## 塗膜傷・劣化の複合性とその電気化学機構を考慮した 鋼部材の経時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	九州大学大学院	フェロー会員	貝沼	重信
九州大学	学生会員	増本 岳	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 Ø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、JIS K5551 C 種 1 号に準拠した厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料を約 60µm 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が腐食の進行に及ぼす影響を検討す 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.電極内のミクロセル腐食電流密度は、Stern-Geary 定数<sup>1)</sup>(0.0209V)を分極抵 抗で除すことで算出した.分極抵抗は交流インピーダンス法により求められる低周波側(5mHz)の抵抗値と、高周 波側(100kHz)の抵抗値の差とした.

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、空間計学的手法の 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<sup>2)</sup>.クリギングによる数値シミュレーシ ョンには、先行研究<sup>3)</sup>の平均腐食深さ *d*<sub>mean</sub>に対するレンジ*h* とシル*y*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.初期傷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*cor 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*cor 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 くなると塗膜傷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*cor 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*cor 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*cor 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



キーワード 腐食 腐食電流 相互干渉 塗膜傷間距離 クリギング 連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 ウエスト 2 号館 1104 号室 TEL 092-802-3392



(a) 相互干渉無し

図-6 シミュレーション結果

膜傷と短絡しているためと考えられる.塗膜傷間および塗膜傷内の総電気量に基づき算出した腐食速度を図-5 に示 す. なお,傷間距離 d が 30 および 40mm の場合においては,試験途中で異常電流が計測されたために,データロス としている.マクロセル腐食による腐食量は、塗膜傷間において腐食量に偏りがあるが、dの増加に伴い腐食量が 減少する傾向にある.また、その腐食量は d が小さい場合において、塗膜傷内の自己腐食とほぼ同等の値を示して いるために、塗膜傷間の相互干渉の影響は大きいと言える. 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<sub>mean</sub> と最大腐食深さ d<sub>max</sub> 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、同様の初期傷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. 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気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) M. Stern and A. L. Geary, "Electrochemical Polarization : I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves", Journals of the Electrochemical Society, Vol.104, No1, pp.56-63(1957).
- 2) 貝沼重信,鄭映樹,宇都宮一浩,安鎭熙: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.
- 3) 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.