

# 塗装鋼部材の線・帯状塗膜欠陥から進行する腐食挙動の数値シミュレーション

九州大学大学院 学生会員 ○林秀幸

九州大学大学院 正会員 貝沼 重信

九州大学

学生会員 小林 淳二

**1. はじめに** 腐食性が高い環境における塗装鋼構造物では、紫外線等による塗膜劣化前に線傷などの塗膜欠陥が起点となり、腐食が発生・進行する場合がある。そのため、鋼構造物を経済的に維持管理する上で、塗膜欠陥から発生する腐食の経時挙動を予測することが重要となる。そこで、本研究では線・帯状の人工欠陥を有する塗装鋼板の腐食促進試験の結果に基づき、腐食表面性状の数値シミュレーションの手法を提案した。

**2. 腐食促進試験** 線状の塗膜欠陥から進行する腐食の経時挙動を把握するために、塗装鋼板を用いて複合サイクル腐食促進試験 (JIS K5600 サイクルD) を行った。試験体はウェザロサイズ (150×70×6mm, JIS G3106 SM490A材) の鋼板表面にA-5塗装を塗布し、裏面をシリコン樹脂で被覆することで製作した。また、図-1に示すように、試験体に幅 $b$ を0.2, 10および20mm, 長さ $l$ を80mmとした線・帯状の露出部を機械加工で導入した。 $b$ が0.2mmの場合は、スクラッチによる線状欠陥を想定している。また、10mmと20mmの場合については、塗膜下腐食による塗膜剥離後を想定するとともに、 $b$ が腐食挙動に及ぼす影響を検討するため、帯状欠陥としてモデル化とした。試験終了後は塗膜と腐食生成物の除去後にレーザーフォーカス深度計 (スポット径: 30 $\mu$ m, 分解能: 0.05 $\mu$ m) を用いて、腐食表面性状を測定した。なお、線状欠陥を導入した試験体については、600cycles終了時に腐食の進行が軽微であったため、腐食試験を継続した。

試験体の腐食深さと腐食表面性状の特性値 (空間統計量) の経時性の検討に際して、異なる腐食性状が混在している腐食表面性状を回帰樹分析<sup>1)</sup>を行うことで、同様の腐食特性と見なせる腐食領域に分割した。また、この分割後の各領域について腐食表面性状を定量的に評価するためにセミバリオグラム分析<sup>2)</sup>を行い、平均腐食深さ $d_{\text{mean}}$  (mm), 最大腐食深さ $d_{\text{max}}$  (mm), 空間統計量であるレンジ $h$  (mm)およびシル $\gamma$  (mm<sup>2</sup>)を算出した。

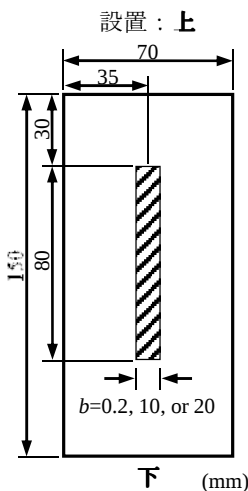


図-1 試験体と塗膜欠陥の形状・寸法

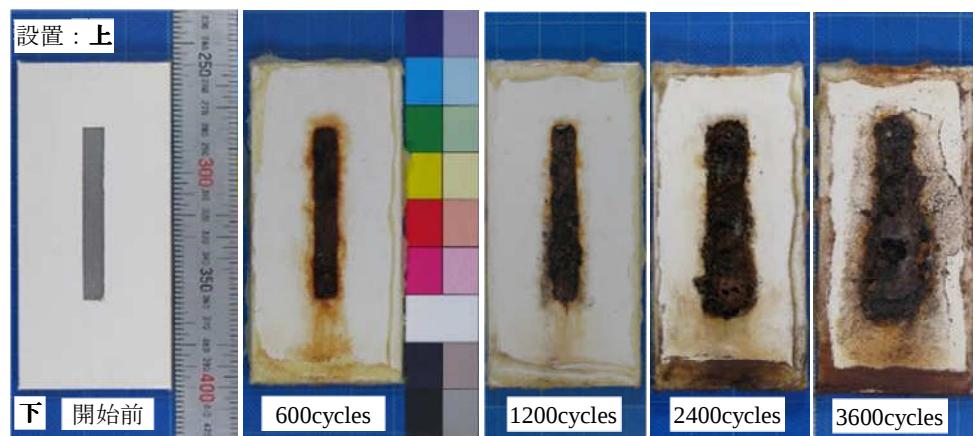


図-2 塗膜欠陥部の腐食状況 (欠陥幅  $b$  : 10mm)

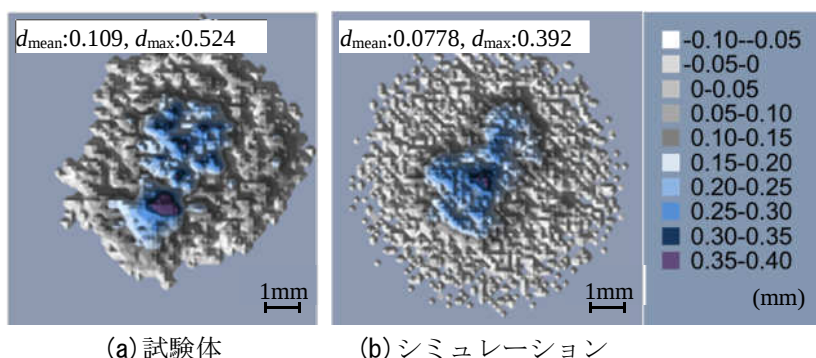


図-3 外周に凹凸を有する円形のシミュレーション

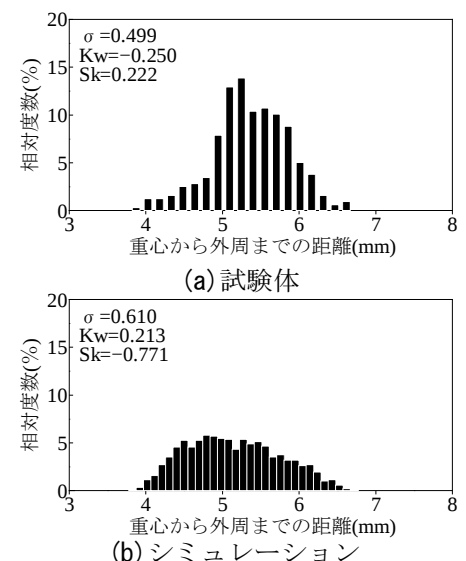


図-4 重心から外周までの距離の相対度数

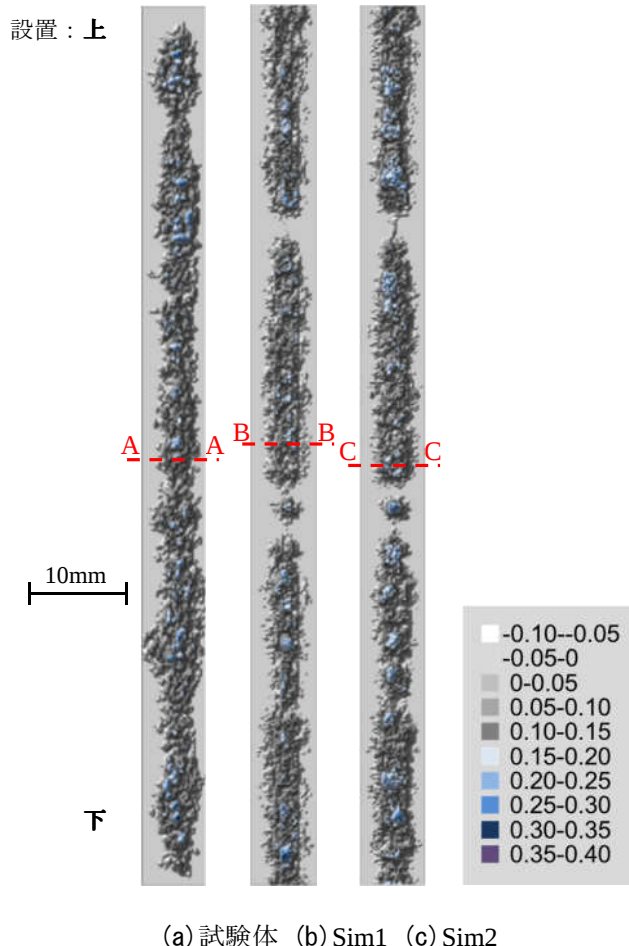


図-5 腐食表面性状 (b=0.2mm, 2400cycles)

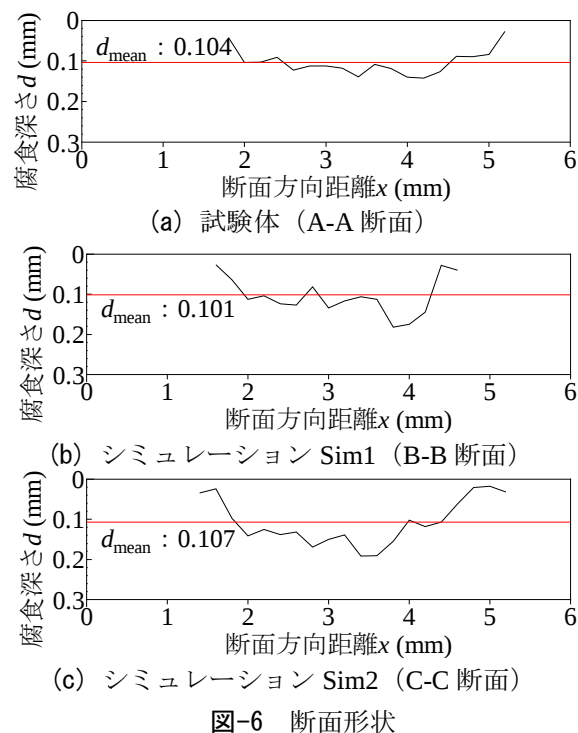


表-1 シミュレーション結果と試験体の比較

|                                  | 試験体   | Sim1  | Sim2  |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| 平均腐食深さ<br>$d_{\text{mean}}$ (mm) | 0.100 | 0.087 | 0.097 |
| 最大腐食深さ<br>$d_{\text{max}}$ (mm)  | 0.355 | 0.330 | 0.311 |

**3. 腐食表面性状の数値シミュレーション** 本研究で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<sup>3)</sup>を適用した。クリギングとは前述の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。クリギングによる数値シミュレーションには、腐食促進試験の試験体から得た $d_{\text{mean}}$ 、 $h$ および $\gamma$ を入力値として用いた。また、線・帯状欠陥からの腐食進行を再現するため、クリギングの対象領域に対し線・帯状の拘束条件を加えた。拘束条件は初期欠陥の塗膜との境界線上に、外周に凹凸を有する円形拘束条件を乱数発生により複数配置することで設定した。この円形拘束条件は、その半径や配置する個数を試験体の腐食領域の幅より決定する。そこで、実現現象の再現性を向上させるために、乱数を用いてその半径を最大25%増減させながら円弧を作成した。

外周に凹凸を有する円形のシミュレーション結果を図-3に示す。シミュレーション結果から得られた $d_{\text{mean}}$ と $d_{\text{max}}$ は、試験結果に対して20%程度の誤差で再現できている。シミュレートした円形の重心から外周までの距離の相対度数を図-4に示す。標準偏差 $\sigma$ 、歪度 $K_w$ 、尖度 $S_k$ の傾向に差異があるが、重心から外周までの距離の範囲は、乱数を用いてその半径を最大25%増減させることで良く再現できている。

前述した拘束条件を用いて、線・帯状欠陥のシミュレーションを行った。試験体、シミュレーション結果のSim1およびSim2の腐食表面性状を図-5に、同図中の破線における断面を図-6に示す。また、それらの各腐食深さを表-1に示す。ここでは、2400cycles後における $b$ が0.2mmの試験体を対象としたシミュレーション結果の例を示す。シミュレーションの腐食面積、概形などは試験体を良く再現できている。しかし、同程度の腐食深さの断面に着目した場合、図-6(a)と比して図-6(b)は凹凸が不連続になっている箇所が確認できる。これは、回帰樹分割して各々の領域についてシミュレーションを行い、合成したことに起因する。そこで、シミュレーション時に隣接する領域との境界部の腐食深さを拘束条件に加えて、Sim2を実施した。これにより図-6(c)では断面の連続性が保たれている。また、表-1に示す $d_{\text{mean}}$ はSim1に比べて、試験体の腐食性状を良く再現できている。

**4. まとめ** 空間統計学的手法を用いることで、線・帯状の欠陥から進行する鋼材の腐食表面性状を数値シミュレートとする手法を提案した。

**参考文献** 1) 貝沼重信, 細見直史, 後藤淳, 伊藤義人: 海洋環境下における長尺鋼部材の腐食挙動の評価・予測に関する基礎的研究, 土木学会論文集A, Vol.65, No.2, pp.440-453, 2009., 2) 貝沼重信, 細見直史: 鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的腐食表面性状の数値シミュレーション, 土木学会論文集, Vol.62, No.2, pp.440-453, 2006., 3) 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.