

No.48 2008

# NAKABOH REPORT



株式会社 **ナカボータック**  
NAKABOHITEC CORROSION PROTECTING CO. LTD.

# NAKABOH REPORT

第48号 2008年

— 目 次 —

● 卷頭言

.....2

取締役 池谷 充

● 技術報告

《施工事例1》

共同溝に適用した電気防食工法の事例 .....3

事業推進部 矢島 秀治

《施工事例2》

電気防食機能を付加した海生生物付着防止装置 .....7

事業推進部 大庭 忠彦, 矢島 秀治  
東北支店 鈴木 達朗

《施工事例3》

宇部興産大橋P2橋脚被覆防食更新工事 .....11

中国支店 多田 太

● 技術紹介

【第55回材料と環境討論会（長崎）発表】

海水中における流電陽極法の設計について .....16

技術研究所 望月 紀保, 池谷 充

## 巻 頭 言

取締役 技術研究所長

池谷 充

### 維持管理時代における防食技術向上への取り組み

増え続けてきた社会資本ストックの維持管理が重要となった現在、構造物に対する防食技術の更なる向上が求められています。特に、道路、港湾、下水道、河川については維持・更新需要の増加が見込まれると言われており、国土交通省の技術基本計画（平成20年4月）においても、「急速に増加する老朽化ストック」への対応が緊急8課題の中に含まれています。

そしてこれら課題への取り組みに際しては産学官が連携しつつ、効率的・効果的に技術開発を推進することが記載されており、民間の役割分担では、公的研究機関や大学と連携しつつ経済活動の一環として得意分野を生かし、独自に創意工夫を行って技術力の差別化につながる技術研究開発への取り組みが期待されています。

構造物の延命化に対する防食技術の役割は大きく、これまでも施設の重要度や腐食環境に応じて様々な防食仕様が検討され適用されてきました。近年の性能規定化の流れの中で防食技術を改めて整理してみると、ライフサイクルコストのミニマム化、発生頻度の低い偶発作用に対する要求性能の引き下げ、構造部材の各部位における維持管理レベルの設定などの考え方が加わったことにより、今後はこれまで以上に分類された要求機能を満たす防食仕様の多様化が進むのではないかと考えています。また、防食材料の選定や施工時における環境負荷軽減への対応、資源エネルギーの枯渇問題なども研究開発に当たって配慮すべき点と考えています。

今回の NAKABOH REPORT は3件の施工事例と1件の技術紹介をさせていただきます。

施工事例の一つ目はコンクリート中への塩分浸透プロセスが大気中の海塩粒子の表面付着や海砂の使用などとは異なる要因でコンクリート中に浸透した塩分で鉄筋腐食が生じ始めた構造物への電気防食適用例です。2つ目は海水熱交換器に対して海生生物の付着を抑制する防汚効果と、腐食を抑制する電気防食効果を兼ね備えた技術の適用例です。3つ目は大口径の基礎鋼管杭に対して適用された被覆防食の更新工事に関する報告です。いずれの報告もこれまでの防食技術の改善・改良経験を生かし、それぞれの対象物に適した工夫を加え、防食材料の選定や施工技術面での新仕様による適用事例です。

また、技術紹介では海水中の鋼構造物に流電陽極方式で電気防食設計を行う場合の考え方についての解説を掲載させていただきました。

今後も維持管理に対する基本的な考え方を学ぶと共に、多くの方々のご意見を賜って防食技術の向上を目指したいと考えておりますので、よろしく願いいたします。

## 共同溝に適用した電気防食工法の事例

事業推進部 矢島 秀治

### 1. はじめに

横浜駅前の共同溝は国土交通省関東地方整備局横浜国道事務所が維持・管理・整備を行っている。この共同溝には深さ地下6階におよぶ立坑が近接していて、その立坑はシールドマシンと呼ばれる機械を地下へ運び発進させるためのものである。

横浜国道事務所は当該地域開発工事に先立ち立坑のみを築造し、地域開発工事終了後にシールドを掘進し、共同溝を構築した。このとき立坑築造からシールド掘進までの約3年間にわたって海水を満たしたことから、立坑内壁のコンクリート中に塩分が浸透し事前の調査結果では、鉄筋のかぶり位置において腐食発生限界以上の塩化物イオン濃度 (1.2kg/m<sup>3</sup>) が検出された。また、漏水等による水分を絶えることなく吸い込んだことで鉄筋が腐食し、供用開始から20数年が経過した今日、コンクリート表面にひびわれやはく離・はく落が生じた。その状態を写真1に示す。



写真1 施工対象箇所

このような鋼材腐食を伴ったコンクリート構造物の劣化を補修する手段の一つに、断面修復工法がある。しかし断面修復工法は劣化部のみ補修を行うため、補修部と未補修部との間に鉄筋の電位差が生じ、未補修部の鉄筋が腐食する

場合もある。この腐食（マクロセル腐食）を防止できる唯一の工法が電気防食工法である。電気防食工法とは、コンクリートの表面に設置した陽極とコンクリート内部の鋼材の間に直流電流を流し、鋼材表面あるいはコンクリート内部に発生する電気化学的反応を利用して鋼材を防食する方法である。

こうした背景から、横浜駅前の立坑においてコンクリート劣化部を補修し、さらにこの立坑内部に電気防食工法を施工した。以下にその概要を紹介する。

### 2. 工事概要

#### <電気防食工>

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| 防食面積   | 924.5m <sup>2</sup>        |
| 電源方式   | 外部電源方式                     |
| 陽極     | チタンリボンメッシュ<br>0.6mm厚×13mm幅 |
| 防食回路   | 7回路                        |
| 直流電源装置 | 30V-5A 6台<br>30V-10A 1台    |

#### <躯体補修工>

|          |                               |
|----------|-------------------------------|
| ひびわれ充填工： | 131m                          |
| 断面修復工：   | 98.8m <sup>2</sup> (平均t=88mm) |
| 漏水対策工    | 導水工115.7m<br>縦樋工179.1m        |

### 3. 工事報告

本工事は総合評価方式対象工事であり、競争参加資格確認資料に記述した施工計画に基づき、施工計画書を作成し実施した。

#### 1) 電気防食工

施工手順を図1、電気防食工の模式図を図2に示す。

#### ①準備工

排流端子、測定端子および照合電極の設置位置

の位置決めは、設計図書に図示されたそれらの設置位置に鉄筋が有るかを鉄筋探査計により確認してから行った。その状態を写真2示す。

コンクリート表面に存在している金属なども撤去した。



写真2 鉄筋探査状況



図1 施工工程図

②排流端子、測定端子および照合電極の設置工  
コンクリートをはつりとり鉄筋を露出させ、その鉄筋露出位置に排流端子、測定端子および照合電極を設置し、その後無収縮モルタルで埋め戻した。

③鉄筋間導通確認試験

各防食回路に対して、排流端子と鉄筋間の電位差を直流電圧計により測定し、電氣的導通を確認した。

④陽極設置工

チタンリボンメッシュ陽極およびコンダクターバー設置用の溝を切削し、この溝内に陽極およびコンダクターバーを設置し、その後無収縮モルタルで埋め戻した。

⑤陽極間導通確認試験

各防食回路に対して、陽極の両端部および各陽極間の電位差を直流電圧計により測定し、電氣的導通を確認した。

⑥陽極鉄筋間導通確認試験

各防食回路に対して、各陽極と排流端子間の電位差を直流電圧計により測定し、電氣的な絶縁の確保を確認した（電位差10mV以上）<sup>1)</sup>。その状況を写真3に示す。

⑦直流電源装置の設置工

各直流電源装置を壁面に固定した。電源装置の入力側および出力側において配線配管を行った。

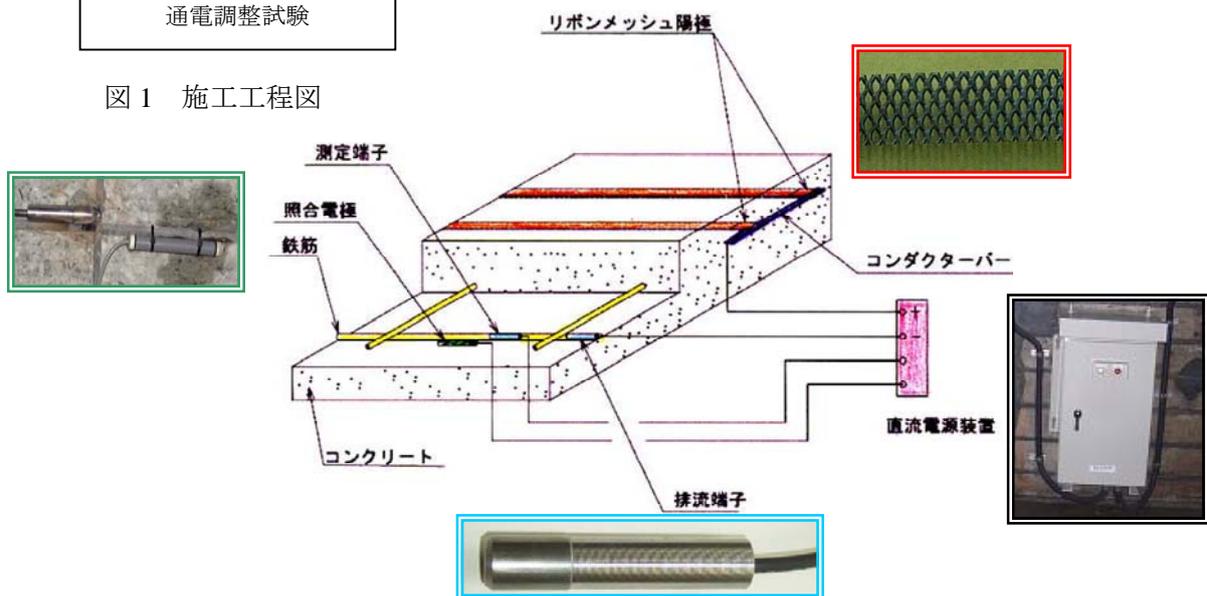


図2 電気防食工模式図



写真3 陽極鉄筋間絶縁確認

⑧通電調整試験

各防食回路において通電調整試験を行った。その状況を写真4に示す。

一例として照合電極位置RE4-1, RE4-2における手順と測定データを示す。

イ) 鉄筋の自然電位を測定。

RE4-1: -382 (mVvs. MnO<sub>2</sub>)

RE4-2: -415 (mVvs. MnO<sub>2</sub>)

ロ) 鉄筋に一定の防食電流を流し続ける。

ハ) 通電時の電位 (Eon) を測定。

ニ) 通電遮断直後の電位 (Eio) を測定。

通電遮断直後の電位 (Eio) とは、後述するように「電圧降下の影響を除いた真の鉄筋電位」を指し、例えば0.9mA/m<sup>2</sup>を通電したときのこの電位 (Eio) は、RE4-1で-397 (mVvs. MnO<sub>2</sub>)、RE4-2で-425 (mVvs. MnO<sub>2</sub>) を示した。

ホ) 電流密度を増加させ、Eon, Eioの測定 (ロ～ニ) を繰り返した。

ヘ) 上記データをもとに片対数グラフを作成。

ト) 片対数グラフより、各照合電極位置 (RE4-1, RE4-2) での鉄筋電位変化量 (分極量) が100mV以上になる電流密度 (8.3mA/m<sup>2</sup>) を選定



写真4 通電調整試験

し、直流電源装置の通電を開始した。  
 チ) 一定期間経過後に電源装置をオフにして、鉄筋電位の変化量 (復極量) が100mV以上確保していることを確認した。

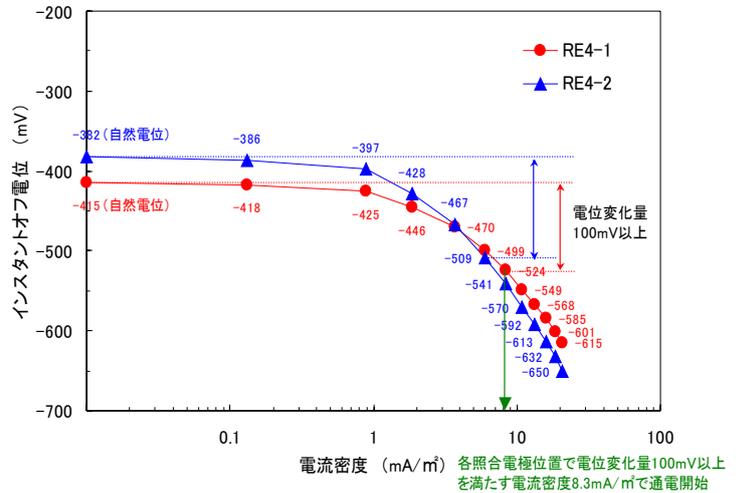


図3 通電調整試験

2) 躯体補修工

①ひびわれ充填工

ひびわれが発生している部分はU字状にカットし、その後無収縮モルタルで埋め戻した。

②断面修復工

浮きのある部分は除去し、鉄筋を防錆処理した後無収縮モルタルで埋め戻した。

③漏水対策工

本立坑は地下構造物であり、また川に隣接しているため、地下2階以降の各階で漏水、エフロレンスを確認した。漏水対策として導水工および縦樋工により補修を行った。導水工はひびわれ部に追従できる導水用ネットホースを採用した。その状況を写真5に示す。



写真5 導水工施工

#### 4. 維持管理

本工事の竣工状況を写真6に示す。

電気防食工法を適用した立坑の維持管理は、その立坑内の鉄筋に対して適切な防食電流が流れ続けていることを確認することで行う。具体的には、電気防食装置の稼動状況については、直流電源装置のランプや指示メーターを確認し、防食効果については、コンクリート中に埋設した照合電極を用いて、電位変化量を測定する。この電位変化量とは防食電流遮断直後の電位（インスタントオフ電位 $E_{io}$ ）と一定の時間が経過した後の電位（ $E_{off}$ ）との差であり、『電位変化量が100mV以上であれば防食状態』という防食基準が広く用いられている。またこの一定の時間とは4～24時間を示し、鋼材表面が自然電位に戻る時間である<sup>2)</sup>。

今後の定期点検は、初年度に3回（3, 6, 12ヵ月後）、次年度以降は年1回を計画している。



写真6 竣工状況

#### 5. インスタントオフ電位計測器

土壌、コンクリートまたは淡水のように電気伝導度の低い腐食環境における防食電位の測定は、通電時の電圧降下（IRドロップ）が測定電位に加算されてしまうため、カレントインタラプト法（前述した防食電流遮断直後の電位を読み取る方法）による補正が必要となる。しかしながら、この方法では測定者の目読により測定するため読み取り値に個人差が生じたり、環境によってはノイズの影響を受けて測定値がばらつくことがある。この問題を解決するべく、



写真7 インスタントオフ電位計

ノイズの影響が小さく操作が簡単であり、瞬時の電位を保持できるインスタントオフ電位計（mSPOT:登録商標, milli second instant-off potentiometer）を弊社は開発した<sup>3)</sup>。

主な特徴は次のとおり。

- イ) 電気防食を行いつつ、電圧降下分を除いた電位（インスタントオフ電位）が測定可能。
- ロ) 同期積分により、測定値が安定。
- ハ) 市販のデータロガーを用いることにより、インスタントオフ電位の記録が可能。

本工事では、このインスタントオフ電位計を用いることにより、高精度のインスタントオフ電位を測定することが実現できた。

#### 6. おわりに

公共工事の品質確保法が施行されて3年が経過し、その法律を根拠とした総合評価方式により発注される場合をしばしば見受ける。

本工事は、この総合評価方式により実施され弊社の技術的能力および技術提案が評価・活用された事例である。

防食技術者として、この工事に止まらずこれからも適正な施工管理や技術力の向上に取り組み継続的に成長し、発注者側に「技術提案」を行うことによって、コンクリート構造物の長期保全に貢献したいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 日本エルガード協会；コンクリート構造物のQ&A, P1 47-168, (2004)
- 2) (社)土木学会；電気化学的防食工法設計施工指針(案), P53-106, P203-216, (2001)
- 3) 小玉俊明, 篠田吉央, 田中一弘;第55回 材料と環境討論会講演集, (社)腐食防食協会, P269-272, (2008)

## 電気防食機能を付加した海生生物付着防止システム

事業推進部 大庭 忠彦, 矢島 秀治  
東北支店 鈴木 達朗

海生生物付着防止対策として、これまで種々の研究開発が進められているが、環境に優しく、低コストで長期に亘り確実に防汚効果を発揮する技術は、いまだ実用化されていない。このため発電所では、フジツボやイガイなどの海生生物が海水系機器内で付着・繁殖し、その定期的な清掃作業の実施が必要とされている。また、取り除いた海生生物を産業廃棄物として処理するのに多大な労力と費用を要している。付着防止対策としては、塩素注入や防汚塗料の塗布が行われてきたが、環境問題や長期効果が得られない等の課題を抱えている。

当社はこのような課題に対し、塩素不要とする環境への配慮や防汚塗料の塗替え周期を考慮した長期寿命化およびLCCの低減に主眼を置き、(株)東芝との共同開発により、電気化学的手法に基づく付着防止装置を開発した。当該装置は、触媒をコーティングしたチタンシートから微弱な電流を流すことで、海生生物の付着防止を図るもので、チタンシートを電極とすることで電気防食機能を兼ね備えるものである<sup>\*</sup>。このたび 60 万 Kw 国内火力発電所の海水熱交換器に本装置を適用したことから、その概要を紹介する。

<sup>\*</sup>特許第 3769394 号, 第 4028169 号

### 1. 付着防止原理

海生生物の付着防止メカニズムを図 1 に示す。はじめに、海水に接する構造物の表面に有機物が付着し、この有機物を足掛りとして、バクテリア

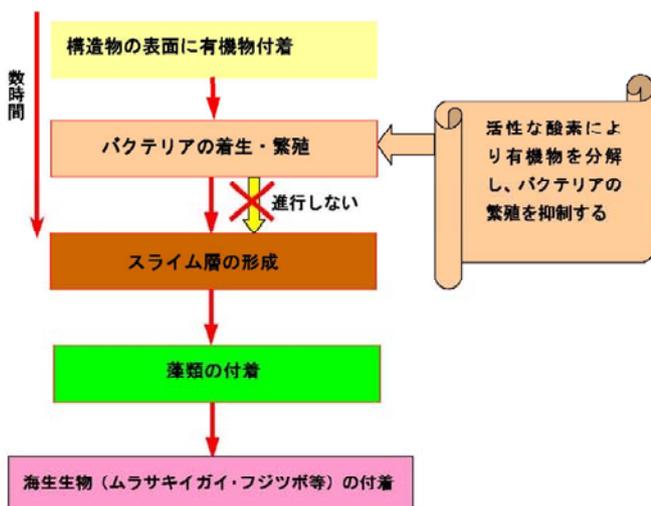


図 1 海生生物の付着メカニズム

が着生・繁殖し、スライム層を形成する。ここまでは有機物が付着してからほぼ数時間で完結する。<sup>1)</sup> 続いてスライム層の上に藻類が着生し、藻類を足掛りとしてフジツボやイガイ類など海生生物の稚貝（幼生）が付着・繁殖・成長する。一方、対象物表面から発生する活性な酸素は、バクテリアの着生および繁殖に優れた抑制効果を持つことが知られている。<sup>2)</sup> 本システムはこの酸素の抑制効果に着目し考案したもので、上述のメカニズムの初期段階で進行を断ち切ることで、海生生物の付着・繁殖を防止するものである。

### 2. システム構成

海生生物付着防止システムを海水熱交換器に適用した概要を図 2 に示す。本システムは、白金系触媒をコーティングしたチタンシート（チタン

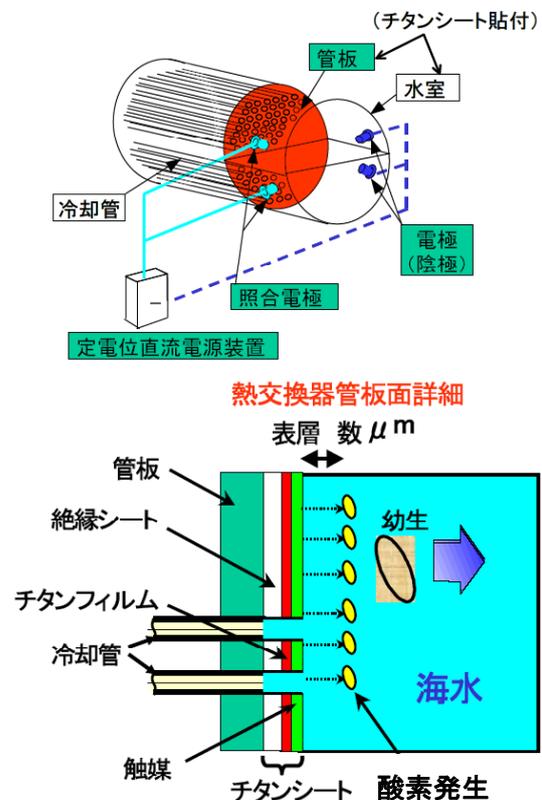


図 2 海生生物付着防止システムの概要

厚さ 0.3 mm), 陰極部用電極, 照合電極および直流電源装置で構成される。管板面に貼り付けたチタンシートは, 絶縁シートを貼り合わせたもので, 機器本体と絶縁されている。また, チタンシートの接着には, 海水温度 50°Cまで安定した接着強度を持つ, 変性シリコンポリマーとエポキシ樹脂を主成分とした接着剤を選定した。

海水熱交換器に貼り付けたチタンシートを陽極として電流を陰極に流し, 海水の電気分解反応により, チタンシート表面において酸素を継続的に発生させることで付着を防止する。この時のチタンシートの制御電位を 1.2V より低く維持することにより, 塩素の発生を抑制する。なお, 酸素の発生は, 微弱な電流を通電する極表面層 (数 μm) の界面において発生し消滅しており, 目視で確認できない。環境の pH と電位の関係の制御範囲概念を図 3 に示す。

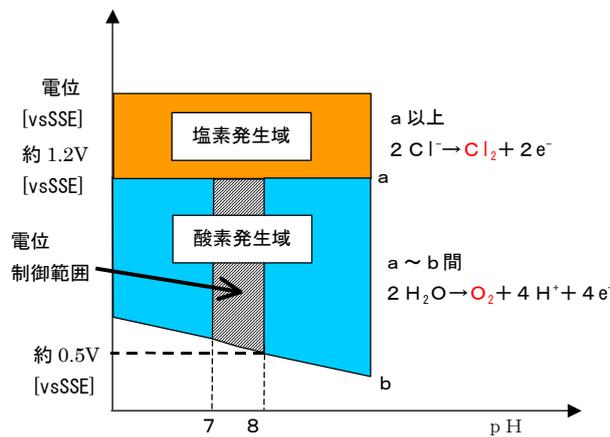


図 3 制御範囲概念図

本システムの特徴は次の通りである。

- ① 海生生物に対する付着防止の効果が極めて優れる
- ② 海生生物付着防止を極表面層の酸素によって行うため, 環境面に対し非常に優れる
- ③ 防汚効果が長期にわたり持続する (電極寿命約 20 年以上)
- ④ チタンシート電極は電気防食装置との併用が可能である
- ⑤ メンテナンスが容易
- ⑥ 運転コストが安価

### 3. 工事概要

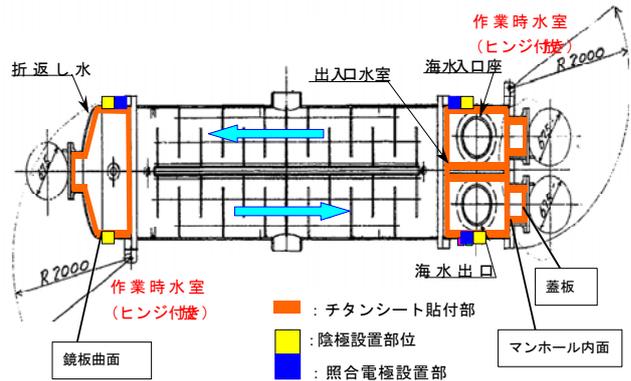


図 4 海水熱交換器チタンシート施工対象位置

平成 20 年 3 月からの発電所内定期事業者検査工事において, 3 台 (A~C) の海水熱交換器のうち 1 台 (C 号機) を対象として, 海生生物付着防止システムを設置した。

本システムは, 直流電源装置, チタンシート, 陰極, 照合電極, 陽極引出し金具および配線配管等により構成している。施工対象位置は図 4 のとおり, 出入口, 折返し水室および各水室管板面, マンホール内面, 蓋板とした。はじめに, 各水室内面および蓋板のゴムライニング部を平滑化処理し, ピンホール検査を実施した。折返し水室の鏡部には, 円錐状に加工した FRP 成型品を設置し, その上にチタンシートを貼付けた。また, 管板面には絶縁シートを貼り合わせたチタンシートを貼り付けた。チタンシート同士はスポット溶接により電氣的導通を確保した。図 5 に施工フローおよび写真 1~7 に施工写真を示す。

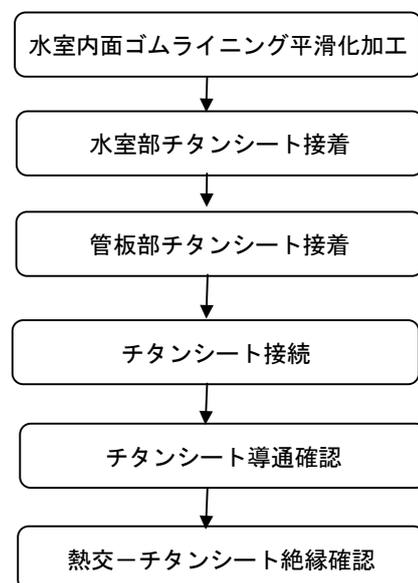


図 5 施工フロー



写真1 水室内面ゴムライニング平滑化加工



写真4 チタンシート接続



写真2 水室部チタンシート接着



写真5 チタンシート導通絶縁確認

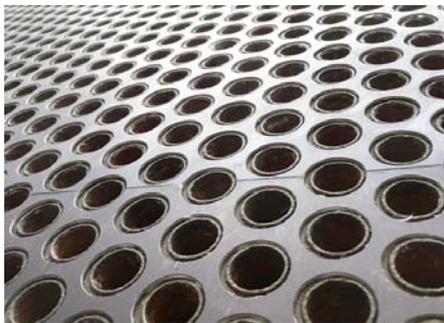


写真3 管板部チタンシート接着



写真6 出入口側水室設置完了



写真7 入口側4ヶ月後の結果

直流電源装置は、海生生物付着防止用として定電流式電源装置、電気防食用として定電位式電源装置を設置した。試運転調整において、チタンシートの陽極電位を0.5～1.2V間で設定した。通水3週間後に、水室を開放し、防汚効果の状況およびチタンシートの接着状況について点検を行なったところ、海生生物の付着は見られず、またチタンシートの剥がれもなく正常に稼動していることが確認できた。

#### 4. 海水取水口での適用事例

発電所の機器冷却用海水設備に海生生物付着防止システムを適用した例を報告したが、発電所では海水を取り込む取水路でも海生生物の付着による大きな問題を抱えている。次に示すのは、60万Kw国内火力発電所の取水路に適用した例である。



写真8 取水路天井部



写真9 チタンシートとその周囲

この装置の特長は、チタンシート間に陰極部を設けている点である。2年間の運転結果を次に示す。

- 1) チタンシートには海生生物の付着は認められず、優れた防汚効果が維持された(写真8)。
- 2) 装置の周囲にはムラサキイガイが大量に付着しており、効果の差は歴然であった(写真9)。
- 3) チタンシート表面の触媒を分析した結果、消耗がほとんど無く、長期耐久性を有することが実機で確認できた。

#### 5. まとめ

2件の海生生物付着防止システムに関する実機適用事例を紹介したが、いずれも海生生物の付着防止対策として、本システムが有効であることが実証された。今後はさらなる機能向上とコストダウンを図り、電気防食と生物付着防止を同時に実施できる環境に優しいシステムとして、広く適用いただけるよう努力していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 川辺充志；“海洋生物の付着現象とその本質，海生生物付着防止装置”，P1-29，1991-05
- 2) 片山義章，大庭忠彦；“海生生物付着防止装置”，火力原子力発電大会研究発表，2008

宇部興産大橋 P 2 橋脚被覆防食更新工事

中国支店 多田 太

1. はじめに

宇部興産専用道路は山口県宇部市から同県美祿市に至り、全長 28.27km に及ぶ日本最長の私道である。その一部である興産大橋は沖の山地区と西沖の山地区を結ぶ全長 1020m の鋼製トラス橋で、1982 年に開通した。興産大橋の基礎鋼管杭 (φ2500) には敷設当初より防食工事が施されてきた。表 1 に防食経歴を示す。

表 1 防食履歴

| 施工年    | 工法                  | 適用範囲                            |
|--------|---------------------|---------------------------------|
| 1981 年 | 電気防食<br>(10 年耐用)    | MSL(+2.120m)<br>鋼管杭根入れ          |
| 1983 年 | 被覆防食<br>(10 年耐用)    | 上部工下端(+3.00)<br>+1.00m          |
| 2000 年 | 電気防食更新<br>(10 年耐用)  | +1.00m<br>鋼管杭根入れ                |
| 2008 年 | 被覆防食更新<br>(FRP カバー) | 上部工下端(+3.00m)<br>L.W.L.(±0.00m) |

2006 年に行った海上橋脚 PC 底版・鋼管杭部点検調査工事において保護カバーの一部に衝撃痕と思われる損傷が見つかり、また施工後約 24 年を経過したことから、被覆防食の更新をすることとなった。

本報告は更新工事に際して行なった既設保護カバー、防食材および鋼管杭表面の点検と、新たな仕様を適用した被覆防食工事についてまとめたものである。

2. 工事概要

2.1 工事目的

本工事は興産大橋基礎鋼管杭 (φ2500) の被覆防食更新として P2 橋脚について行ったものである。

2.2 工事対象

表 2 に工事概要の一覧、図 1 に橋梁概略図を示す。

表 2 工事概要

| P2 橋脚 |                      |
|-------|----------------------|
| 施主    | 宇部興産株式会社             |
| 受注先   | 大成建設株式会社             |
| 対象    | 鋼管杭, φ2500mm, 12 本   |
| 防食方法  | ペトラタム被覆(PTC 工法)      |
| 防食範囲  | +3.00m ~ ±0.00m      |
| 防食面積  | 282.6 m <sup>2</sup> |
| 工事期間  | 2008. 07. 28         |
|       | 2008. 09. 25         |

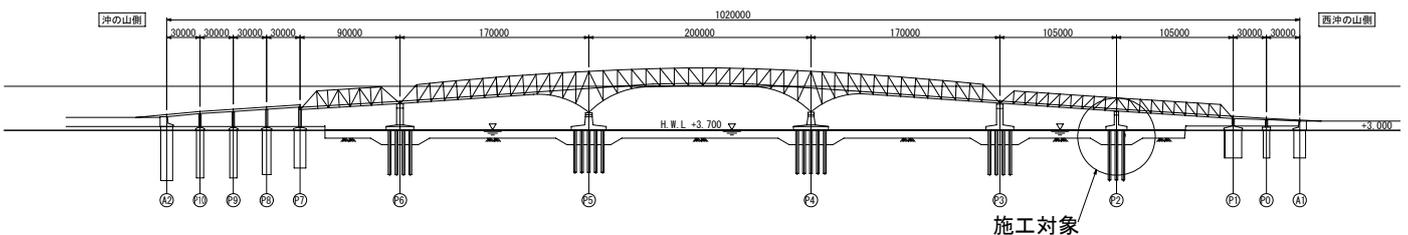


図 1 橋梁概略図

3. 既設被覆工の状況

被覆防食を更新するにあたり、各被覆材の状況および鋼管杭の防食状況を目視観察した。その結果を表3に示す。

表3 被覆防食状況

| 対象    | 結果  |
|-------|---|
| 保護カバー | 保護カバーのほぼ全面に海生生物が付着していたが、大きな亀裂や損傷は生じていなかった。しかし漂流物の衝撃痕と思われる小さな損傷(写真1)が複数認められた。FRPP製の保護カバーの適用事例は少ないが、保護カバーとして長期使用に耐えられることがわかった(写真2)。 |
| 防食テープ | 部分的に変色や若干の油分減少が認められたが、全体的にはほぼ当初の状態が維持されていた(写真3)。  |
| 鋼管杭表面 | 防食テープ除去後の鋼表面は全体的に黒色化しており、錆層の形成など被覆下の腐食は見受けられなかった(写真4)。  |



写真1 漂流物の衝撃痕



写真2 既設保護カバー



写真3 既設防食テープ除去後



写真4 既設防食テープ撤去時の鋼管杭表面

4. 設計概要

4.1 防食方式

海洋環境の既設鋼構造物に対する防食方法として PTC 工法は数多くの実績がある。しかし、φ2500 を超える大口径鋼管杭の防食工事は施工実績が少ないため、先に実施した大口径（φ3500）被覆防食工事である大島大橋橋梁補修工事（山口県）<sup>1)</sup> を参考に設計および施工方法を決定した。施工対象の P2 橋脚を写真 5 に示す。また被覆図を図 2 に、更新にあたっての被覆防食仕様の変更比較を表 4 に示す。



写真 5 P2 橋脚

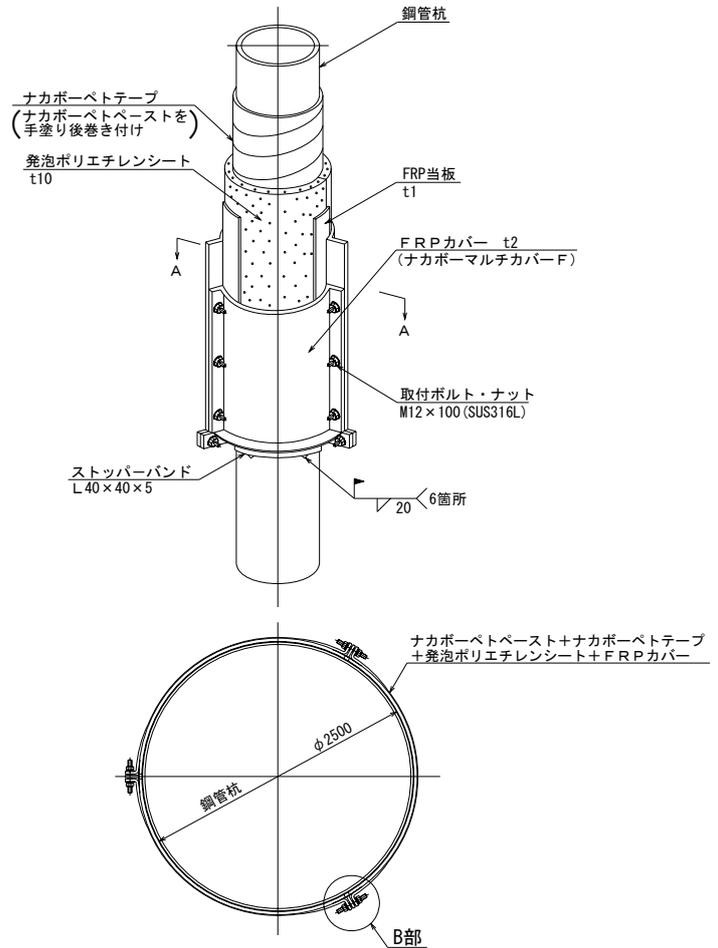


図 2 被覆図

表 4 既設と更新の被覆防食仕様の比較とその理由

|   |          | 変更点 |                               | 理由   |
|---|----------|-----|-------------------------------|--|
| 1 | 適用範囲     | 既設  | +3.00m～+1.00m<br>(カバー長：2.00m) | <ul style="list-style-type: none"> <li>干満差の大きな海域での防食を考慮し、被覆範囲を 1m 下げた。</li> <li>作業効率の向上の観点から保護カバーの連結部を無くした。</li> </ul> |
|   |          | 更新  | +3.00m～±0.00m<br>(カバー長：3.00m) |  |
| 2 | 保護カバー形状  | 既設  | 円周方向：2 分割<br>縦方向：2 分割         | <ul style="list-style-type: none"> <li>保護カバーは大島大橋の経験から 3 分割とし、締め付け部が増えてフィット性が向上する被覆構造とした。</li> </ul>                   |
|   |          | 更新  | 円周方向：3 分割<br>縦方向：分割無し         |  |
| 3 | 保護カバー材質  | 既設  | FRPP (ガラス繊維で補強されたポリプロピレン樹脂製)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>過酷な海洋環境における適用実績の多いポリエステル樹脂製の FRP に変更した。</li> </ul>                              |
|   |          | 更新  | FRP (ガラス繊維で補強された不飽和ポリエステル樹脂製) |  |
| 4 | 端部処理材    | 既設  | ウレタン系シーリング材                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>水中部および締潤面への接着性に優れるため変更した。</li> </ul>  |
|   |          | 更新  | 水中硬化形エポキシ樹脂                   |  |
| 5 | 締め付ボルト   | 既設  | 真ちゅう製                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>真ちゅうは海水中での長期使用時に脱亜鉛腐食が認められるため SUS 製とした。</li> </ul>                              |
|   |          | 更新  | SUS316L 製                     |  |
| 6 | ストッパーバンド | 既設  | 円周方向：4 分割                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>作業性の向上のため 3 分割とした。なお、固定はフランジのボルト固定に加え、水中部で点溶接を行なった。</li> </ul>                  |
|   |          | 更新  | 円周方向：3 分割                     |  |

4.2 防食仕様

防食仕様を表5に示す。

表5 防食仕様

| 工 種     | 品 名               | 仕 様                         |
|---------|-------------------|-----------------------------|
| 素 地 調 整 | 手 工 具 ・ エ ア ー 工 具 | ISO St2 以上                  |
| 下 塗 り   | ペトログラム系防食ペースト     | 0.4kg/m <sup>2</sup>        |
| 防 食 被 覆 | ペトログラム系防食テープ      | t 2.2 mm                    |
| 保 護 被 膜 | F R P カ バ ー       | FRP 2.0 mm + 発泡ポリエチレン 10 mm |
| 被 覆 固 定 | ス ト ッ パ ー バ ン ド   | └40×40×5                    |
| 端 部 処 理 | 水中硬化形エポキシ樹脂       | 0.8kg/m                     |

5. 施工概要

施工フローを図3に示す



写真6 防食ペースト塗布完了



写真7 防食テープ巻付完了



写真8 FRPカバー取付状況



写真9 FRPカバー取付完了

図3 施工フロー

施工手順については一般的な PTC 工法であり、既に報告してあるため<sup>1)</sup> 略す。

大島大橋の事例では激しい潮流の中での作業を考慮し、鋼製水中ステーションを鋼管杭に取付け工事を行なったが、本工事では大きな潮流速とならないため、関係者と協議の上、通常の単管足場にて工事を実施した。しかしながら保護カバーは約 8 m<sup>2</sup>もある大きなカバーであるため、作業性、安全性を考慮し取付けに際しては、通常の 50～80%増しの作業員数にて対応した。

一般にペトロラタム被覆を施工する場合、作業員同士が視界に入るため、作業確認のための決められた声掛けは行なわないが、本工事では杭径が大きく作業員同士が見えないため、作業状況について各段階で声掛け確認を行ないながら進めた。作業手順、注意事項については作業前打合せにて周知徹底したが、この声掛けは特に3分割保護カバーの円滑な取付け施工に効果があった。

## 6. おわりに

PTC 工法は適用開始後既に 30 年以上を経過し、最近では更新工事が少しずつ発生している。更新に際しては、今回の興産大橋のように調査および点検評価が多くの場合実施される。我々防食技術者は、環境によって異なる防食工の劣化度を適確に評価し、施設の維持管理上最も適切な時期に防食工の更新が行なわれるように働きかけ、貴重な社会資本の長期維持に協力したいと考えている。

本工事にあたり、宇部興産株式会社および大成建設株式会社の関係各位に多大なるご協力をいただいたことに対し、厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 多田 太;ナカボーレポート No. 46, P2, (2006)



【第 55 回材料と環境討論会（長崎）発表】

海水中における流電陽極法の設計について

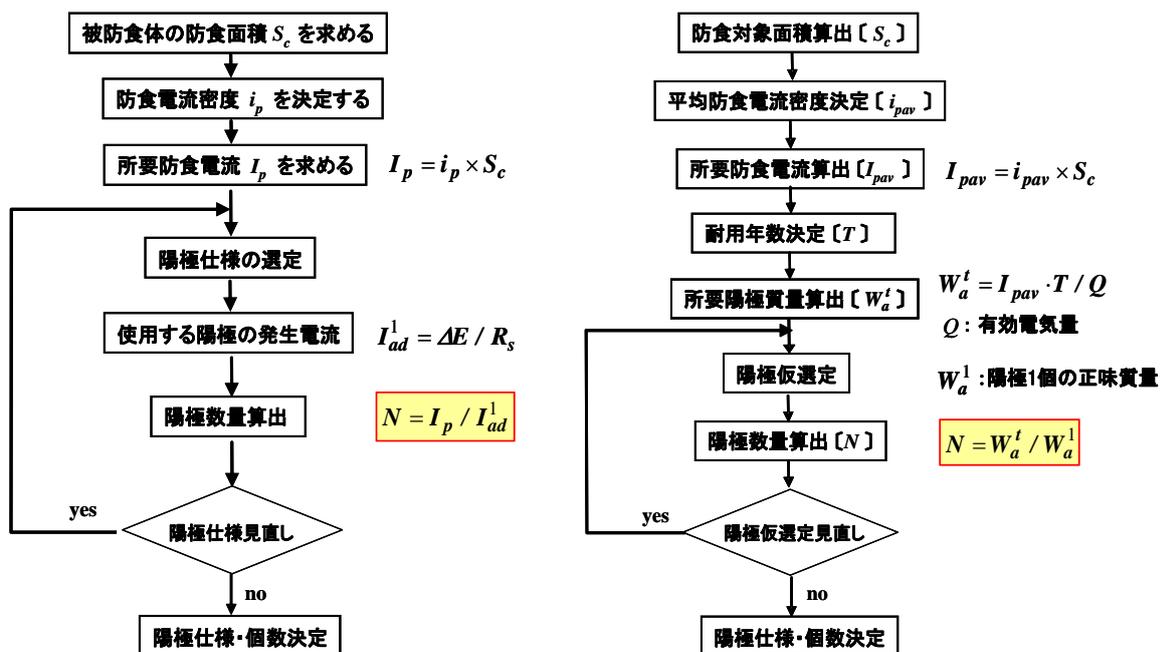
技術研究所 望月紀保  
池谷 充

1. はじめに

現在の流電陽極法の設計では、陽極取り付け個数を算出する場合、1 個の陽極の発生電流値から全体の総取り付け個数を算出する方法（発生電流設計と称する）と、耐用年数から計算される総電気量から算出する方法（電気量設計と称する）の 2 種類が用いられている。前者は、港湾鋼構造物防食・補修マニュアル<sup>1)</sup> に準じた方法ではあるが、後者についてはその手法を文書化した文献等はない。本報告では、両設計法の比較の中で、電気防食設計の妥当性を考察する。

2. 現在の設計法と課題

現行の設計フローの概要を図 1 に示す。発生電流設計では、陽極の 1 本当りの発生電流 ( $I_{ad}^1$ ) を計算するフローはあるが、陽極の耐用年数 ( $T$ ) に関わる項目はない。一方、電気量設計では、耐用年数に関する設計手順は明記されているものの、1 個当りの陽極の発生電流については何の検討もされていない。



(a) 発生電流設計

(b) 電気量設計

図1 流電陽極法における現行の設計フローの概要

実際の設計では、(環境抵抗率が固定された条件の中で) 1本当りの発生電流と耐用年数が決められた陽極が種々用意されているため、そのメニューの中から陽極選定が可能であれば両設計法間には整合性が得られるはずである。

しかし、防食対象物によっては物理的空間の制約等の問題からメニューからの陽極選定ができない場合もあり、両設計法間に整合性が得られない場合も生じている。このような場合、実務上は電気量設計で対応することが多いが、その妥当性については明確な解釈がなされていない。

### 3. 電気防食の設計法に対する考察

電気防食の設計防食電流は下記の3条件を満たす値でなければならない。

【条件1】(陽極1個の設計発生電流)-(1個の陽極が担う初期防食電流) $>0$

$$I_{ad}^1 - i_p \cdot S_c^1 = \Delta E / R_s - I_{ar}^1 > 0 \quad \Rightarrow \quad I_{ar}^1 < \Delta E / R_s$$

【条件2】(1個の陽極が担う初期防食電流)

-(陽極使用限界電流密度 $\times$ 1個の陽極面積) $<0$

$$I_{ar}^1 - i_{a,crit} \cdot S_a^1 < 0 \quad \Rightarrow \quad I_{ar}^1 < I_{a,crit}$$

【条件3】(1個の陽極質量)

-(平均防食電流と耐用年数から計算される陽極質量) $>0$

$$W_a^1 - \frac{r_p \cdot I_{ar}^1 \cdot T}{Q} > 0 \quad \Rightarrow \quad I_{ar}^1 < \frac{W_a^1 \cdot Q}{r_p \cdot T}$$

[記号説明]

$I_{ad}^1$  : 陽極1個の設計発生電流     $I_{ar}^1$  : 実際の陽極1個が担う初期防食電流     $\Delta E$  : 有効電位差  
 $i_p$  : 設計防食電流密度     $S_c^1$  : 陽極1個が担う防食面積     $S_a^1$  : 1個の陽極面積  
 $R_s$  : 極間抵抗(陽極接地抵抗)     $i_{a,crit}$  : 陽極使用限界電流密度     $W_a^1$  : 1個の陽極質量  
 $Q$  : 有効電気量     $T$  : 耐用年数     $r_p$  : 防食電流密度低減率

取り扱いの簡便さから陽極を半球として上記3条件を図示した一例を図2に示す。陽極はアルミニウム合金陽極で、詳細な解析条件は図中の条件に記した通りである。

図2より、陽極1個が担う設計防食電流の算出は、条件1と条件3の交点を境にして、陽極形状が小さい時には条件3(電気量設計)を、大きいときには条件1を満たす設計(発生電流設計)をすればよいことが分かる。一方、現設計法は、条件1と条件3が等号で成

立する条件（交点）に近似した陽極形状を製作して対応している。

交点より大きい形状の陽極を使用した場合、図 1(a)の発生電流設計で陽極個数を算出することになるが、得られる結果は、陽極寿命が設計耐用年数以上になってしまうことが分かる。すなわち、上記 3 条件は満たすものの、実用上は過剰な陽極取り付けということになる。

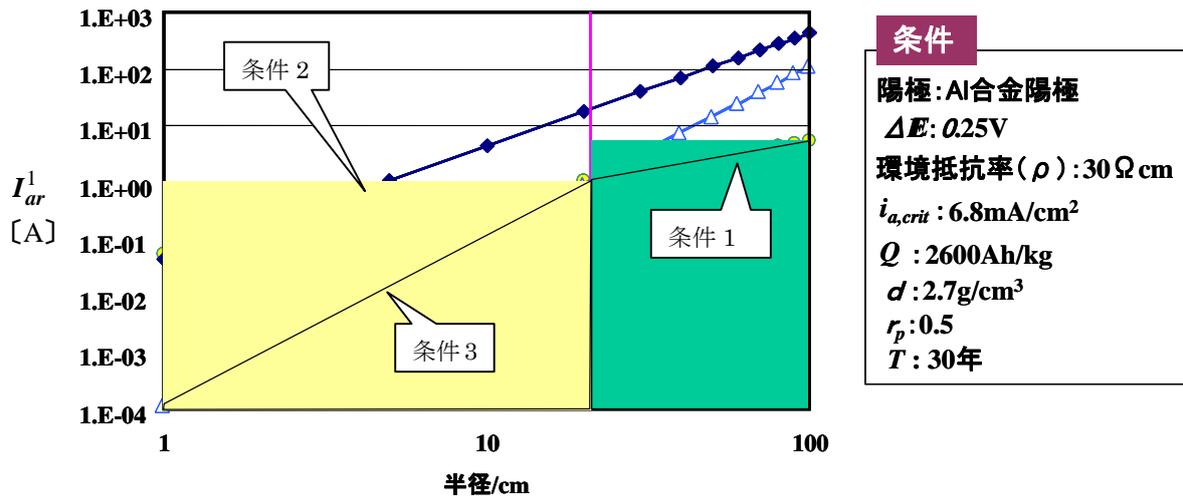


図 2 3 条件の図示（半球陽極の場合）

一方、交点以下の陽極形状を使用する場合、設計は、条件 3（電気量設計）より陽極取り付け個数を算出するが、1 個の陽極の設計発生電流 ( $I_{ad}^1$ ) は、条件 3 から求められる陽極 1 個が担う防食電流 ( $I_{ar}^1$ ) より常に大きい値となる。しかし、溶存酸素の拡散限界電流が防食電流を支配している通常の電気防食系では、陽極 1 個当りの発生電流  $I_{ar}^1$  は、溶存酸素の拡散限界電流  $I_L$  を超えることはない。

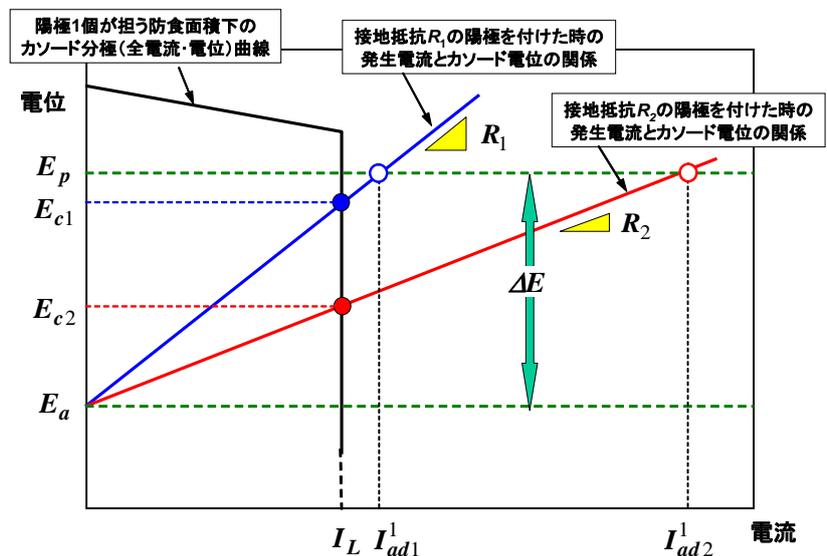


図 3 1 個の陽極の発生電流とその陽極が担う防食面積の拡散限界電流との関係

$E_a$ : 陽極電位,  $E_c$ : 陰極電位,  $E_p$ : 防食電位,  $I_L$ : 拡散限界電流  
添字 1, 2: 接地抵抗の異なる陽極 1, 2 に対応する当該パラメータの値を示す

設計上の発生電流  $I_{ad}^1$  が  $I_L$  より大きい場合、図 3 に示すように陰分極が進行し、発生電流は  $I_L$  に維持される。すなわち、 $I_{ad}^1$  は、防食対象物が防食電位  $E_p$  に達した時に通電可能な最大電流値という意味合いを持つ数値で、実際に流れる電流とは必ずしも対応するものではない。本条件のように、1 個の陽極が担う防食対象面積の防食電流（拡散限界電流）が  $I_{ad}^1$  以下であれば、実際に流れる防食電流は  $I_{ar}^1$  であるため、電気量設計で陽極取り付け数を決定しても良いと考えられる。本解析によれば、電気防食設計は図 2 の交点以下の陽極形状について可能であり、その手法は条件 3 による設計（電気量設計）でよいということになる。

#### 4. 新設計法の提案

上記考察より、電気防食設計は条件 1 と条件 3 の交点以下の陽極形状を使い、電気量設計を適用すればよいことが示された。この点を考慮し、図 4 に示す設計フローを新たに提案したい。破線で示す領域までは従来の電気量設計と同様であるが、その後を示す条件式 ( $I_{ad}^1 > I_{ar}^1$ ) で図 2 の交点以下か否かを判定している。

本設計法の適用により同一設計条件下でも選択可能な陽極種類は増大する。

#### 参考文献

- 1) 沿岸開発技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（1997）。

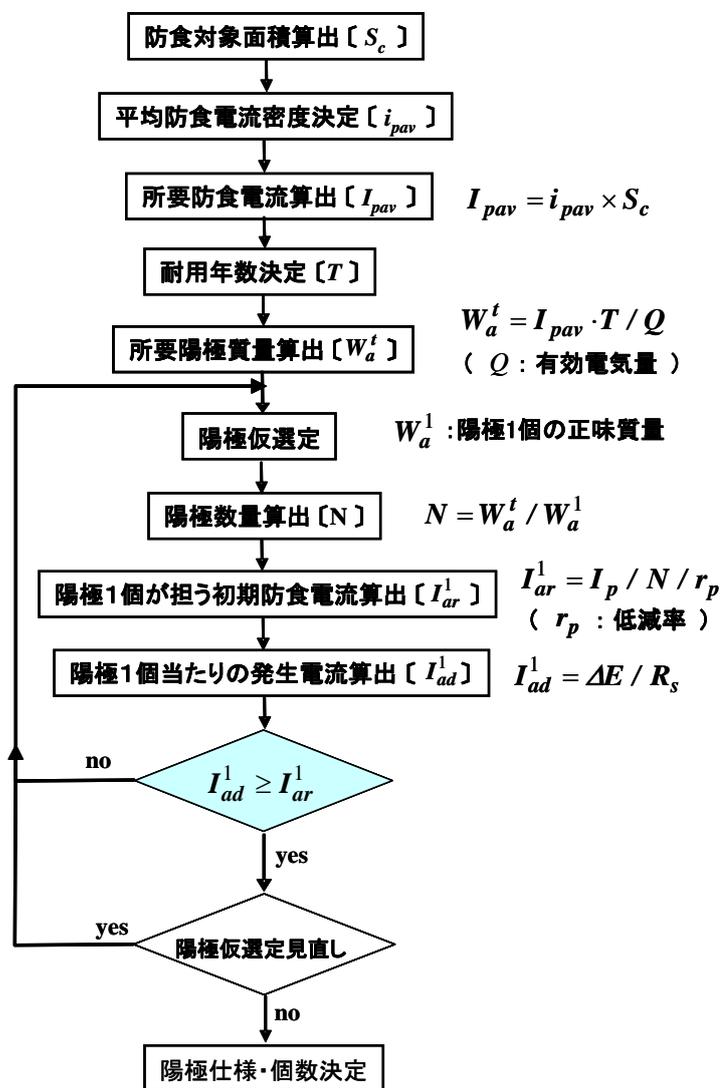


図 4 新設計法のフロー

(注) 本報告は 2008 年度第 55 回材料と環境討論会（長崎）にて発表したものです。

NAKABOH REPORT

No.48, 2008 年 12 月 17 日発行

編集発行人 大野 泰彦

(非売品, 無断転載を禁ず)

発行所 株式会社ナカボーテック  
技術統括部

〒104-0033

東京都中央区新川 2 丁目 5 番 2 号

Tel. 03-5541-5814

Fax. 03-5541-5835



株式会社 **ナカボーテック**  
NAKABOHTEC CORROSION PROTECTING CO. LTD.