

鋼部材地際部におけるマクロセル腐食速度評価センサの開発に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○土橋 洋平
九州大学大学院 学生会員 藤本 拓史

九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
三井造船株式会社 正会員 石原 修二

1. はじめに 鋼構造物において、鋼部材のコンクリート地際部に雨水や凍結防止剤が滞水することで、塗膜が加水分解等で早期劣化し、マクロセルによる著しい局部腐食が発生する事例が多数報告されている。地際部のマクロセルは進行が早いいため、その発生と進行性を把握することは、鋼構造物を維持管理していく上で重要である。そこで、本研究では鋼部材の地際部に形成されやすいマクロセルの腐食速度を評価するための腐食センサを開発した。また、模擬腐食環境において本センサの出力を計測することで、マクロセル腐食電流の特性を検証した。さらに、センサの出力から算出した腐食量の妥当性を検証するために、同環境下で裸普通鋼材の室内暴露試験を行った。

2. 試験方法 本研究で開発したセンサの構造および電気回路図をそれぞれ図-1 および図-2 に示す。本センサは地際部の腐食速度を評価する位置に配置された作用極と、その作用極が1本の鋼材に模擬できる対極で構成している。作用極の各電極が腐食する際に、対極と短絡して発生するマクロセル腐食電流を計測することで、各電極位置における腐食速度を評価できる。本センサの出力特性を把握するために、模擬腐食環境において腐食電流を計測した。模擬腐食環境は0.1wt%NaClaq, 3.5wt%NaClaq および3.5wt%NaClaq で飽和した豊浦標準砂とした。計測には無抵抗電流計(電流レンジ:-100 μ A~100 μ A, 分解能:0.1 μ A)を用い、10分毎に計測・記録した。試験時間は72hrs.とし、液面を一定にするために24hrs.毎に純水を供給した。また、本センサの出力に基づき算出した腐食量の妥当性を検証するために、センサの計測と同様の腐食環境で裸鋼材を用いた室内暴露試験を行った。鋼材には普通鋼(JIS G3106 SM490A材, 200 \times 40 \times 5mm)を用い、その表面はISO 8501-1 Sa2.5に基づきブラスト処理した。鋼材の下端から60mmを模擬腐食環境に浸漬させて固定した。暴露期間は200日とし、液面をほぼ一定に維持するために、24hrs.毎に純水を供給した。

3. 試験結果 模擬腐食環境の12hrs.毎のセンサの電流分布を図-3に示す。0.1wt%NaClaq環境では気液界面から14mmの位置で電流値が最も大きくなっており、10mmまではカソード反応となっている。また、豊浦標準砂の環境では水溶液環境に比して、アノード部の電流値が低くなっている。これは、土壌環境ではカソード反応を担うO₂の拡散速度が水溶液環境に比して小さくなり、腐食量が低下しているためと考えられる¹⁾²⁾。水溶液環境での電流値は48hrs.以降で著しく変化しておらず、比較的安定している。腐食環境がほとんど変化しなければ、48hrs.以上の計測を実施することで各基準位置における腐食電流を精度良く評価できると考えられる。

センサの出力 I が全てFeのイオン化によるものと仮定した時、環境の変化に伴う I の変動と試験時間を考慮して、総電気量から腐食速度を算出できる。なお、本試験では水面を一定に維持し、温湿度などの試験環境が一定の条件であることを考慮して、72hrs.時のセンサ出力の電流値に基づき、次式を用いて腐食速度を推定した。また、同環境下で暴露した試験体の腐食量と比較することで、センサ出力の妥当性を検討した。

$$I_{\text{cor}} = (I \cdot m_{\text{Fe}} \cdot 10^3 \cdot t) / (2 \cdot 96,500 \cdot \rho_{\text{Fe}} \cdot 20) \quad (1)$$

I_{cor} : 腐食速度 (mm/yr), I : 72hrs.時の電流値 (A), m_{Fe} : Feの原子量 (g), ρ_{Fe} : Feの密度 (g/cm³), t : 時間 (yr)

暴露後の試験体の腐食表面性状を明らかにするために、試験体の腐食生成物を除去した後に、試験体表面をレーザーフォーカス深度計(スポット径:30 μ m, 分解能:0.05 μ m)を用いて、計測ピッチ0.2mmで計測した。センサ出力から算出した浸漬深さ h と腐食量 $I_{\text{cor},200}$, および h と鋼材の平均腐食深さ d_{mean} の関係を図-4に示す。図中のバーは $I_{\text{cor},200}$ を示し、赤線は試験体の浸漬深さごとの d_{mean} を示している。0.1wt%NaClaq および3.5wt%NaClaq環境において、深さ20mm以降では $I_{\text{cor},200}$ と d_{mean} の傾向が同様であり、その差異は約20%以下となっている。試験後のセンサの状況を図-5に示す。センサの水面に近い電極において、腐食が進行しておらず、電流分布と同様の傾向を示している。しかし、 $I_{\text{cor},200}$ と d_{mean} の最大値となる位置は異なっており、 d_{mean} についてはセンサ出力のカソード部で発生している。これは、実構造物材ではマクロセルによる腐食だけでなく、マイクロセルによる腐食も発生しているためと考えられる。今後は、本センサから算出するマクロセルの腐食量に加えて、電極間の電位差の測定による、カソード部の腐食量および分極抵抗の測定によるマイクロセルの腐食量を考慮した、地際部の鋼材の腐食量を推定する予定である。

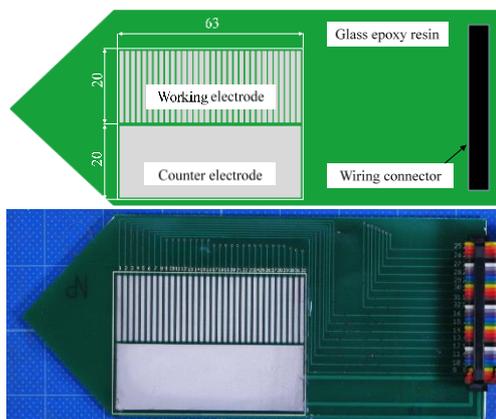


図-1 センサの構造

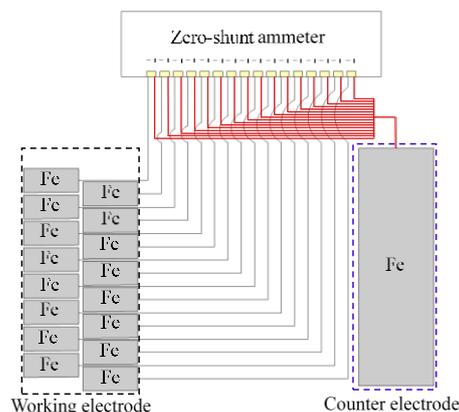


図-2 センサの電気回路図

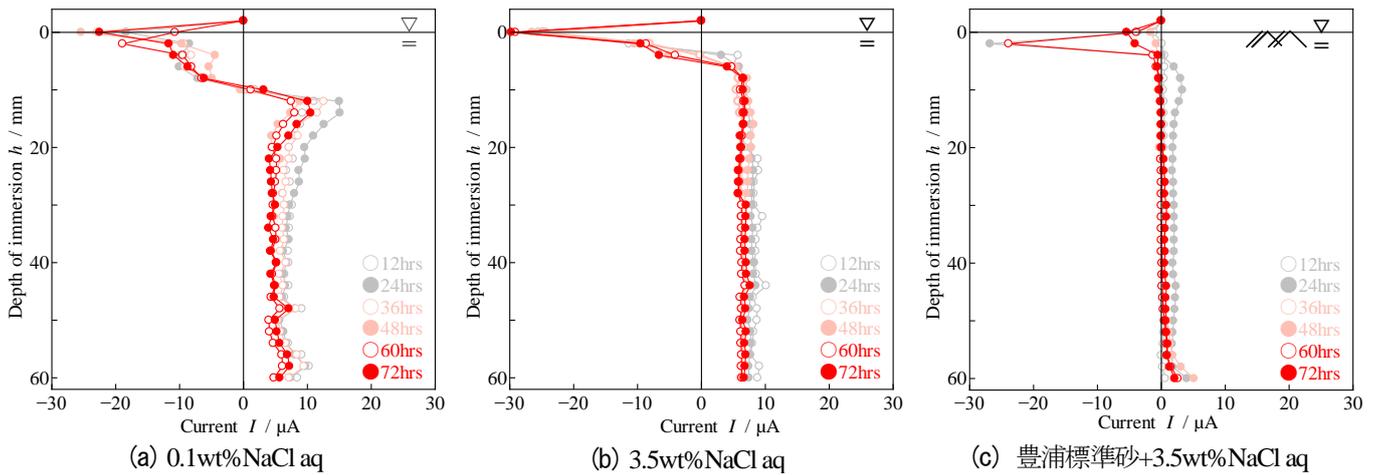


図-3 12hrs.毎のセンサの電流分布

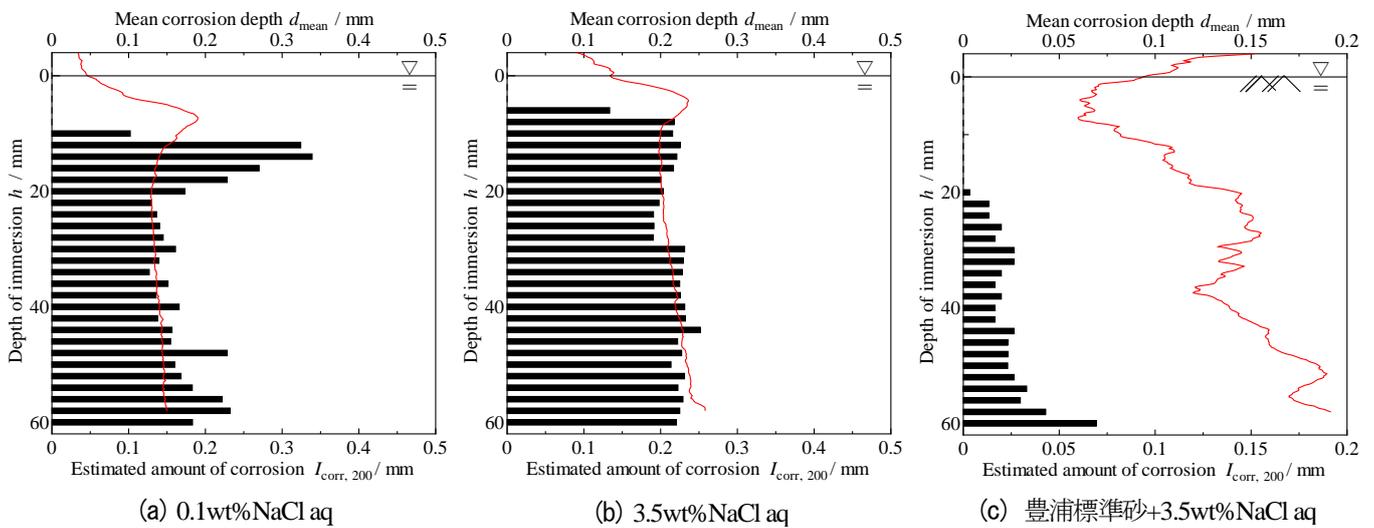


図-4 浸漬深さ h と腐食量 $I_{\text{corr},200}$, 平均腐食深さ d_{mean} の関係

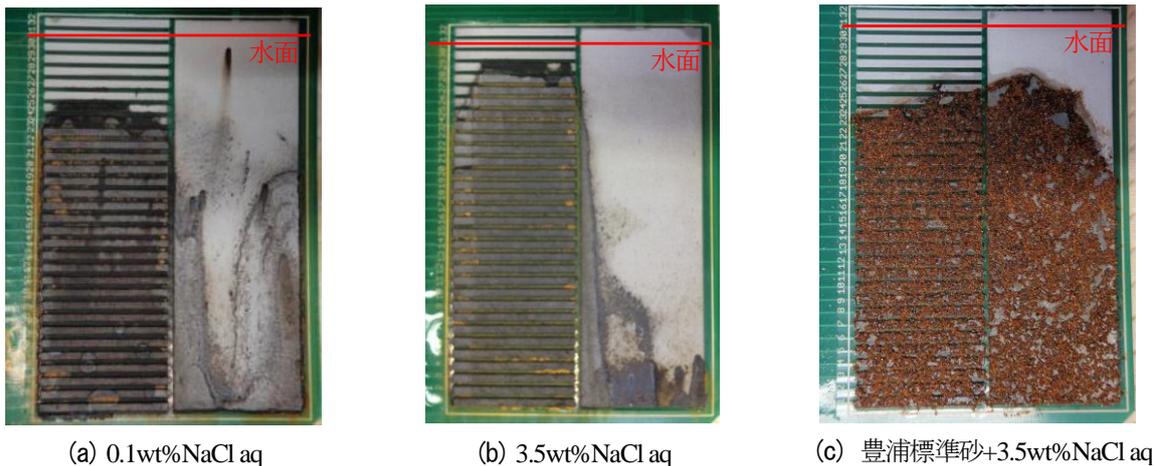


図-5 試験後のセンサの状況

4.まとめ 1) 本センサを用いることで、模擬腐食環境における鋼板の浸漬深さ毎の腐食速度を評価できる。2) 腐食環境がほぼ一定であれば、48hrs.以上計測することで、鋼板の高さ毎の腐食速度を推定できる。3) 水溶液環境において、本センサを適用することで、鋼板の水面から20mm以上の深さの腐食量を20%以下の精度で推定できる。

参考文献 1) 加藤祐介, 今福健一郎, 原田佳幸, 菅江清信, 幸英昭, 上村隆之: 酸性硫酸潮土壌中のパイライトが鋼材の腐食に及ぼす影響に関する検討, 第62回材料と環境討論会, C-109, 2015., 2) 阿部健, 山本悟: 普通鋼およびステンレス鋼の土壌中における腐食特性の研究, 防錆管理, Vol.59, No.3, pp.85-90, 2015.