

寒冷地の海水飛沫環境における裸普通鋼板の腐食挙動に関する基礎的検討

九州大学大学院 学生会員 ○平尾 みなみ 九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
九州大学 学生会員 八木 孝介

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定量的に把握することが重要になる。著者らは構造物の部位レベルの腐食環境を考慮して、付着塩の雨洗効果（以下、雨洗効果）の有無と飛来海塩の多少に着目した4地点で大気暴露試験を行った。また、無塗装普通鋼材の腐食生成物層の厚さから、その平均腐食深さおよび経時腐食深さを推定する手法を提案した¹⁾。しかし、この手法は腐食反応が生じにくい寒冷地については、適用範囲外になっている。そこで、本研究では裸普通鋼板を用いて、寒冷地の海水飛沫環境における大気暴露試験を実施した。また、暴露地点におけるマクロ大気環境を評価するために、飛来海塩量と温湿度をモニタリングした。

2. 大気暴露試験の方法 試験体にはアルミナブラスト処理（ISO 8501-1 Sa2.5）したJIS G 3106 SM490A材（150×70×6mm）を用いた。大気暴露試験は北海道苫小牧市内の南側の海岸から約2mに位置する雨洗効果のある海岸線（Lat.42°35'N, Long.141°27'E）で行った（以下、苫小牧）。本試験では1つの暴露地点で複数のマイクロ腐食環境が異なる暴露データを収集するために、試験体を水平面に対して0°、45°あるいは90°の角度に設置した。0°は対空面（以下、0°s）、45°は対空面および対地面（以下、45°sおよび45°g）を検討対象とした。また、90°の試験体に関しては、海側（以下90°s）を検討対象とした。なお、試験体は対象面（130×50mm）以外をすべてテープにより防錆した。暴露期間は2014/11/08~2015/11/09の約1年間とした。試験終了後の試験体の腐食生成物層の厚さ $t_{r,mean}$ は、電磁式デジタル膜厚計（測定範囲：0~10mm, 分解能：1μm (0~999μm), 0.01mm (1~10mm))を用いて測定した。測定は評価面に対して3点、各点11回²⁾の計33回行い、その平均値を $t_{r,mean}$ として定義した。また、試験体の平均腐食深さ d_{mean} は、腐食生成物をpH1の塩酸系溶液（塩酸9.5%, アルキルトリメチルアンモニウム塩（界面活性剤））を用いて除去し、試験体の重量減少量を電子天秤で測定することで算出した。腐食生成物除去後の試験体の腐食表面性状は、構造化光投影法を用いた非接触式3次元計測装置（測定ピッチ：約0.2mm, 分解能：約0.01mm）を用いて測定し、最大腐食深さ d_{max} を算出した。なお、腐食表面性状の検討領域は、試験体の中央部の40×40mmとした。

3. 大気暴露試験の結果 暴露期間における苫小牧の温度および相対湿度の月平均値は、それぞれ9°Cおよび79%であった。苫小牧における各期間の飛来塩分量 w_{NaCl} の測定結果と、4暴露地点における年平均値³⁾を図-1に示す。なお、文献¹⁾の試験体の寸法は400×60×9mmであり、本試験体の熱容量（228(J/°C)）の約3.4倍である。測定時期によらず、苫小牧の w_{NaCl} は他の4暴露地点の年平均値の4~11倍になっており、著しく多い。試験終了後における試験体は、設置角度によらず腐食生成物層表面には海塩の溶解跡が観察され、ポーラスな腐食生成物層が形成されていた¹⁾。試験体中央部の腐食生成物層の表面性状を図-2に示す。0°s、45°sおよび90°sにおける表面は、降雨時に腐食生成物が流されるため、比較的凹凸が小さくなっている。一方、45°gは

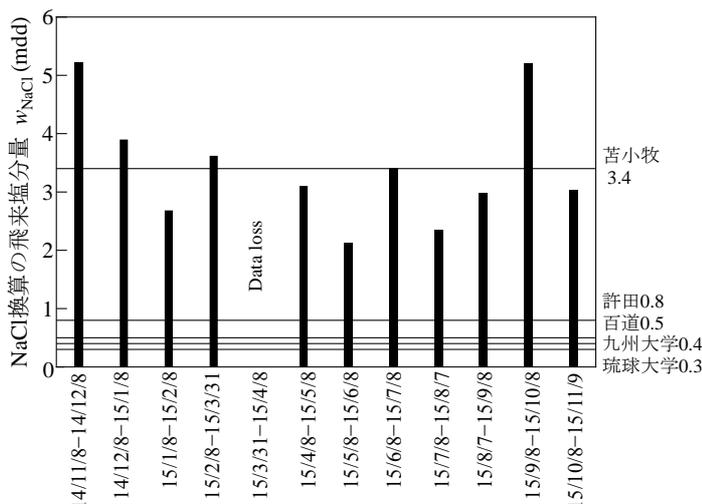


図-1 苫小牧と4暴露地点³⁾の飛来海塩量

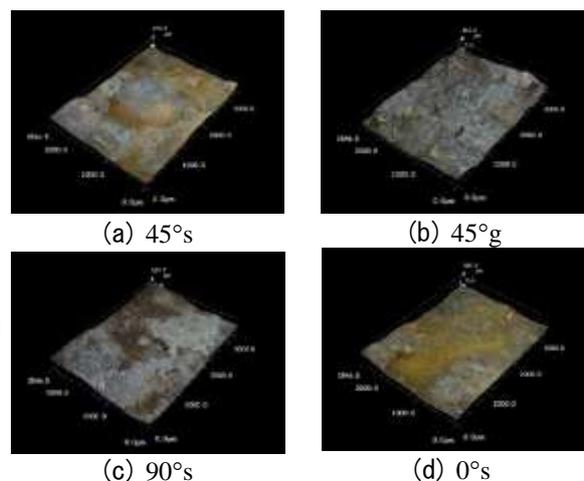


図-2 腐食生成物の表面性状（試験体の中央部）

キーワード 裸普通鋼板 腐食深さ 腐食生成物層の厚さ 寒冷地 海水飛沫環境

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 ウエスト 2 号館 1104 号室 TEL 092-802-3392

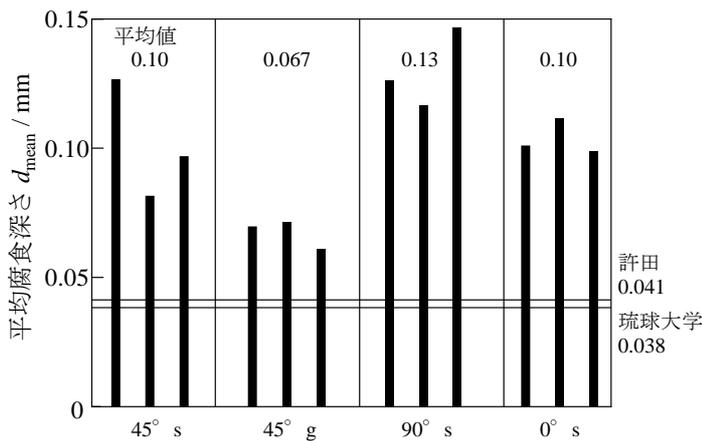


図-3 平均腐食深さ

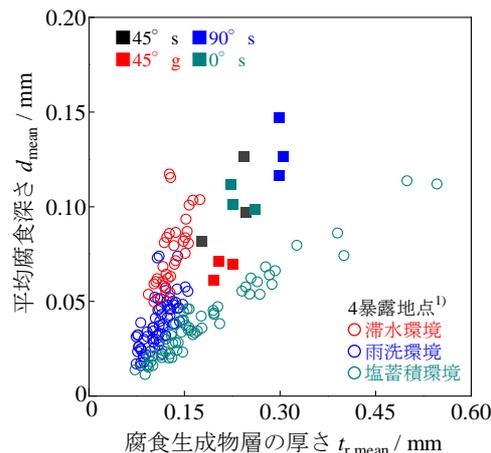


図-4 腐食生成物層の厚さと平均腐食深さの関係

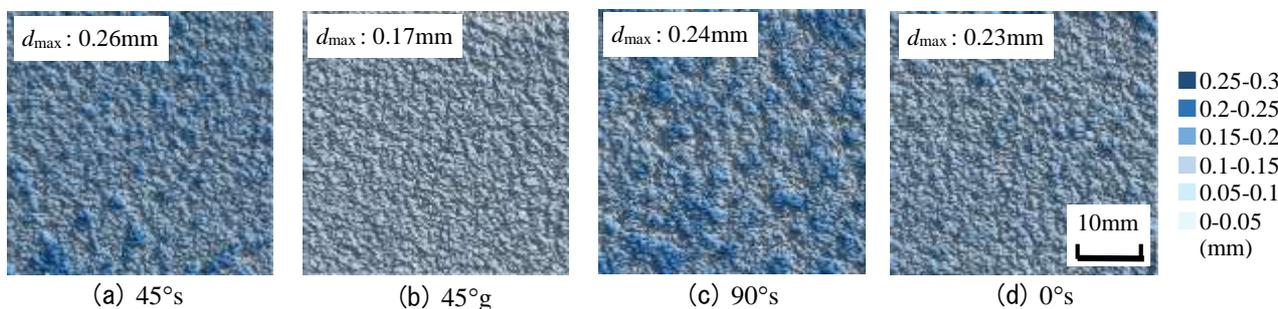


図-5 腐食生成物除去後の試験体の腐食表面性状

雨洗効果に対空面に比して小さいため、 $0^\circ s$ 、 $45^\circ s$ および $90^\circ s$ に比して凹凸が大きくなっている。各設置角度における試験体の d_{mean} および平均値を図-3 に示す。図中には海塩が飛来する琉球大学（雨洗効果：有）と許田（雨洗効果：無）における1年間暴露の d_{mean}^1 を示している。琉球大学と許田における平均温度は $23^\circ C$ であり²⁾、苫小牧に比して2.5倍程度高い。鋼材の腐食反応は、一般に温度が高いほど促進される³⁾。しかし、苫小牧の雨洗効果のある $0^\circ s$ 、 $45^\circ s$ および $90^\circ s$ の試験体の d_{mean} は、琉球大学の2~3倍、雨洗効果の小さい $45^\circ g$ の試験体の d_{mean} は、許田の約1.6倍になっている。この腐食性の差異は、飛来海塩の多量な付着とその潮解現象による濡れ、および鋼素地近傍に生成された腐食生成物層の寒冷地特有の凍結融解による濡れと付着海塩の濃縮⁴⁾に起因すると考えられる。また、苫小牧の気温は他の暴露地に比して低いため、腐食反応が抑制され、飛来海塩量が琉球大学の約10倍にも関わらず、腐食速度が2~3倍程度となったと考えられる。これらの結果から、苫小牧は他の4暴露地点に比して、腐食性が高いと言える。

苫小牧と4暴露地点¹⁾における腐食生成物層の厚さ $t_{r,mean}$ と平均腐食深さ d_{mean} の関係を図-4 に示す。苫小牧の $90^\circ s$ の試験体は、他の試験体に比して $t_{r,mean}$ および d_{mean} がともに大きくなる傾向にある。これは苫小牧の離岸距離が近く、 $90^\circ s$ の試験体は他の設置角度の試験体に比して海塩が付着しやすいためと考えられる。一方、苫小牧の $45^\circ g$ の試験体は、雨洗効果が小さく塩が付着・蓄積しやすい環境となるが、海塩自体が付着・蓄積しにくいため、4暴露地点の結果と同様に、 $t_{r,mean}$ と d_{mean} はともに小さくなる傾向にある。腐食生成物除去後の試験体の腐食表面性状を図-5 に示す。設置角度によらず、全面腐食が生じているが、 $0^\circ s$ と $45^\circ g$ の試験体の腐食孔は、 $45^\circ s$ と $90^\circ s$ の試験体に比して小さい。また、雨洗効果の小さい $45^\circ g$ の d_{max} は他の角度に比して小さくなっている。

4. まとめ 1) 寒冷地の海水飛沫環境では、付着海塩の雨洗効果がある場合の腐食生成物層の厚さと平均腐食深さは、雨洗効果がほとんど無い場合に比して大きくなる。2) 寒冷環境では飛来海塩量が著しく多い場合であっても、鋼材の腐食速度は抑制される。

参考文献 1) 貝沼重信, 山本悠哉, 伊藤義浩, 林秀幸, 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.483-494, 2012. 2) 山本悠哉, 貝沼重信, 向川優貴, 伊藤義浩: 腐食生成物が電磁誘導式膜厚計による腐食生成物層の厚さの測定精度に及ぼす影響, 鋼構造年次論文報告集, Vol.21, pp.567-570, 2013. 3) 加藤謙治, 鈴木恵太, 石本裕保, 屋敷孝志: 石油タンク底板の腐食に対する環境因子の影響調査 - 石油タンク底板の防食技術の開発 第二報 -, 圧力技術, Vol.41, No.1, pp.28-35, 2003. 4) 石塚和則, 高橋剛, 柴野純一, 三浦節男, 小林道明: 凍結融解腐食環境下にある SUS304 溶接材の孔食促進, 機械学会論文集 A 編, Vol.77, No.776, pp.660-669, 2011.