

円形塗膜欠陥から進行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

1. はじめに 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、塗装仕様の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損傷の進行挙動を予測することが重要となる。本研究では円形の人工欠陥を有する塗装鋼板の腐食促進試験を行い、その結果に基づいた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SM490A材 (JIS G3106, 150×70×6mm) の表面にA-5塗装を施し、裏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で設けた。試験後は塗膜および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 μ m, 分解能: 0.05 μ m) を用いて、腐食表面性状を測定した。なお、 $\phi=1$ mmの試験体は、600cycles終了時に腐食の進行が軽微であったため、データ収集を行わず、試験を継続した。

レーザー測定結果から、腐食深さおよび腐食表面性状の特性値 (空間統計量) の経時性について検討した。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¹⁾を行い、空間統計量であるレンジ h (mm)とシル γ (mm²)を算出した。また、平均腐食深さ d_{mean} (mm)と最大腐食深さ d_{max} (mm)、 h および γ の相関を検討するために、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²⁾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。この分割後の各領域について d_{mean} , d_{max} , h および γ を算出した。

d_{mean} と d_{max} , h および γ の関係を図-2に示す。図-2(a)~(c)の全てにおいて $\phi=15$ と20mmの値が他の ϕ に比して大きい。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。しかし、得られた各関係式の相関係数 R は概ね高い値を示している。

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、空間計量的手法の1つであるクリギング³⁾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

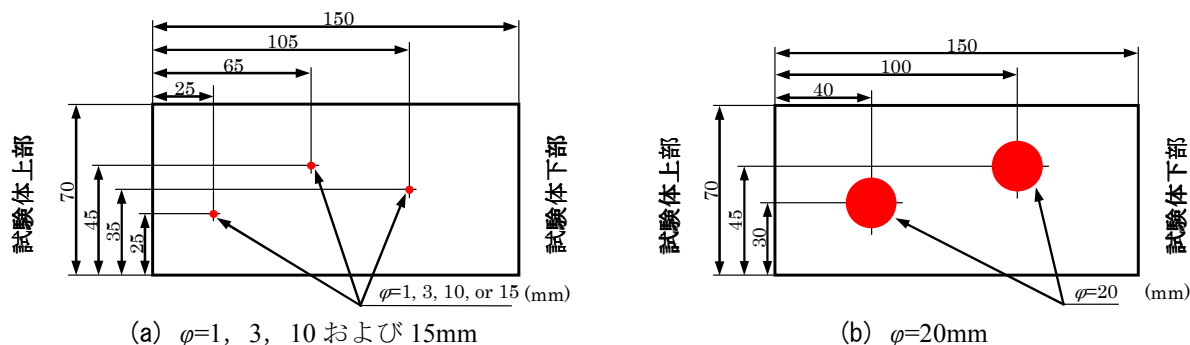


図-1 試験体と欠陥の形状・寸法

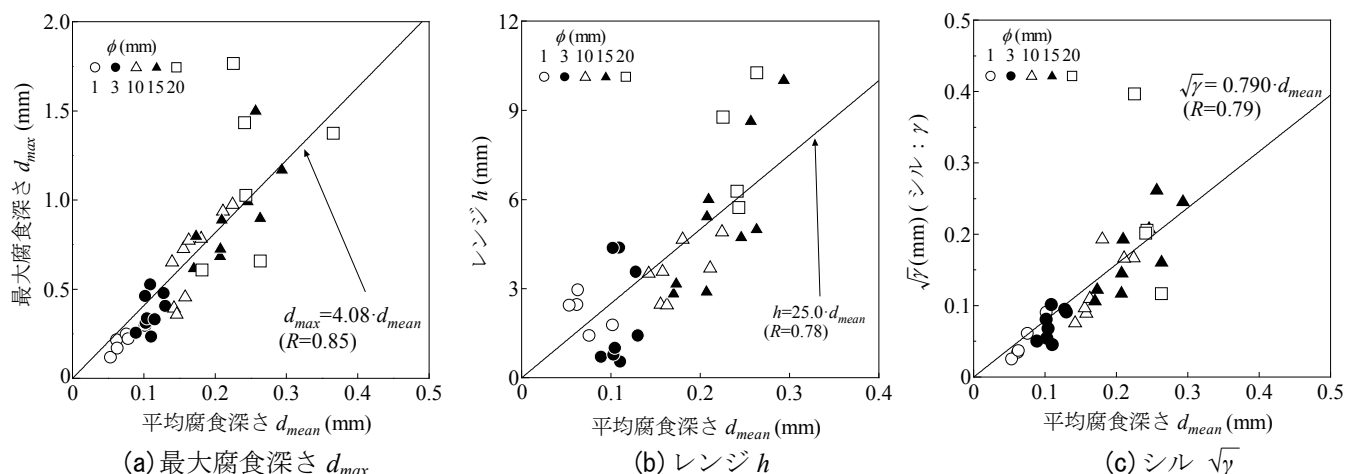


図-2 平均腐食深さ d_{mean} と最大腐食深さ d_{max} , レンジ h およびシル $\sqrt{\gamma}$ の関係

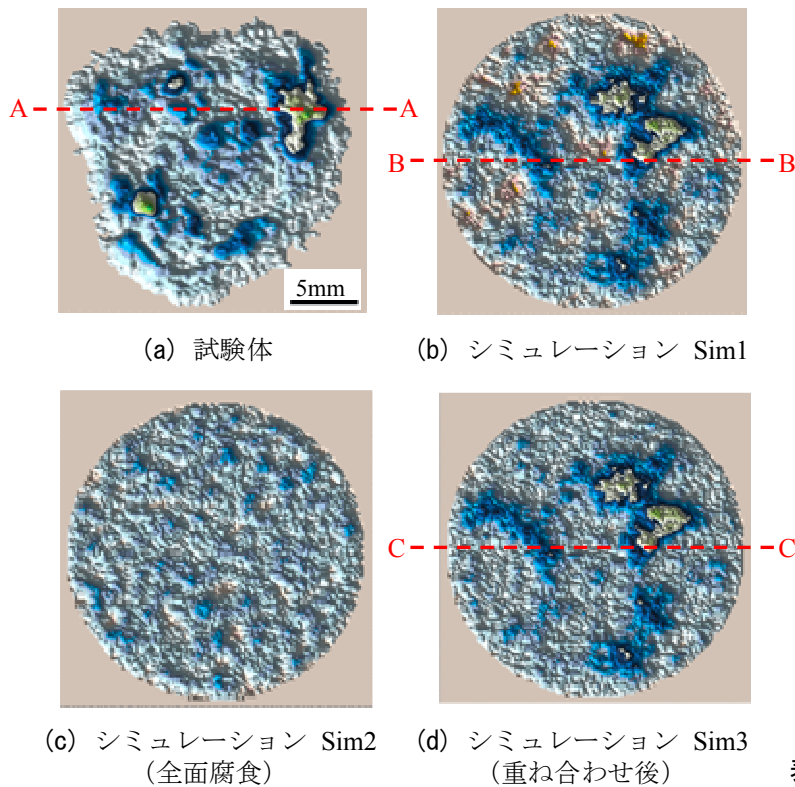


図-3 腐食表面性状 ($\phi=10\text{mm}$, 2400cycles)

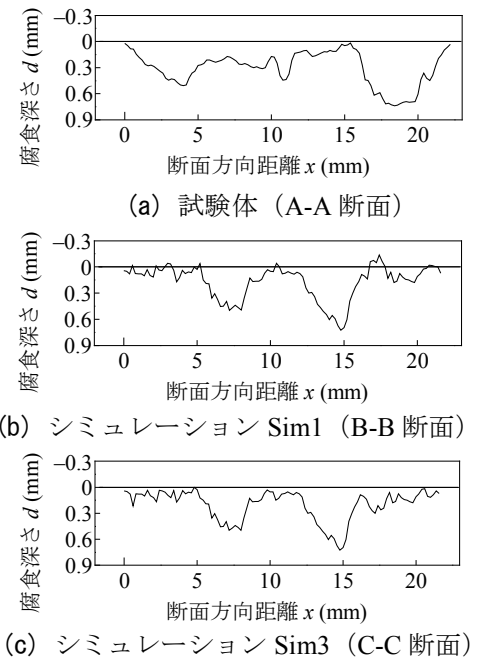


図-4 断面形状

表-1 シミュレーション結果と試験体の比較

	試験体	Sim1	Sim3
平均腐食深さ d_{mean} (mm)	0.211	0.182	0.219
最大腐食深さ d_{max} (mm)	0.936	0.861	0.861

シミュレーションには、前述の促進試験の試験体から得た d_{man} 、 h および γ を入力値として用いる。また、円形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円形の拘束条件を加えた。拘束条件は試験体の腐食損傷による劣化領域に対し円相当径を算出することで決定した。ここでは、一例として2400cycles経過後における $\phi=10\text{mm}$ の試験体を対象としたシミュレーション結果を示す。

試験体とシミュレーション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、各腐食深さの比較を表-1に示す。シミュレーションの局部腐食の占める面積、間隔など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。腐食深さを正値とした場合、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_{mean} の比較にも表れている。これは、クリギングによるシミュレーション領域が四角形であるのに対し、本研究では円形の周囲を0として拘束条件を設けたために、それらの拘束値が影響したと考えられる。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との重ね合わせを行った。そのため、試験体の腐食表面性状に対して回帰分析²⁾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。これにより得られた d_{mean} 、 h および γ 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_{mean} と d_{max} の値から、本シミュレーションを行うことで、試験体の腐食表面を再現できると言える。

4. まとめ 1) 塗装鋼板の円形欠陥から進行する腐食の経時挙動を明らかにした。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ることで、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、経時腐食的挙動に対する本予測手法の適用性について検討する予定である。

参考文献 1) 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., 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., 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.