## 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数値シミュレーション

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 重信九州大学大学院学生会員竹田 智紀九州大学学生会員飯尾 翔磨

**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<sup>1),2)</sup>,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<sup>3)</sup>. 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,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腐食環境で普通鋼板と耐候性鋼板の大気暴露試験を行い,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,空間統計数値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,溶融アルミナサンド(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 SMA490AW 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2.9km、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dmean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:30um,分解能:0.05um)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dmean,およびレンジhとシルy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*<sub>mean</sub> 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

暴露地点	気温 <i>t</i> (°C)	相対湿度 <i>RH</i> (%)	飛来海塩量 w (mdd)	日平均降水量 <i>P</i> (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
平均腐食深さ <i>d</i> <sub>mann</sub> (mm)	0.15 普通鋼 耐候性结 0.10- 九州大 <sup>2</sup> 百道 0.05- 0 0	45°s 45°g ● ▲ 啊 ○ △ ¥	2 year)		45°s 45°g 90°   九州大学 ▲ ■   百道 ○ △ -   普通鋼 耐候性鋼 ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ● ●   ● ● ● ● ● ●   ● ● ●<	
	図-1	平均腐食深さ	d <sub>mean</sub> の経時性	図-2	<b>!</b> レンジhと平均腐	食深さ d <sub>mean</sub> の関係

表-1 暴露地点の大気環境

キーワード 大気暴露試験,耐候性鋼材,腐食深さ,雨洗作用,バリオグラム,クリギング 連絡先〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 ウエスト 2 号館 1104 号室 TEL:092-802-3392



0.14-0.16 -10 0 r -10 0· (mm)-10 0 -10 0 0 0 0 10 10 10 (mm) p いい 0.1 0.2 (mm) (mm) (mm) +:腐食深さ W/ р 100.1 р 100.1 р 40 0.1 ١M ľΛ dの上位 魚深 3 魚深 B-B C-C d mean =0.0790mm D-D =0.0785m A-A d mean =0.0589mm d mean =0.0588mm d mean 5位の位置 輕 0.2 邂 0.2 邂 0.2 試験体中央からの距離 x(mm) 試験体中央からの距離 x (mm) 試験体中央からの距離 x (mm) 試験体中央からの距離 x (mm) d<sub>max</sub>=0.0876mm d<sub>max</sub>=0.1274mm  $d_{max} = 0.0859 \text{mm}$ d<sub>max</sub>=0.1395mm (a) 九州大学 (b) 百道

図-4 試験体の腐食表面性状とシミュレーションの結果

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<sub>mean</sub>の関係,およ びシルγと d<sub>mean</sub>の関係をそれぞれ図-2 と図-3 に示す. なお,h と yt, 試験体の中央部 20×20mm 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<sub>mean</sub>に対する y<sup>12</sup>の回帰曲線 m である.また, 破線は m±2s (s:標準偏差)を示している.hと d<sub>mean</sub>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<sub>mean</sub>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. y<sup>12</sup>と d<sub>mean</sub>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±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 yと d<sub>mean</sub> 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<sub>max</sub>の関係を図-5 に 示す. d<sub>max</sub>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<sub>max,test</sub>に対する,シミュレーションの d<sub>max,sin</sub>の差異は,±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<sub>max</sub>を精度良く推定できると言える.

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.