

V-265 土木構造物の腐食診断・設計2

河川・港湾鋼構造物の最適防食電位と電気防食効果の定量的評価方法に関する実験

新日本製鐵㈱ 正会員○岡 扶樹

紀平 寛

伊藤 叡

1. はじめに

河川・港湾の鋼構造物に対する効果的防食方法として、電気防食方法が広く適用されている。しかし、これらの中に近い腐食環境においては、

①最適防食電位など防食管理基準値¹⁾（SCE基準で-770mV、これはAg/AgCl基準で-727mVに相当する）の理論的根拠が不明確であり、経験的な値が使用されている。

②電気防食効果は、テストピースによる腐食減量評価と電位により評価されており、実構造物の防食効果の定量的な把握や、構造の特殊性を反映した防食効果の現地における評価法が確立していない。

などの問題が存在する。最適防食電位を設定することは、腐食抑制、費用対効果、過度の防食による弊害を防止する等の観点から重要である。

一方、電気防食の定量的評価方法に関する理論的な検討は、水流等²⁾によりなされている。また、筆者らは電気化学的手法を用いたセンサーによる海洋環境下での腐食速度測定法³⁾について検討してきた。今回、この測定方法を用い上記の問題解決を行ったので報告する。

2. 測定原理

図1に中性溶液環境中の鋼の腐食反応における電位Eと電流Iの対数の関係を示す。図中、実線Ia、Ibはそれぞれアノードとカソードの分極曲線、破線ia、io及びiHは、鉄の溶解反応、酸素の還元反応、及び、水の還元反応の部分分極曲線である。ここで、破線iaを把握できると電位から電気防食下での腐食速度が算定できる。

また、防食効率=防食率×防食電流効率

$$= ((C_{Ro} - C_{Rp}) / C_{Ro}) \times ((C_{Ro} - C_{Rp}) / I_p)$$

(C_{Ro}: 自然腐食速度、C_{Rp}: 防食時の鉄の溶解速度、I_p: 印加防食電流)

と定義すると最適防食電位は、鉄の溶解と水の還元反応の部分分極曲線の交点から求まる電位E_cとほぼ一致する²⁾。E_c以下に電位を下げると水の還元（水素の発生）により浪費される電流が急激に増大するため、防食電流効率が低下する。以上のことから、鉄の溶解反応と水の還元反応の部分分極曲線を把握することが電気防食の評価にとって重要である。

ここで、電気防食された鋼材の表面は、図2のような等価回路で表現でき、E_c < Eにおいて R_f ≒ R_a、E_c > Eにおいて R_f ≒ R_Hであるため交流インピーダンス測定の結果求めた電位EとファラデーインピーダンスR_fの関係をプロットするとこれらの部分分極曲線が求まる。

図3 交流インピーダンス測定システムとセンサー

3. 実構造物における測定概要

20年間に渡って犠牲陽極方式によって防食された鋼管杭を対象に実験を行った。陽極は一部残存しており、平均海面-3mで-800mV（Ag/AgCl基準）の電位を維持していた。測定には、図3に示す交流インピーダンス測定システムと内径3cmの3電極式のセンサーを用い、1kHz～10mHzの周波数域

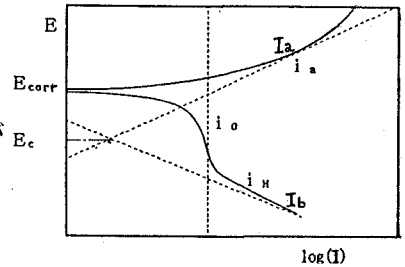
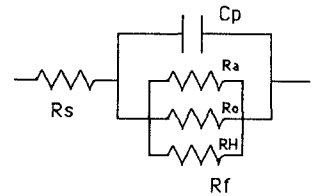


図1 中性溶液中の鋼の電位電流曲線



Rs: 溶液と付着物による抵抗
Rf: ファラデーインピーダンス
Cp: 電気二重層等による容量
Ra: 鉄の溶解反応の抵抗表現
Ro: 酸素の還元の抵抗表現
RH: 水の還元の抵抗表現

図2 電気防食された鋼の等価回路

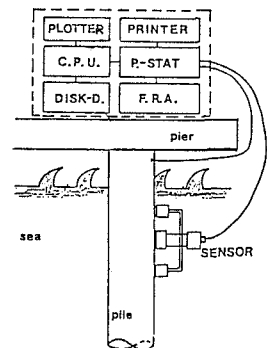


図3 交流インピーダンス測定システムとセンサー

で測定した。セリ状になったセリを鋼矢板表面にマグネットにより密着させ、セリ内部の電位を任意電位に設定し、その電位を中心として実行値で $\pm 10\text{mV}$ 電位を変化させることによりインピーダンス測定を実施した。測定は -800mV からアノード方向に 50mV ピッチで5点、カソード方向へは -830mV より 10mV ピッチで4点測定した。測定間隔は鉄の溶解反応と水の還元反応に起因する電位電流曲線の勾配を考慮して決定した。

4. 測定結果と考察

代表的な測定結果のCole-Coleプロットを図4に示す。データの分布は、ほぼ半円状を示しており等価回路の妥当性を示している。また、適用した周波数域では、その測定電位におけるファラデーインピーダンス R_f を捕えるには至っていないものについても、各測定データが円周上に位置するものと仮定して外挿し実軸(Z_{re})との交点間の差として求めた。

図5は、交流インピーダンス測定の結果求めた腐食速度と測定電位をもとに描いた部分電流電位曲線を示す。ここで、腐食速度 $CR = \alpha \cdot I_{corr} = \alpha \cdot K/R_f$ の関係から $1/R_f$ を腐食速度に変換してある。変換係数は図6に示す、清浄海域における腐食減量と $1/R_f$ との関係を用いており、 $K = 4.3\text{mV}$ 、 $\alpha = 1.164 \times 10^4 ((\text{mm/year})/(\text{A/cm}^2))$ である。鉄の溶解反応と水の還元反応に起因する、2つの部分分極曲線が明確に検出できており、この施設の最適防食電位が約 -800mV であることがわかる。また、 -750mV と -800mV における測定結果が両方からずれているのは、実際の測定においては酸素の還元電流が明確な限界電流を示さず電位依存性を持ったため、 R_o が無限大とならず、 R_f が理論値よりも小さくなるためであると考えられる。

また、 -800mV の電位に保たれているということは、腐食速度が 0.002mm/year 程度に抑制されていることを示し、通常の海水中の腐食速度に比較して $1/50$ であり、適切に電気防食が施されていたことがわかる。鉄の溶解反応の部分分極曲線は、一般に OH^- 、 NH_4^+ 、 S^{2-} のように鋼材の表面に吸着して溶解を抑制したり錯イオンを作って溶解を促進する作用を持つ物質や、鋼の介在物、粒界、熱処理履歴、化学成分の偏析などにより影響を受けるとされている。逆に言うと同一ロットの鋼材が同一環境に暴露されている単一の施設を対象とする場合には、おおよその腐食速度を電位で評価できると考えられる。

5. まとめ

センサーを用いた交流インピーダンス測定により、海洋環境下での実構造物に対し、1)鉄の溶解反応の検出による電気防食効果の定量的評価、2)最適防食電位の推定、が可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説：運輸省港湾局監修(社)日本港湾協会発行、1978
- 2) 水流 徹、田 大、春山志郎：防食技術、34、36、1985
- 3) 岡 扶樹、紀平 寛、伊藤 勲：土木学会第40回年次学術講演会概要集第6部、p.191、1985

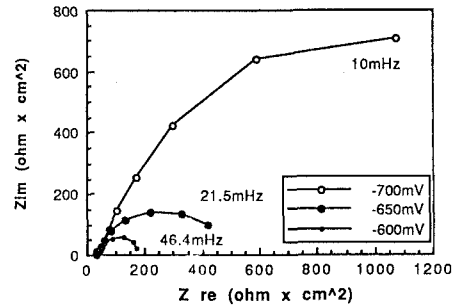


図4 交流インピーダンス測定結果の例

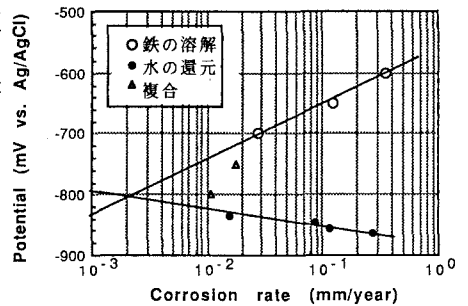


図5 実測定データによる部分分極曲線

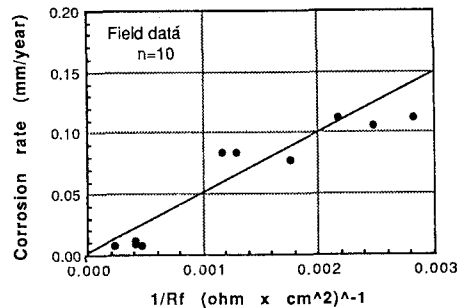


図6 腐食速度と $1/R_f$ の関係