

7. 海洋暴露した鋼材の腐食表面性状の数値シミュレーション

後藤 淳

1. 目的 海洋環境下に曝される鋼部材の飛沫帯では、乾湿が繰り返されることで腐食が著しく進行する場合が多い³⁾。そこで、本研究では、この部位の腐食挙動を精度良く評価・予測するための基礎的検討を行うことを目的とする。そのため、19.5年間海洋暴露された無塗装山形鋼の腐食表面性状を測定した。また、その腐食の特性値を空間統計学的手法により抽出することで腐食表面性状の数値シミュレーションを行った。

2. 内容

2.1. 試験体の腐食表面性状 試験体の暴露位置と形状・寸法を図-1に示す。図中に海洋暴露時の東京湾平均海面(T.P.±0)、平均満潮面(H.W.L.)、平均干潮面(L.W.L.)の位置および暴露の方角を示す。暴露した山形鋼の寸法は、140×140×20×3800mmである。試験体はすべてこの山形鋼のA面から図-1(a)および(b)に示すように、計17体切り出した。その後、試験体の表面に生成されたさびをブラスト処理により除去した。

試験体の表面性状は、レーザーフォーカス深度計(分解能:0.1μm)を用いて計測した。試験体の表裏面の腐食深さは、暴露前の表裏面の位置が把握できないため、表裏で腐食速度が等しいと仮定することで算出した。この結果から得られた板幅方向の平均板厚減少量を図-2に示す。平均満潮面より上側の飛沫帯において、腐食が特に厳しく進行している。飛沫帯の領域内については、位置によって腐食の度合いに違いがある。これは乾湿の繰り返しによる水膜の厚さの違いによるものと考えられる。すなわち、水膜が薄いとカソード反応が進行するために必要な水量が不足する。逆に、水膜が厚いと大気中の酸素が金属表面に拡散供給される速度が遅くなるため、腐食速度が減速する³⁾。また、位置によって飛沫量が異なるため水膜の厚さの変化速度も異なり、腐食の度合いの違いが生じたことも考えられる。

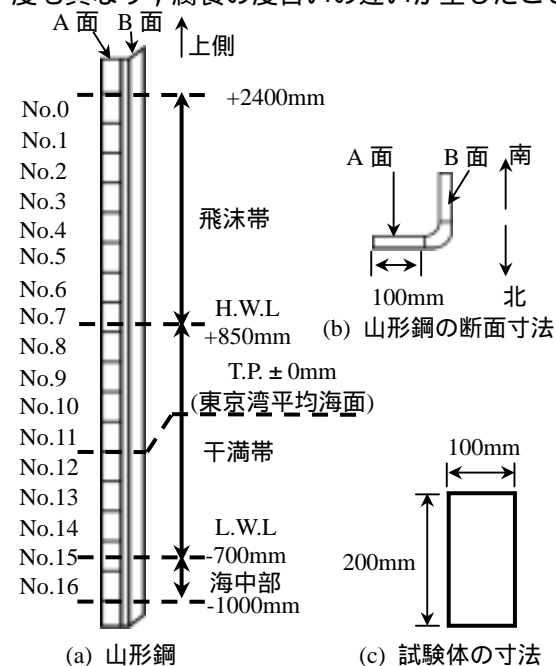


図-1 試験体の暴露位置と形状・寸法

2.2. 腐食表面性状の特性値

2.2.1. 腐食領域の分割 全面腐食と局部腐食が混在している場合、腐食深さの確率分布を一つの確率密度関数で表現できない¹⁾。そこで、回帰樹分析により腐食領域を分割することとした。この結果を図-3に示す。図中の数値は各領域の平均腐食深さを示している。この結果から長手方向に分割線が引かれた領域は材端部の腐食や山形鋼の冷間曲げ加工による影響を含む腐食領域だと考えられる。そこ

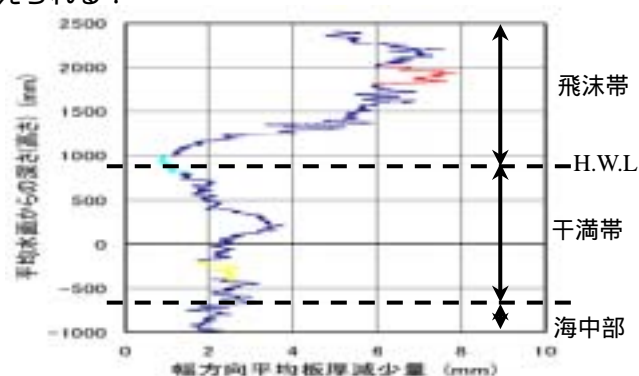


図-2 幅方向平均板厚減少量

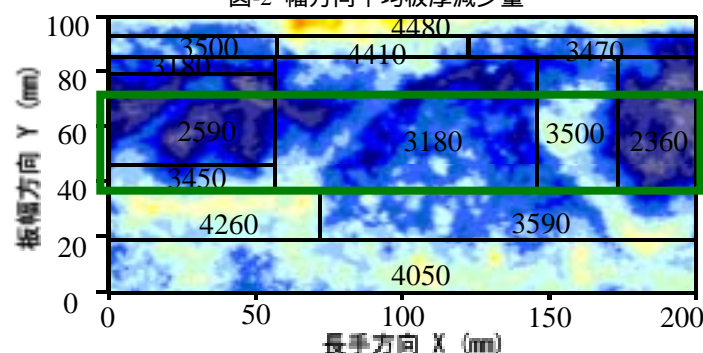


図-3 回帰樹分割

分割された領域内の数字：その領域内の平均腐食深さ(μm)

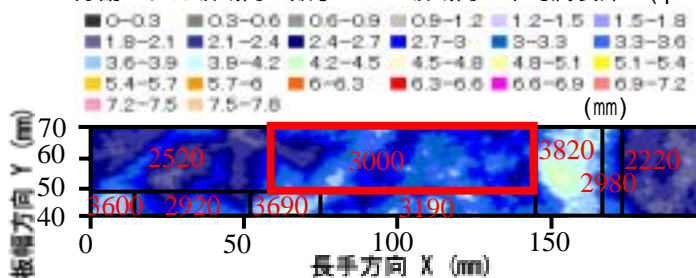


図-4 腐食表面性状

で、以下の検討では、本研究で着目しないこれらの腐食領域を無視することとした。すなわち、図-3の緑枠内を対象領域とした。対象領域についてさらに回帰樹分割した結果を図-4に示す。また、本研究では、この対象領域の平均腐食深さよりも腐食深さが小さい領域(赤字の領域)を全面腐食の領域、大きな領域(黒字の領域)を局部腐食の領域と定義した。

2.2.2. バリオグラム 前述したように、全面腐食と局部腐食が混在しており、互いに独立した関係にあるため、これらの腐食を個別に検討する必要がある¹⁾。そこで、腐食領域毎にバリオグラム解析を行うことで表面性状の特性値を抽出した。バリオグラムの例を図-5に示す。本研究ではバリオグラムにより推定されたレンジ h とシル の平均値を全面腐食と局部腐食の領域毎に求め、各領域の腐食特性値とした。

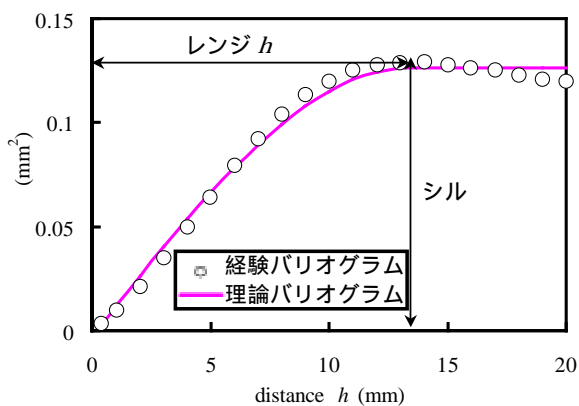
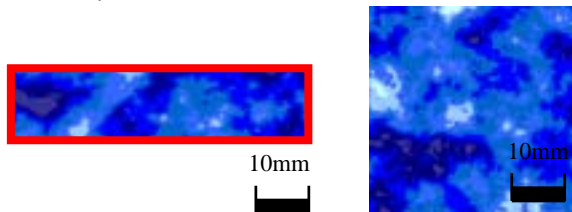


図-5 バリオグラム



(a) 試験体(図-4の赤字領域) (b) シミュレーション

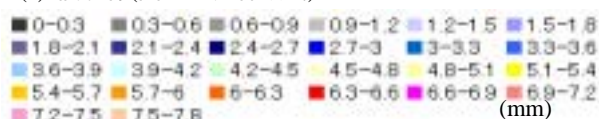


図-6 腐食表面性状

2.3. 数値シミュレーション 腐食表面性状の数値シミュレーションは以下に示す手順で行った。

- 1) 腐食データを生成する全面腐食、局部腐食の領域(確率場)を設定する。
- 2) 1)の各領域に計測データより算出したレンジ h とシル に基づき、球型モデルの共分散関数を用いて、平均 0mm 、共分散 σ^2 の空間的自己相関構造を有する正規乱数を発生させる。
- 3) 2)の結果に各領域の平均腐食深さ μ を加算することで平均 μ 、共分散 σ^2 の空間的自己相関構造を有する正規確率場を生成する。
- 4) 最後に、3)の確率場を合成することで腐食データを生成する。確率場の合成の際には、各格子点の腐食深さが最大となるデータを採用する。

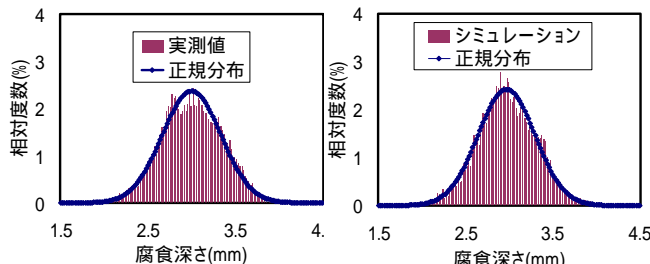
シミュレーションには、以下に示す仮定を用いた。

- a) 腐食深さの自己相関構造は、球型モデルの共分散関数に従う。
- b) 各種(全面腐食、局部腐食)の腐食現象は、互いに独立である。
- c) 各種腐食深さの確率分布は、正規分布に従う。
- d) 各種領域内では、2次定常性が成立する。

数値シミュレーションの対象領域の腐食表面性状を図-6(a)に示す。この領域の表面性状から抽出した特性値に基づき、腐食表面性状の数値シミュレーションを行った。その腐食表面性状を図-6(b)に示す。シミュレーションの腐食表面性状は対象領域の腐食表面性状と類似している。また、図-7に図-6の腐食表面性状から得られた腐食深さのヒストグラムと各種統計量を示す。表-1に示す各種統計量はほぼ一致している。したがって、本数値シミュレーションにより、対象領域の腐食表面性状をほぼシミュレートできると言える。

3. 結論 本研究では、海洋暴露された試験体の腐食の特性値を用いた数値シミュレーションを行った。その結果、海洋環境下に曝される鋼部材に生じる全面腐食と局部腐食の自己相関構造はバリオグラムの球型モデルの共分散関数によりレンジとシルで推定できることが明らかになった。

参考文献 1)貝沼重信, 細見直史, 金仁泰, 伊藤義人: 鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的な腐食挙動に関する研究, 土木学会論文集, No.780, I-70, pp.97-114, 2005. 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, 2006. (投稿中), 3)防錆・防食技術総覧編集委員会: 防錆・防食技術総覧, pp99-112, pp121-135, 2000.



(a) 試験体 (b) シミュレーション

図-7 ヒストグラム

表-1 各統計量と誤差

	試験体	シミュレーション	誤差(%)
相関係数R	0.998	0.992	-0.608
平均 μ (mm)	3.00	3.08	2.68
標準偏差	0.337	0.345	2.442
最頻値 M_0	3.020	3.160	4.636
歪度 γ_3	-0.173	-0.037	-78.380
尖度 γ_4	2.501	2.709	8.346
変動係数	0.112	0.112	-0.236