

さび

155



日本防蝕工業株式会社

さ び 第 155 号

目 次

ご挨拶	1
日本防蝕工業株式会社 代表取締役社長 佐藤 元彦	
CIPE 法によるモルタル中鋼材の腐食速度の非破壊評価試験	2
日本防蝕工業株式会社 技術研究所 小嶋 栄作	
〃 〃 田代 賢吉	
北海道電力株式会社 総合技術研究所 橋田 修吉	
〃 〃 辻野 二郎	
海外施設の防食エンジニアリング	8
日本防蝕工業株式会社 東京支店 三鍋 俊	
〃 〃 逸見 崇之	

ご挨拶



日本防蝕工業株式会社

代表取締役社長 佐藤 元彦

皆様方におかれましては、益々ご健勝のこととお慶び申し上げます。本年度、当社は創業71年目を迎え、営業年度では第100期を迎えることとなりました。この度、当社の研究開発の成果をご紹介する技術情報誌『さび』155号を発行できましたのも、皆様方のご支援の賜物と感謝申し上げます。

さて、昨年度は原油や非鉄金属の高騰など、当社を取り巻く事業環境は非常に厳しいものとなりました。特にアルミ地金と亜鉛地金は一昨年から価格の高騰が長く続き、当社の主力製品である電気防食用流電陽極は大幅なコストアップに見舞われましたが、社員一丸となって拡販に励み、窮地を乗り越えることができました。これもひとえに皆様方のご支援の賜物と、改めて深く感謝申し上げます。

また、昨年は新型コロナウイルス感染拡大の防止から、様々な場所で予定されていた各種イベント等が次々と中止になるなど暗い報道ばかりを耳にしました。一方、東京オリンピック・パラリンピックが無観客ではありましたが開催され、アスリートが素晴らしいパフォーマンスを発揮する姿は、コロナ禍の世界に大きな希望と感動を与えてくれました。

当社においても各種祝賀会等の中止や国内外出張の制限を余儀なくされましたが、一方で、時差通勤やリモートワーク、Web会議等を導入し、働き方改革に取り組んで参りまし

た。本年度は新型コロナウイルスの世界的な流行が収束し、今まで以上に経済が活性化することを祈念いたします。

今回お届けする技術報告は「CIPE法によるモルタル中鋼材の腐食速度の非破壊評価試験」および「海外施設の防食エンジニアリング」の2件でございます。

・CIPE法によるモルタル中鋼材の腐食速度の非破壊評価試験

社会インフラの多くを担う鋼構造物は、曝される環境によっては非常に速い速度で腐食が進行する場合がございます。そのため鋼材の腐食速度を把握することは、鋼構造物に対する適切な腐食対策や維持管理を行う上で重要であると考えております。

そこで当社は、鋼材の腐食速度の測定を目的とした独自の手法として「CIPE法」を開発いたしました。本報では、腐食部を有する鋼材を内包したモルタル供試体を対象として、CIPE法による腐食速度の測定精度を検証した結果をご紹介します。

・海外施設の防食エンジニアリング

当社は、国内の防食事業だけでなく、海外で新規に建設される施設に対し防食システムの設計・材料供給・試運転業務を行っております。本報では、現在、日本国内では稀に見る防食対象施設の紹介とその防食設計についてご紹介いたします。

CIPE 法によるモルタル中鋼材の腐食速度の非破壊評価試験

日本防蝕工業株式会社 技術研究所 小嶋栄作

〃 〃 田代賢吉

北海道電力株式会社 総合技術研究所 橋田修吉

〃 〃 辻野二朗

1. はじめに

我々の身の回りの社会インフラは鉄筋コンクリート構造物で構成されているものが多い。健全なコンクリート中の鋼材は、一般的に腐食が抑制された状態にあることが知られている。これはコンクリートの原料であるセメントが水と水和反応を起こして生じる水酸化カルシウム由来のアルカリ成分により、鋼材表面に不動態皮膜を形成するためである。しかし、何らかの要因で不動態皮膜の未形成部が生じると、その箇所が腐食部となり選択的に鋼材が減肉し、コンクリート構造物の強度を著しく低下させる危険性がある。そのため、腐食部の腐食速度をモニタリングすることがコンクリート構造物の維持管理上重要である。今回我々は鋼材表面に木片を接触させることで腐食部が形成したモルタル供試体を作製し、その供試体に対して CIPE 法による腐食速度測定を実施し腐食状況の評価を行った。

2. 試験方法

2.1 試験片

本試験では図 1 のような形状の試験片を使用した。試験鋼材には JIS Z 2371 に従って酸処理¹⁾を行った SS400 鋼板を用い、裏面にリード線を半田付けした。試験片の形状は 2 種類とし、1 種類は a) H60×W100×t1.6mm-1 枚, b) H20×W100×t1.6mm-5 枚, c) H75×W100×t1.6mm-1 枚, 計 7 枚の鋼板を上から a)→b)→c) の順で PVC 製板枠内にエポキシ樹脂材で固定された状態のものとし、それを 3 式製作した (以降, 分割試験片と呼ぶ)。なお, 7 枚の鋼板から出入りする電流を計測するために, 各鋼板から立ち上がったリード線にはそれぞれ 10Ω の抵抗器を接続し片端を短絡させた状態とした。もう 1 種類の試験片は H235×W100×t1.6mm の鋼板を分割試験片同様 PVC 製板枠内にエポキシ樹脂材で固定された状態とし, それを 3 式製作した (以降, 非分割試験片と呼ぶ)。分割試験片および非分割試験片のうちそれぞれ 2 式には, 30 分間水道水中に浸漬した H20×W120×t12mm の合板

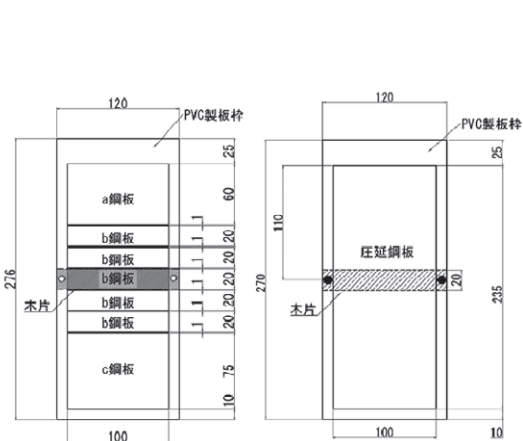


図 1 試験片の形状

左：分割試験片， 右：非分割試験片

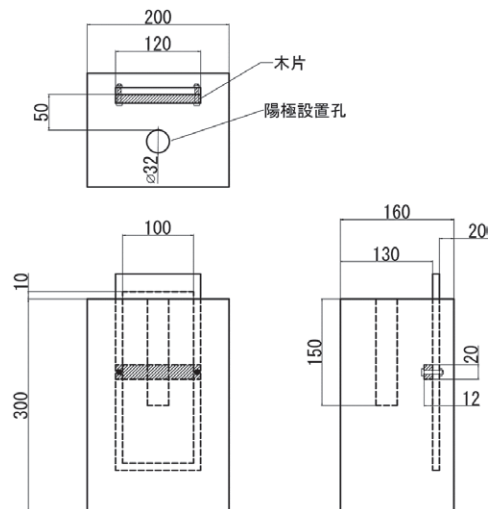


図 2 供試体の形状

(以降、木片と呼ぶ)を鋼板に被せ PVC 製板枠にボルトナットで固定した。木片は、分割試験片に対しては上から 4 番目の鋼板に、非分割試験片は鋼板の上端から 110mm の位置に被せた。木片を取り付けた分割試験片および非分割試験片のうちそれぞれ 1 式を無防食用(試験片 No.1-1 および No.1-2 とした)、残りのそれぞれもう 1 式を電気防食用として流電陽極方式の電気防食を適用した(試験片 No.3-1 および No.3-2 とした)。木片を取り付けない試験片は無防食とし、健全なモルタル中鋼材を模擬するものとした(試験片 No.2-1 および No.2-2 とした)。

2.2 供試体

供試体は図 2 に示すようなモルタル中に試験片を部分的に内包したものを製作した。水、セメント、砂を 0.5:1:2 の比率でモルタルミキサーを使用して練り、W200×D160×H300mm となるよう打設した。なお、水は水道水、セメントは普通ボルトランドセメント、砂は市販の川砂を使用した。打設の際、試験片の上部 35mm が空气中に露出する状態で、かぶり 130mm となるように設置した。なお、後述する非分割試験片の材齢 132 日以降の水中への浸漬時は、鋼板の気中露出部を市販のインスタントモルタルで被

表 1 試験条件一覧

試験片 No.	試験片形状	通電状態	木片	曝露環境		曝露期間
1-1	分割	無防食	有	【温度】 20℃ 【湿度】 60%		98 日
2-1			無			
3-1		電気防食	有			
1-2	非分割	無防食	有	材齢 131 日 まで	材齢 132 日 以降	532 日
2-2			無	【温度】 20℃ 【湿度】 60%	【温度】 20℃ 水中へ浸漬	
3-2		電気防食	有			

覆して試験片と電氣的に導通させた。陽極材には φ19×150mm のマグネシウム合金陽極(AZ31 組成)を使用した。なお、バックフィル材の乾燥を防ぐため、5ml 程度の水道水を定期的に孔内に添加した。

2.3 試験条件

表 1 に試験条件を示す。供試体を材齢 18 日で脱型し、そのうち電気防食を適用する試験片 No.3-1 および No.3-2 の供試体に陽極を設置した。その後、材齢 20 日から電気防食用試験片への通電を開始した。曝露期間は、分割試験片の供試体は材齢 98 日間、非分割試験片の供試体は材齢

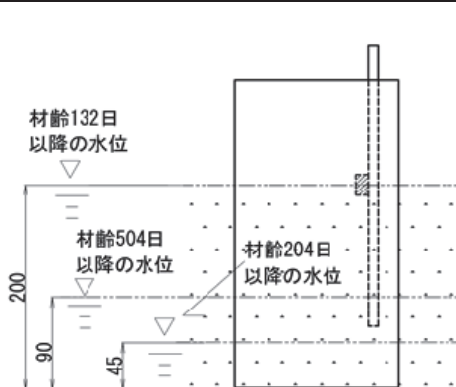


図 3 供試体の浸漬状況

532 日間とし、養生期間および材齢 131 日までの曝露は温度 20℃、湿度 60% の恒温恒湿室内で行った。材齢 132 日以降は温度 20℃ の恒温室内で、水槽に供試体の下から 200mm 程度が浸かる位置まで水(抵抗率: 3500Ω・cm 程度)を張り、浸漬させた状態で曝露した(図 3)。なお、材齢 204 日以降は浸漬による通気差腐食が懸念されたため供試体の下から 45mm 程度の位置まで水位を低下させた。また、材齢 504 日以降、供試体の乾燥が認められたため水位を 90mm まで上昇させた。

2.4 測定項目

2.4.1 腐食速度

試験片の腐食速度の測定には、自社で開発した CIPE 法²⁾(特許第 6026055 号)を使用した。CIPE

法とは断続的な通電およびインスタントオフ電位測定により得られた分極曲線をもとに、ターフェル外挿法にて腐食速度 (A/m^2) を算出する手法である。6体の供試体に対し材齢 132 日までは原則 1 か月ごとに、材齢 204 日以降は原則 2 か月ごとに腐食速度測定（以降、CIPE 測定と呼ぶ）を行った。なお、電気防食を適用した供試体の CIPE 測定は、通電を一旦中断し 24 時間経過後に行った。CIPE 測定は自社製の分極装置を用いて行った。各材齢における腐食速度は、式(1)および式(2)で腐食減量（以降、CIPE 腐食減量と呼ぶ）に換算し、各試験片の試験期間中の CIPE 腐食減量の総和と試験片の実際の腐食減量を比較することで CIPE 測定による腐食速度の検出精度を確認した。

$$I_{ave} = (I_t + I_{t-1}) / 2 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$W_{corr} = I_{ave} \times A \times t \times K \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

ただし、 I_{ave} :平均腐食速度(A/m^2)、 I_t :各材齢における CIPE 腐食速度(A/m^2)、 I_{t-1} : I_t より一つ前の CIPE 腐食速度(A/m^2)、 W_{corr} :CIPE 腐食減量(g)、 A :対極面積 $0.005(m^2)$ 、 t : I_{t-1} から I_t までの時間(h)、 K :鉄の電気化学当量 $1.042(g/Ah)$ とする。

また、CIPE 測定による腐食速度の検出下限値は $1mA/m^2$ であるため、 $1mA/m^2$ 以下の腐食速度は一律 $1mA/m^2$ として計算した。

2.4.2 復極量

電気防食を適用した供試体について、CIPE 測定に伴い通電を中断する直前にインスタントオフ電位を、その後 24 時間経過時点の電位を測定し復極量を確認した。

2.4.3 防食電流測定

2.2 節で述べた固定抵抗の電圧をデータログで記録し、マグネシウム陽極から鋼板へ流入する防食電流の経時変化を確認した。

2.4.4 試験片腐食減量

曝露期間終了後、供試体を解体し試験鋼板を JIS Z 2371 に従って酸処理¹⁾したのち秤量を行い、各試験片の実腐食減量を求めた。

3. 試験結果および考察

3.1 木片接触部の腐食状況

写真 1 に示した供試体解体後の試験片の腐食状況を見ると、試験片の木片接触部は著しく腐食し

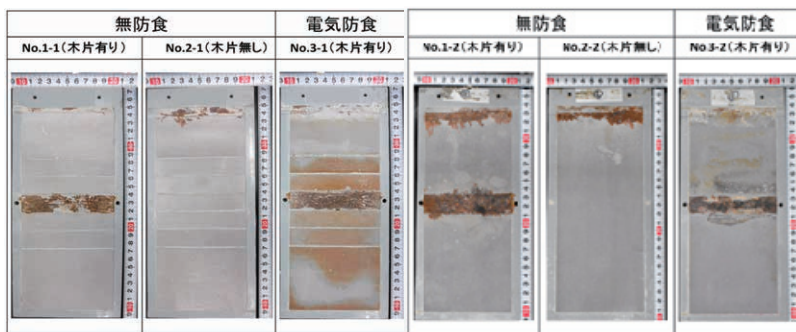


写真 1 解体後の試験片の表面状態

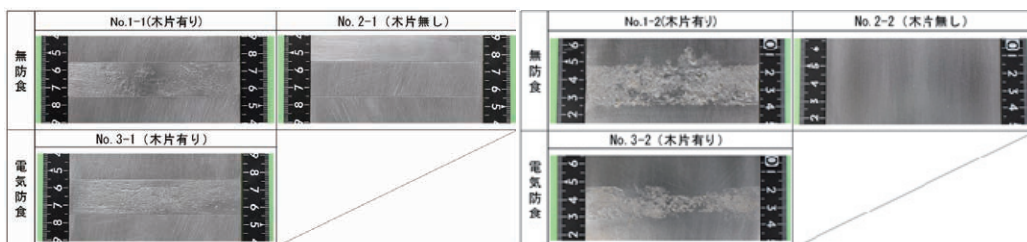


写真 2 酸処理後の木片接触部の状態

ていることが確認された。また、長期間曝露していた非分割試験片において、電気防食を施していた試験片は木片接触部の腐食面積が無防食の試験片よりも小さいことが確認できた。なお、電気防食を施していた試験片では木片接触部以外にも赤褐色および黒色の変状がみられたが、酸処理後の鋼材表面（写真 2）に腐食痕はみられなかったことから、鋼材の腐食に起因するものではないことが確認された。また、分割試験片において、マクロセルの形成に伴い木片が接触していた鋼板から流出した電流の積算値より腐食減量を求めた。その結果、実腐食減量に対してマクロセル形成に伴う減量の割合が小さかったことから、腐食の大半が自己腐食によるものであることが分かった。

3.2 腐食速度の経時変化

表 2 および図 4 は、CIPE 測定により得られた分割試験片の腐食速度の経時変化を示したものである。

木片が接触していなかった試験片 No.2-1 は初期に 26.7mA/m^2 の腐食速度が検出されたものの、打設から 20 日経過時点で腐食速度は 1mA/m^2 以下を示し腐食の停止が確認された。

また木片が接触していた試験片のうち、試験片 No.1-1 は腐食速度が 1mA/m^2 以下となった材齢が 69 日であったのに対し、試験片 No.3-1 は通電開始後 23 日（材齢 43 日）で 1mA/m^2 以下まで低下し、電気防食を適用した方がより早期に腐食が停止した。なお、いずれの試験片も材齢約 2 か月以内に腐食の停止が確認された。これは供試体が乾燥し、カソード反応（酸素還元反応）に必要な水分が減少したためであると考えられる。

表 3 および図 5 に、CIPE 測定により得られた非分割試験片の腐食速度の経時変化を示す。

非分割試験片は、分割試験片の結果と同様、材齢 2 か月時点までに全ての試験片の腐食が停止し

表 2 分割試験片の腐食速度

CIPE 腐食速度 (mA/m^2)	材齢 (日)	8	20	42	69	97
	TPNo.	1-1	66.2	63.5	28.2	1以下
	2-1	26.7	1以下	1以下	1以下	1以下
CIPE 腐食速度 (mA/m^2)	材齢 (日)	8	19	43	70	98
	TPNo.	3-1	60.7	81.4	1以下	1以下

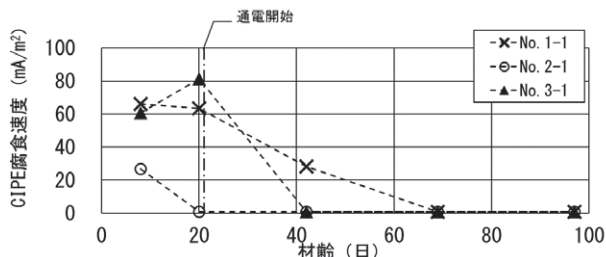


図 4 分割試験片の腐食速度の経時変化

表 3 非分割試験片の腐食速度

CIPE 腐食速度 (mA/m^2)	材齢 (日)	8	20	42	70	99	130	132	201	263	322	377	502	531
	TPNo.	1-2	47.4	43.8	22.2	1以下	1以下	1以下	39.6	70.5	48.2	46.6	44.3	1以下
	2-2	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下	65.2	31.8	1以下	1以下	1以下	1以下	1以下
CIPE 腐食速度 (mA/m^2)	材齢 (日)	8	19	43	70	99	131	132	202	264	322	377	503	532
	TPNo.	3-2	49.2	45.4	1以下	1以下	1以下	1以下	78.4	1以下	1以下	1以下	68.4	1以下

た。材齢 132 日以降、供試体を水中へ浸漬させると、No.1-2 は約 40mA/m^2 、供試体 No.2-2 および No.3-2 は 70mA/m^2 前後まで腐食速度が上昇した。材齢 201 日および 202 日に腐食速度を測定したところ、電気防食を適用していた No.3-2 のみ腐食速度が 1mA/m^2 以下まで低下し

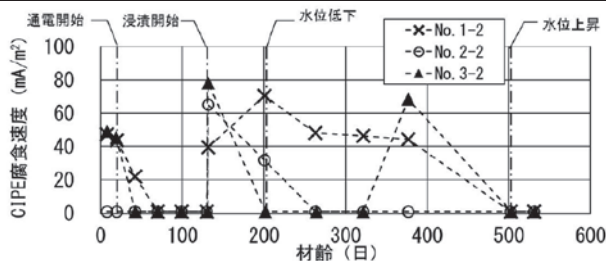


図 5 非分割試験片の腐食速度の経時変化

腐食の停止が確認された。なお、木片が接触していない試験片 No.2-2 についても供試体浸漬後に腐食速度が検出されたが、これは供試体浸漬に伴いインスタントモルタルを被せた部分の鋼板に腐食している箇所が確認されたことから、その部分の腐食速度を検出していたものと思われる。

3.3 流入電流密度と腐食速度

図6に電気防食供試体 No.3-2 の試験片へ流入した防食電流の電流密度と、それに伴う CIPE 腐食速度の経時変化を示す。

材齢 20 日の通電開始時および材齢 168 日付近において、試験片面積当たり $200\text{mA}/\text{m}^2$ 強の高い電流密度で防食電流が鋼板に流入していた。大きな防食電流が流れたのち CIPE 腐食速度は $1\text{mA}/\text{m}^2$ 以下まで低下し、以降腐食はほぼ停止した状態となった。

その後、試験片へ流入する電流は徐々に低減していったものの、腐食速度は $1\text{mA}/\text{m}^2$ 以下を示し続けたことから、一定期間高電流密度で鋼材に電気防食を適用することで木片接触による腐食を大きく抑制できることが分かった。なお、材齢 377 日に測定された $68.4\text{mA}/\text{m}^2$ の腐食速度については 3.4 節にて述べる。

3.4 CIPE 腐食減量と実腐食減量の比較

表 4 に分割試験片の CIPE 測定結果から求めた腐食減量と、試験片の秤量結果から得られた実際の腐食減量の比較を示す。ただし、表 4 の括弧内の数字は材齢 8 日までの CIPE 腐食減量を示している。

試験片 No.1-1 および No.3-1 の CIPE 腐食減量の実腐食減量に対する誤差（検出誤差）は、それぞれ +14.5% および -5.9% であった。一方、試験片 No.2-1 のように鋼材の実腐食減量が比較的小さいものに関しては、大きな検出誤差が生じた。これは試験片 No.2-1 の腐食を材齢 8~20 日目では $13.9\text{mA}/\text{m}^2$ の腐食速度で進行していたものとして計算したためである。しかし、材齢 8 日目の腐食速度で材齢 0 日から材齢 8 日まで腐食が進行したのとして CIPE 腐食減量を計算すると 26.7mg となり、この時点で実腐食減量を超えていることから試験片 No.2-1 の腐食は材齢 8 日直後に低下し、ほぼ停止していたと考えられる。

次に非分割試験片の検出誤差の結果について表 5 に示す。検出誤差は No.1-2 を除いて約 +100~230% と非常に大きな値となった。この誤差が生じた原因として、次のようなことが考えられ

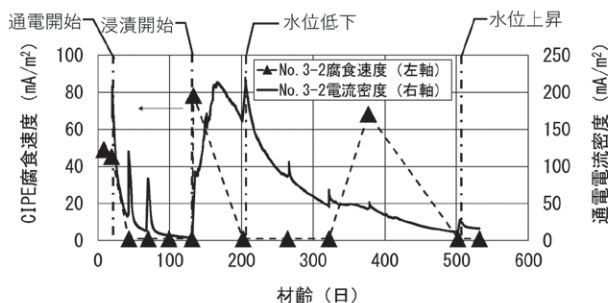


図6 試験片 No. 3-2 へ流入する電流と CIPE 腐食速度

表 4 分割試験片の実腐食減量と CIPE 腐食減量の比較および検出誤差

試験片 No.	通電状態	木片	実腐食減量 (mg)	CIPE腐食減量 (mg)	検出誤差 (%)
1-1	無防食	有	299	342.4	14.5
2-1	無防食	無	15	57.1 (26.7)	280.8 (78.0)
3-1	電気防食	有	307	289	-5.9

表 5 非分割試験片の実腐食減量と CIPE 腐食減量の比較および検出誤差

試験片 No.	通電状態	木片	実腐食減量 (mg)	CIPE腐食減量 (mg)	検出誤差 (%)
1-2	無防食	有	2274	2214.8	-2.6
2-2	無防食	無	295	603.6	104.6
3-2	電気防食	有	408	1351.3 (588.6)	231.2 (44.3)

る。電気防食を施していた試験片に関しては、試験期間を通して 100mV 以上の復極量を常時示していた。コンクリート中鋼材の電気防食における一般的な防食達成基準として、通電停止から 24 時間経過後の復極量が 100mV 以上であることが挙げられる³⁾。そのため防食電流の通電開始以降における No.3-2 の腐食は停止している可能性が高い。それに対し、CIPE 測定では材齢 377 日目に 68.4mA/m² の大きな腐食速度が検出されている時期がある（表 3

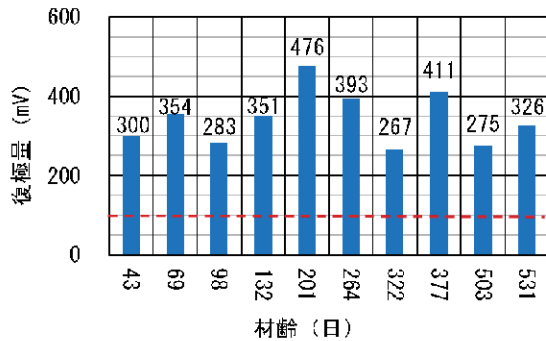


図 7 試験片 No. 3-2 の 24 時間復極量 の経時変化

および図 7)。そこで、電気防食を適用していた供試体について、復極量 100mV 以上を満たしていた時期の腐食速度が 1mA/m² であったと仮定して CIPE 腐食減量を再度計算した。なお、材齢 132 日目においては供試体への通電を一時的に停止し、水中へ浸漬後一晚経過した時点で測定を行ったため、ある程度の腐食速度で腐食が進行していたことが考えられる。そのため、材齢 132 日から材齢 202 日までの期間は、材齢 132 日と材齢 202 日における腐食速度の平均値である 39.7mA/m² の腐食速度で腐食が進行したものとした。結果を表 5 の括弧内に示す。No.3-2 の検出誤差が +44.3% となり、復極量による腐食判定を考慮した方が検出誤差は小さくなった。そのため、図 6 の材齢 377 日における腐食速度は上記の理由から 1mA/m² 以下であったと考えられる。なお、No.3-2 の検出誤差が分割試験片の No.3-1 に比べ大きくなったが、これは材齢 132 日から材齢 202 日までの腐食速度の低下が、実際はより早い時期に生じていたことが原因であると思われる。そのため、測定頻度を上げれば検出誤差は小さくできると考えられる。

以上の結果から、電気防食を適用した場合の鋼材の腐食速度は、CIPE 測定の結果だけでなく復極量が 100mV 以上を満たしているかという指標と合わせて判断する必要があることが分かった。

4. まとめ

木片の接触により腐食部を生じさせたモルタル中鋼材に対し CIPE 測定および電気防食を実施し、以下の結果が得られた。

- (1) 腐食している供試体に対し、電気防食を適用することで腐食を抑制できた。また、その腐食は防食対象の面積当たり 200mA/m² 程度の高電流密度で一定期間、防食電流を供給することで早期に停止させられることが分かった。
- (2) 復極量を考慮した CIPE 測定により腐食部が生じた供試体の腐食速度を約 -6~+45% の精度で検出できた。

参考文献

- 1) JIS Z2371:2015 塩水噴霧試験方法 附属書 JB 腐食生成物の除去方法 表 JB.1-腐食生成物の化学的除去方法 ヘキサメチレンテトラミン添加塩酸溶液。
- 2) 竹子賢士郎, 山本悟, 高谷哲: 分極曲線測定によるコンクリート中鋼材の腐食速度測定方法の開発, 日本コンクリート工学協会年次論文集, 2014, Vol.36, No.1, pp.2092-2097.
- 3) (公社)土木学会 コンクリート委員会電気化学的防食工法設計施工指針改訂小委員会 編, コンクリートライブラリー-157 電気化学的防食工法指針, 丸善, 2020, p.51.
- 4) 小嶋栄作, 田代賢吉, 橋田修吉, 辻野二朗: モルタル中鋼材の腐食速度の非破壊評価試験, 防錆管理, 2021, Vol.65, pp.418-425.

海外施設の防食エンジニアリング

日本防蝕工業株式会社 東京支店 三鍋 俊
 ” 逸見 崇之

1. はじめに

日本国内のプラント施設や埋設配管などは昭和の時代に建造されたものが多く、既に数十年経過している施設が多数ある。しかしながら、手厚い維持管理や更新が行われたことにより、令和の時代に入ってからでも運用され続けている施設は多い。これら施設・社会インフラの長寿命化のため、当社の電気防食技術が大いに寄与しているという事実は、当社の礎が築かれて 70 年以上経過しているという歴史を顧みても、疑いの余地は無い。

既知のとおり、日本のプラント施設や社会インフラは老朽化が進み、近年では維持管理・長寿命化に焦点が当てられている。国内において、埋設配管の延長や風力発電所の建設など、新規の建設工事が行われてはいるが、大々的なプラント施設の建設や社会インフラの新規整備工事は乏しい。一方、新興国・開発途上国と呼ばれる国々では、国力を増強するためのプラント施設の増設や社会インフラの整備が喫緊の課題となっている。

当社は、国内の防食事業だけでなく、海外で新規に建設される施設に対し防食システムの設計・材料供給・試運転業務を行っている。本稿では、現在、日本国内で稀に見る防食対象施設の紹介とその防食設計について説明する。

2. 海外案件の施工実績

当社で請負った海外施設における電気防食の施工実績の一部を表 1 に示す。国・地域は多岐に渡り、防食対象もプラント施設全体を網羅するものから一部施設のみの場合など、多種多様である。

表 1 海外案件の施工実績

年	国	プロジェクト名	防食対象	防食方式※
2015	オーストラリア	ICHTHYS ONSHORE LNG FACILITIES	地上タンク底板外面 地上タンク内面 埋設配管外面	ICCP ICCP/SACP ICCP/SACP
2016	カタール	LR2 REFINERY	埋設配管外面	SACP
2017	トリニダード トバゴ	METHANOL/DIMETHYL-ETHER PLANT	地上タンク底板外面 埋設配管外面	SACP ICCP/SACP
2018	カンボジア	150MW COAL FIRED POWER PLANT	埋設配管内面	SACP
2019	インドネシア	Sulsel Barru 2, 1×100MW COAL FIRED POWER PLANT	埋設配管内面/外面 冷却水ポンプ インテーク 熱交換器 復水器	SACP/ICCP ICCP ICCP ICCP ICCP
2020	香港	REPLACE COVER CORROSION PROTECTION SYSTEM	鋼管杭（栈橋）	被覆防食

※防食方式略語；

ICCP：Impressed Current Cathodic Protection（外部電源方式）

SACP：Sacrificial Anode Cathodic Protection（流電陽極方式）

3. 防食対象施設

本稿では、異なる2施設へ適用した電気防食システムの設計事例について紹介する。1つ目は、地上タンク底板外面を防食対象とした外部電源方式の適用事例である。地上タンクでは、主に石油系燃料、生産品、消火用水や飲料水などのタンク底板外面が防食対象である。電気防食適用の可否はタンクの基礎構造に依存するが、電気防食適用の可否に関わらず、底板外面部（特にアニュラープレート部）は腐食リスクが高いほか、修繕費が高額なことから、適用可能なら電気防食を施すことが推奨されている。

2つ目は、インテーク（Intake Facility）と呼ばれる発電所の冷却水用取水設備を防食対象とした事例である。インテークは、主にスクリーン、ラダー、ガイドレールおよび付帯小型ポンプなど様々な装置で構成されており、各設備はコンクリート中の鉄筋と電氣的に導通していることが多い。また、海水環境での使用が多く、かつ異種金属接触箇所も多いため、腐食リスクが非常に高い。このため、インテークでは施設全体が電気防食の対象とされることが多い。

3.1 地上タンク底板外面の防食

地上タンクの基礎構造は様々であるが、電気防食を適用する基礎構造として最もポピュラーな構造は、リング状のコンクリート基礎の内部に砂利や焼砂等を充填した構造である。リング状のコンクリート基礎であっても表層がアスファルトコンクリートなどの絶縁物で舗装される場合、電気防食で用いる通電電極の設置は不可能となる。

地上タンクはタンクの側部からアースを取ることが多いが、防食電流がリング状のコンクリート基礎を通過してアースやタンク付属配管のサポートなどに流入することが懸念されるため、当社ではリング状コンクリート基礎の内部に絶縁材となるHDPE（高密度ポリエチレン）シートの設置を推奨している。HDPEシートはタンク内容物の漏洩防護のために用いられる設備でもあるため、兼用することで、防食電流の漏洩防止にかかる費用を低減できるほか、絶縁のメンテナンスを行う必要がないというメリットがある。

地上タンク底板外面防食の施工管理において最も重要なのは、施工のやり直しが極めて難しいということである。防食上重要な箇所が全てタンク直下の埋設部に存在するため、地上タンクの建設工事後では、改修工事がほぼ不可能である。しかしながら、通電調整などの試運転作業は、防食対象である地上タンクの建設が完了していなければ行うことができない。このため、施工は設計どおりに実施される必要があるため、施工中は厳格な検査や設計変更の確認が必要とされる。

当社で実績のある通電電極や照合電極などの配置図を図1に、現地施工状況を写真1に示す。図1は外部電源方式で、MMOリボンアノード／チタンコンダクターバーを使用したグリッドアノード方式となっている。タンク底板部の塗膜仕様やMMOリボンアノードの埋設深度に応じて、MMOリボンアノードの離隔を基本設計時に計算・調整する。

地上タンク底板部は、その基礎構造から迷走電流を受ける可能性が非常に低いので、外部電源方式を用いる場合、手動運転制御で管理されることが多い。また、タンク直下の砂は、粒径の細かい綺麗な砂が使用される上、水分供給もタンク側部の間隙からのみとなることから、基礎部内の土壌は乾燥しやすい。このため、自然電位が貴側にシフトしやすいので注意しなければならない。施工直後は、タンク底板外面の塗覆装の状態が良いため、防食電流が設計上の所要防食電流よりも非常に小さくなる傾向がある。したがって、直流電源装置は小さな電流出力を制御できるように、設計段階で考慮しなければならない。当社では、出力電流・電圧の大小に関わらず安定した出力調整

が可能な直流電源装置を設計・製造し提供している。

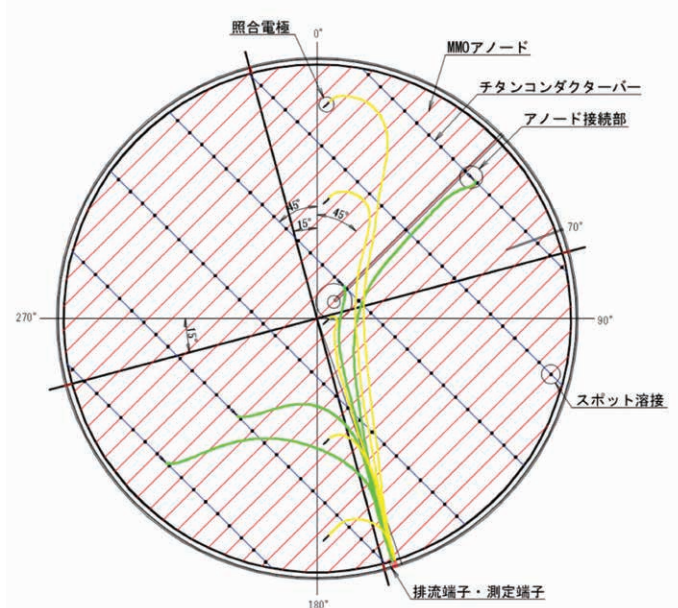


図1 通電電極・照合電極配置図（地上タンク）

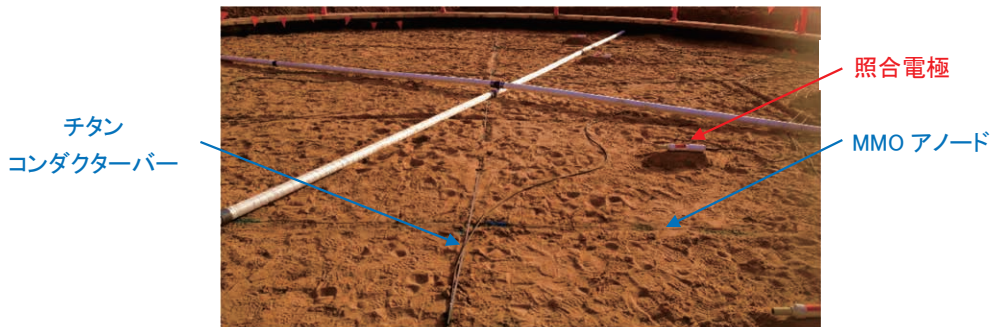


写真1 現地施工状況（リング状コンクリート基礎の上部）

3.2 インテークの防食

インテークでは主に、ストップログガイド、バースクリーン、トラベリングバンドスクリーンおよび循環水ポンプなどが防食対象となる。これらの内、特にバースクリーンやトラベリングバンドスクリーンは、海外プラントでは二相ステンレス鋼を含む高耐食性の材料で製作されていることがほとんどであるが、電気防食が採用されるケースが多い。これは、無防食時に発生する隙間腐食などのリスクを事業者側が認知し、リスクヘッジされているからであると考えられる。

インテークでは耐食性の異なるステンレス鋼またはステンレス鋼と普通鋼などの組合せで使用されることが多く、海水環境では異種金属接触腐食を生じやすい。そのため、外部電源方式を採用することがほとんどである。各種スクリーンを対象とした通電電極および照合電極の配置図を図2に、通電電極設置状況を写真2に示す。通電電極は、取水施設の水路内コンクリート壁に設置されることが多いため、通電電極の近傍に取付けられているラダー等の水路内鋼構造物は、漏れ電流により電食する可能性が極めて高い。このため、ラダーやその他金属構造物と防食対象をボンド（電気的導通確保）しなければならない。また、防食対象の多くにステンレス系材料が使用されている

という特徴から、過防食による水素脆化のリスクを考慮しなければならない。したがって、防食対象ごとに回路分けし、均等な電極配置を行い、自動定電位制御で管理を行う。

トラベリングバンドスクリーンや回転式のレーキ付きバースクリーン等、防食対象が動く場合、可動部・回転部は、部分ごとに電気的導通があるかどうか注意しなければならない。特に初期の設計段階においては、スクリーンメーカーや事業者を含めて、可動部全体に電気的導通が確保されていることを確認しなければならない。

防食回路の排流点は、固定部である水路壁のレールにしか設置できないことが多々あり、レールと各可動部・回転部との電気的導通が取れていない場合に、可動部・回転部が電食した事例がある。電気的導通が無く、可動部・回転部が電食した場合、直流電源装置もしくはテストボックス上に表示される防食対象の電位は、健全であるレールの電位であるため、被害が顕在化するまで察知することが困難となる。したがって、インテークへの注水前に各可動部・回転部が稼働している状態で、防食対象間の電気的導通を事前に確認することが重要となる。もちろん、注水後の試運転作業時にも、各可動部・回転部が稼働している状態で、設備ごとの電位測定や電気的導通の確認を行い、電食が発生しないことを確認する。

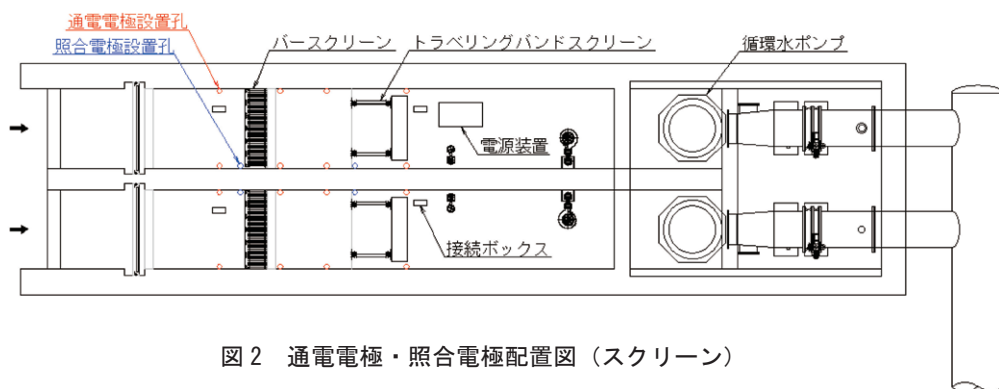


図2 通電電極・照合電極配置図（スクリーン）

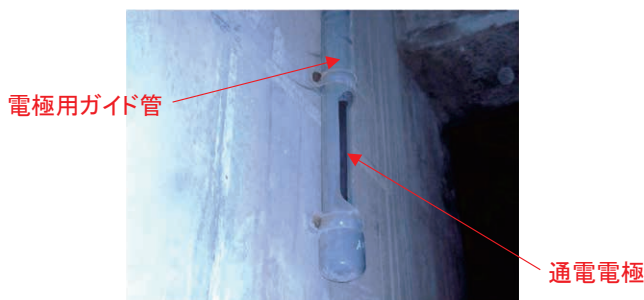


写真2 通電電極設置状況

4. 総括

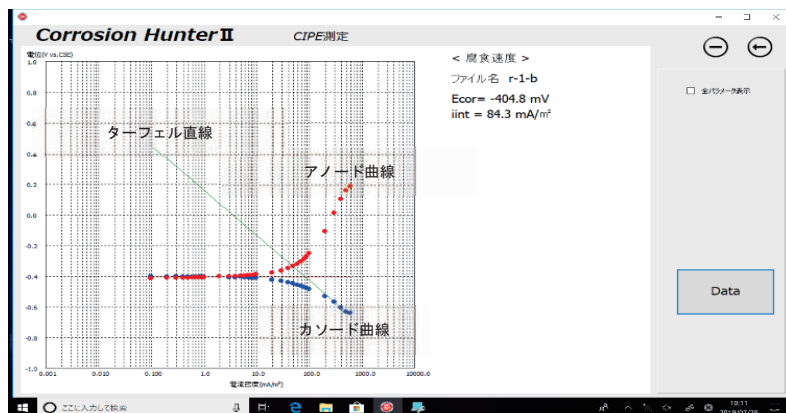
海外向けに電気防食システムの設計を行う場合、その国の文化的事情や気象条件、適用される規定・規格を考慮した上で、事業者の要求事項を満たす必要がある。言い換えれば、事業者や建設業者の声に耳を傾けたエンジニアリングをしなければならない。他国とコミュニケーションを図るための語学能力は最低限必要であるが、示された要求事項の奥側にある真のニーズに気づき、それらを形にする能力がエンジニアとして最も要求されるものとする。

コロージョンハンターII

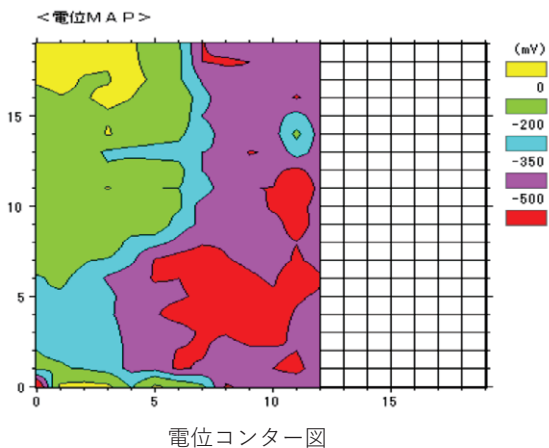
概要

非破壊式鉄筋腐食診断計『コロージョンハンターII』は、コンクリート中の鉄筋の自然電位測定・腐食速度の推定、コンクリートの抵抗率測定を行う装置です。鉄筋の腐食速度は、独自開発のターフェル外挿法を用いた手法（特許第 6026055号※）によって推定しています。

※ CIPE(サイプ)®法 Current Interrupted Polarizing Extrapolation Method の略



CIPE(サイプ)法による腐食速度診断結果(例)



注) 色分けは ASTM C 876 に準拠



オーム・メーターⅣ

概要

『オーム・メーターⅣ』は、土壌の抵抗率（ ρ ）を現場で簡単に計測するために開発されたハンディータイプの測定器です。

構成：オーム・メーターⅣ本体×1，土壤杖（接地棒）×1，接続ケーブル×1



計器仕様

品名	オーム・メーター (Ohm Meter)
型式	Ⅳ型
表示方式	液晶 16dig バックライト付き
電源	乾電池 (UM-3 × 4本)
外観寸法	187 × 130 × 65 mm
質量	約 0.5kg
付属品	接地棒 メーター接続ケーブル
測定範囲	300 $\Omega \cdot \text{cm}$ ~ 999,999 $\Omega \cdot \text{cm}$



土壤抵抗率と腐食性の関係

土壤抵抗率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	腐食性
< 900	激しい
900 ~ 2300	やや激しい
2300 ~ 5000	中
5000 ~ 10000	少
> 10000	極めて少

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 (Ys21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
〒510-0061 四日市市朝日町 3-2 (PLAZA1986 2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