

大気環境における普通鋼板と耐候性鋼板の腐食表面性状の空間統計シミュレーション

九州大学大学院 学生会員 ○宮崎 泰樹

九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信

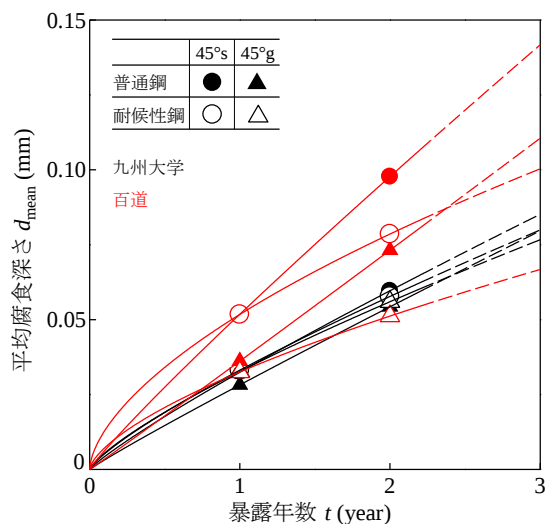
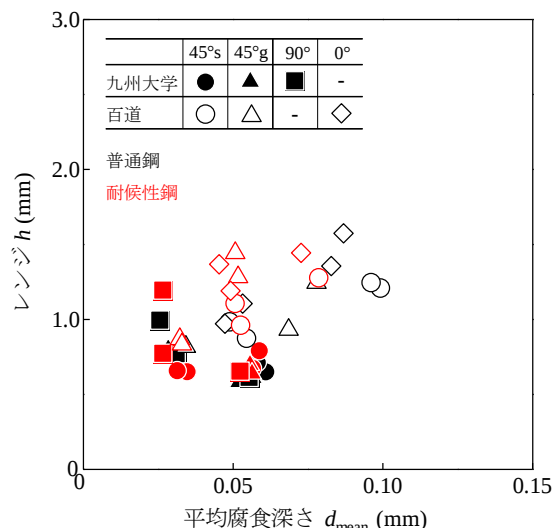
1. はじめに 鋼構造物を適切に維持管理するためには様々な大気環境における部位レベルの腐食性を把握する必要がある。先行研究では大気暴露試験が実施され¹⁾²⁾、腐食表面性状を空間統計学的にシミュレートする手法が提案されている³⁾。しかし、耐候性鋼板の腐食表面性状の空間統計量については解明されておらず、そのシミュレーションも実施されていない。そこで、本研究では付着海塩の雨洗作用の有無に着目した大気環境で普通鋼板と耐候性鋼板の暴露試験を行い、それらの腐食表面性状に対する空間的自己相関構造を明らかにした上で、空間統計シミュレーションを実施した。

2. 大気暴露試験とシミュレーションの方法 大気暴露試験の試験体には、熔融アルミナサンド（モース硬度：12，JIS 粒度指数：57.8，比重：4.0）でブラスト処理（ISO 8501-1 Sa2.5）した JIS G 3106 SM490A 材（以下、普通鋼）および JIS G 3114 SMA490A W 材（以下、耐候性鋼）を用いた。試験体の寸法は、150×70×6mm である。なお、試験体の大気暴露対象面以外の領域は、シリコンシーリング材で防食した。大気暴露試験は東側海岸線から約 2.9 km，西側海岸線から約 5.3km に位置し、付着海塩の雨洗作用がある九州大学伊都キャンパス構内（Lat.33°35'N, Long.130°12'E）（以下、九州大学）および博多湾の海岸線から約 50m 南に位置し、雨洗作用が無い福岡北九州高速道路 1 号線の橋梁下（Lat.33°35'N, Long.130°21'E）（以下、百道）で実施した。暴露地点の大気環境を表-1 に示す。飛来海塩量はドライガーゼ法（JIS Z 2328）により測定した。九州大学では水平に対して 45°と 90°で試験体を設置し、百道では 45°と 0°で設置した。0°は対空面，45°は対空面および対地面（以下，45°s，45°g）を検討対象とした。暴露期間は 2015 年 12 月～2017 年 12 月の 2 年間であり、各年で試験体を回収した。平均腐食深さ d_{mean} は腐食生成物除去後の重量減少量から算出した。試験体の腐食表面性状はレーザーフォーカス深度計（スポット径：30μm，分解能：0.05μm）を用いてピッチ 0.2mm で測定した。また、試験体の腐食表面における空間的自己相関構造を明らかにするために、セミバリオグラム解析を行い、空間統計量（レンジとシル）を測定した。空間統計量の算出には経験バリオグラムを用い、理論バリオグラムには球型バリオグラムモデルを用いた。腐食表面性状のシミュレーションは、バリオグラム解析で得られた空間的自己相関構造を満たす正規乱数場を発生させることで行った。シミュレーションには各試験体から算出した平均腐食深さ d_{mean} ，およびレンジ h とシル γ の空間統計量を用いた。

3. 大気暴露試験とシミュレーションの結果 水平に対して 45°に設置した各試験体の対空面と対地面における平均腐食深さ d_{mean} と暴露年数 t の関係を図-1 に示す。図中のプロットは 2 体の試験体から算出した平均値を示している。九州大学では百道に比して、対空面と対地面で腐食の進行性の差異が小さくなっている。これは雨洗作用により、対象面に蓄積される飛来海塩量の差異が小さくなったためと考えられる。レンジ h と平均腐食深さ d_{mean} の関係、およ

表-1 暴露地点の大気環境

暴露地点	気温 t (°C)	相対湿度 RH (%)	飛来海塩量 w (mdd)	日平均降水量 P (mm/day)	温湿度測定期間	飛来海塩測定期間
九州大学	17.5	78.5	0.5	6.2	2016/01-2017/01	2014/05-2016/05
百道	18.0	75.0	0.6	4.9	2008/05-2012/04	2009/12-2010/12

図-1 平均腐食深さ d_{mean} の経時性図-2 レンジ h と平均腐食深さ d_{mean} の関係

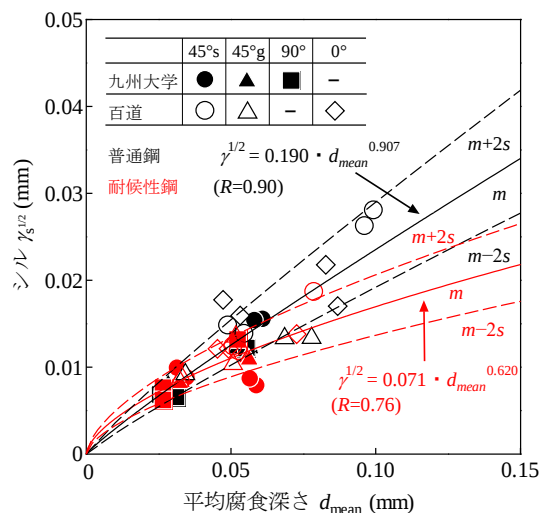
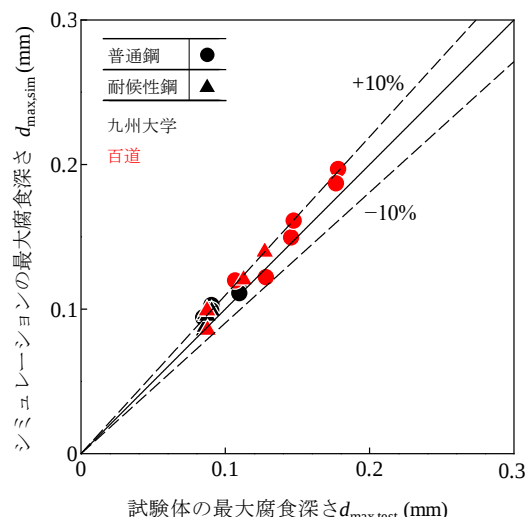
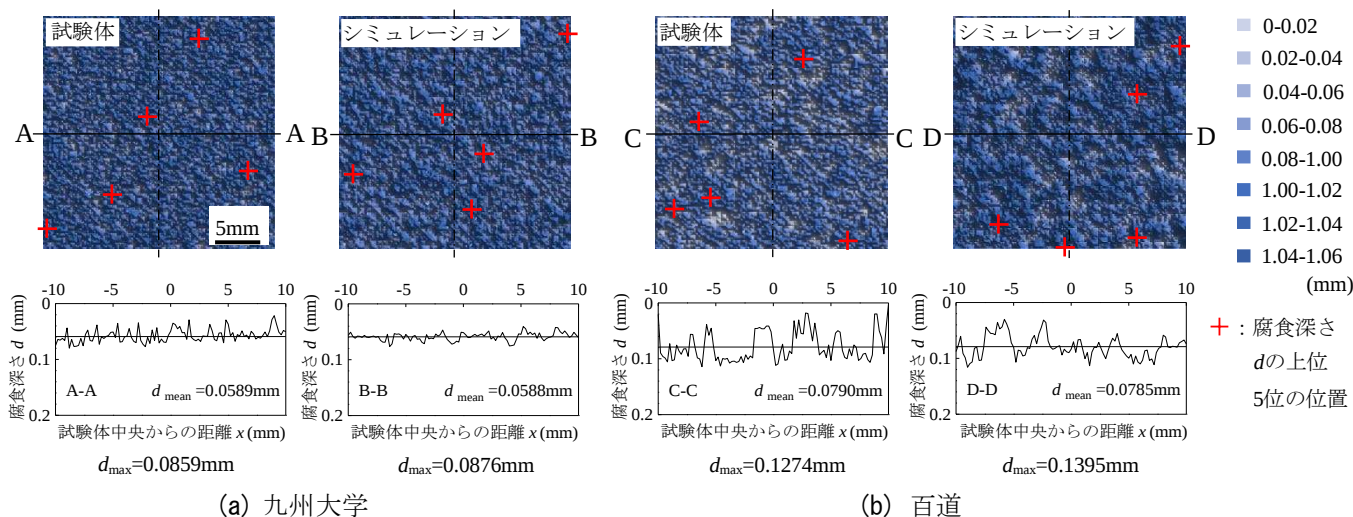
図-3 シル γ と平均腐食深さ d_{mean} の関係図-5 試験体とシミュレーションの最大腐食深さ d_{max} の関係

図-4 試験体の腐食表面性状とシミュレーションの結果

ピシル γ と d_{mean} の関係をそれぞれ図-2 と図-3 に示す. なお, h と γ は, 試験体の中央部 $20 \times 20 \text{ mm}$ の領域に対して, セミバリオグラム解析を実施することで算出した. 図-3 中の実線は d_{mean} に対する $\gamma^{1/2}$ の回帰曲線 m である. また, 破線は $m \pm 2s$ (s : 標準偏差) を示している. h と d_{mean} の関係は, 試験体の設置角度や暴露地点により異なっている. 百道では d_{mean} が増加するにしたがって h が増加するが, 九州大学については減少する傾向にある. $\gamma^{1/2}$ と d_{mean} の関係については, いずれの腐食環境においても, ほぼ同様の傾向となっている. 鋼種によらず, 数プロットを除く全プロットが m の $\pm 2s$ 内にあることから, 比較的ばらつきは小さいと言える. したがって, 本暴露試験における γ と d_{mean} の関係は, 設置角度や暴露地点によらず, 図中の回帰式で表すことができる. 耐候性鋼板の 45°s を対象としたシミュレーション結果とその暴露試験体の腐食表面性状を図-4 に示す. シミュレーションの腐食孔の開口幅や深さは, 試験体の腐食表面性状の傾向と良く一致している. シミュレーションと試験体の最大腐食深さ d_{max} の関係を図-5 に示す. d_{max} は腐食深さの上位 5 位の位置の分散を確認した上で, それらの腐食深さのデータの平均値で定義した. 試験体の $d_{\text{max,test}}$ に対する, シミュレーションの $d_{\text{max,sim}}$ の差異は, $\pm 10\%$ 程度になっている. 以上の結果から, 本シミュレーションの手法と条件を適用することで, 耐候性鋼板の腐食表面性状や d_{max} を精度良く推定できると言える.

4. まとめ 1) 耐候性鋼板の平均腐食深さと空間統計量 (レンジ, シル) には, 普通鋼板と同様に相関関係がある 2) 1) の空間統計量に基づき, 空間統計シミュレーションを実施することで, 耐候性鋼板の腐食表面性状や最大腐食深さを精度良く推定できる.

【参考文献】 1) 貝沼重信, 山本悠哉, 伊藤義浩, 宇都宮一浩, 押川渡: 腐食生成物層の厚さを用いた無塗装普通鋼材の腐食深さとその経時性の評価方法, 材料と環境, Vol.61, No.12, pp.535-540, 2012. 2) S. Kainuma, Y. Yamamoto, J.H. Ahn and Y.S. Jeong: Evaluation method for time-dependent corrosion depth of uncoated weathering steel using thickness of corrosion product layer, Structural Engineering and Mechanics, Vol. 65, No.2, pp.191-20, 2017. 3) 貝沼重信: 大気環境における構造用鋼材の腐食表面性状とその経時性予測, 表面科学, Vol.36, No.1, pp.35-40, 2015.