

さび

148



日本防蝕工業株式会社

さ び 第 148 号

目 次

ご挨拶	1
日本防蝕工業株式会社 代表取締役社長 森 寛 義雄	
コンクリート中鋼材の腐食速度測定方法（CIPE 法）の開発	2
日本防蝕工業株式会社 技術研究所 山本 悟 技術研究所 竹子 賢士郎 京都大学大学院工学研究科 高谷 哲	
SP 型海水電解装置の施工例	8
日本防蝕工業株式会社 エンジニアリング部 小幡 広也	

日本防蝕工業株式会社「さび」編集室

平成 27 年 1 月 発行（非売品）

©2015 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 森 義雄

皆様方におかれましては、健やかに輝かしい新春を迎えられたこととお慶び申し上げます。

当社技術情報誌『さび』をご愛読頂きまして、誠に有難うございます。

昨年度の防食需要は、震災復興事業や社会資本の老朽化対策に伴う港湾施設や漁港施設の電気防食工・被覆防食工が多く出件され、受注高・売上高とも一昨年に引続き好調でした。

今年も公共施設における「港湾・漁港整備事業」、「水道施設の老朽化対策事業」などに加え、民間施設においても維持管理・耐震化対策が活発化すると予想されることから、これらの外部環境を追い風に‘やるぞ’と言う強い思いを持ってスタートしましたので、皆様方のご支援のほど宜しくお願い申し上げます。

昨年話題になったニュースは、一昨年に比較して広島土砂災害や御嶽山噴火など、暗いものばかりで明るい気持ちになれませんでした。最後に光技術の革命とも言える青色 LED の開発で、日本の 3 氏がノーベル物理学賞を受賞されたことは大変喜ばしいことでした。

さて、今回お届けする『さび』でご紹介するのは、「新しい分極曲線測定法によるコンクリート中鋼材の腐食速度測定方法」と「SP 型海水電解装置」の技術報告 2 件です。

・コンクリート中鋼材の腐食速度測定方法 (CIPE 法) の開発

コンクリート構造物の維持管理において、コンクリート中鋼材の腐食速度を測定することは重要です。これまでの非破壊検査法としては、「分極抵抗法」が代表的ですが、コンクリートの性状によっては正しい腐食速度が求められない場合があります。当社は、従来の「分極試験による外挿法」をコンクリート環境に適用するために改良した「新しい腐食速度測定法 (CIPE 法)」を開発いたしました。本報では、CIPE 法の原理ならびに適用性をご紹介します。CIPE 法が我が国の社会資本維持管理に必ずお役にたてるものと確信いたします。

・SP 型海水電解装置の施工例

臨海プラント工場等においては、海水を多量に使用するため、貝類や藻類の付着・成長を防止するための防汚処理は必要不可欠な技術です。従来の海水電解装置はコストが高く、メンテナンスに手間を要しました。これらを解消するために、当社は SP 型海水電解装置を開発し、実績を積み重ねてきております。本報では、SP 型の具体的な施工例をご紹介しますが、コスト削減ならびにメンテナンスの負担軽減等のメリットは大きく、皆様のお役にたてる装置として、自信をもってご提供させていただきます。

コンクリート中鋼材の腐食速度測定方法（CIPE 法）の開発

日本防蝕工業株式会社 技術研究所 山本 悟
 日本防蝕工業株式会社 技術研究所 竹子 賢士郎
 京都大学大学院工学研究科 高谷 哲

1. はじめに

我が国の社会資本の内、1960年代の高度成長期に建設されたものの多くが建設から50年以上を経過しようとしている。現在、これらの構造物の老朽化が始まっており、今後はこれらを効果的に維持管理する必要がある。すなわち、(1)現状把握、(2)今後の劣化予測ならびに(3)優先順位を含めた補修計画の立案が重要である。老朽化の要因の一つに「塩害」がある。これは、海水や融雪剤に含まれる塩化物イオン Cl^- がコンクリート中の鋼材表面の不動態を破壊し、図1に示すような過程で構造物を劣化させる¹⁾。対象とする構造物が劣化過程のどの段階にあるかを把握するためには鋼材の腐食速度を測定することが重要である。これまで、非破壊に腐食速度を測定する手法としては「分極抵抗法」が用いられているが、コンクリートの含水状態や鋼材の表面状態によっては正確な速度を求められないことがあった。そこで、

当社は腐食原理に基づいた「外挿法」に着目し、これをコンクリート中鋼材の腐食速度測定に適用できるように改良した方法として CIPE (Current Interrupted Polarizing Extrapolation Method) 法を開発した。

本報では、CIPE (サイプ) 法の原理を説明するとともに、溶液あるいはコンクリート供試体による試験によって CIPE 法の適用性を確認したので報告する。

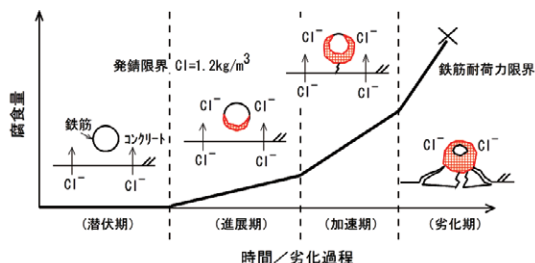


図1 塩害における劣化過程¹⁾
 (筆者が文献1)にイラストなどを書き加えた)

2. 原理

コンクリート中鋼材腐食の原理および CIPE 法の原理について以下に説明する。

2.1 コンクリート中鋼材腐食

一般にコンクリート中の鋼材は、コンクリートのアルカリ成分によって不動態化し腐食しない。しかし、塩化物イオン Cl^- の侵入によって腐食を開始し、マクロセルを形成しながら図2に示すように進行する。この腐食部はアノード (Anode) と呼ばれ、高アルカリ (pH13程度) のコンクリート中であっても酸性 (pH3程度) になることが報告されている²⁾。その他の健全部はカソード (Cathode) と呼ばれる。ここでは、アノードで生じた電子 e^- がコンクリートの細孔を透過して来た酸素 O_2 ガスと反応し、電子 e^- を消費 (還元) する。両反応式を式(1)および式(2)に示す。このような電子 e^- の授受が含まれる化学反応は「電気化学反応」と呼ばれる。

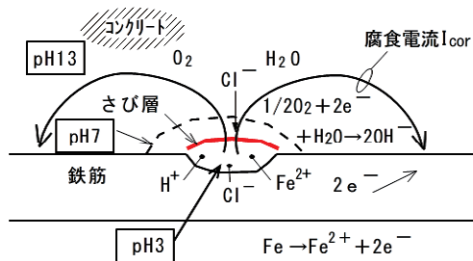
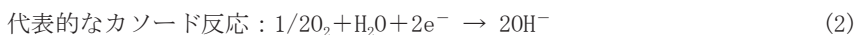
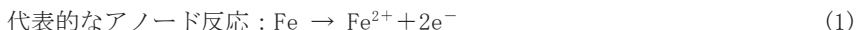


図2 塩害を受けた鋼材の腐食の説明図



腐食電流 I_{cor} またはアノード電流 I_a は、カソード電流 I_c と等しく釣り合う。腐食速度はアノード電流 I_a を鋼材の全面積 A で除した電流密度 i_a (mA/m²) で表す。

2.2 腐食速度とターフェル式

上記の電流密度 i と電位 E の関係を図3に示す。ここでは、横軸の右側がアノード電流密度 i_a 、左側がカソード電流密度 i_c の常用対数を表す。縦軸が電位 E で、自然電位 E_{cor} において i_a と i_c が釣り合うが、 i_a および i_c は直接、測定できない。

電気化学的な反応速度が、主に電子の授受によって決まる場合は「活性化反応」と呼ばれ、電流密度 i と電位 E の関係は式(3)に示すような「ターフェル式」で表される³⁾。ここで、 E_0^a はアノード部の「平衡電位」であり、図2で示す鋼材のアノード部が単独にあつてカソード部の影響を受けない「平衡状態」の電位で、鋼材は腐食しない。図中の i_0^a は電気化学では「交換電流密度」と呼び、アノード電流とカソード電流が拮抗するとしている。アノードの電位は i_a と i_0^a の比 (i_a/i_0^a) の対数に比例して貴 (プラス方向) 方向に変化する。このように電位が変化することを「分極」と呼ぶ。また、ターフェル式の勾配 β を「ターフェル勾配」と呼ぶ。腐食状態ではアノード部の電位はカソード部の影響によって平衡電位 E_0^a から自然電位 E_{cor} まで分極する。自然電位 E_{cor} は式(4)のように表される。なお、海水中にある部材のようにコンクリートの細孔が水溶液で満たされる場合のカソード分極は図3の左側破線で示すように酸素拡散限界を示し、自然電位が卑で腐食速度は非常に低くなる。

$$E = E_0^a + \beta_a \times \log(i_a/i_0^a) \quad (3)$$

$$E_{cor} = E_0^a + \beta_a \times \log(i_{cor}/i_0^a) \quad (4)$$

2.3 外部電流による分極

コンクリート表面に対極を設置し、鋼材から対極へ電流を流出させると鋼材の電位は自然電位 E_{cor} からさらに貴方向へ分極する。外部からの電流密度 i_{out} は式(5)のように、それぞれの電流値の絶対値の差で表される。外部電流密度 i_{out} が低い場合は図3中の赤線で示すように分極曲線はターフェル式から外れるが、電流密度 i_a^1 のように高い電流密度で流出させるとターフェル式に一致するようになる。ここで、自然電位 E_{cor} から E_1 までの電位変化分を「分極量 η 」と呼び、アノードの分極量 η_a は式(7)のように表される。

$$i_{out} = ||i_a| - |i_c|| \quad (5)$$

$$E_1 = E_0^a + \beta_a \times \log(i_a^1/i_0^a) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \eta_a &= E_1 - E_{cor} = E_0^a + \beta_a \times \log(i_a^1/i_0^a) - (E_0^a + \beta_a \times \log(i_{cor}/i_0^a)) \\ &= \beta_a \times \log(i_a^1/i_{cor}) \end{aligned} \quad (7)$$

2.4 外挿法

ターフェル式と自然電位 E_{cor} の交点が図3に示すように腐食速度 i_{cor} となるので、分極試験によってターフェル式を求めれば腐食速度を求めることができる。このことは、カソード側においても同様である。このように、外部から電流を流出入させて得られたターフェル式から腐食速度を求める方法を「外挿法」と呼び、酸性水溶液中鋼材の腐食速度測定に古くから適用されている⁴⁾。

2.5 従来の外挿法における問題点と対策

外挿法によってコンクリート中鋼材の腐食速度を測定する場合は、いくつかの問題点が挙げられ

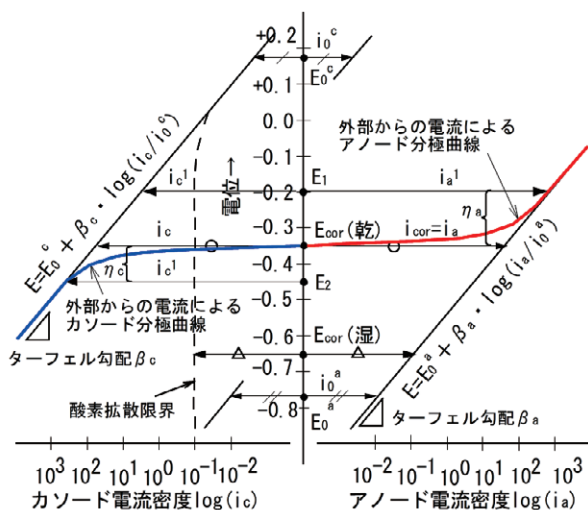


図3 電流密度 i と電位 E の関係

たので、CIPE 法ではそれらの対策を講じた。

(1) コンクリートの抵抗 R による分極電位の誤差（電圧降下 IR）の問題を「インスタントオフ電位（電流遮断直後の電位）」測定により解消した。

(2) 通電電流によって鋼材表面の水酸化物イオン OH⁻、水素イオン H⁺、鉄イオン Fe²⁺などの濃度変化を、通電時間を短くし、かつ通電休止時間を設けることで最小限にした。

(3) 分極試験で得られた分極曲線からターフェル式を求めることは、分極曲線が曲がることや測定者の個人差などから困難であったので、個人差を生まないターフェル式の求め方を考案した。

2.6 CIPE 法における目標分極量 η_{trg} の計算

正確なターフェル式を得るためには、ある程度分極量が必要であるが、過大な分極は測定対象の環境や表面状態を変化させるので好ましくない。一方、分極量が不足すると不適切な分極曲線からターフェル式を求めることになるので好ましくない。そこで、CIPE 法ではターフェル式を求めるために必要な最小限の分極量を「目標分極量 η_{trg} 」として求める手法を適用した。以下に目標分極量 η_{trg} の求め方を説明する。

アノード電流密度 i_a は式(4)を変形して式(8)および式(9)で表される。

同様に、カソード分極におけるカソード電流密度 i_c は式(10)になる。

外部電流密度 i_{out} は式(5)の関係から式(11)のようになり、外部から十分に高いカソード電流密度 i_{out} を流した場合は式(12)のように i_{out} はカソード電流密度 i_c とほぼ等しくなる。式(11)では、カソード分極量 η_c が大きくなるとアノード分極量は逆符号の $-\eta_a$ として大きくなるとする。

$$10^{(\eta_a/\beta_a)} = i_a/i_{cor} \quad (8)$$

$$i_a = i_{cor} \times 10^{(\eta_a/\beta_a)} \quad (9)$$

$$i_c = i_{cor} \times 10^{(\eta_c/\beta_c)} \quad (10)$$

$$i_{out} = i_{cor} \times (10^{(\eta_c/\beta_c)} - 10^{(\eta_a/\beta_a)}) \quad (11)$$

$$\approx i_{cor} \times 10^{(\eta_c/\beta_c)} \quad (12)$$

次に、カソード電流密度 i_c に対するアノード電流密度 i_a の比を d とすると式(13)および式(14)になる。この d を「誤差比率」と呼び、できるだけ小さい値が好ましいので、ここでは 0.01(%)とした。この誤差比率 d になる分極量を「目標分極量 η_{trg} 」とした。この η_{trg} ほどカソード分極すると、両分極量は $\eta_c = \eta_{trg}$ 、 $\eta_a = -\eta_{trg}$ となり、式(15)が得られる。この式の両ターフェル勾配 β_a および β_c に、分極曲線の「電流密度の目安 i_{tmp} 」における「ターフェル勾配の目安」である β_c^{tmp} および β_a^{tmp} を代入して式(16)を得る。 β_c^{tmp} および β_a^{tmp} の求め方は次章で説明する。

$$d = 10^{(\eta_a/\beta_a)} / 10^{(\eta_c/\beta_c)} \quad (13)$$

$$\log(d) = (\eta_a/\beta_a) - (\eta_c/\beta_c) \quad (14)$$

$$= (-\eta_{trg}/\beta_a) - (\eta_{trg}/\beta_c) = -\eta_{trg}(1/\beta_c + 1/\beta_a) \quad (15)$$

$$\eta_{trg} = -\log(d) \times (\beta_c^{tmp} \times \beta_a^{tmp}) / (\beta_c^{tmp} + \beta_a^{tmp}) \quad (16)$$

3. 実験方法

3.1 分極装置および CIPE 法の手順

(1) 分極の方法（図 4 および図 5）

1) 通電：段階的に電流密度を上昇、通電時間は 1 秒間、10 秒間通電停止、2) 通電装置：自動定電流制御分極装置、3) 電位測定：通電停止 0.05 秒後のインスタントオフ電位、4) 分極試験の順序：カソード分極の後にアノード分極、5) 対極：金網、飽和水酸化カルシウム水溶液含浸不織布を利用
(2) 両分極曲線の測定データから、電流密度の目安 i_{tmp} である 200mA/m² における分極量 η_{tmp} を読み取った。ただし、 η_{tmp} が 10mV 未満であれば読み取り誤差を生じるので、分極量が 10mV 以上になる分極量の電流密度を選択して i_{tmp} とし、その分極量を η_{tmp} とした。

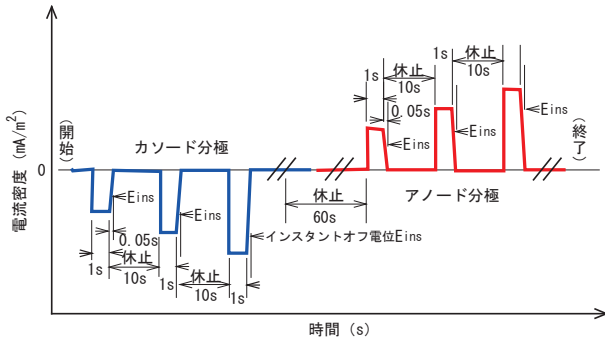


図4 CIPE法による通電方法

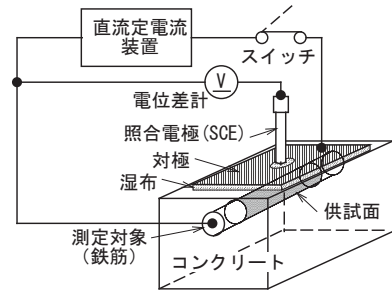


図5 分極装置の構成

(3) 両分極曲線の測定データから i_{tmp} の前に低い電流密度を i_{tmp-1} とし、そのときの分極量を読み取って η_{tmp-1} とした。

(4) 上記で求めたカソード分極の i_{tmp} 、 η_{tmp} および i_{tmp-1} 、 η_{tmp-1} を式(17)に代入して、カソード側ターフェル勾配の目安 β_c^{tmp} を計算した。

$$\beta_c^{tmp} = (\eta_{tmp} - \eta_{tmp-1}) / (\log(i_{tmp}) - \log(i_{tmp-1})) \quad (17)$$

(5) 上記と同様にアノード側ターフェル勾配 β_a^{tmp} を計算した。

(6) 上記で求めたターフェル勾配の目安を式(16)に代入して目標分極量 η_{trg} を計算した。

(7) 上記で求めた目標分極量 η_{trg} に近い分極量を示す電流密度を i_t とし、そのときの分極量を η_t とした。次に、 i_t の前に低い電流密度を i_{t-1} とし、そのときの分極量を η_{t-1} とし、これらを式(18)に代入し、見掛けのカソード側ターフェル勾配 β_e' を計算した。ここでは、特定の分極試験から求めた見掛けの勾配なので β_e を β_e' とした。なお、水道水などの水溶液環境では、 i_t の次に高い電流密度 i_{t+1} における分極量 η_{t+1} を読み取った。

$$\beta_e' = (\eta_t - \eta_{t-1}) / (\log(i_t) - \log(i_{t-1})) \quad (18)$$

(8) 自然電位 E_{cor} および上記で求めた β_e' 、 η_t ならびに i_t を式(19)に代入してカソード側ターフェル式の平衡電位 $E_e^{0'}$ を計算した。ここでは、見掛けの平衡電位なので E_e^0 を $E_e^{0'}$ とした。

$$E_e^{0'} = E_{cor} - \eta_t + \beta_e' \times \log(i_t) \quad \therefore \eta_t = E_{cor} - E_e^{0'} \quad (19)$$

(9) 上記で求めたターフェル式から腐食電流密度 i_{int} を式(20)および(21)により計算した。

$$k = \log(i_{int}) = (E_{cor} - E_e^{0'}) / (-\beta_e') \quad (20)$$

$$i_{int} = 10^k \quad (21)$$

3.2 水溶液試験⁵⁾

CIPE法によって図2に示すような部分腐食の腐食速度が正確に測定できることを確認するために、アノード部を亜鉛合金に、健全部をステンレス鋼に、コンクリートを水道水に置き換えたモデル試験を図6に示す方法で行った。なお、亜鉛合金の腐食電流は、固定抵抗10Ωで測定できることを確認した。

3.3 コンクリート供試体による長期暴露試験⁶⁾

塩化物イオンを10kg/m³含むコンクリート供試体中の鉄筋をアノード溶解処理した後に大気中に暴露し、CIPE法による測定後に供試体を割裂して鉄筋の質量減から腐食速度を求め、CIPE法の結果と比較した。試験は約300日間行い、供試体の寸法は100×116×200mm、鉄筋は直径が16mmのみがき丸鋼、コンクリートのかぶ

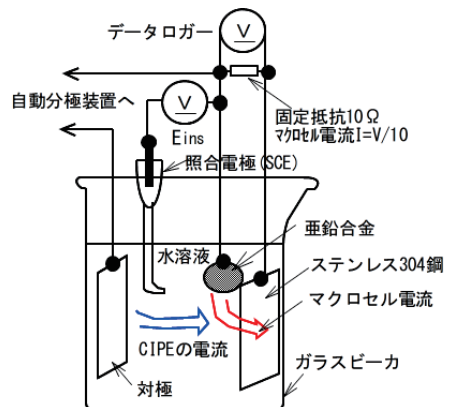


図6 溶液試験の測定方法⁵⁾

りは20mmとした。供試体制裂ごとのイベント名を①から④のようにした。

イベント①：打設からアノード溶解処理前、イベント②：アノード溶解処理から3週間後、イベント③：イベント②から3か月後、イベント④：イベント③から5.5か月後

3.4 コンクリート供試体による短期暴露試験⁷⁾

塩化物イオンを10kg/m³含むコンクリート供試体中の鉄筋を飽和湿度大気中環境（飽和湿度）、乾燥環境（乾燥）、冠水環境（冠水）の3種類の環境に暴露し、CIPE法による測定後に供試体を割裂して、鉄筋の質量減から腐食速度を求め、短期間における鉄筋の腐食速度変化をCIPE法で測定できることを確認した。試験は56日間行い、供試体の寸法は100×100×400mm、コンクリートのかぶり厚は20mmとした。鉄筋は直径が16mmのみがき丸鋼を用い、一供試体に3本埋設した。

4. 結果および考察

4.1 水溶液試験⁵⁾

水溶液試験の結果を図7に示す。

外部で測定したマクロセル電流密度が90、2、45、210および220mA/m²のときに、CIPE法の測定値はそれぞれ

60、2、50、190および200mA/m²であり、CIPE法による測定値は外部で測定した電流密度の値とほぼ一致した。このことから、CIPE法によって、部分腐食における腐食速度を測定できることが確認できた。

4.2 コンクリート供試体による

長期暴露試験⁶⁾

長期暴露試験の結果を表1に示す。

表1の結果から、質量減から求めた腐食速度 i_{cor} と CIPE法で求めた腐食速度 i_{int} の比率 (i_{int}/i_{cor}) は No. 7 を除いて 0.49~1.03 の範囲にあり、質量減の「ばらつき」ならびに質量減による平均的な腐食速度 i_{cor} と、CIPE法測定時におけるその時の腐食速度 i_{int} の差異を考慮すると CIPE法による腐食速度 i_{int} は実測値 i_{cor} と良く一致すると考えられる。特に、

No. 2、No. 3、No. 6 および No. 8 の腐食速度の比率が 0.8 以上であったことから、CIPE法によって精度よくコンクリート中鋼材の腐食速度を測定できると考えられる。なお、No. 7 は、鉄筋の腐食によってコンクリートにひび割れが生じていたことから、鋼材がコンクリートと接触しない箇所が生じ、分極のための電流が届かなかったために CIPE法の適正な測定ができなかったと考えられる。これらのことから、CIPE法はコンクリート構造物の劣化過程において劣化が著しくない「進展期」および「劣化期」の腐食診断に適していると考えられる。

4.3 コンクリート供試体による短期暴露試験⁷⁾

飽和湿度における鉄筋の腐食減量と CIPE法による腐食速度 i_{int} の経時変化を図8に示す。図中の腐食減量は3本の鉄筋の平均値で、腐食速度 i_{int} はそれぞれの値である。

腐食減量は28日経過後からほぼ一定の値を示したことからいずれの鉄筋も腐食が停止したと考えられる。一方、腐食速度 i_{int} は、鉄筋ごとにばらつきがあるが、試験開始21日経過後から低下し、

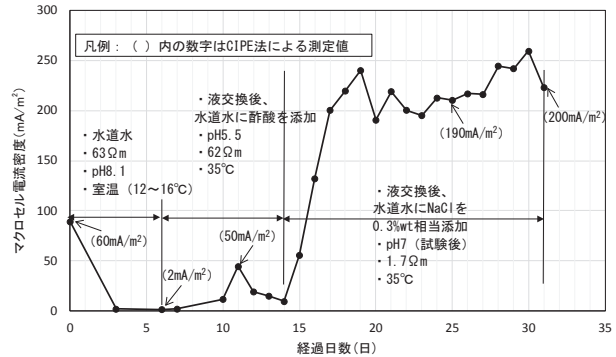


図7 水溶液試験の結果⁵⁾

表1 質量減から求めた腐食速度と CIPE法との比較⁶⁾

供試体番号	イベント	i_{cor} (mA/m ²)	i_{int} (mA/m ²)	i_{int}/i_{cor}
No.1	①	129	87	0.67
No.2	①	83	67	0.81
No.3	②	96	99	1.03
No.4	②	183	105	0.57
No.5	③	87	43	0.49
No.6	③	134	112	0.84
No.7	④	209	50	0.24
No.8	④	213	190	0.89

28日経過後には「1mA/m²以下で無視し得る」まで低下し、腐食減量の変化の結果と CIPE 法の測定結果とが良く一致した。この傾向は他の環境条件（乾燥、冠水）の供試体においても同様に認められたことから、CIPE 法によって「不動態」および「酸素の供給性が悪い環境」を含めてコンクリート中鋼材の腐食速度を正確に測定できることが明らかになった。

4.5 CIPE 法による腐食速度判定

上述の結果から、CIPE 法は幅広い環境条件におけるコンクリート中鋼材の腐食速度を判定できることが明らかになった。CIPE 法による腐食速度判定表を表 2 に示す。

ここで、「高含水」は海水中のコンクリート部材のように冠水状態にあり、鋼材の自然電位が -725mV vs. CSE（飽和硫酸銅電極基準）よりも卑な値を示し、鋼材はほぼ平衡状態にあることから腐食速度は「1mA/m²以下で無視し得る」と判定する。また、「不動態」では自然電位が -725mV vs. CSE より貴で、CIPE 法の電流密度 1mA/m² におけるアノード分極量が 10mV 以上の場合に、腐食速度は「1mA/m²以下で無視し得る」と判定する。

5. まとめ

外挿法を改良することによって開発した CIPE 法を、水溶液試験およびコンクリート供試体試験で評価した結果、CIPE 法は種々の環境下におかれたコンクリート中鋼材の腐食速度を非破壊で精度良く測定できることが明らかになった。

今後は、CIPE 法が非破壊検査の主要な手法となるように、実構造物での実績を重ねたい。

参考文献

- 1) 宮川豊章, 小林和夫, 藤井学: 塩分雰囲気中におけるコンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計, 日本コンクリート工学協会コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関するシンポジウム論文集, pp. 47-54, 1988
- 2) 山本悟, 川岡岳晴, 田代賢吉: 電気防食新工法のコンクリート実構造物への適用, 材料, Vol. 55, No. 11, pp. 1016-1020, 2006
- 3) ユーリック H. H., レヴィー R. W.: 腐食反応とその制御 (第 3 版), 産業図書, p. 43-59, 2002
- 4) 岡本 剛, 佐藤教男, 永山政一: 酸性水溶液中の鉄の分極特性測定に対する迅速法の適用とその意義, 電気化学, 第 25 巻, pp. 166-174, 1957
- 5) 山本悟, 竹子賢士郎, 高谷哲: 迅速な分極曲線測定法による水溶液中マクロセルの腐食電流測定, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, pp. 897-898, 2014
- 6) 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, Vol. 36, No. 1, pp. 2092-2097, 2014
- 7) 竹子賢士郎, 山本悟, 高谷哲: コンクリート中鋼材の腐食速度測定方法の精度確認試験, 腐食防食学会第 61 回材料と環境討論会講演集, pp. 55-58, 2014

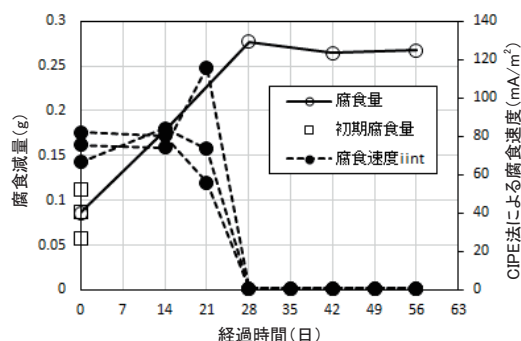


図 8 腐食減量変化と CIPE 測定結果⁷⁾

表 2 CIPE 法による腐食速度判定表

自然電位 E_{cor} (mV vs. CSE)	1mA/m ² の分極量 η (mV)	腐食速度 i_{int} (mA/m ²)
$E_{cor} \leq -725$	η_a と η_c 共に 10 以下	i_{int} は 1 以下 (高含水)
$E_{cor} > -725$	η_a が 10 以上	i_{int} は 1 以下 (不動態)
$E_{cor} > -725$	その他	i_{int} を読む

SP型海水電解装置の施工例

日本防蝕工業株式会社 エンジニアリング部
小幡 広也

1. はじめに

一般に、臨海プラント工場では多量の冷却海水が使用されている。冷却海水ラインでは配管内や取水口のスクリーン装置、ストレーナ等に貝類や藻類が付着・生長しスクリーン装置の作動不良、ストレーナの目詰まり等が発生し最悪の場合は冷却海水ラインの閉塞を起こし工場の稼動に重大な影響を及ぼしかねない。

これらを防止する方法の一つとして、海水を電気分解し次亜塩素酸等の塩素化合物を発生させ、取水口に注入させることにより、海水冷却ラインに貝類や藻類を付着させないようにする装置が海水電解装置である。

これまで当社では、米国エボクア社で開発された『クロロパック』を採用していた。理由としては多量の海水処理量であっても1組の電解槽(0.45kg/hr型)をつなぎ合わせることで多彩な対応が可能であったためである。しかし、『クロロパック』は構造が複雑であり、且つ細かく特殊な部品が多く、メンテナンスの際に複雑な点検・整備が必要であった。(図1および写真1参照)

当社は、それらを改善すべく2007年に新型のSP型を開発した。SP型は+極(陰極)と-極(陰極)の間に中間電極を設けた構造(複極式)で一つの電解槽(1.57kg/hr型)で『クロロパック』の約3.5倍の対応能力があり、構造もシンプルなのでメンテナンス上有利である。

以上より、本報はSP型海水電解装置の具体的な施工例を紹介するものである。(SPとはSuperimpose Plateの略である)

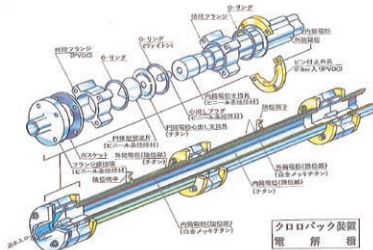


図1 クロロパック電解槽

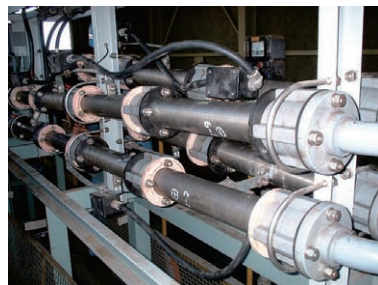


写真1 クロロパックつなぎ合わせ状況

2. SP型海水電解装置の構成

SP型海水電解装置の主な構成は直流電源装置・電解槽・電動四方弁・流量計である。

以下、各装置について概要を述べる。

2.1 直流電源装置

直流電源装置は交流電源を直流に変換し、電気分解に必要な直流電流を電解槽に供給する。

また、電動四方弁への制御信号、流量計とのインターロック機構、トリップ等の警報機構を内蔵している。

一般的な直流電源装置を写真2に示す。



写真2 直流電源装置

2.2 電解槽

電解槽は＋極(陽極)と－極(陰極)の間にTi 基材を10枚重ね、11回路分の電気分解を一つの電解槽で行う構造となっている。

なお、Ti 基材は片面をMMO 被覆してある。

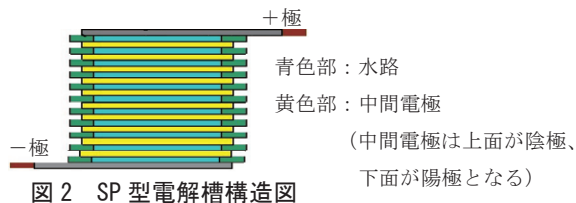


図2 SP型電解槽構造図

図2に構造を、写真3に実際の電解槽を示す。

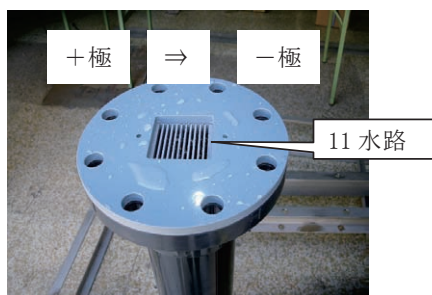


写真3 電解槽端部

電気分解：

電流が左側から中間電極を介して右側に流れる。

11水路あるので一つの電解槽で11回路分の電気分解ができる。

2.3 電動四方弁

電動四方弁は電解槽内に異物が堆積しないようにする装置である。

定期的に弁を回転させ、電解槽内の海水流れ方向を反対にすることで、電解槽内の異物を除去する。

写真4～6に電動四方弁を示す。

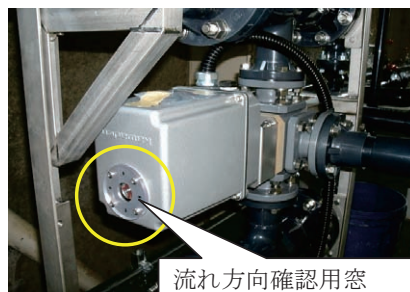
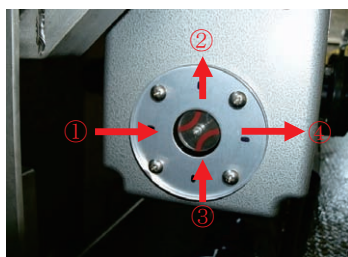


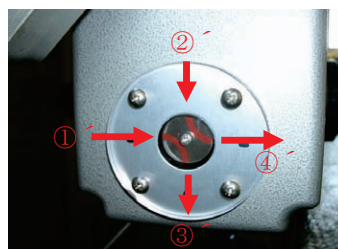
写真4 電動四方弁



ケース1

- ① 入口から海水流入
- ② 上部電解槽へ
- ③ 上部電解槽→下部電解槽→出口方向へ
- ④ 出口より海水流出

写真5 流れ方向ケース1



ケース2

- ① 入口から海水流入
- ③ 下部電解槽へ
- ② 下部電解槽→上部電解槽→出口方向へ
- ④ 出口より海水流出

写真6 流れ方向ケース2

2.4 流量計

流量計は電解槽へ供給する海水量を監視するためのものである。

直流電源装置とインターロック配線を行い、電解槽への供給海水が設定値より低下した場合に、直流電源装置の運転を停止させ海水電解を停止する。なお、再び海水が増加し設定値以上になると自動復帰する。

写真 7 に流量計表示部を示す。



写真 7 流量計表示部

《表示部の説明》

赤色指示針：設定値

黒色指示針：実際の流量

黒色が赤色より多い場合に装置が作動し、

黒色が赤色より低くなると装置が自動停止する

3. SP 型への更新施工例

本報では 2011 年 3 月に引き渡した関西地区臨海工業地帯 A 社の例を紹介する。

更新するに当たり、施工前に現状のクロロパックの運転状況を確認し、その能力に見合った SP 型を選定した。型式は SP06-KB 型(直流電源装置仕様：DC120V120A 電解槽：2 組型)である。

電解槽はフレームに電動四方弁と一体型で組み込んだ状態で搬入した。

3.1 施工手順

施工は以下の手順に従って行った。

①既設クロロパックの撤去→②SP 型直流電源装置および電解槽の設置→③新設配管・配線工事
→④試運転調整→⑤引渡し

写真 8～14 に施工状況を示す。



写真 8 既設装置撤去前

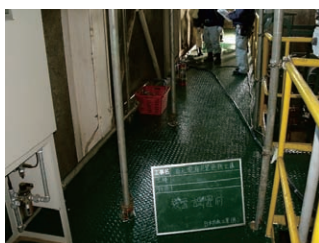


写真 9 既設装置撤去後



写真 10 直流電源装置設置



写真 11 電解槽ユニット設置



写真 12 配管工事



写真 13 配線工事

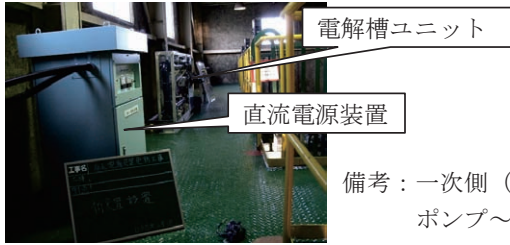


写真 14 設置完了後

備考：一次側（AC440V、3相、60Hz）の電線・電線管およびポンプ～海水電解装置設置エリアまでの配管は工事対象外

3.2 施工後の試運転結果

施工後、装置の試運転を行い正常作動および電解性能が満足されることを確認した。

試運転時の電源装置出力データ	
出力電流 (A)	出力電圧 (V)
20	62
40	70
60	79
80	87
100	93
120	102

判定値：良（定格値内で出力されている）

海水電解装置の運転確認		確認結果
流量計インターロック確認		良好
警報ランプ点灯確認		良好
電解槽への通水量確認		良好
残留塩素濃度確認	20A 出力時、ポンプエア抜き部から採取した海水を計測	約 0.07ppm

残留塩素濃度の適正値：0.02ppm～1.0ppm（ポンプエア抜き部の場合）

4. まとめ

本装置は稼動後3年経過しており、貝類・藻類の付着による不具合も報告されておらず、正常に作動中である。なお、今回の電解槽ユニットは横置き型となっているが、設置場所によっては縦置き型にて対応も可能である。（写真15参照）

なお、今回、施工に関わり SP 型海水電解装置は『クロロパック』よりも構造がシンプルで、維持管理のメンテナンスが容易になることを実感した。従って、今後は顧客の維持管理メンテナンスの負担軽減に十分に寄与するものとして、SP 型を順次提案して行く計画である。



写真 15 縦型設置例
（本品は SP06-KA 型）

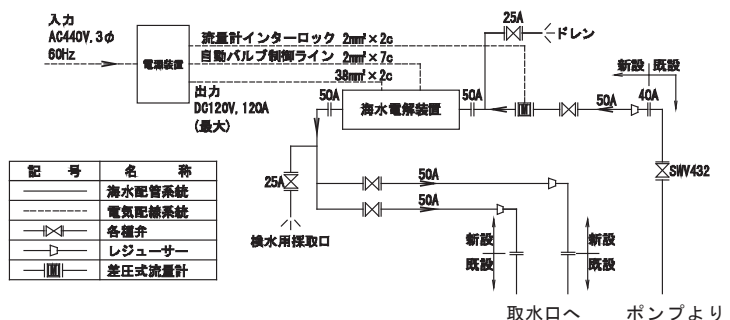


図 3 配管系統図

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(株)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

SP06KA(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：

「メンテナンスフリー」

従来品は電解槽内部に発生する電解生成物等を除去するために定期清掃を必要としておりましたが、SP型は自社開発による電解生成物付着防止機構を採用しメンテナンスフリー*です。

*メンテナンスフリー：ただし、2年程度を目処に当社社会による点検確認をご推奨します。

「陽極更新作業」

重機不要、電解槽(SP06KA)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 ですが本装置は 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)

日本防蝕工業(株)

電気防食法を利用した サンゴの増殖・有性生殖の取組み



本技術は第三者による性能の実証結果を公開しています。
平成24年度 実証番号 090-1203
http://www.env.go.jp/policy/etv/etv_20.html#02

1. サンゴ増殖・有性生殖を始めたきっかけ

沖縄県八重山諸島に設置した浮棧橋において、サンゴが活発に生育している事が確認されました。この海域では浮棧橋の他にはサンゴの生息が認められませんでした。

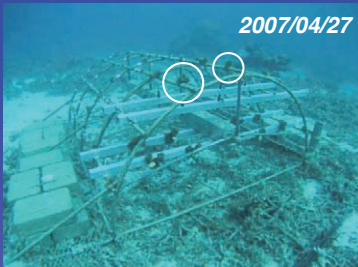
この事より浮棧橋に設置している【電気防食】に着目し、2005年より研究を開始しました。



浮棧橋設置後4年が経過したサンゴ

2. 研究成果

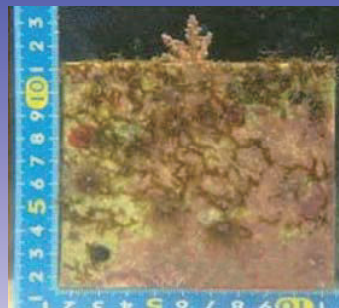
①電気防食を利用した実海域に於けるサンゴ増殖棚の効果は、写真に示すように有効である事が確認されました。



②電気防食にて製作した電着基板のサンゴ着床数は一般的に用いられる素焼きタイルと比べ4~5倍増大した事が確認されました。



1.5年後経過/電着網



1.5年後経過/素焼きタイル

以上の結果から電気防食の効果が認められ、環境省の「平成24年度環境技術実証事業」でサンゴの増殖実証実験の技術において実証番号とロゴマークの交付を受けました。

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 1-21-12 (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
〒700-0818 岡山市北区蕃山町 4-5 (岡山繊維会館 2 階)
TEL (086) 227-0280 FAX (086) 235-4450
- 中国地区 ●中国支店
〒730-0051 広島市中区大手町 4-6-24 (重岡ビル 2 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