

腐食生成物厚を用いた無塗装耐候性鋼部材の腐食深さの評価・予測手法に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○山本 悠哉 九州大学大学院 正会員 貝沼 重信
九州大学大学院 学生会員 向川 優貴 (株)神戸製鋼所 学生会員 伊藤 義浩

1. はじめに 耐候性鋼材は維持管理費の縮減などを目的として、数多くの鋼橋に採用されてきた。しかし、橋梁の部材・部位により、その腐食挙動が大きく異なることが少なくない。したがって、部材・部位レベルにおける腐食挙動を定量的に把握することが、無塗装耐候性鋼橋を適切に維持管理する上で重要であると言える。本研究では腐食生成物厚の簡易測定による平均腐食深さの評価・予測手法を提案することを目的とし、無塗装耐候性鋼板を用いた大気暴露試験を行った。

2. 試験方法 試験体にはグリッドブラスト (ISO Sa2.5) 処理した JIS G 3114 SMA490AW 材 (400×60×9mm) を用いた。大気暴露試験は海岸線から約 2.3km に位置する琉球大学千原キャンパス構内 (以下、琉球大学) (Lat.26°15'N, Long.127°46'E) で実施した。本試験では 1 カ所の暴露地点で複数の腐食環境におけるデータを収集するため、試験体を水平面に対して、0°, 45°および 90°に設置し、これらの表裏面 (対空面および対地面) を検討対象とした。試験期間は、0.5, 1, 2 および 4 年とした。大気腐食環境は各角度に設置した試験体と同様の鋼板の表裏面に ACM 型腐食センサを貼付することでモニタリングした。また、暴露地点の温湿度は、センサを用いてモニタリングした。

大気暴露試験後の試験体の腐食生成物厚 $t_{r,mean}$ (mm) は、電磁式膜厚計 (測定精度: $\pm 10\mu\text{m}$, 分解能: $\pm 1\mu\text{m}$) を用いて測定した。測定は対象面に対して 6 点、各点 11 回の計 66 回行い、その平均値を腐食生成物厚と定義した。なお、 $t_{r,mean}$ (mm) は腐食生成物の断面 SEM 観察により、地鉄表面から腐食生成物表面の凸部までの距離と同等であることを確認している。試験体の腐食表面性状の測定に先立って、試験体表面のさびをアルミナサンドブラストにより除去した。腐食表面性状はレーザーフォーカス深度計 (スポット径: $30\mu\text{m}$, 分解能: $0.05\mu\text{m}$) を用いて測定した。表裏面の平均腐食深さ d_{mean} (mm) は、腐食による重量減少量を、試験体角部の影響を受けない領域の腐食部と未腐食部の残差を比例配分することで算出した。また、3 年間大気暴露試験した後の試験体の腐食生成物を X 線回折により成分分析した。

3. 試験結果 温湿度センサによる測定結果から、大気暴露地点の温度 t (°C) 相対湿度 RH (%) の平均値は、それぞれ 23°C および 72% であったことから、比較的腐食性が高い環境であると言える。X 線回折による腐食生成物の分析結果を表-1 に示す。 $\gamma\text{-FeOOH}$ の含有率が約 35.4% と最も高くなっていることから、3 年間の暴露後の腐食生成物は比較的初期の腐食状態にあると考えられる。また、CI の存在下で生成される $\beta\text{-FeOOH}$ の含有率は低いものの、1.6% 含まれていることから、飛来塩による影響があると言える¹⁾。なお、腐食生成物組成の中で、 FeOOH や Fe_3O_4 等の結晶の他に、非結晶が半数程度含まれていることから、大気環境における腐食生成物の特徴を有している²⁾。腐食生成物厚 $t_{r,mean}$ および平均腐食深さ d_{mean} の経時性を図-1 に示す。 $t_{r,mean}$ および d_{mean} は、0°, 45°, 90° の順に減少する傾向にあり、0° 対地面が最も大きく、90° 対空面が最も小さくなっている。これは、0° や 45° の対地面に比べ、対空面では降雨による付着塩の洗浄効果が大きいと考えられる。

$t_{r,mean}$ と d_{mean} の関係を図-2 に示す。図中には、全プロットから求めた回帰直線と相関係数、および各暴露期間における回帰直線の相関係数を示す。各暴露期間における相関係数 R は、1 年が最も大きく経年に伴い減少する傾向にある。また、暴露期間が 2 年以降のプロットでは、 d_{mean} に対して $t_{r,mean}$ が小さな値となっており、2 年と 4 年の $t_{r,mean}$ がほぼ同程度となっている箇所もある。これは、風化の影響により腐食生成物が剥離することが原因であると考えられる。したがって、図-2 中に示す回帰直線で d_{mean} を評価することは困難である。そこで、我国での気候変動も考慮した上で、 d_{mean} との相関係数が最も高く風化の影響も少ない、暴露期間 1 年の $t_{r,mean}$ を測定することで、 d_{mean} を評価・予測する必要があると言える。図-3 に 1 年間大気暴露した試験体の腐食生成物厚 $t_{r,mean(1\text{year})}$ と図-1 (b) 中の回帰曲線 $d_{mean} = a \cdot t^b$ の係数 a の関係、および a と b の関係を示す。また、図-3 (b) 中には文献³⁾ の a と b の関係を示す。本試験結果は既往研究の評価式とほぼ一致している。しかし、係数 a が比較的大きな領域では、差異が生じている。これは、既往研究では試験体表裏面の腐食挙動の相違を考慮していなかったことが原因と考えられる。暴露試験による平均腐食深さの試験値 d_{mean} と図-3 で得られた評価式で推定した推定値 $d_{mean,e}$ の関係を図-4 に示す。 $d_{mean,e}$ は、 d_{mean} は $\pm 5\%$ 以内の誤差でほぼ一致していることから、 d_{mean} と $t_{r,mean(1\text{year})}$ の関係は、次式で表すことができる。と

$$d_{mean} = a \cdot t^b, \quad \text{ここで, } a = 0.525 \cdot t_{r,mean(1\text{year})} - 0.0259, \quad b = -6.93 \cdot a + 0.813$$

d_{mean} : 平均腐食深さ (mm), $t_{r,mean(1\text{year})}$: 暴露期間 1 年における腐食生成物厚 (mm), a および b : 係数

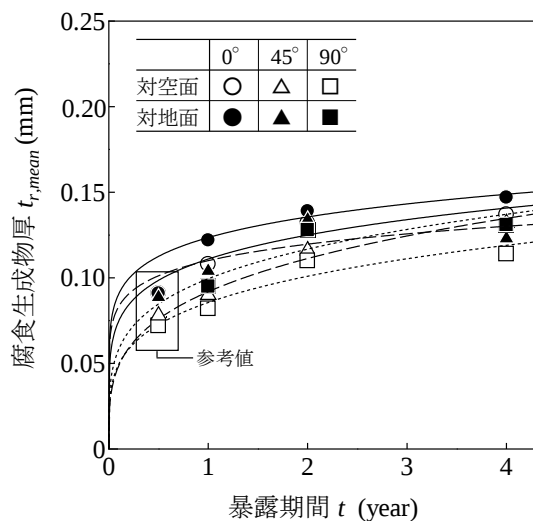
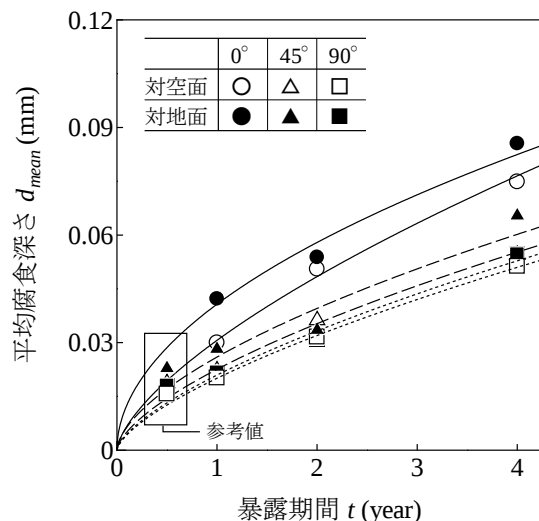
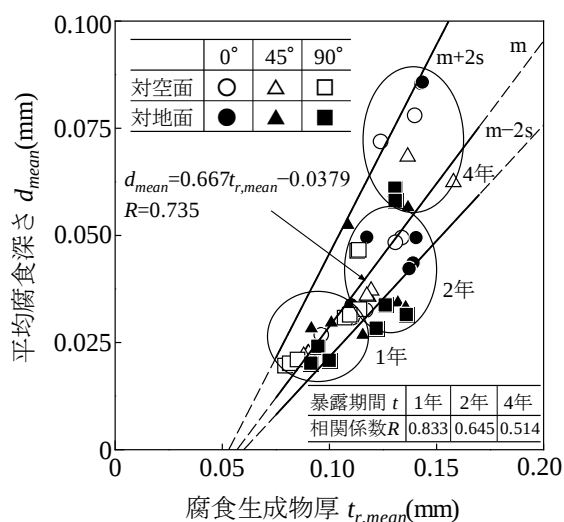
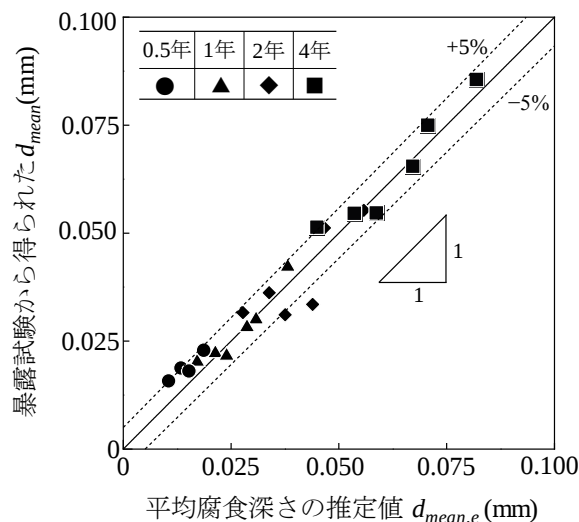
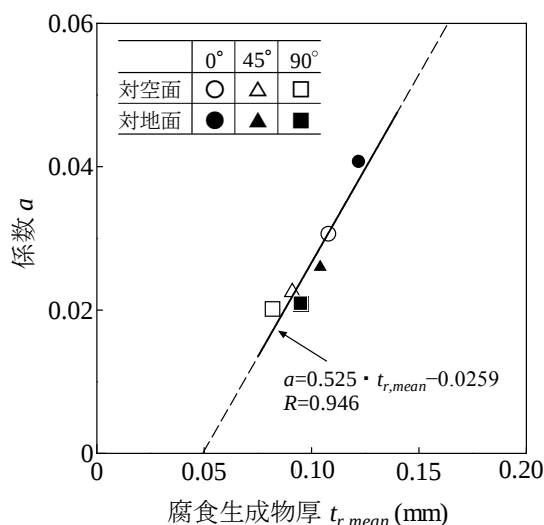
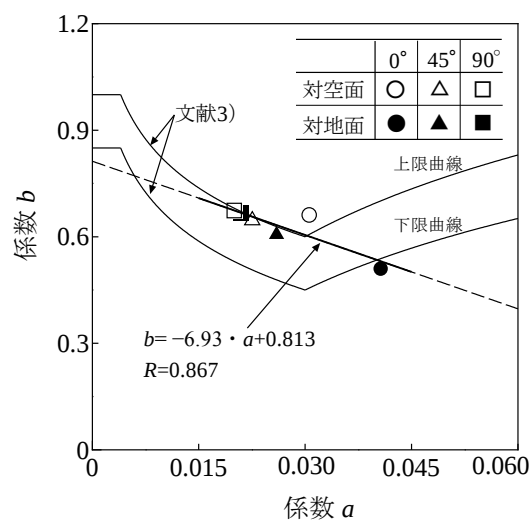
4. まとめ 1) 無塗装耐候性鋼材の腐食生成物厚と平均腐食深さの経時性、腐食生成物厚と平均腐食深さの関係を明らかにした。2) 無塗装耐候性鋼部材の暴露期間 1 年における腐食生成物厚を電磁膜厚計で測定することで、平均腐食深さを評価・予測する手法を提案した。

参考文献 1) 紀平寛, 塩谷和彦, 幸英昭, 中山武典, 竹内誠洋, 渡辺祐一: 耐候性鋼と安定化評価技術の体系化, 土木学会論文集, No.745, I-65, p.77-87, 2003.

2) 三澤俊平: 鉄鋼腐食科学の温故知新, 材料と環境, 50, p.538-545, 2001. 3) 紀平寛, 田中康児, 楠隆, 竹澤専, 安波肇道, 田中睦人, 松岡和巳, 原田佳幸: 耐候性鋼の腐食減耗予測モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.780, I-70, p.71-86, 2005.

表-1 腐食生成物の成分構成 (暴露期間: 3年) (wt%)

α -FeOOH	β -FeOOH	γ -FeOOH	Fe ₃ O ₄	その他
14.2	1.6	35.4	1.9	46.9

(a) 腐食生成物厚 $t_{r,mean}$ の経時性(b) 平均腐食深さ d_{mean} の経時性図-1 腐食生成物厚 $t_{r,mean}$ と平均腐食深さ d_{mean} の経時性図-2 腐食生成物厚 $t_{r,mean}$ と平均腐食深さ d_{mean} の関係図-4 平均腐食深さの推定値 $d_{mean,e}$ と d_{mean} との関係(a) 腐食生成物厚 $t_{r,mean}$ と係数 a の関係(b) 係数 a と b の関係図-3 $d_{mean} = a \cdot t^b$ の係数 a , b と腐食生成物厚 $t_{r,mean}$ の関係