

雨がかり環境における無塗装耐候性鋼部材の腐食生成物厚さを用いた平均腐食深さの評価・予測手法

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

1. はじめに 無塗装仕様で耐候性鋼材を適用した橋梁において、保護性さびが形成されず著しい腐食損傷が生じた事例が報告されている。したがって、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、任意の供用年数における無塗装耐候性鋼部材の腐食生成物厚さを電磁膜厚計で簡易測定することで、その平均腐食深さを評価・予測する手法を提案することを目的とした。そのために、無塗装耐候性鋼板を用いた大気暴露試験を雨洗い環境下で行った。

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) および海岸線から約 2.5km に位置する九州大学伊都キャンパス構内 (以下、九州大学) (Lat.33°35'N, Long. 130°12'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, 3 年および 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温湿度センサを用いて、30 分毎にモニタリングした。

大気暴露試験後の試験体の腐食生成物厚さ $t_{r,mean}$ (mm) は、電磁式膜厚計 (測定精度: $\pm 1\mu m$, 分解能: $1\mu m$ (0~999 μm), 10 μm (1~8mm)) 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さと定義した。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。また、腐食生成物中の Fe 成分が測定結果に及ぼす影響は、腐食生成物厚さで最大でも 20% 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ブラスト処理 (メディア: アルミナサンド (目 60), 空気圧: 0.7N/mm², 投射距離: 約 30cm, 投射角度: 約 45 度) 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 $\mu m\phi$, 分解能: 0.05 μm) 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。

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、琉球大学構内では 23°C および 72%, 九州大学構内では 17°C および 75% であった。平均腐食深さ d_{mean} の経時性を図-1 に示す。 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。ここで、0° は雨水の滞水の影響により他の設置面と腐食挙動が大きく異なっていたことから、以後の検討からは除外した。

腐食生成物厚さ $t_{r,mean}$ と平均腐食深さ d_{mean} の関係を図-2 に示す。既往の研究¹⁾ では腐食生成物厚さ 0.1mm 相当する平均腐食深さは 0.03mm とされており、本試験結果と良く一致している。図中の回帰直線は相関係数も比較的高いことから、 $t_{r,mean}$ 測定時点における d_{mean} を推定することができる。しかし、経年にもなう腐食生成物の剥離や風化の影響により、 $t_{r,mean}$ 測定結果のばらつきが大きくなる。また、図中の関係式では経時腐食挙動を評価することはできない。そこで、構造物の任意の供用年数における $t_{r,mean}$ の測定結果を用いることで、 $d_{mean} = a \cdot t^b$ における係数 a および b を評価することとした。

まず、各暴露期間に対する $t_{r,mean}$ と、図-1 中に示す回帰曲線 $d_{mean} = a \cdot t^b$ における係数 a の関係を線形回帰解析により求めた。次に、図-3 に示すようにその傾き a と暴露期間 t との関係を求めた。図-4 に係数 a と b の関係を示す。本試験結果は既往研究²⁾ の評価式とはほぼ一致している。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²⁾ 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、本検討の暴露試験では耐候性鋼の合金作用により係数 b が抑制されていることが原因であると考えられる。図-3 および図-4 で得られた評価式による推定値 $d_{mean,eva}$ と暴露試験による平均腐食深さの試験値 d_{mean} の関係を図-5 に示す。 $d_{mean,eva}$ と d_{mean} は $\pm 30\%$ 程度でほぼ一致している。したがって、 d_{mean} と $t_{r,mean}$ の関係は、次式で表すことができると言える。

$$d_{mean} = a \cdot t^b, \quad \text{ここで、} \alpha = 0.232 \cdot t^{0.253}, \quad a = \alpha \cdot t_{r,mean}, \quad b = -12.0 \cdot a + 0.907$$

d_{mean} : 平均腐食深さ (mm), $t_{r,mean}$: 腐食生成物厚さ (mm), a および b : 係数

4. まとめ

1) 無塗装耐候性鋼材の平均腐食深さの経時性および腐食生成物厚さと平均腐食深さの関係を明らかにした。2) 無塗装耐候性鋼橋の任意の供用年数における腐食生成物厚さを電磁膜厚計で簡易測定することで、各種部材の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) (社) 日本鋼構造協会: 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術, JSSC テクニカルレポート, No.73, pp.166-167, 2006. 2) 紀平寛, 田辺東児, 楠逢, 竹澤専, 安波専道, 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.

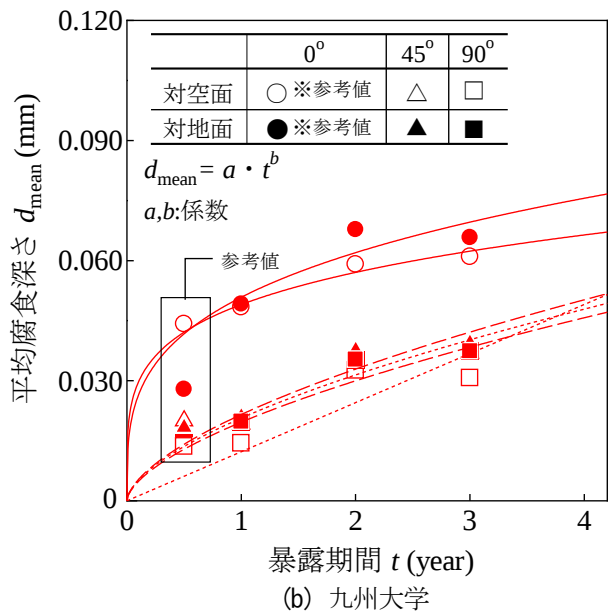
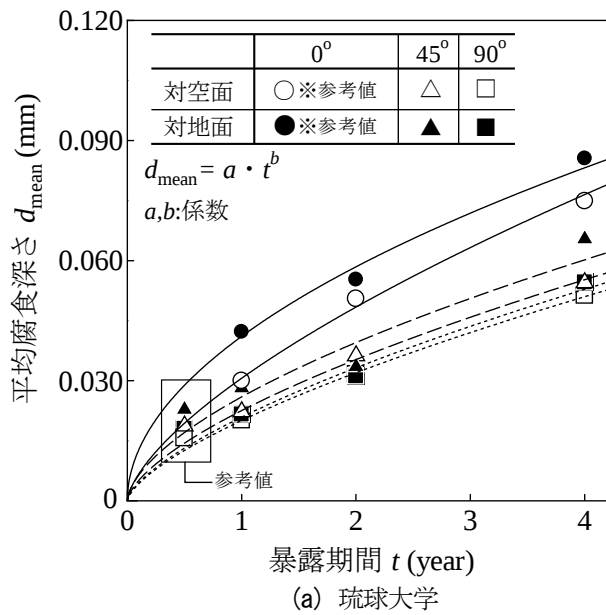


図-1 平均腐食深さ d_{mean} の経時性

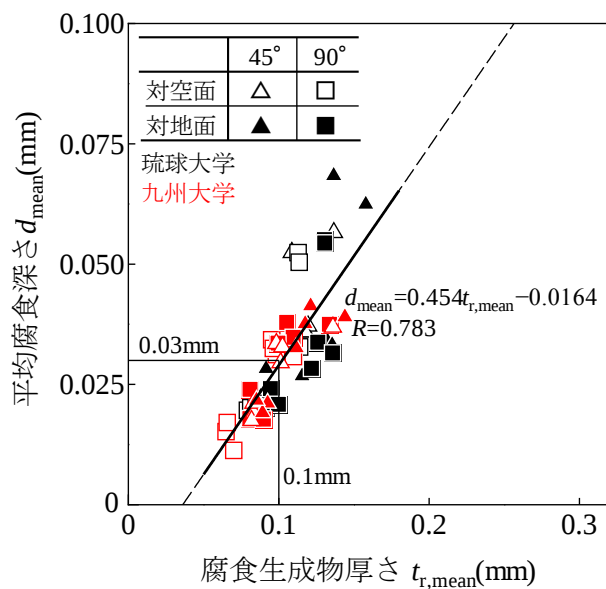


図-2 腐食生成物厚 $t_{r,\text{mean}}$ と平均腐食深さ d_{mean} の関係

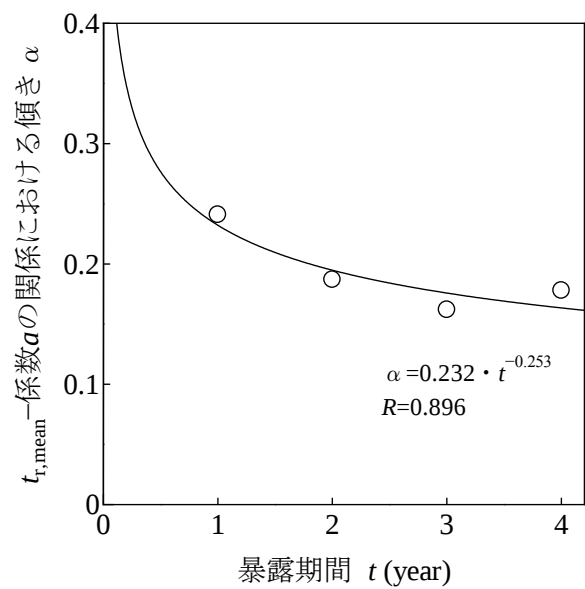


図-3 暴露期間 t と傾き α の関係

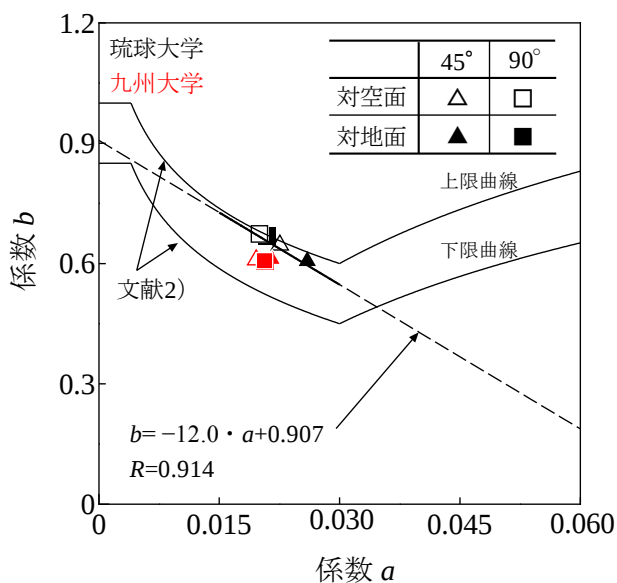


図-4 $d_{\text{mean}} = a \cdot t^b$ における係数 a, b の関係

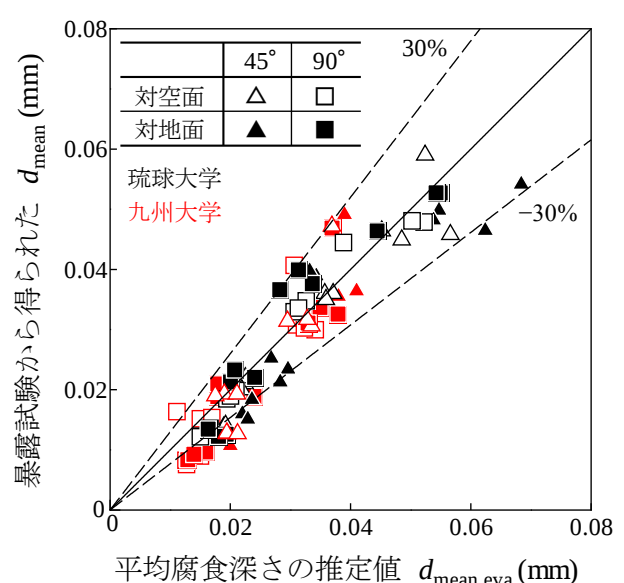


図-5 平均腐食深さの推定値 $d_{\text{mean,eva}}$ と d_{mean} の関係