

塗膜傷の複合性とその電気化学機構を考慮した 鋼部材腐食挙動の空間統計数値シミュレーション

九州大学大学院 学生会員 ○小林 淳二
九州大学 学生会員 増本 岳

九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
鉄道総合技術研究所 正会員 坂本 達朗

1. はじめに 飛来海塩環境などの腐食性が高い環境における塗装鋼構造物では、紫外線等により塗膜が劣化する前にピンホールや線傷などの物理的な欠陥が起点となり、局部腐食が発生・進行する場合がある。また、腐食は単体の塗膜傷から進行するだけではなく、複数の塗膜傷が相互干渉しながら進展・結合することもある。本研究では乾湿繰り返し環境下における、近接した複数の塗膜傷を有する普通鋼板の腐食挙動を電気化学的に検討するため、塗膜傷間に生じる腐食電流を測定した。また、塗膜傷間の電気化学的な観点を考慮した塗装鋼部材の腐食表面性状の空間統計数値シミュレーション手法を提案し、塗膜傷間の相互干渉の有無による腐食挙動について検討した。

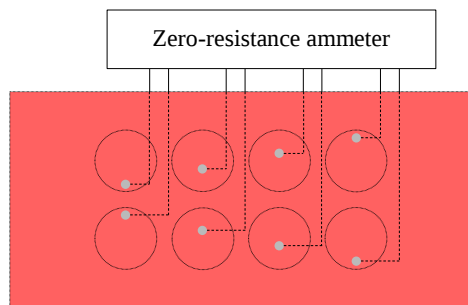
2. 試験方法 試験体は図-1 に示すように、ウェザロサイズ (150×70×19mm) の普通鋼 (JIS G3106 SM490A) を電極の直径 ϕ が 20mm となるように機械加工し、この溝をエポキシ樹脂で充填して電極間を絶縁することで製作した。試験面には厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料を約 60 μ m 塗布し、乾燥後に電極領域に直径 3mm の円形傷を機械加工により設けた。本研究では塗膜傷間の距離の影響を検討するため、図-1 (a) に示すように 2 つの塗膜傷間の距離が 10, 20, 30 および 40mm となるように機械加工した。試験体の裏側については、電極間のマクロセル腐食電流を計測するための回路を構築するため、図-1 (b) に示すように、導線を介して 2 つの電極を接続した。

本研究では塗膜傷間の相互影響程度を把握するために、複合サイクル腐食促進試験 (JIS K5600-7-9 サイクル D) を 1 ヶ月間行った。試験体は滞水状況のばらつきを極力小さくするために、水平面に対し 5 度程度傾けて設置した。また、試験面の濡れ状況を評価するために、Fe/Ag 対の ACM センサ (出力: -100mA~100mA) をウェザロサイズの鋼材に張り付け、試験体と同様の角度で設置した。

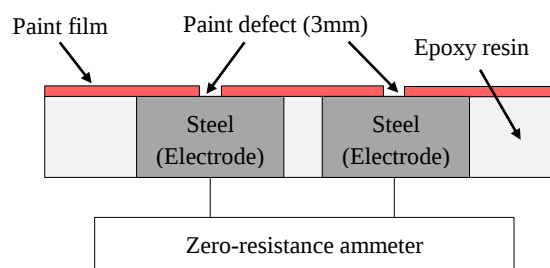
空間統計数値シミュレーションに際しては、任意の位置における腐食深さを推定するために、空間計量的手法の 1 つであるクリギングを適用した。クリギングとはセミバリオグラム解析により得られた空間統計量を有する確率場において、任意点を周囲の既知データから外挿して推定する手法である¹⁾。クリギングによる数値シミュレーションには、先行研究²⁾の平均腐食深さ d_{mean} に対するレンジ h とシル γ の関係を用いた。また、円形傷を起点とする腐食進行を模擬するため、クリギングの対象領域に対して腐食領域の形状に相当する拘束条件を与えた。

3. 試験結果 試験終了後における塗膜傷部を図-2 に示す。初期欠陥部を中心に腐食生成物が形成されている。また、傷部近傍において、傷部のアノード反応の対となるカソード反応による膨れが発生している。マクロセル腐食電流密度 i_{corr} の経時変化を図-3 に示す。塗膜傷距離 d が 10 および 20mm では、 i_{corr} が生じているが、30mm 以上ではほとんど生じていない。また、10mm における出力の発生時間は 20mm に比して長くなっている。これらは、 d が大きくなると塗膜欠陥間を覆う水膜が形成されにくくなるためと考えられる。なお、1 ヶ月の試験期間内において、 i_{corr} の正負の交番は確認されたが、その出力の大きさは概ね同程度であった。マクロセル腐食電流密度 i_{corr} と ACM センサの出力の相関を図-4 に示す。ACM センサの出力と i_{corr} の傾向には相関があり、塩水噴霧および湿潤時間帯には出力が増加し、乾燥時間には減少する傾向にある。これは、塗膜傷は試験体表面に形成された水膜を介して他の塗膜傷と短絡しているためと考えられる。塗膜傷間の総電気量に基づき算出した腐食速度を図-5 に示す。欠陥距離 d の増加に伴い腐食速度が減少する傾向にある。30mm および 40mm では塗膜傷間の相互干渉ではほとんど腐食しておらず、 d が大きい塗膜傷は、自己腐食が支配的になると考えられる。また、 d が 10mm の塗膜傷部に関しては、腐食がほぼ均一に進行しているが、20mm については片方の塗膜傷部が著しく腐食し、その対極の塗膜傷部の腐食量は微小になっている。これは片方の塗膜傷部がアノードに固定されたことが原因として考えられる。

塗膜傷部の腐食表面性状に対する数値シミュレーションは、塗膜傷間の距離 d を 10mm とした試験体の腐食促進試験を 1 年間行った場合について実施した。本シミュレーションでは、2 つの塗膜傷間で前述したマクロセル腐食による相互干渉の有無をパラメータとした。シミュレーションの結果を図-6 に示す。塗膜傷間の相互干渉が有る場合の平均腐食深さ d_{mean} と最大腐食深さ d_{max} は無い場合の約 1.3 倍になっている。この結果から、結露や付着塩の潮解作用等により塗膜表面に水膜形成しやすい部位としにくい部位では、同様の初期欠陥を有する場合においても、将来の腐食損傷度が大きく異なる可能性があると言える。



(a) 回路図



(b) 側面図

図-1 試験体外略図

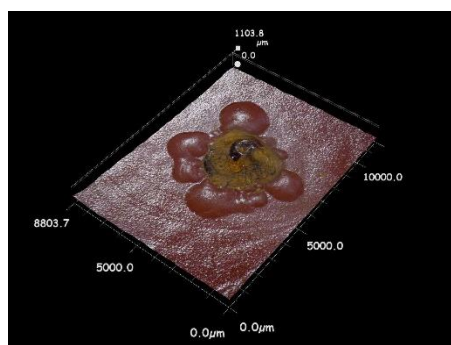


図-2 試験終了後の塗膜傷部

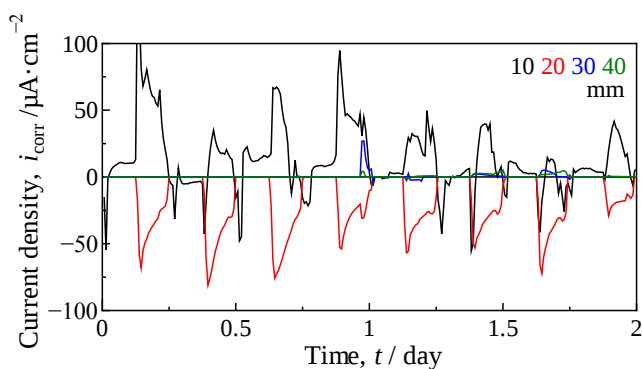


図-3 マクロセル腐食電流密度 i_{corr}

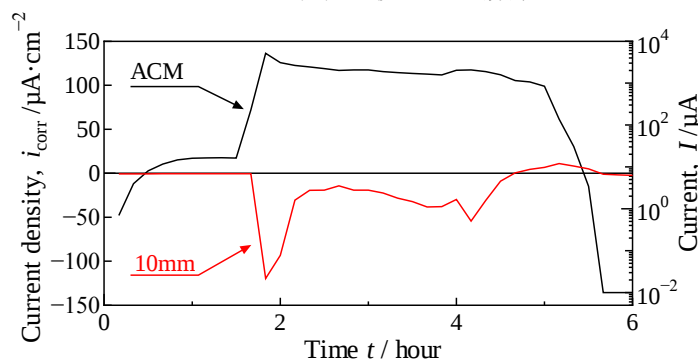


図-4 マクロセル腐食電流密度 i_{corr} と ACM センサの出力の対応

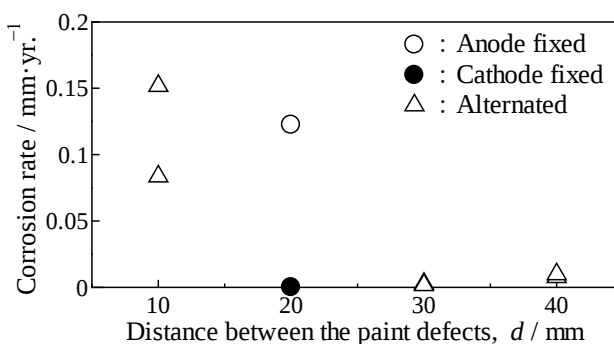
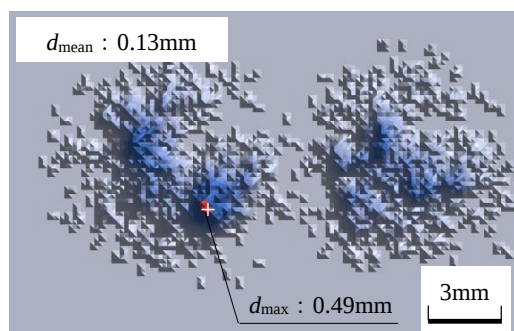
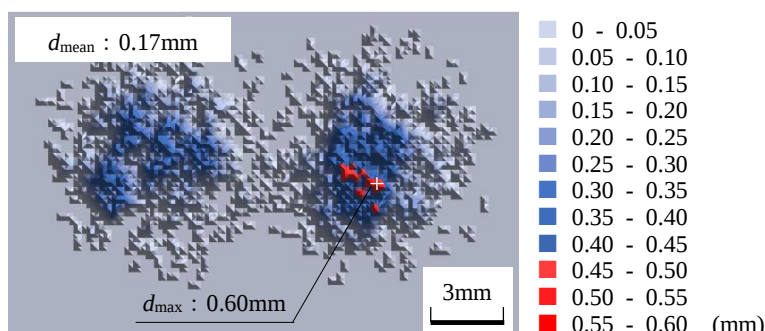


図-5 総電気量より算出した腐食速度



(a) 相互干渉無し



(b) 相互干渉あり

図-6 シミュレーション結果

4. まとめ 近接した2つの塗膜傷の腐食は、塗膜表面の水膜形成により塗膜傷間が電氣的に短絡する環境では短絡しない環境に比して促進される。また、この現象は塗膜傷間の距離が短いほど顕著になる。

参考文献

- 1) 貝沼重信, 鄭映樹, 宇都宮一浩, 安鎮熙: 空間統計学的手法を用いた大気腐食環境における無塗装普通鋼板の経時腐食挙動の経時腐食表面性状の数値シミュレーション, 材料と環境, Vol.61, No.7, pp.283-290, 2012.
- 2) 宇都宮一浩, 貝沼重信, 伊藤義浩: 鋼部材の塗膜欠陥から発生する腐食の経時挙動に関する基礎的研究, 材料と環境 2011, C-106, pp.139-142, 2011.