

さび

151



日本防蝕工業株式会社

さ び 第 151 号

目 次

ご挨拶	1
日本防蝕工業株式会社 代表取締役社長 岩崎 順三	
逆解析手法を用いた海洋鋼構造物の犠牲陽極発生電流の推定	2
— 供用期間による陽極出力の変化 —	
日本防蝕工業株式会社 技術研究所 齋藤 達哉	
技術研究所 田代 賢吉	
東京工業大学工学院システム制御系 天谷 賢治	
Mg 支線ロッドの検証	7
日本防蝕工業株式会社 東北支店 山田 知也	
技術研究所 田代 賢吉	
技術研究所 小嶋 栄作	

日本防蝕工業株式会社「さび」編集室

平成 30 年 1 月 発行 (非売品)

©2018 The Nippon Corrosion Engineering Co., Ltd.

ご挨拶



日本防蝕工業株式会社

代表取締役社長 岩崎 順三

皆様方におかれましては、健やかに新年をお迎えになられたこととお慶び申し上げます。

一昨年の12月に当社取締役社長に就任し、早いもので1年が過ぎました。この1年間、当社の業務活動を指揮してまいりましたが、‘営業力と技術力’、この両者が当社にとって如何に重要であるかを改めて痛感した次第でございます。営業活動によって皆様方のご要望をいち早く察知し、それにお応えすべく、当社が長年に渡り培ってきた技術と有用な製品をご提供させていただく。この至極当然な基本法則も、営業と技術、両者が車の両輪の如く一体となって機能して初めて皆様方にご満足をいただき、社としては成果に結びつくものと実感いたしました。

ご多分に漏れず、当社は、世代交代が急激に進んでいる時期でもございます。この過渡期にこそ、従来の方策にとらわれない考え方、失敗を恐れない姿勢など、一人一人に意識改革を求めています。

営業・技術の改革と向上こそが、皆様方からご信頼をいただき社会に貢献するための唯一無二の方法である。これを信念として心に留め、社員一同、一丸となって邁進していく所存でございます。

また、当社の技術開発の成果を発表させていただく技術情報誌『さび』をご愛読いただきまして、誠に有難うございます。この度、第151号を発刊することができましたのも、ひとえに皆様方のお力添えのおかげと感謝申し上げます。

本年もより一層のご愛顧を賜りますようお願い申し上げます。

今回お届けする技術報告は「逆解析手法を用いた海洋鋼構造物の犠牲陽極発生電流の推定 一共用期間による陽極出力の変化一」と「Mg支線ロッドの検証」の2件でございます。

・逆解析手法を用いた海洋鋼構造物の犠牲陽極発生電流の推定 一共用期間による陽極出力の変化一

犠牲陽極方式による電気防食が施された海洋鋼構造物を適切に維持管理していく上で、当社は、東京工業大学 天谷教授にご協力いただき、構造物近傍の電位差分から、数値解析を用いて陽極発生電流を推定する逆解析手法である電位差分法を開発・提案してまいりました。この度は本手法を供用期間の異なる電気防食施設に適用し、供用期間の違いによる陽極発生電流の変化を得ましたのでご紹介いたします。本手法が維持管理の時代を担うオンリー・ワンの技術になることを確信しております。

・Mg支線ロッドの検証

JR 東日本殿の施設において、電車線路の架線柱の倒壊防止のために設けられている支線ロッドに関し、破断事故が相次いで起きたことを機に、当社は、流電陽極方式による腐食防止対策を提案してまいりました。この度は約10年経過したMg陽極が取り付けられた支線ロッドを掘り起し、支線ロッドの腐食・防食状態を調査し、Mg陽極の防食材料としての有効性を検証しましたのでご紹介いたします。

逆解析手法を用いた海洋鋼構造物の犠牲陽極発生電流の推定 — 供用期間による陽極出力の変化 —

日本防蝕工業株式会社 技術研究所 斎藤達哉
日本防蝕工業株式会社 技術研究所 田代賢吉
東京工業大学工学院システム制御系 天谷賢治

1. 緒言

こんにち、海上には金属を構造材とした重要な社会インフラ設備(以下では海洋鋼構造物と呼称する)が数多く建設されている。鋼材はコンクリートと比べて材料が均質かつ軽量であり、加工も容易であるため、大型構造物を造るのに適している。一方で、金属材料は腐食するという特性を併せ持ち、特に海洋鋼構造物は海水という厳しい腐食環境に曝されている。そのため海洋鋼構造物では、鋼材に対して2種類の防食法が施されている。海水に触れる干満帯および海水中の鋼材に対しては、基本的に犠牲陽極方式による電気防食が施されている。ただし空気にも触れる干満帯の鋼材に対しては、種々の被覆防食を併用している。犠牲陽極は鋼材に対して防食電流を供給しながら溶解するため、時間に伴い消耗し、陽極発生電流が低減する。そのため、陽極発生電流の測定による犠牲陽極の寿命推定が必要となる。現在の防食状態の検査手法には、鋼構造物近傍の電位測定により防食状態を判断する簡易検査と、ダイバーにより個々の犠牲陽極を検査する詳細検査の2種類がある¹⁾。簡易検査では陸上から簡便に検査が行えるが、陽極発生電流の測定は行うことができない。また詳細検査では、陽極の目視検査が行えるものの、陽極発生電流が不明であることに加え、大型の鋼構造物においては、時間や労力のコスト増加が問題となる。今後、海洋鋼構造物を適切に維持管理していく上では、防食状態を経済的かつ効率的に推定する手法が望まれる。

そこで我々のグループは、構造物近傍の電位差分布から、数値解析を援用して陽極発生電流を推定する逆解析手法を開発・提案してきた²⁾³⁾。しかし、本手法を実海洋鋼構造物に適用した事例が少なく、手法の検証が不十分という課題がある。そこで本研究では、本手法を実海洋鋼構造物に適用し、得られた陽極発生電流の推定値と実測値を比較することで、本手法の有効性を評価することを目的とする。平成28年11月に太平洋岸に位置するA港において検証試験を実施した。A港に取り付けられた犠牲陽極の施工年度は複数年度にわかれており、供用期間が異なる。本稿では、このA港において検証試験を行った結果、供用期間の違いによる陽極発生電流の変化を得たので報告する。

2. 逆解析手法

2.1 概要

開発した逆解析手法を電位差分法と呼称する。電位差分法は、鋼構造物近傍の電位差分布からベイズ推定を用いた逆解析により陽極発生電流を推定する手法である。電位差分布の測定は相対位置を固定した数点の電位を差分して行う。なおベイズ推定とは、観測された事象および事前情報から、推定したい事象を確率的に推定する手法である。

2.2 測定

電位差分布の測定には複数本の銀・塩化銀照合電極(RE)の相対位置を固定した機器を用いた⁴⁾。以下ではこの機器を移動照合電極と呼称し、その模式図をFig. 1に示す。移動照合電極はガイド機構を設けた枠組みとガイドロープの2つから成る。こ

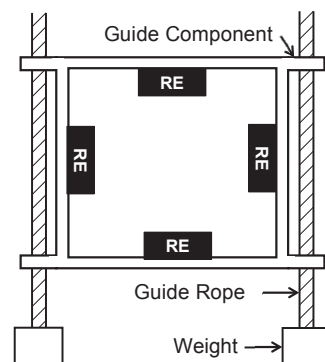


Fig. 1 移動照合電極の模式図

のような形状にすることで、流速の影響を受けずに垂直方向の電位差分布の測定が可能となる。なお測定値は各照合電極間の電位差を指す。

陽極発生電流を正確に推定できたか判断するために、シャントを取り付けた犠牲陽極(以下では仮設陽極と呼称する)を海中に投入・固定し、構造物と導通させた。この状態で移動照合電極を用いた測定を行い、仮設陽極の発生電流を推定した。そしてシャントから求めた電流値(以下では正解値と呼称する)と本手法により求めた推定値を比較することで、本手法の有効性を検証した。

2.3 観測方程式の構築

2.3.1 電場の順解析

構造物形状情報、海水の電気伝導度および区分線形近似したカソード分極曲線を用いて、有限要素法順解析により鋼構造物近傍の電位差分布を計算した。

解析領域内の電位を ϕ 、電気伝導度 κ 、境界における法線方向の電流密度を i とする。領域内においてイオンの増減や損失が生じないと仮定すると、電位 ϕ は支配方程式として式(1)を満足する。また境界上の電流密度は式(2)で表される。ただし、 $\partial/\partial n$ は外向き法線方向の微分を表す。なお本稿では解析上、電位 ϕ は金属に対する海水の電位を考えている。そのため、通常電気化学で用いられる、溶液に対する金属の電位の符号を逆転させている。

$$\nabla \cdot (\kappa \nabla \phi) = 0 \quad \text{式(1)}$$

$$i \equiv \kappa \cdot \partial \phi / \partial n \quad \text{式(2)}$$

海中鋼材の境界条件は式(3)の通り、分極曲線を線形近似したものをを用いた。 R_s は分極曲線の傾きで、鋼材の分極抵抗を表す。また ϕ_0 は分極曲線の切片であり、鋼材の自然電位を意味する。

$$\phi = R_s \cdot i + \phi_0 \quad \text{式(3)}$$

2.3.2 観測方程式

各測定点における誤差を含んだ電位差分布を $\Delta \phi'$ とする。 $\Delta \phi'$ は m 個の測定点における電位差分 $\Delta \phi'_1, \Delta \phi'_2, \dots, \Delta \phi'_m$ からなる m 次元ベクトルである。推定値である n 個の犠牲陽極の発生電流およびオフセット電位からなる n 次元ベクトルを x とする。ここで言うオフセット電位とは、水面付近の計算値一測定値間の電位差を相殺する電位を意味する。ここで $\Delta \phi'$ を電位差分布の真の値と、誤差をまとめた ε に分離すると、 $\Delta \phi'$ と x の間には式(4)で表される観測方程式が成り立つ。ただし、 A は m 行 n 列の観測行列である。 A の各成分は「陽極発生電流が単位出力の際の各測定点における電位差分布」を表すデータベースであり、有限要素法順解析によりこれらの値を計算した。

$$\Delta \phi' = A \cdot x + \varepsilon \quad \text{式(4)}$$

2.4 ベイズ推定による陽極発生電流の推定

電位差分布の測定誤差、陽極発生電流およびオフセット電位の事前情報を事前分布として正規分布(以下では正規分布を N (平均値,分散)という形で表記する)で表現した。推定値の確率密度分布の平均値 x_1 および共分散行列 P_1 を式(5)、(6)に従い計算した。 $N(x_0, P_0)$ は未知パラメータである推定値の事前分布、 $N(w, W_0)$ は測定誤差の事前分布を表す。また、 T は行列の転置を表す。

$$x_1 = x_0 + P_0^{-1} \cdot A^T (\phi' - (Ax_0 + w)) \quad \text{式(5)}$$

$$P_1^{-1} = (A^T W_0^{-1} A + P_0^{-1}) \quad \text{式(6)}$$

3. 実海洋鋼構造物における検証試験

3.1 概要

本章では水深の基準をL.W.Lとして記述する。平成28年11月に検証試験を行った太平洋岸に位置するA港の概略図をFig. 2に示す。A港は水深約6mの鋼管矢板岸壁であり、鋼材に対してはべ

トロラタム被覆および犠牲陽極方式による電気防食が施されている。これら種々の防食工の施工年度は、H27年度およびH28年度と複数にわかれており、陽極発生電流の経年による変化が観察されるところと考えられる。今回はブロック1(BL1)からブロック4(BL4)の4ブロックで測定を行い、各犠牲陽極の発生電流を推定した。なお海水の電気伝導度の実測値は、3.3S/m (25°C換算値)であった。

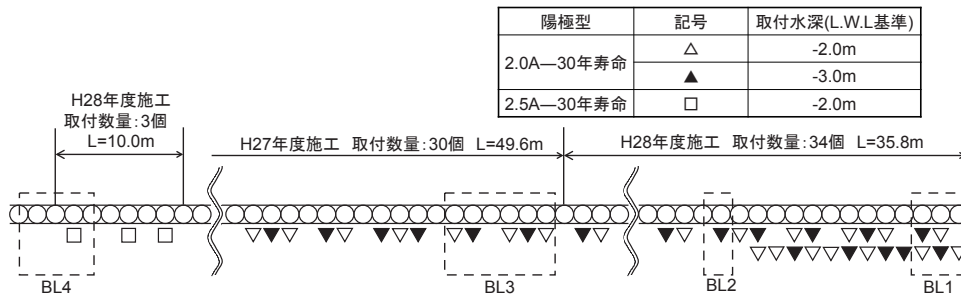


Fig.2 A港の概略図および測定箇所

3.2 陽極モデル

H27年度施工の犠牲陽極は、供用から一年が経過しているため消耗し、初期の陽極形状と異なると思われる。そこで、陽極から設計値の電流が一年間流れたと仮定し、消耗量を算出すると、重量減少は初期重量の約7%であった。この結果に基づき初期形状と一年経過の陽極形状をモデル化し、有限要素法を用いた数値シミュレーションにより、陽極形状の変化が電位差分布に与える影響を評価した。ただし一年経過の陽極モデルは、周長が一樣に消耗したものとした。

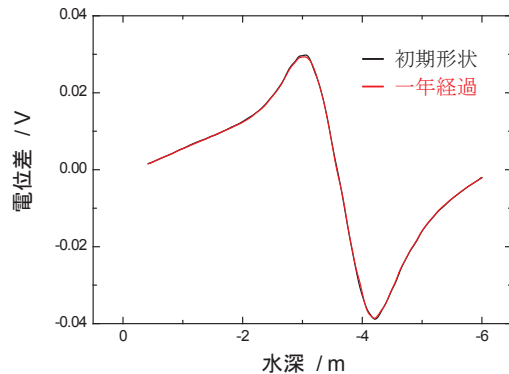


Fig. 3 陽極形状の変化が電位差分布に与える影響

Fig. 3 に陽極形状の変化が電位差分布に与える影響を示す。Fig. 3 からわかるように、初期形状と一年経過の電位差分布は一致している。このことから、供用から一年経過程度の陽極形状の変化が電位差分布の変化に与える影響は低いといえ、今回はすべての陽極において初期形状に基づいてモデル化を行った。ただし陽極の消耗が大きい場合は、電位差分布に与える影響が大きくなると考えられるため、供用期間に応じた陽極モデルを作成する必要がある。

3.3 結果と考察

3.3.1 BL1(H28年度施工 2.0A—30年寿命)

Fig. 4 に BL1 の拡大図を示す。BL1 では隣接する無防食区間へのロス電流を見込んだ防食設計がなされているため、陽極が集中的に取り付けられている。図中の番号は解析対象の陽極に割り振った番号であり、1 は仮設陽極を、2~6 は既設陽極を示している。バイズ推定の事前情報、推定結果および正解値を Table 1 に示す。バイズ推定の事前情報には、観測情報および事前情報の確からしさを与え、それらは正規分布で表現する。また推定値中の AVE と SD は正規分布の平均値と標準偏差を示しており、各々推定値とその推定値が取り得る範囲を示している。仮設陽極の発生電流の推定値を見ると、推定値の標準偏差内に正解値が収まっており、仮設陽極の発生電流

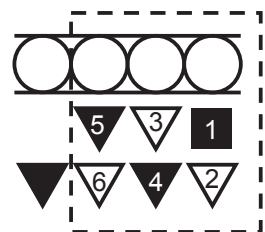


Fig. 4 BL1 の拡大図

を正確に推定できたといえる。この検証結果から、同じ環境に設置されている既設陽極の発生電流についても同様に推定できていると考えられる。No.2~No.6 の推定値を見ると、他の 3 個の既設陽極の推定値に比べ、No.5 の電流値が低く、No.6 の電流値が高く推定されている。これは、No.5 および No.6 の陽極近傍での測定が不調だったことに起因する。しかし、No.2~No.4 の陽極発生電流の推定値が 1.8A 前後であることから、No.5 および No.6 の発生電流も同程度だと考えられる。

測定・解析を実施した時期が陽極設置直後(H28 年度施工)であることから、陽極発生電流の推定値は設計値に近い値を示すことが予想される。推定値を見ると、BL1 の平均的な陽極出力は約 1.8A だといえ、BL1 に取り付けられている陽極の設計電流値は 2.0A であることから、陽極発生電流の推定結果は妥当だといえる。推定結果の表の表記および仮設陽極の検証過程は、以降でも同様である。

Table 1 BL1 のベイズ推定の事前情報、推定結果および正解値

陽極 No.	ベイズ推定の事前情報		推定値		正解値 [A]
	AVE [A]	SD [A]	AVE [A]	SD [A]	
1	1.0	10.0	0.17	0.09	0.23
2	1.0	10.0	1.77	0.40	
3	1.0	10.0	1.91	0.25	
4	1.0	10.0	1.85	0.38	
5	1.0	10.0	1.33	0.43	
6	1.0	10.0	2.12	0.70	

3.3.2 BL2(H28 年度施工 2.0A-30 年寿命)

Fig. 5 に BL2 の拡大図を示す。図中の 1 は仮設陽極を、2 は既設陽極を示している。ベイズ推定の事前情報、推定結果および正解値を Table 2 に示す。仮設陽極の発生電流の推定値を見ると、仮設陽極の発生電流を正確に推定できている。この検証結果から、同じ環境に設置されている既設陽極の発生電流についても同様に推定できていると考えられる。

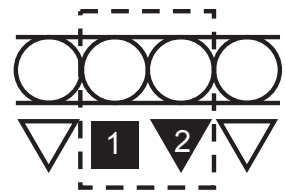


Fig. 5 BL2 の拡大図

BL1 と BL2 の各防食工の施工年度は H28 年度であり、同型の犠牲陽極(2.0A-30 年寿命)が取り付けられていることから、この 2 つのブロックの犠牲陽極の発生電流は同程度であると考えられる。推定値を見ると、BL2 の陽極出力は約 1.9A だといえる。BL1 と BL2 の推定結果を比較すると、この 2 つのブロックの推定値は同程度であることから、この推定結果は妥当だといえる。

Table 2 BL2 のベイズ推定の事前情報、推定結果および正解値

陽極 No.	ベイズ推定の事前情報		推定値		正解値 [A]
	AVE [A]	SD [A]	AVE [A]	SD [A]	
1	1.0	10.0	0.17	0.09	0.23
2	1.0	10.0	1.89	0.34	

3.3.3 BL3(H27 年度施工 2.0A-30 年寿命)

Fig. 6 に BL3 の拡大図を示す。図中の 1 は仮設陽極を、2~5 は既設陽極を示している。ベイズ推定の事前情報、推定結果および正解値を Table 3 に示す。仮設陽極の発生電流の推定値を見ると、仮設陽極の発生電流を正確に推定できている。この検証結果から同じ環境に設置されている既設

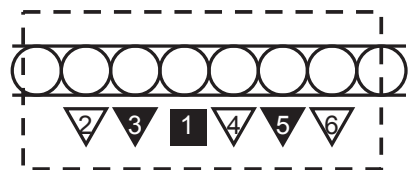


Fig. 6 BL3 の拡大図

陽極の発生電流についても同様に推定できていると考えられる。No.2~No.5 の推定値を見ると、多少のばらつきはあるものの、BL3 の平均的な陽極出力は約 0.9A だといえる。BL3 に取り付けられている陽極の設計電流値は 2.0A であることから、既設陽極の発生電流は半減しているといえる。これは、陽極設置後約 1 年(H27 年度施工)が経過したことによる経年の発生電流の低減⁵⁾に起因すると考えられる。

Table 3 BL3 のベイズ推定の事前情報、推定結果および正解値

陽極 No.	ベイズ推定の事前情報		推定値		正解値 [A]
	AVE [A]	SD [A]	AVE [A]	SD [A]	
1	1.0	10.0	0.10	0.06	0.05
2	1.0	10.0	1.01	0.22	
3	1.0	10.0	0.89	0.26	
4	1.0	10.0	1.00	0.24	
5	1.0	10.0	0.89	0.26	
6	1.0	10.0	0.76	0.27	

3.3.4 BL4(H28 年度施工 2.5A-30 年寿命)

Fig. 7 に BL4 の拡大図を示す。図中の 1 は仮設陽極を、2 は既設陽極を示している。ベイズ推定の事前情報、推定結果および正解値を Table 4 に示す。仮設陽極の発生電流の推定値を見ると、仮設陽極の発生電流を正確に推定できている。この検証結果から、同じ環境に設置されている既設陽極の発生電流についても同様に推定できていると考えられる。

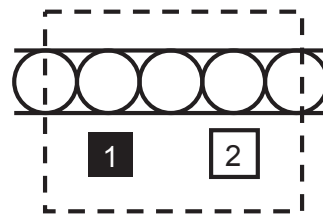


Fig. 7 BL4 の拡大図

測定・解析を実施した時期が陽極設置直後(H28 年度施工)であることから、陽極発生電流の推定値は設計値に近い値を示すことが予想される。No.2 の推定値を見ると、約 2.4A であった。BL4 に取り付けられている陽極の設計電流値は 2.5A であることから、この陽極発生電流の推定結果は妥当だといえる。

Table 4 BL4 のベイズ推定の事前情報、推定結果および正解値

陽極 No.	ベイズ推定の事前情報		推定値		正解値 [A]
	AVE [A]	SD [A]	AVE [A]	SD [A]	
1	1.0	10.0	0.11	0.07	0.05
2	1.0	10.0	2.39	0.26	

4. まとめ

実海洋鋼構造物に電位差分法を適用し、検証試験を行った。以下にその結果をまとめる。

- 1) 実海洋鋼構造物で測定した電位差分布と、構造物形状情報および電気伝導度を用いた有限要素法の計算結果から逆解析を行い、犠牲陽極の発生電流を推定できた。
- 2) いずれの陽極からも経過時間に応じた出力が得られた。

<参考文献>

- 1) 港湾構造物防食・補修マニュアル, 財団法人 沿岸技術研究センター, p36-51 (2009).
- 2) 斎藤達哉, 田代賢吉, 天谷賢治, 材料と環境 2017 講演集 D-204 (2017).
- 3) 斎藤達哉, 田代賢吉, 天谷賢治, 第64回材料と環境討論会 講演集 D-204 (2017).
- 4) 特願 2017-114047
- 5) 花田政明, 防蝕技術, 19, p74-78 (1970).

Mg 支線ロッドの検証

日本防蝕工業株式会社 東北支店 山田 知也
日本防蝕工業株式会社 技術研究所 田代 賢吉
日本防蝕工業株式会社 技術研究所 小嶋 栄作

1. はじめに

架空の電線路、電車線路の支持物として架線柱があり、架線柱の倒壊防止のため支線が設けられる。支線は柱を支え、張力により柱の直立を維持しているため、腐食による破断・損傷があつてはならない。しかしながら、電車線路に至っては、平成6年1月の常磐線小木津～川尻間での支線ロッドの破断を皮切りに、平成18年3月・東北本線松島構内、平成24年1月・羽越本線西袋～余目間、平成29年1月・郡山方面において、支線ロッドの破断事故が相次いでおり、その経済的損失額は計り知れない。

当社はこれら事象を受け、JR 東日本殿から“電食防止用支線ロッドの開発”として平成12年10月に業務を受託し、流電陽極法(Mg 陽極)による腐食防止対策を提案した。その後、“電食防止用支線ロッドの強制腐食試験”を平成16年12月に実施し、Mg 陽極による腐食防止対策の有用性を再確認し、マグロッドの販売促進に寄与している。

本稿は、図1に示すような約10年経過した Mg 陽極が取り付けられた支線ロッドを掘り起し、支線ロッドの腐食・防食状態を調査し、Mg 陽極の防食材料としての有効性について検証結果を述べるものである。

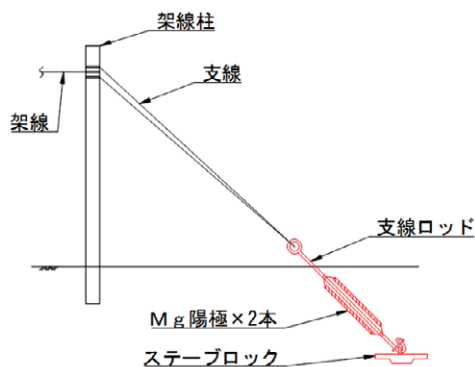


図1 Mg 陽極が取り付けられた支線ロッド

2. 調査対象

調査対象である支線ロッドの形状を図2に示す。

支線ロッドは、土中に埋設されたコンクリート製のステーブロックの地盤反力により支線の張力を保持する構造である。φ25mm×L3000mmの支線ロッドの土中側の先端はフック状で、ステーブロックのリングに通している。抜け防止として先端フック部にプレートを取り付け、ボルトナットで固定している。地表から露出している側はリング状で、支線柱から張られた支線を通す構造になっている。

今回の調査では3箇所にて Mg 陽極が取り付けられた支線ロッドを掘り起し、検証を行った。

3. 調査場所

調査場所一覧を表1に示す。

調査は秋田市で2箇所、仙台市で1箇所行った。

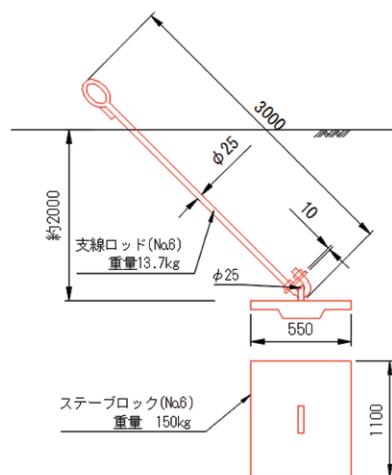


図2 支線ロッド(No.6)

表 1 調査場所一覧

No.	始点電柱番号	場所	運輸局・通称線名・線別等	設置年月	経過年数
①	裏止46-2	秋田県秋田市 秋田駅構内	東北 奥羽本線 裏線	2003年3月	13年
②	裏止46-3				
③	上貨12号	宮城県仙台市若林区若林1丁目地内	東北 東北本線貨物線 長町・宮城野間	2007年2月	10年

4. 調査フロー

調査手順を図 3 に示す。

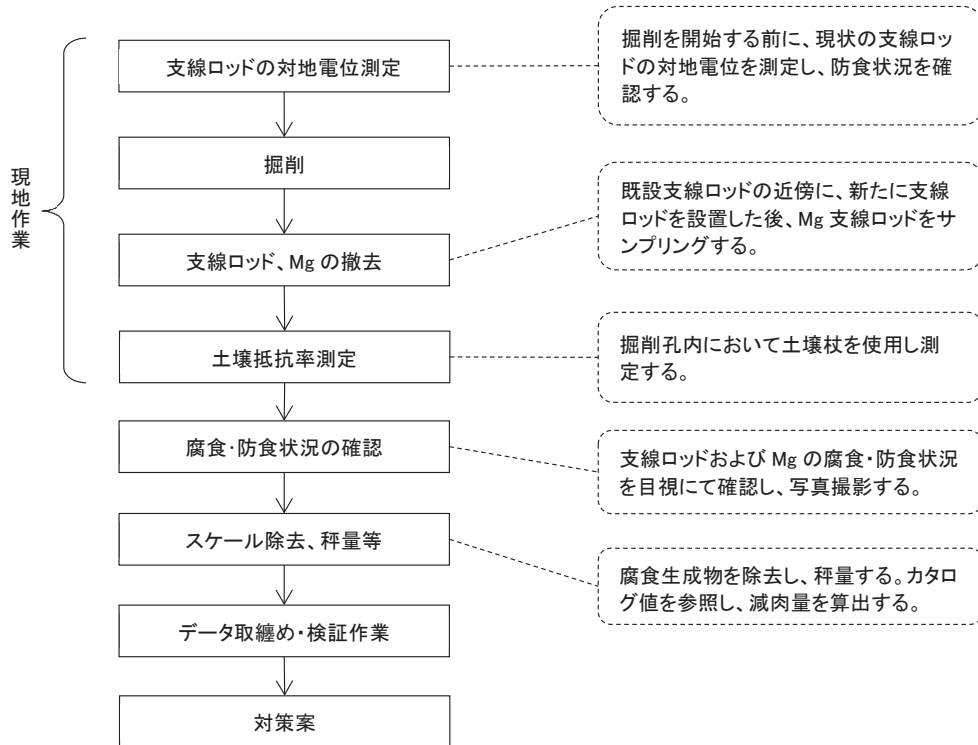


図 3 調査フロー

5. 調査結果

5.1 対地電位

測定概要を図 4 に示す。照合電極を支線ロッドの地際からステーブロック埋設位置まで地表面上を移動させて測定した。また、掘削過程においてはステーブロック付近の対地電位も測定した。測定結果を表 2 に示す。

ロッドの対地電位は3箇所共に-850mV(vs. CSE)以下の防食電位を示し、良好な防食状態にあるものと判断できる。また、ステーブロック近傍の対地電位は、地表面で測定した値と大きな差異は無く、ステーブロックによるコンクリートマクロセルの腐食傾向はないものと判断できる。

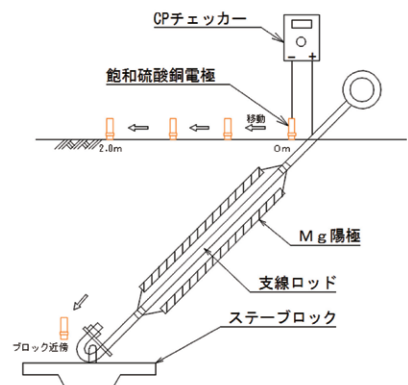


図 4 ロッド対地電位測定概要図

5.2 土壤抵抗率

測定概要を図5に示す。土壤杖を使用してロッド近傍の土壤抵抗率を深さ毎に測定した。測定結果を表3に示す。

裏止 46-2 と 46-3 はほぼ同様な値を示し、ステープブロックに近づくにつれ抵抗率は低い値を示した。裏止 46-2 と 46-3 は隣り合った支線であり、掘削過程における目視では、GL-1.0m～-1.5m で地下水位の上昇が確認された。抵抗率の値と傾向は地下水位の現況と相関がある。一方、上貨 12号では、抵抗率は非常に高く、地下水は無かった。本箇所は、小高く盛り土された位置に線路があり、玉石が多く混じった土壤であった。

表3 土壤抵抗率測定結果

測定箇所		裏止46-2	裏止46-3	上貨12号
測定値	0.3m	6450	5740	18800
	1.0m	3720	4180	21300
	2.0m	2120	2890	74600

表2 ロッド対地電位測定結果

測定箇所	対地電位(mV vs. CSE)					
	0m(地際)	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	ブロック近傍
裏止46-2	-1108	-1119	-1100	-1077	-1055	-1100
裏止46-3	-1185	-1193	-1181	-1169	-1160	-1158
上貨12号	-1055	-1048	-1050	-1045	-1042	-1013

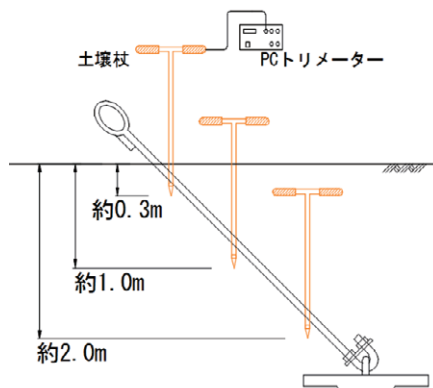


図5 土壤抵抗率測定概要図

5.3 腐食・防食状況の確認

5.3.1 Mg 陽極の消耗状況

Mg 陽極をロッドから取外し、手ケレンして付着物を取り除き消耗度合いを調査した。写真1に各箇所の Mg 陽極の消耗状況を示す。

3箇所内の、裏止 46-2 の Mg 陽極が最も消耗が激しかった。同じような環境(土壤)にありながら、裏止 46-3 は 46-2 に比較して消耗は緩慢であった。どちらも、ステープブロックに近い側(深い側)の消耗が激しかった。

上貨 12号の Mg 陽極は殆ど消耗しておらず、ほぼ原形を留めていた。残存する形状から Mg 陽極の原形を推定し、図6に示す。

裏線(裏止 46-2 および 46-3)に使用されている Mg 陽極と貨物線(上貨 12号)に使用されている Mg 陽極の形状は若干異なっていることが判明した。Mg 陽極の断面はいずれも台形状で長さは 1000mm であったが、芯金はφ6mm とφ9mm の2種類あった。貨物線に設置された2本の Mg 陽極に形状の差異があったが、鑄造誤差によるものと考えられる。後述する初期質量は誤差を含んだ形状から算出することとした。

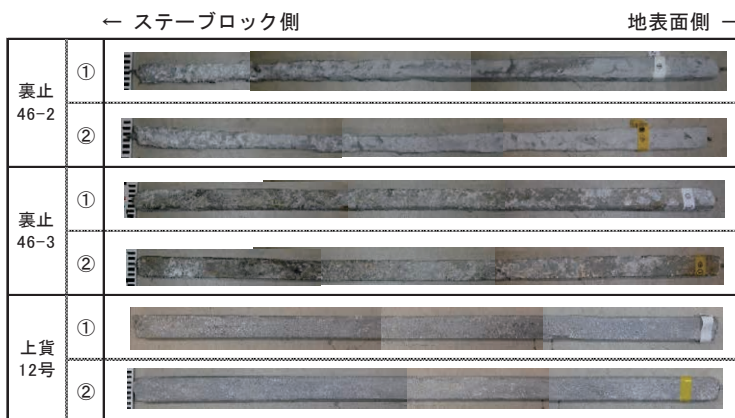


写真1 Mg 陽極の消耗状況

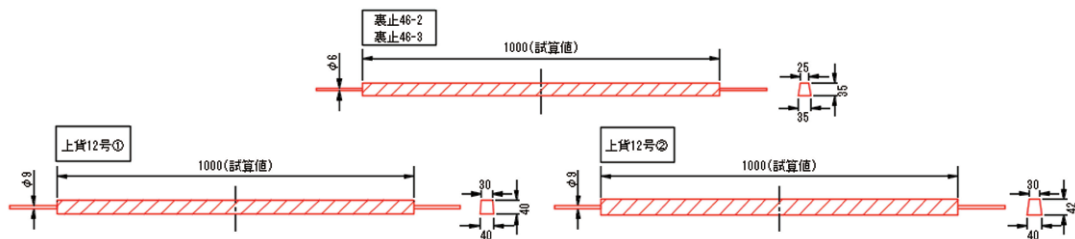


図6 Mg陽極(裏線および貨物線向け)

5.3.2 支線ロッドの腐食・防食状況

支線ロッドを手ケレンして付着物を取り除き腐食度合いを調査した。写真2に各箇所支線ロッドの腐食・防食状況を示す。

いずれの箇所も発錆や腐食による減肉は確認されなかった。ステーブロックに近接する部位においても腐食は無く、ボルトやねじ山も残存しており、ナットを回して取り外すことも可能であった。

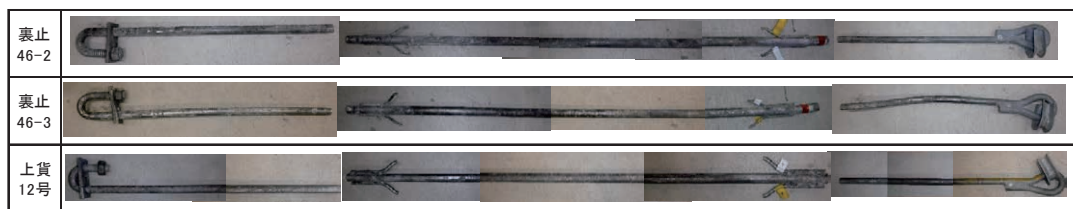


写真2 支線ロッドの腐食・防食状況

6. 評価

ロッドに付着したエレクトロコーティング層、Mg陽極の腐食生成物等を取り除く為、ロッドは塩酸+ヘキサメチレンテトラミン溶液にて、Mg陽極は20%クロム酸+1%硝酸銀の沸騰溶液にて、それぞれ化学処理した。処理後は水洗、エタノール置換後、110℃で1時間乾燥させ秤量した。化学処理後のロッドの状況を写真3に示す。

6.1 支線ロッド

支線ロッドの初期質量は、カタログ値にプレートやナットの付属品およびMg陽極取外し時に残存した芯金等の質量を加算して補正した。秤量加工時に発生するロス質量等を補正し、最終秤量値を初期質量補正值から減じ、腐食減量を求め防食率を算出した。算出結果を表4に示す。

上記算出結果より、腐食減量から見る防食率はいずれの箇所においても97%以上であり、Mg陽極により十分に防食されているものと判断できる。

6.2 Mg陽極

Mg陽極の初期質量は、残存する形状から体積を推定し、当社製Mg陽極(製品名:マグノード)組成の密度(1.82g/cm³)を用いて初期質量を算出した。支線ロ



写真3 化学処理後の支線ロッド

表4 支線ロッド秤量結果

	初期質量 補正值 (g)	最終秤量値 (g)	腐食減量 (g)	防食率 (%)
裏止46-2	14346.13	14091.5	254.63	98.2
裏止46-3	14346.13	14111.6	234.53	98.4
上貨12号	14521.51	14103.4	418.11	97.1

ド同様、加工時のロス質量等を補正し、最終秤量値を初期質量から減じて腐食減量を求め、経過年数から年間減量を算出した。また、年間減量が今後も同様に推移するものとして Mg 陽極の残寿命を推定した。表 5 に算出結果を示す。

表 5 Mg 陽極秤量結果

	初期質量 (g)	最終秤量値 (g)	腐食減量 (g)	経過年数 (yr)	年間減量 (g/yr)	Mg陽極残寿命 (yr)	Mg陽極総寿命 (yr)
裏止46-2	1859.5	1165.5	694.0	13	53.4	21	34
	1859.5	989.1	870.4	13	67.0	14	27
裏止46-3	1859.5	1662.3	197.2	13	15.2	109	122
	1859.5	1602.5	257.0	13	19.8	80	93
上貨12号	2432.2	2365.0	67.2	10	6.7	352	362
	2559.6	2538.9	20.7	10	2.1	1209	1219

秤量結果から算出した Mg 陽極の総寿命は、裏止め 46-2 において最も短く、34 年および 27 年であった。その他の箇所は 50 年以上の総寿命が期待できるものとする。

7. 考察

支線ロッドに使用する Mg 陽極の設計寿命は 30 年である。JR 東日本殿で支線の保守管理上の更新を 60 年としていることを考慮すると、その半分の年数を Mg 陽極による腐食防止対策としていることとなる。今回の調査では、裏止 46-2 において Mg 陽極の消耗が最も激しく、年間減量から推定できる Mg 陽極の総寿命は 34 年および 27 年と算出され、設計寿命に対し余裕のある年数とは言い難い。支線ロッドには 2 本の Mg 陽極が設置されているので、2 本のうち 1 本が消耗しても残存する Mg 陽極が正常に機能していれば、直ちに防食不良にはならない。しかしながら、残った 1 本で支線ロッドの防食をまかなうため、(残された)Mg 陽極の年間減量は表 5 に示した値より多くなる可能性がある。つまり、現状では総寿命を 34 年と見込んでいるが、実際には 30 年程度に早まる可能性が高い。したがって、本箇所のように 2000~5000 Ω・cm の土壤抵抗率においては、Mg 陽極の質量は腐食減量に対して余裕がある製品の選択が望まれる。

年間減量に設計寿命を乗じると 2010g の Mg 陽極が必要な計算になる(67.0g/yr×30yr)。当社製品ではマグノード 40-1 型×2 本(2.2kg×2 本)、11-S 型×1 本(5.0kg) または 7-S 型×2 本(3.0kg×2 本) が該当し、質量と本数の組み合わせにおいて種々の選択肢がある。施工のし易さや保守管理等を考慮し、最適な方法を検討する必要がある。

8. まとめ

支線基礎には今回調査したロッドとステーブロックによるものの他、コンクリートブロック(F 型基礎)による架線柱の支線設置があるが、施工費用と施工性を比較した場合、ステーブロックの方が有利である。今回の掘り起し調査で判明したように、10 年以上経過した時点においてロッドの腐食は殆ど無く健全性が保持できるため、適切な Mg 陽極を使用すれば 30 年の設計寿命は十分確保できる。

流電陽極法の歴史は長く、様々なケースにおいて採用される電気防食工法であるが、防食対象が土壤中である場合、防食効果を目視できるケースは少ない。今回の調査は流電陽極法の防食効果を直接確認することができた点において意義深いものとなった。

参考文献

- 1) 石井陽子, 根本秀宏, 日向野浩, 小林正徳, 菊池孝治, 高橋正光, 池ノ谷亨, 加藤洋: 支線ロッド防食対策用 Mg 陽極の配置方法の検討, 平成 25 年電気学会産業応用部門大会講演集, No.5-6(2013).

臨海プラント海水ライン防汚装置

省エネ海水電解防汚装置：SP型

臨海プラント工場等の海水ライン防汚を目的とした海水電解装置は**大電流**で電解するため設備投資費用が**高く**電力消費量も**大きい**等の問題がありました。

日本防蝕工業㈱は、およそ半世紀に渡り海水電解方式の海洋生物付着防止装置を3,000基以上製造、販売してきた実績のもと、初期費用を抑え低ランニングコストを実現した**省エネ**海水電解防汚装置をご提供します。



SP06-KF 型 「塩素発生量：9.4kg/h」

電解槽

SP06-KA (塩素発生量：1.57kg/h) × 6 槽

設置寸法：

120W × 90D × 1,900H (cm)

SP06KA 重量：

20kg/樹脂製槽、33kg/金属製槽

電源装置

電力消費量：40kW

設置寸法：95W × 90D × 165H (cm)

重量：700kg

省エネ海水電解防汚装置：SP型の特徴（従来品との比較）

初期設置費用

電源装置、電解槽の小型化により搬入、設置場所が従来に比べ大幅に改善されております。

また、電解電流がおよそ従来品の1/20になるため電力配線系統の設置費用も安価です。

ランニングコスト

「陽極更新」

重機不要、電解槽 (SP06-KA) の重量が[※]20kg (樹脂製)、33kg (金属製) と軽量ですので、作業員1~2人、所要時間半日程度と経済性に優れています。

「電力費用」

電源装置の変換効率が高く、従来品比較で電力費用の約**48%低減**を実現しています。

例：塩素発生量9.4kg/hの電力使用量は従来77kWでしたが、本装置は40kWで年間電力費用換算すると約**500万円**低減できます。(16円/kW換算；当社比)

製品紹介

HACCP対応

セサイルガード® Jr II 海水電解二次殺菌装置

セサイルガードは、水産加工場や魚市場で使用する海水を電気分解し、生成させた次亜塩素酸で海水を殺菌することによって水産物の衛生管理を向上させる装置です。従来の紫外線タイプの装置では、海水自体は殺菌されても当該作業場の床や使用する器具等の殺菌については十分でない場合があります。

この対応策として「海水電解装置 セサイルガード Jr II」が開発されました。海水電解の電解レベルを上げて処理した海水で床や器具等を洗浄することにより、効果的に殺菌できる装置です。

設置工事也不要とせず、当該作業場の端末海水蛇口にホースを接続するだけで使用が可能で、運転方法も家電製品の感覚で簡単にご使用いただけます。

衛生管理のグレードアップ

通常海水を電気分解して効果的な殺菌力を付与します。
水産作業場の品質管理レベルが向上します。

床も使用器具も積極的に殺菌

作業場床面・魚箱の洗浄・殺菌。
ベルトコンベアー・選別機の洗浄・殺菌。
陳列台・陳列シートの洗浄・殺菌。

安価なコスト・簡易な運用

海水配管の蛇口に接続するだけで使用できます。
設置工事が不要です。
簡単に移動ができます。



全国を網羅するサービスネットワーク

- 北海道地区**
- 北海道支店
〒060-0807 札幌市北区北七条西 1-1-2 (SE札幌ビル 6階)
TEL (011) 736-6591 FAX (011) 736-6593
- 東北地区**
- 東北支店
〒980-0804 仙台市青葉区大町 2-15-28 (藤崎大町ビルディング 1階)
TEL (022) 264-5511 FAX (022) 265-6506
- 関東甲信越地区**
- ◎本社
〒144-8555 東京都大田区南蒲田一丁目 21 番 12 号 (昭和ビル)
TEL (03) 3737-8400 FAX (03) 3737-8479
 - 広域営業部 (本社内)
TEL (03) 3737-8441 FAX (03) 3737-8459
 - 東京支店 (本社内)
TEL (03) 3737-8450 FAX (03) 3737-8458
 - 千葉営業所
〒260-0834 千葉市中央区今井 1-20-1 (Y's21 ビル 2階)
TEL (043) 263-2118 FAX (043) 263-2558
 - 新潟営業所
〒950-0086 新潟市中央区花園 2-1-16 (三和ビル 3階)
TEL (025) 244-0911 FAX (025) 247-6030
- 中部地区**
- 名古屋支店
〒464-0075 名古屋市千種区内山 1-10-10
TEL (052) 735-3481 FAX (052) 735-3480
 - 四日市営業所
〒510-0093 四日市市本町 1-1 (服部ビル 3階)
TEL (059) 351-7163 FAX (059) 353-8599
- 関西地区**
- 大阪支店
〒530-6004 大阪市北区天満橋 1-8-30 (OAPタワー 4階)
TEL (06) 6356-9800 FAX (06) 6356-9820
 - 神戸営業所
〒651-0085 神戸市中央区八幡通 4-1-38 (東洋ビル 7階)
TEL (078) 242-2535 FAX (078) 242-5426
 - 本四営業所
〒700-0962 岡山市北区北長瀬表町 3-1-12 (北長瀬駅前IIビル 1階)
TEL (086) 805-0287 FAX (086) 244-1077
- 中国地区**
- 中国支店
〒730-0051 広島市中区大手町 5-1-1 (大手町ファーストビル 3階)
TEL (082) 243-2720 FAX (082) 248-2364
 - 徳山営業所
〒745-0073 周南市代々木通り 1-30 (山陽ビル 4階)
TEL (0834) 31-3762 FAX (0834) 31-3791
- 九州地区**
- 九州支店
〒810-0013 福岡市中央区大宮 1-4-34 (五常物産ビル 2階)
TEL (092) 523-8001 FAX (092) 523-8002
 - 沖縄営業所
〒900-0006 那覇市おもろまち 4-10-18 (タカダ新都心マンション 2階)
TEL (098) 862-0226 FAX (098) 864-2383