

電気防食工法の維持管理支援システムにおける 栈橋上部工PC桁への適用事例

川島仁¹・小畑孝欣²・作井孝光³・網野貴彦⁴

¹正会員 東亜建設工業株式会社 シビル・リニューアル事業室 (〒102-8451 東京都千代田区四番町5)

²株式会社フジサク 本社工場 製造部 (〒590-0977 大阪府堺市大浜西町1-1)

³東亜建設工業株式会社 大阪支店 大阪工事事務所 (〒590-0986 堺市堺区北波止町42-3)

⁴正会員 東亜建設工業株式会社 新材料・リニューアル技術グループ (〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1-3)

RC構造物の補修工法に電気防食工法があるが、劣化したPC桁を補修する場合、その劣化状態、構造特性や設置される環境条件などの要因から電気防食工法が採用されるケースがある。本工法は長期にわたる防食効果の確認が必要であり、その情報の理解、処理・分析に専門的な知識や莫大な労力を要する。そこで、電気防食工法の維持管理支援ツールとして、電源装置および照合電極からの連続的なデータの取得そして効率的なデータの処理、そして異常が得られた時の専門技術者による具体的な対処方法をインターネット技術を介して構造物所有者に提供するシステムを開発した。本論文では、本システムの概要および栈橋上部工に本システムを初めて導入した工事について述べ、システム導入後約半年間のモニタリング状況を報告する。

キーワード:電気防食工法, 栈橋上部工, PC桁, 維持管理, モニタリング, 省力化

1. はじめに

トンネルの剥落事故を契機として、広範囲なコンクリート構造物の維持管理において、日常の点検や定期的な調査の重要性は高い。そのため、広範囲に構造物の変状を捉えることのできるモニタリング手法あるいは点検・調査業務の省力化技術の開発が今後ますます重要になると考えられている。また、モニタリングのために設置するセンサー情報は変状をダイレクトに検知するものばかりではなく、環境や構造条件などを考慮しながら判断しなければならないものもあり専門的な知識を有する場面が多い。更には、こうした取り組みが、維持管理費用の増加につながることも懸念されている。

そこで、筆者らは構造物所有者に対し、インターネット技術を利用したコンクリート構造物の維持管理業務を支援するシステムとして、点検業務の簡略化(頻度の省略, 省人化)を達成でき、モニタリング情報や変状に対して専門技術者の判断を添えたモニタリング情報のリアルタイムな揭示ができるシステムを開発した。本稿では、そのシステムを栈橋上部工 PC 桁の電気防食工法に適用し、導入後約半年間のモニタリングした状況を報告する。

2. 電気防食工法の維持管理支援システムの概要

電気防食工法は所定の電流を安定して流し続けることにより期待した防食効果が得られる。コンクリート構造物の電気防食工法における従来の維持管理方法は、専門技術者が現地に出向いて電位測定を行っていた。頻度としては、初年度 2~4 回、次年度以降年 1 回程度であり、現地作業とともに膨大なデータの処理などが発生する。期待した防食効果を得るためには、長期にわたる定期的な防食効果の確認が必要であるが、専門的な知識を要するため、電気防食システムの稼働状況の評価について専門技術者の判断が不可欠となっているのが現状である。さらに、広範囲の構造物に電気防食工法が適用された場合、複数の電源装置や照合電極が設置されるため、大量の情報を日々確認して、電気防食システムの異常が生じた部位を特定する作業にはかなりの労力が必要となっている。

そこで、電気防食工法の維持管理業務の効率化および省力化を目的として、構造物に設置された複数の電源装置および照合電極からの分かり易いモニタリング情報の提供や、電気防食システムに異常が生

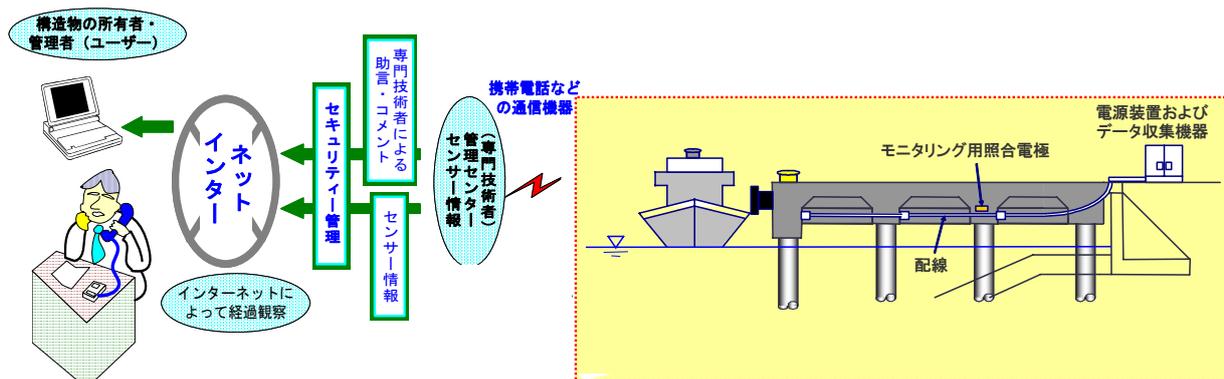


図-1 電気防食工法の維持管理支援システムの概要

じたときの具体的な対処方法の提供、さらには大量のモニタリング情報の記録管理をサポートする技術として、図-1に示すシステムを開発した。以下に、本システムにおいて電気防食工法の維持管理支援ツールとしての特徴について述べる。

(1) 遠隔システムと大量データ記録管理について

現場での電気防食システムの点検の頻度やそれに要するコストを削減でき、電気防食システム故障が発生しても早期に対応できるように、電源装置の稼働状況や照合電極による防食効果の確認作業を遠隔操作により行う支援システムを導入した。情報管理センターのデータが更新されないときは、遠隔システムや現地の電源供給に不具合があるものと自動判定できるようにし、現地に設置したデータ回収機器から1回/日の頻度で情報管理センターにデータ送信を行うようにした。なお、必要に応じて測定頻度の変更は可能である。また、日々のデータは、以後の電気防食システムの維持管理において非常に有用な情報となるため、蓄積された大量のデータの記録管理を本システム内で自動的に行い、構造物所有者や専門技術者が過去の記録をWEB画面上でいつでも閲覧できるような機能を付加した。

なお、本システムは、インターネット技術を利用するため、情報管理センターにおける厳重なセキュリティ管理がなされ、構造物所有者のみの情報開示を前提としている。

(2) 画面のデザインについて

実際の維持管理において、構造物所有者が複数の情報を個別に確認するには多大な労力を費やす。そのため、構造物所有者が効率的にモニタリング情報の確認作業を行えるように、図-2に示すように、インターネットを利用してWEB画面上に複数の電源装置や照合電極からの情報を一覧表示させた。ま



図-2 WEB画面イメージ

た、煩雑な防食回路や照合電極の位置を分かり易い図で表示させた。

なお、WEB画面上に複数の情報を一覧表示する際には、図-3に示すように、専門技術者が照合電極や電源装置のしきい値（たとえば、防食管理基準²⁾など）を事前に設定しておき、表示に際しては、重点点検部位を効率的に維持管理できるように工夫した。具体的には、照合電極や電源装置がその「しきい値」を超えない状況を計測しているときは「緑色」、「しきい値」に近付くまたは短期的に「しきい値」を超える傾向を計測したときは「黄色」、「しきい値」を長期的に超える状況を計測したときは「赤色」を自動表示する。これにより、電気防食システムの全体的な変状を把握することができ、重点的に点検を行なう必要がある部位を特定することが可能となる。「しきい値」を超えた部位では目視などに

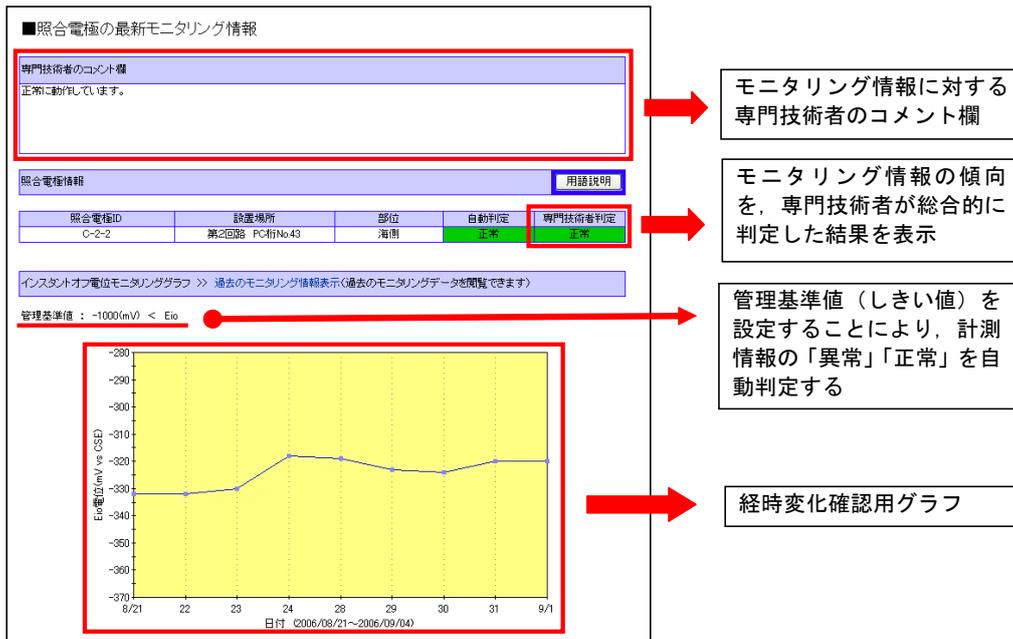


図-3 インスタントオフ電位のモニタリング結果例

▼前回のエラー発生日:2007/01/10

▼専門技術者によるモニタリング情報の評価

2006/9/20の時点で、回路2の通電状況を現地にて確認しましたが、異常はありませんでした。そこで、2006/10/26に、回路2の1つの照合電極(C-2-1)を新たな照合電極に設置し直し、現在モニタリングを継続しております。設置しなおしたC-2-1の経過を見て、他の照合電極についても取替えの必要性があるかどうかを検討します。

図-4 専門技術者によるコメントの例

より重点的に点検することで、効率的な維持管理を行なうことが可能になる。

(3) 専門技術者の具体的対処方法のコメント

電気防食工法の維持管理に関する知識や経験の少ない構造物所有者に対して、図-4に示すようにモニタリング情報に基づいて専門技術者が判断した具体的な対処方法を提供し、点検・調査の必要性など電気防食システムの維持管理に関する疑問に対して短時間で的確にサポートできるようにした。また、緊急を要する点検・調査が必要な場合を想定し、構造物所有者と専門技術者間で直接メールのやり取りが行えるような機能も整備した。

3. 本システムを導入した栈橋上部工PC桁への適用事例

本システムを導入した栈橋は大阪港(大阪府堺市)に位置し、鋼材の荷揚げ栈橋として利用されている。また、図-5、図-6に示すように、延長140mの

RC栈橋部と既設護岸が77本のPC桁と鋼桁により繋がれた構造である。

当該栈橋では近年になって施設全体に塩害劣化が顕在化したため、平成18年度に断面修復工、電気防食工、外ケーブル補強工を中心とした補修・補強工事が実施された。そのうち、PC桁全数(77本)に対しては、写真-1に示すように電気防食工法(チタングリッド陽極:施工面積633m²)が適用された。

(1) 劣化したPC桁の補修・補強方法

補修・補強前の栈橋上部工のPC桁の劣化は、「波浪が遡上しやすい被覆ブロックの直上」や「その返し波がぶつかるRC栈橋取付部付近」のPC桁の両端部に顕在化しており、一部にPC鋼線が破断している箇所もあり、フルプレストレスでなく引張応力が発生している状況であると推測された。PC桁は、コンクリートに圧縮応力が蓄積されていることから、断面をはつり取る事は、極力避けなければならない。したがって、補修工法としては、既設コンクリートに与えるダメージが小さい「電気防食工法」と浮きや剥離部分を対象とした「部分断面修復工法」が採用

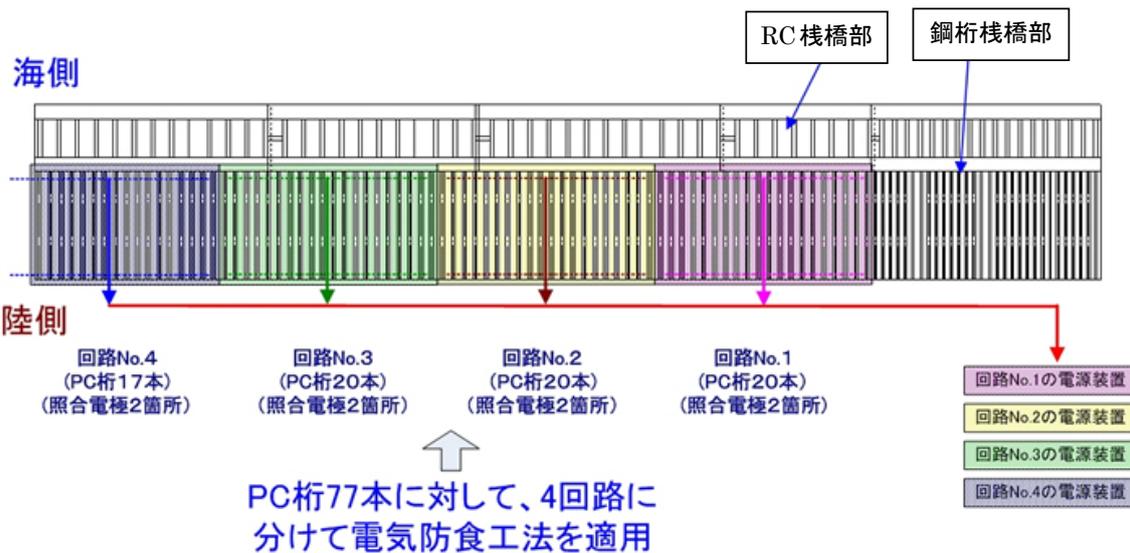
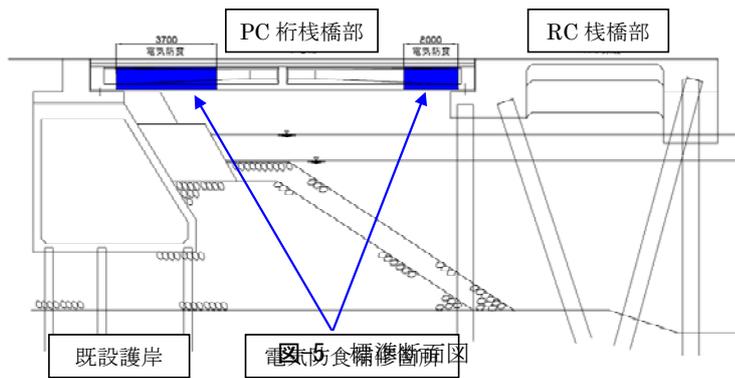


図-6 インスタントオフ電位のモニタリング結果例



写真-2 外ケーブル補強状況

された。さらに、劣化状況から当初設計より安全率が低下していると推測されたことから補強も必要となり、電気防食と併用が可能な外ケーブル工法を採用した(写真-2参照)。

(2) PC桁の電気防食工法への維持管理支援システムの導入経緯

当該栈橋上部工のPC桁に適用した電気防食工法は延長140mという広範囲にわたり、電気防食工事は4回路に分けて施工され、1回路につき照合電極（鉛

電極）が2個設置された。このため、現場点検や専門技術者による大量のデータの処理・分析作業を行うことから、維持管理費用の増加が懸念された。そこで、広範囲の電気防食システムの維持管理方法として、栈橋下での点検が省略でき、さらに専門技術者が日々の防食システムの稼働状況を確認しながら信用性の高い維持管理情報をリアルタイムに提供できる本システムが採用された。

4. モニタリング状況および異常の対応事例

(1) 栈橋全体の点検項目および頻度

今回の補修工事では、電気防食の他に断面修復などの補修工事を実施したことから、施設全体の点検の種類および点検頻度は、表-1の通り設定した。ここで、通常点検については、維持管理者（構造物所有者）が目視可能な箇所について行う点検である。

表-1 施設全体の点検の種類および頻度

内容	点検頻度
通常点検 (維持管理者による目視点検)	1回/1.0月
定期点検 (専門技術者による調査)	1回/2.0年
詳細点検 (専門技術者による調査)	1回/5.0年 (必要に応じて実施)

表-2 電気防食工法のモニタリング項目と頻度

点検項目	点検頻度
遠隔システムと電源装置 の稼働状況	1回/日 (12:00計測)
照合電極のモニタリング状況	
復極量のモニタリング状況	1回/月 (毎月1日12:00~)

定期点検は、専門技術者が、定期的に異常箇所の有無を目視点検・計測し、記録する点検である。詳細点検は、通常点検や定期点検の結果、異常箇所が確認された場合や、地震・台風、落雷などの天災が構造物に影響を与えた場合にも実施する点検である。なお、点検の結果確認された異常箇所については、維持管理者と協議後、適切な方法により復旧することとした。

(2) 電気防食工法のモニタリングおよび頻度

当該栈橋上部工PC桁の電気防食工法の維持管理支援システムは平成18年8月から運用が開始され、現在(平成19年3月)まで約半年間稼働している。電気防食の維持管理においては、直流電源装置を含む防食回路や防食効果(インスタントオフ電位や復極量)を確認する必要があるため、電気防食システムのモニタリング項目および頻度を表-2に示すとおりとした。また、各管理項目のしきい値は以下の通り設定した。

【各管理項目のしきい値】

- ・電源装置の定格出力：30V
- ・インスタントオフ電位：-1000mV(vsCSE)²⁾
- ・復極量(通電停止後から24時間後)：100mV

(3) モニタリング状況と異常の対応事例

ここでは、運用開始から安定したモニタリング情報が得られた回路 No.3 と、運用中に異常が確認された回路 No.2 の結果を比較しながら、モニタリングとともに運用状況について説明する。

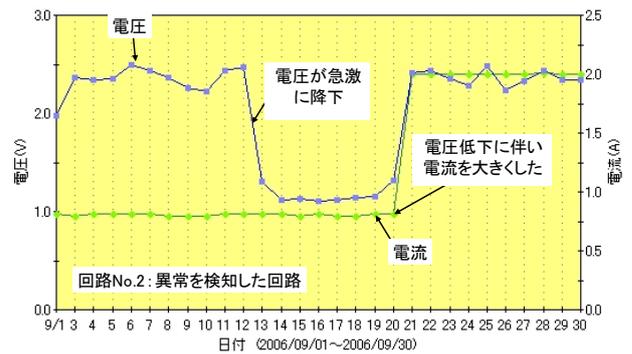


図-7 電源装置のモニタリング状況

(平成18年9月度)

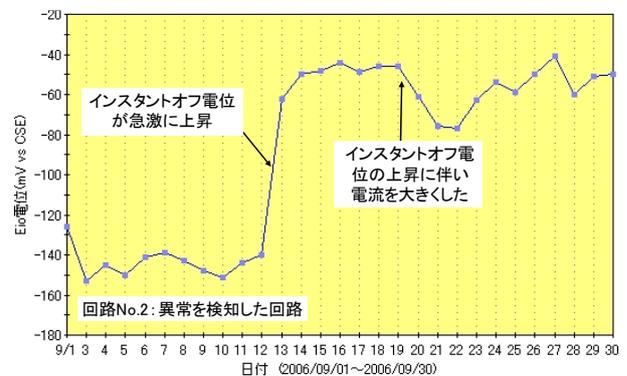


図-8 インスタントオフ電位の

モニタリング状況

(平成18年9月度)

図-7に回路 No.2における電源装置の電流、電圧のモニタリング状況を示す。この結果を見ると、回路 No.2では通電開始後から一定の電流であったにもかかわらず急激に電源装置の電圧が降下する現象が見られた。

一方、インスタントオフ電位のモニタリング状況を図-8に示す。この結果によると、回路 No.2においては電源装置の電圧の降下と同時に急激にインスタントオフ電位が貴な方向にシフトする現象が確認された。これを受けて、回路 No.2の防食電流の不足を懸念して電源装置の電流値を大きくしたが、インスタントオフ電位は卑な方向に移行せず、10月1日に測定した復極量においても目標の100mVが得られていないことを確認した。そのため、回路 No.2の防食回路に何らかの異常が生じている可能性が考えられた。

そこで、推測される原因として以下の項目を抽出した。

- ① 直流電源装置内のAD変換器の故障
- ② インスタントオフ電位の測定タイミング



写真-3 照合電極の取替え状況

- ③通信時異常
- ④電気防食回路の配線異常
- ⑤照合電極異常

回路 No. 2 の防食システムに異常が発生した原因について確認するため、直接現地にて専門技術者による詳細調査を実施した。詳細調査では、電源装置の表示値、手動テスター値、遠隔監視データのデータ回収状況または通信状況などの確認作業を行った。これにより回路 No. 2 の照合電極に異常があることが判明したため、異常な値を計測した照合電極の取替えを実施し（写真-3 参照）、通電を再開した。

その後のインスタントオフ電位のモニタリング状況を図-9 に示すが、照合電極を取り替えた後は、気温等の変動に対しても回路 No. 2 と No. 3 は同じような傾向でインスタントオフ電位が計測され、また、復極量についても 100mV が得られており、正常に計測できていることを確認できた。

5. おわりに

今回開発した「電気防食工法の維持管理支援システム」を活用することにより、電気防食システムの維持管理業務の効率化・省力化を図ることが可能になった。また、今回のように遠隔システムによるモニタリングを行っていない電気防食工法では、異常が発生していても、専門技術者が現地に赴く次の定期点検まで放置されてしまう可能性がある。これに対し、紹介した事例では、電気防食システムのモニタリングに欠かせない照合電極の異常を早期に発見し、早い段階で正常な状態に復旧できたことから、本システムに期待した効果を十分に発揮できたものと思われる。このようにして長期的な電気防食シス

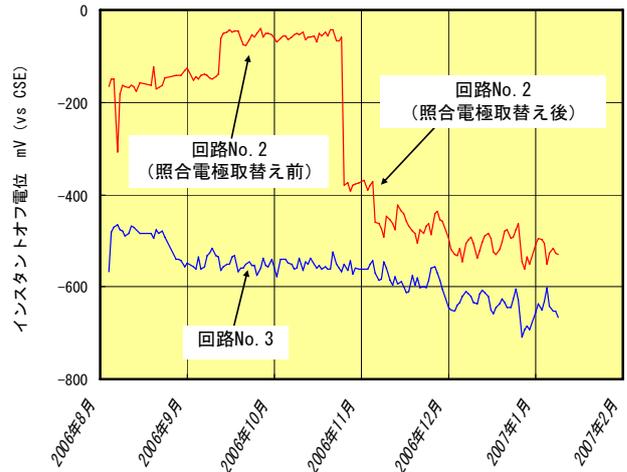


図-9 照合電極取替え前後のインスタントオフ電位の計測結果

テムの点検に要する労力・費用も省略することも可能になることから、今後、本システムへのニーズはますます高まるものと考えられる。

今後は、さらに効率的なシステム開発に取り組むとともに、電気防食工法以外にも、構造物の様々な劣化を対象としたモニタリングに対して本システムの適用を拡大し、維持管理に対する技術開発に注力する予定である。

謝辞

今回の電気防食工法の維持管理支援システムの遠隔システムの導入にあたり、(株)ピーエス三菱殿に多大なご協力を頂いたことに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 網野貴彦ほか：帯状センサーを用いたコンクリート構造物のメンテナンスシステムについて、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム論文報告集、第3巻、pp. 279-284、2003. 10
- 2) 土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針（案）、コンクリートライブラリー107、p. 67、2001. 11