

### 円形塗膜欠陥を起点とする鋼部材の腐食挙動の予測手法に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○宇都宮一浩  
九州大学大学院 正会員 貝沼 重信  
九州大学大学院 学生会員 林 秀幸

**1. はじめに** 塩環境における塗装鋼構造物では、塗膜が紫外線等により劣化する前に、ピンホールや線傷などの塗膜欠陥が起点となり、腐食が発生・進行することが少なくない。そのため、鋼構造物を経済的に維持管理するためには、これらの欠陥部から発生する腐食挙動の経時性を予測することが重要となる。そこで、本研究では円形の人工欠陥を有する塗装鋼板を用いて腐食促進試験を行った。また、その試験体の腐食表面性状をセミバリオグラム分析し、空間統計量を定量評価した上で、腐食表面性状の数値シミュレーション手法を検討した。

**2. 腐食促進試験** 円形の塗膜欠陥から進行する腐食の経時挙動を定量評価するために、塗装鋼板を用いた複合サイクル腐食促進試験 (JIS K 5600 サイクルD) を行った。試験体はJIS G3106 SM490Aの鋼板 (150×70×6mm) の表面にA-5塗装を施し、裏面と側面をシリコン樹脂でシーリングすることで製作した。また、図-1に示すように、塗装面に直径φを1, 3, 10, 15および20mmとした円形露出部を機械加工により設けた。試験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: 30μm, 分解能: 0.05μm) を用いて、腐食表面性状を測定した。なお、φが1mmの試験体は、600cycles終了時における腐食の進行が軽微であったため、試験を継続した。

腐食表面のレーザー測定結果に基づき、腐食深さと腐食表面性状の特性値 (空間統計量) の経時性を検討した。この検討では、腐食表面性状を定量評価するためにセミバリオグラム分析<sup>1)</sup>を行うことで、空間統計量であるレンジh (mm)とシルγ (mm<sup>2</sup>) を算出した。d<sub>mean</sub>とd<sub>max</sub>, hおよびγ<sup>1/2</sup>の関係を図-2に示す。d<sub>mean</sub>とd<sub>max</sub>, hおよびγ<sup>1/2</sup>の関係は、概ね線形関係にあると言える。φが15mmと20mmの場合、φが1mm, 3mm, 10mmの場合に比して大きくなっている。これは、局部腐食と全面腐食が混在しているためと考えられる。

**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、空間計学

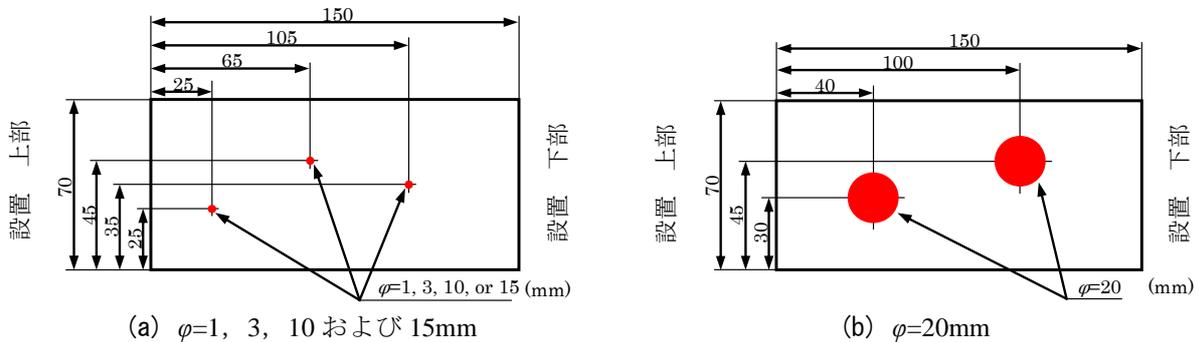


図-1 試験体と欠陥の形状・寸法

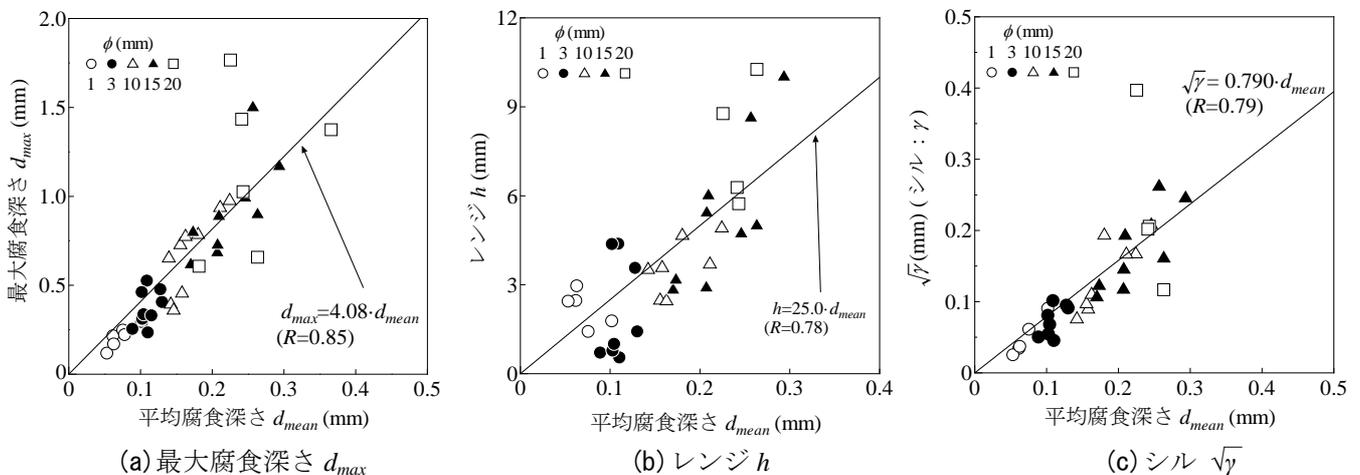


図-2 平均腐食深さ d<sub>mean</sub> と最大腐食深さ d<sub>max</sub>, レンジ h およびシルγ<sup>1/2</sup> の関係

キーワード 腐食, 塗装, シミュレーション, バリオグラム, クリギング, 回帰樹  
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡744 九州大学大学院 工学府 都市環境システム工学専攻 TEL092-802-3392

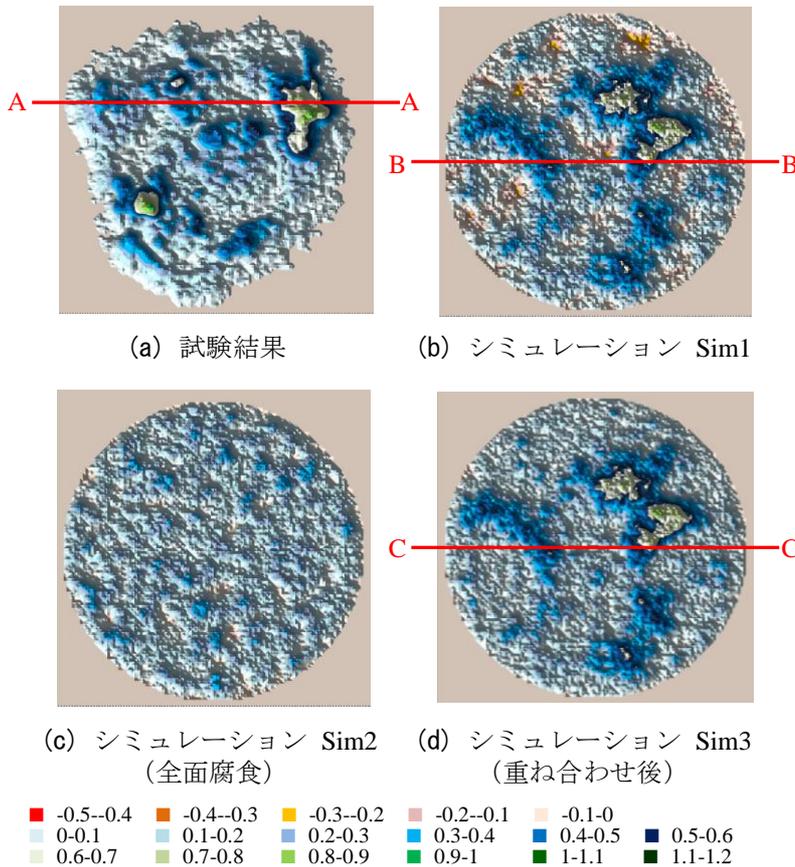


図-3 腐食表面性状 ( $\phi=10\text{mm}$ , 2400cycles)

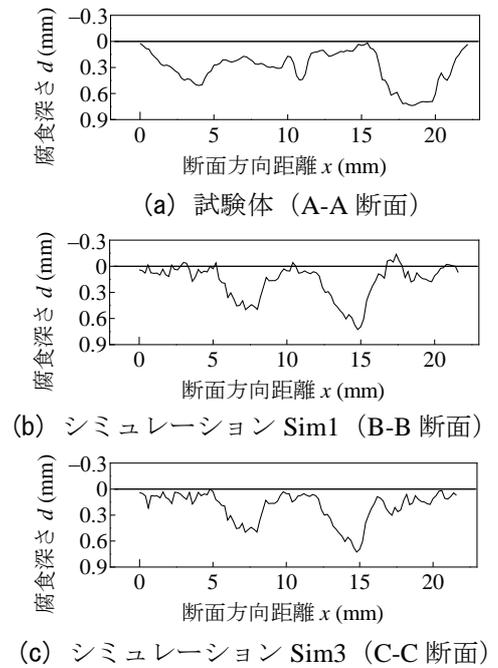


図-4 断面形状

表-1 シミュレーション結果と試験体の比較

|                                  | 実験    | Sim1  | Sim3  |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| 平均腐食深さ<br>$d_{\text{mean}}$ (mm) | 0.211 | 0.182 | 0.219 |
| 最大腐食深さ<br>$d_{\text{max}}$ (mm)  | 0.936 | 0.861 | 0.861 |

的手法の1つであるクリギング<sup>1)</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、前述の腐食促進試験から得られた $d_{\text{mean}}$ ,  $h$ および $\gamma$ を用いた。また、円形欠陥を起点とした腐食の進行を再現するため、クリギングの対象領域に対し円形の拘束条件を加えた。拘束条件は腐食領域の面積と等価となる半径を有する円を算出することで決定した。ここでは、 $\phi$ が10mmの試験体の腐食サイクルが2400cyclesにおけるシミュレーションの結果を示す。

実験結果とシミュレーションの結果Sim1の腐食表面性状を図-3(a)と図-3(b)に、同図中の破線における断面を図-4(a)と図-4(b)に示す。また、平均腐食深さ $d_{\text{mean}}$  (mm)と最大腐食深さ $d_{\text{max}}$  (mm)を表-1に示す。シミュレーションの全面腐食に対する局部腐食の面積や局部腐食の発生間隔などについては、試験体を良く再現できている。しかし、図-3と図-4ともに、Sim1において腐食深さが負値を示す領域が存在している。腐食深さを正值とした場合、負値は鋼材の膨れを示すことになる。この影響は表-1に示す平均腐食深さ $d_{\text{mean}}$ の比較にも表れている。これは、本来のクリギングによるシミュレーションの領域は無制限であるのに対し、本研究では拘束条件を設け、有限領域としたためと考えられる。なお、図-3から判断すると、Sim1における負値の領域は、試験体において腐食の程度が小さい全面腐食部に相当すると考えられる。そこで、全面腐食を想定した入力値により別途シミュレーションを実施し、Sim1と重ね合わせた。その際に、試験体の腐食表面性状の回帰樹分析<sup>2)</sup>を行い、分割後の全面腐食領域においてセミバリオグラム解析を行った。この結果から得られた $d_{\text{mean}}$ ,  $h$ および $\gamma$ を用いてSim2を実施した。

Sim2および重ね合わせ後のシミュレーション結果Sim3を図-3(c)と図-3(d)に示す。また、Sim3の断面を図-4(c)に示す。Sim3はSim1に比して負値の領域が減少している。また、表-1の $d_{\text{mean}}$ と $d_{\text{max}}$ の値から、本シミュレーションの手法を用いることで、JIS K 5600 サイクルDの環境における円形塗装欠陥の経時腐食表面を再現できると言える。

**4. まとめ** 1) 円形の塗膜欠陥から進行する鋼板の経時腐食挙動を定量的に明らかにした。2) 全面腐食を想定したクリギングの手法に拘束条件を加え、円形の塗膜欠陥から進行する腐食の表面性状を数値シミュレートする手法を提案した。今後は、様々な腐食環境における塗装部材の経時腐食挙動の予測手法について検討する予定である。

**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) 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.