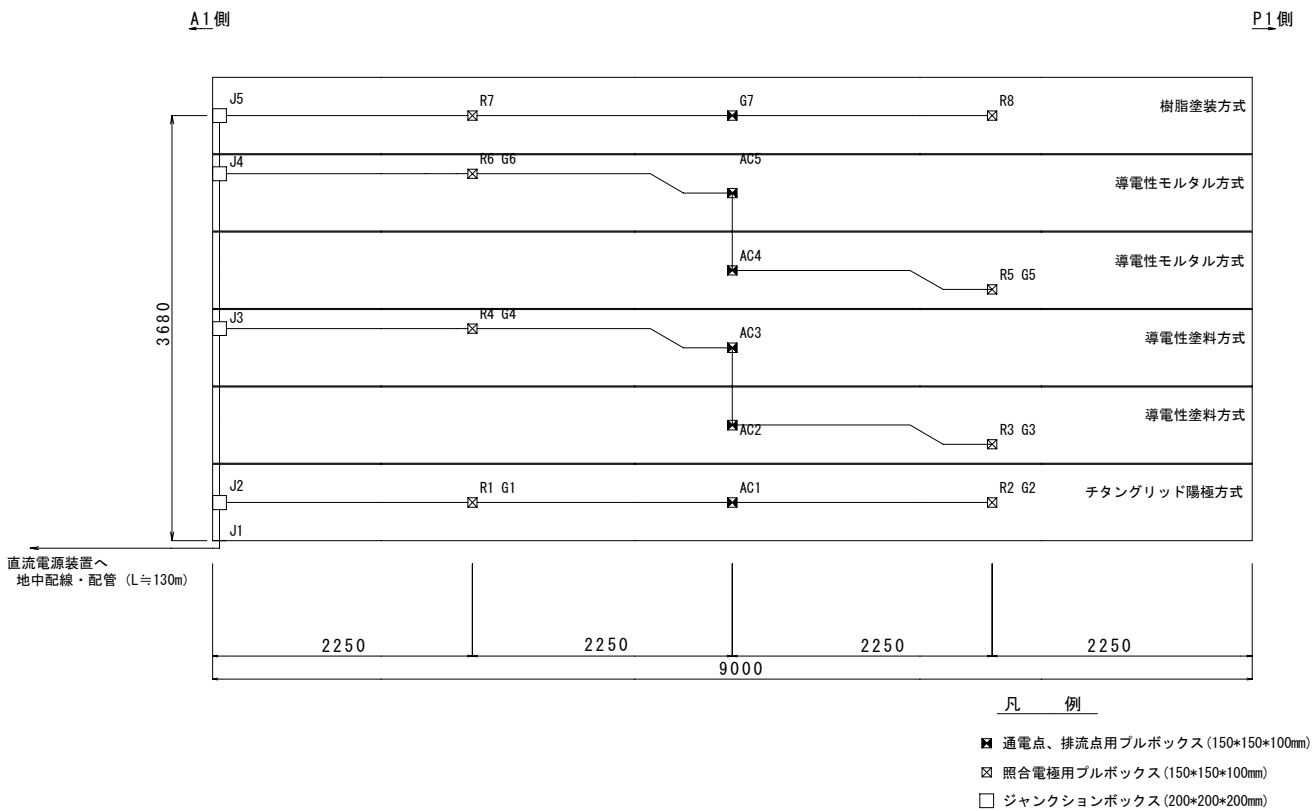
試験結果からチタングリッド方式、導電性塗料方式、導電性モルタル方式、それぞれ  $15\text{mA}/\text{m}^2$ 、 $10\text{mA}/\text{m}^2$ 、 $5\text{mA}/\text{m}^2$ (コンクリート表面積)の防食電流密度で通電することにした。



写真—19 配管状況



写真—20 配線状況



図—3 桁下配線概要図

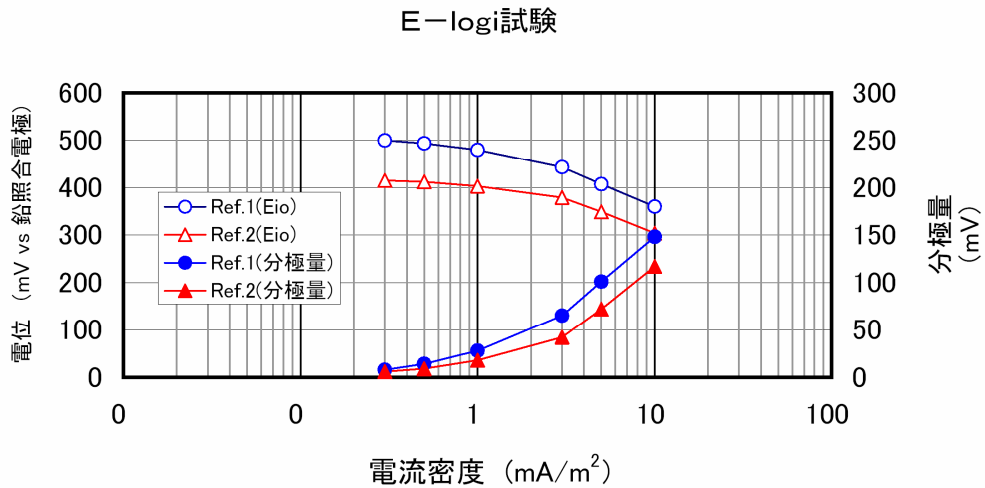


図-4 通電調整試験結果

#### 4. 試験内容

電気防食が効果的に行われているかどうかの判定を行うには、以下に示す防食基準が達成されているか否かを測定することで確認する。

- (1) 防食電流を流す前後の鋼材の電位変化量を基準として、防食状態を管理する。電位変化量の基準は、鋼材の電位をマイナス方向(卑側)に100mV以上変化させることを基本とする。
- (2) PC鋼材は、飽和カロメル電極(SCE)基準で、-926mVよりもプラス方向(貴側)の電位に設定しなければならない。

上記の2点をふまえ、本試験工事では定期的な下記の試験項目を行っている。

##### 4.1 復極試験

電気防食の防食効果の確認として、復極試験を行った。復極試験は、遮断直後の鋼材の電位(インスタントオフ電位)と、遮断24時間後の電位(E<sub>off</sub>)の変化量を測定し、100mV以上の分極量が得られているかを確認する試験である。

試験は1回/月とし、各工法ともモニタリング数は2個とした。

図-5に復極量の概念図を示す。

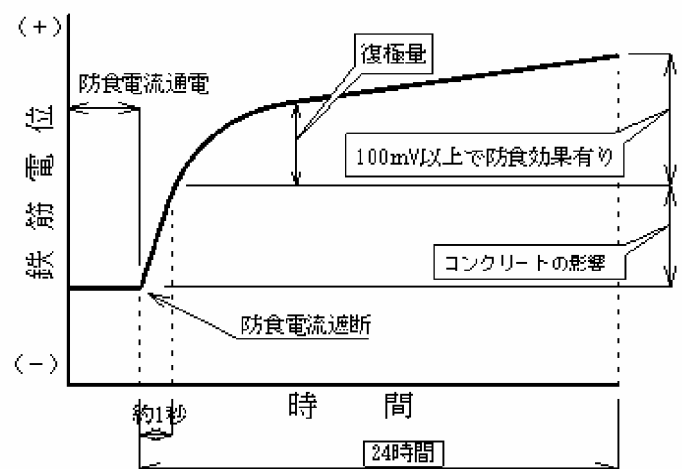


図-5 復極量概念図

##### 4.2 陽極電位測定試験

陽極は防食電流を鉄筋に通電することにより、自身が劣化する特性を有している。陽極劣化を定量的に計測することが困難であるが、定性的に判断することが、電位を測定することで可能と考えられる。本試験は、陽極劣化と陽極電位の関連を把握することを目的とする。

試験は1回/月とし、各工法ともモニタリング数は2個とした。

##### 4.3 電位分布測定試験

外部照合電極を用いて、自然電位を測定する目的は以下の通りである。写真-21に測定状況を示す。

- (1) 従来の工法(表面被覆)と電気防食工法の防食性能を面的に把握すること。



写真-21 測定状況



(2) 電気防食工法の防食電流が適切に分布されているか確認すること。

試験は2回/年を目安とし、各工法ともモニタリング数は10個とした。

測定位置を図-6に示す。

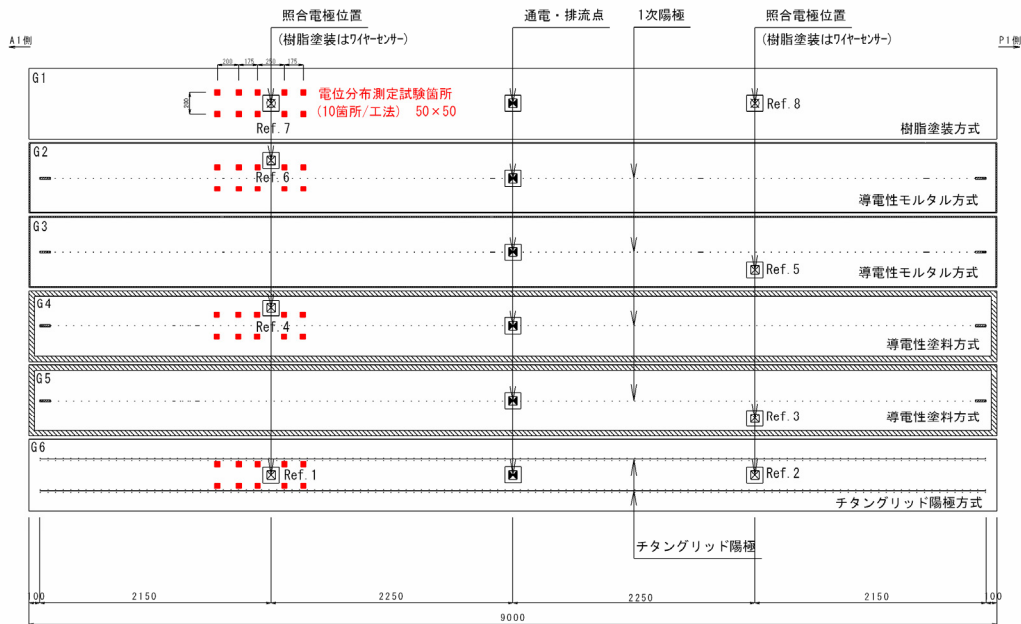


図-6 電位分布測定位置図

## 5. 試験結果

### 5.1 通電電流量の経時変化

通電電流量の経時変化を図-7に示す。いずれの工法においても、時間の経過と共に通電電流量は低下する傾向を示し、約5ヶ月後には3~6mA/m<sup>2</sup>に低下した。

### 5.2 復極量の経時変化

復極量の経時変化を図-8に示す。いずれの工法においても、100mV以上復極しており、十分な防食状態にあると推定される。

### 5.3 自然電位の経時変化

防食電流遮断24h後の電位を自然電位と仮定し、自然電位の経時変化を図-9に示す。

電気防食を適用した場合には、工法によらず電位が徐々に貴化する傾向にあり、約5ヶ月で-250~-200 mV (vs SCE)になった。これは、コンクリート中の腐食環境が改善されているものと推定される。一方、従来工法では、-350~-300 mV (vs SCE)となり、電気防食を適用した部位と比較して卑な電位を示している。電気防食部においてもASTM基準(表-2)を参照すると「不確定」と判断されるが、塩分を含んだまま表面被覆を施工していることを考えると、腐食が進行しているものと考えられる。

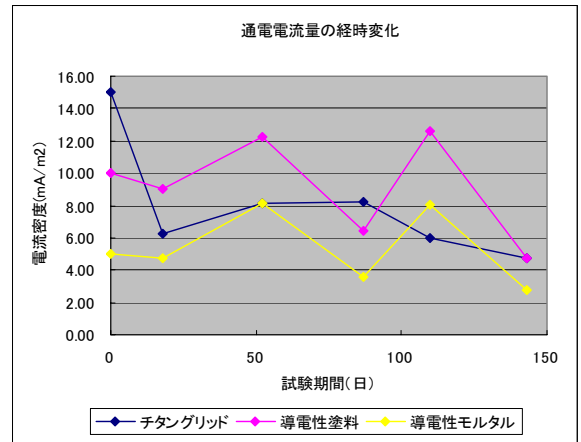


図-7 通電電流量の経時変化

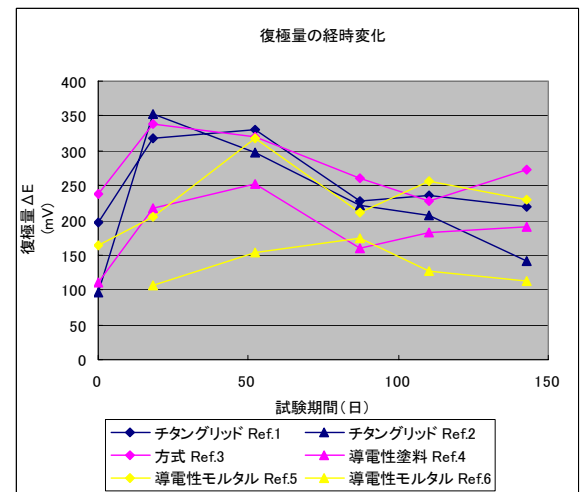
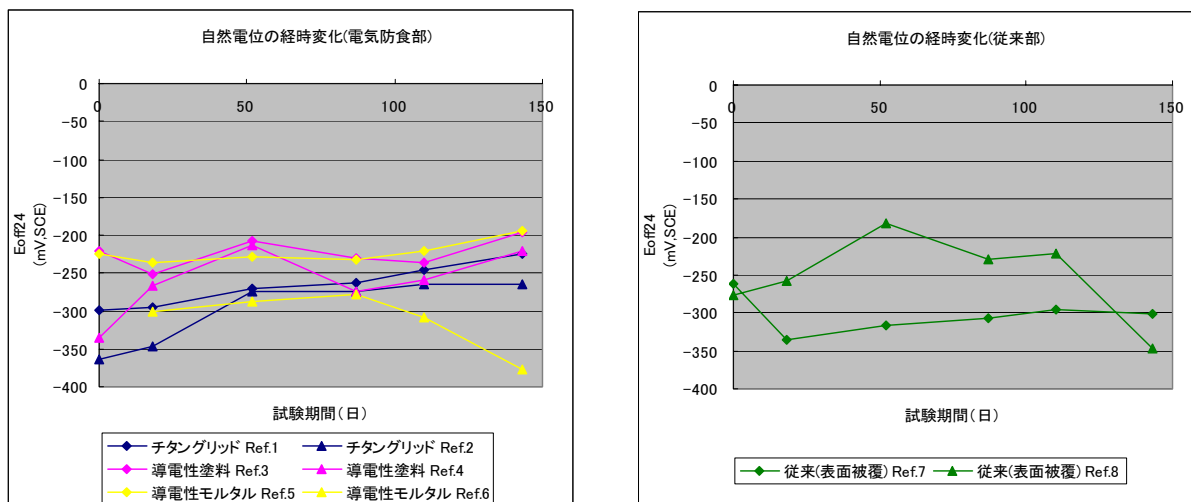


図-8 復極量の経時変化



図—9 自然電位の経時変化(左：電気防食部，右：従来工法部)

表—2 ASTM 基準

| 鉄筋電位                 |                       |                    | 鋼材腐食の可能性      |
|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------|
| 飽和硫酸銅電極<br>(mV, CSE) | 飽和カロメル電極<br>(mV, SCE) | 鉛電極<br>(mV, Pb)    |               |
| $-200 < E$           | $-126 < E$            | $600 < E$          | 90%以上の確率で腐食無し |
| $-350 < E \leq -200$ | $-276 < E \leq -126$  | $450 < E \leq 600$ | 不確定           |
| $E \leq -350$        | $E \leq -276$         | $E \leq 450$       | 90%以上の確率で腐食有り |

#### 5.4 陽極電位の経時変化

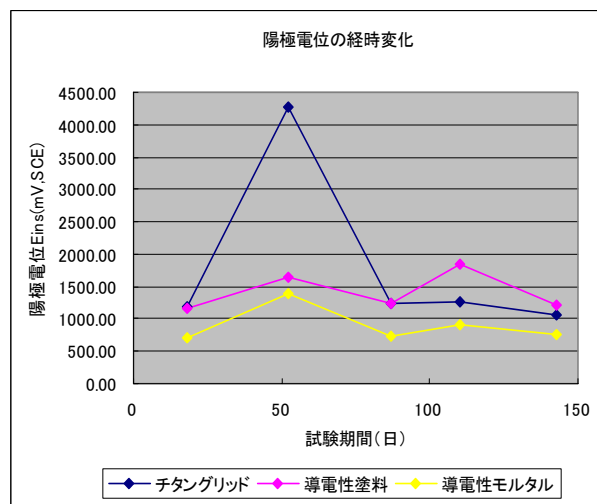
陽極電位の経時変化を図—10に示す。陽極電位は800~1500mV(vs SCE)で各陽極により相違しているが経時変化は少なく、長期間実施することにより、電位が貴に移行すれば陽極自体が電流により劣化していると考えられるために、今後の結果を待つ必要がある。

#### 5.5 電位分布試験結果

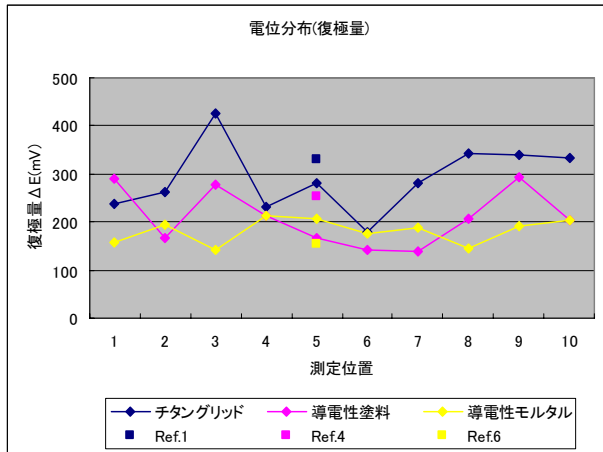
電位分布測定結果を図—11，図—12に示す。

図—11は復極量の分布図で，図—12は自然電位の分布図である。いずれの工法においても100mV以上の復極量が認められると共に，コンクリート内部で計測した復極量(図—11中の1点プロット)と大きな相違が認められないことが明らかとなった。ただし，チタングリッド工法は他の工法と比較して復極量にばらつきが認められた。これは，チタングリッド工法が線による防食に対して，他の工法が面による防食であることに起因すると考えられる。

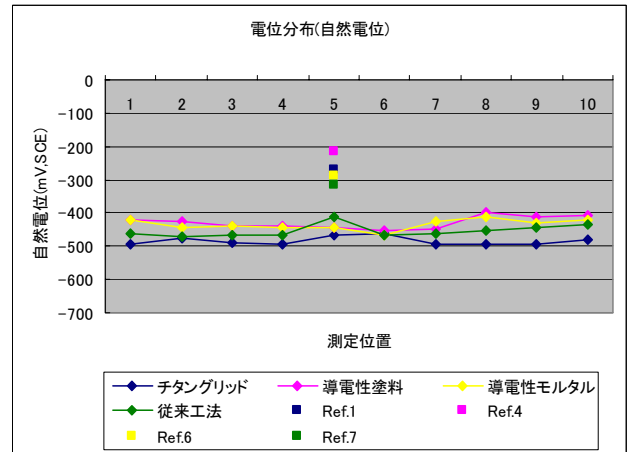
一方，図—12の1点プロットに示すように自然電位は5.3と同様に，従来の表面被覆工法が卑な電位を示しており，ASTM基準によると「90%以上の確率で腐食有り」の領域に含まれる。



図—10 陽極電位の経時変化



図—1 1 電位分布(復極量)



図—1 2 電位分布(自然電位)

## 5.6 考察

以上の測定結果をふまえ、現時点において考察される事項を以下にまとめる。

### (1) 電流密度 $[\text{mA}/\text{m}^2]$

どの工法も徐々に低下する傾向にあり、 $5\text{mA}/\text{m}^2$ 程度と実構造物レベルより若干小さい。

### (2) 通電電位 $[\text{mV}, \text{SCE}]$

いずれも $-926\text{mV}$ 以下で、過防食ではない。

### (3) 24時間電位 $[\text{E}_{\text{off}24}]$

鉄筋電位は $-200\text{mV}$ 程度になり徐々に貴な電位に移行している。コンクリート環境が腐食環境から改善されている状態と考えられる。

### (4) 復極量 $[\Delta E]$

鉄筋電位および外部照合電極による自然電位とも $100\text{mV}$ 以上あり、良好な防食状態と考えられる。

### (5) 陽極電位

陽極のインスタンオフ電位 ( $E_{\text{ins}}$ ) の経時変化に大きな変化が認められない。これが貴側に移行するにつれて陽極劣化が推定されるが、現時点では正常であると考えられる。

### (6) 従来工法(表面被覆工法)自然電位

電気防食部の24時間電位(自然電位と判断できる)と比較すると、卑な電位を示しており、電気防食の効果も把握できる。

## 6. まとめ

本稿では、宮崎市青島町の弥生橋に新たに施工した3種類の電気防食工法の施工内容および試験内容の報告を行った。また、現時点までのモニタリング結果を述べ、既設の従来の表面被覆工法と電位を通して比較することで、その防食性能を考察した。今後も定期的に継続してモニタリングを行い、各電気防食工法の耐久性および防食性能の経時変化を把握していく予定である。

## 謝辞

最後に、本試験工事の施工およびモニタリングを行うにあたり、宮崎大学工学部土木環境工学科の中澤教授と研究室の学生の皆様、また宮崎県土木部の方々には多大なご理解とご協力をいただいております。ここに感謝の意を表し、結びの言葉と致します。

## 参考文献

- 1) 日本エルガード協会：コンクリート構造物の電気防食 Q&A, 2004. 4