

大気環境における無塗装耐候性鋼材の腐食生成物層と鋼素地の表面性状の相関性

九州大学大学院 正会員 ○道野 正嗣 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 平尾みなみ 九州大学 学生会員 八木 孝介

1. はじめに 鋼構造物に著しい腐食損傷が生じた場合、その部材の断面減少により耐荷力が低下すること、あるいは腐食表面の谷部の応力集中部から疲労き裂が発生・進展することで部材の破断に至ることが懸念される。そのため、鋼構造物を適切に維持管理するためには、腐食による断面減少量とその腐食表面性状を定量的に把握することが重要になる。無塗装耐候性鋼橋については、先行研究^{1),2)}で腐食生成物層の外観、厚さおよびイオン透過抵抗や腐食生成物層の保護性と腐食速度の関係などについて、様々な検討がなされてきた。本研究では腐食生成物層と鋼素地における表面性状の相関性を定量的に明らかにすることで、腐食生成物層の外観から鋼素地の表面性状を予測する手法を提案することを目的としている。そのために、付着海塩の雨洗効果の有無と飛来海塩量の多少に着目した4地点で無塗装耐候性鋼材の大気暴露試験を実施し、腐食生成物の除去前後の表面性状を構造化光投影法による非接触式3次元計測装置で測定した。

2. 試験方法および分析方法 試験体にはアルミナブラスト処理 (ISO 8501-1 Sa2.5 (Rzjis : 約 70 μ m)) した 400 \times 60 \times 9mm の JIS G 3114 SMA490AW 材 (以下、長手試験体) および 150 \times 70 \times 9mm の JIS G 3114 SMA400AW 材 (以下、ウェザロ試験体) を用いた。大気暴露試験は飛来海塩環境における雨洗効果の有無に着目し、1)雨洗効果があり、飛来海塩量が比較的多い琉球大学千原キャンパス (以下、琉球大学) および 2)1)に比して、平均気温と湿度が低い九州大学伊都キャンパス (以下、九州大学)、3)雨洗効果が無く、飛来海塩量が多い福岡北九州高速道路1号線の高架橋下 (以下、百道)、および 4)3)に比して平均気温と湿度が高い沖縄自動車道の高架橋下 (以下、許田) の計4暴露地点³⁾で約1年~2年間実施した。暴露地点における試験体の設置枚数、設置角度および暴露期間を表1に示す。なお、試験体の表裏面 (対空面と対地面) を対象面とした。試験体の腐食生成物層と鋼素地における表面性状は、構造化光投影法による非接触式3次元計測装置 (測定ピッチ : 約 20 μ m, 分解能 : 約 10 μ m, カメラの画素数 : 640 \times 480 ピクセル) を用いて測定し、試験体中央部 (50 \times 50mm) を検討範囲とした。腐食生成物層および鋼素地の凹凸の高さ H は、その凹凸の平均値との差と定義した。また、3次元計測装置を用いて測定した表面性状をセミバリオグラム解析することで、空間統計量であるレンジ h およびシル γ を算出した。なお、シルは表面凹凸の振幅度、レンジは凹凸の影響範囲を意味する。なお、レンジとシルを算出する際の対象領域は、鋼板表面のうねりや傾き等を考慮して、試験体の中央部 20 \times 20mm とした。

3. 試験結果 腐食生成物層の表面性状の例を図1に示す。雨洗効果がある琉球大学と九州大学では、腐食生成物が降雨により流出するため、腐食生成物層の凹凸は比較的小さく、ほぼ平滑になっている。雨洗効果の無い百道と許田については、琉球大学と九州大学に比して表面の凹凸が大きくなる傾向にあり、浮きさびが生じている試験体もあった。一般に塩害環境で形成された腐食生成物層は β -FeOOH を多く含むと言われている⁴⁾。 β -FeOOH の被膜はひび割れを多く含み保護性が低いため、腐食生成物層内に水分や大気が容易に浸透し、腐食生成物層内に水分を保持する。腐食生成物層内に水分が残存している場合、FeOOH の還元反応が生じるとともに、腐食生成物層の体積が収縮するため、腐食生成物層内に複数の層状の空隙が生成される。したがって、百道と許田の腐食生成物層は、飛来塩分量が比較的多く、雨洗効果が無いことで、飛来海塩が付着・蓄積するため、九州大学と琉球大学に比して FeOOH の還元反応が生じやすくなり、浮きさびによる表面起伏が大きくなったと考えられる。

腐食生成物層の除去後における鋼素地の表面性状の例を図2に示す。雨洗効果のある琉球大学と九州大学の対空面における鋼素地は、全表面でほぼ均一に腐食しており、表面起伏が比較的小さい傾向にある。百道と許田については、琉球大学と九州大学に比して、表面起伏が大きい傾向にある。これは雨洗効果の無い百道と許田については、腐食生成物層内に蓄積した飛来海塩の Cl が腐食の進行に伴い鋼素地近傍に移動し、腐食孔の進展を促進することに起因するためと考えられる⁵⁾。

表1 暴露地点における試験体の設置枚数、設置角度および暴露期間

試験体	暴露地点	設置枚数	設置角度	大気暴露期間
長手試験体 (400 \times 60 \times 9mm)	琉球大学	1	0°, 45°, 90°	2014/02/06~2015/03/10
	九州大学	1	0°, 45°, 90°	2014/02/14~2015/06/11
	百道	1	0, 45, 90	2014/02/14~2015/05/15
	許田	1	0	2014/02/07~2015/03/10
ウェザロ試験体 (150 \times 70 \times 9mm)	琉球大学	3	45°	2011/06/28~2013/08/08
	百道	3	45	2011/07/13~2013/07/11
	許田	3	0°	2011/06/28~2013/08/08

キーワード 表面性状, 無塗装耐候性鋼材, 腐食生成物層, 大気暴露試験

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 TEL092-802-3392

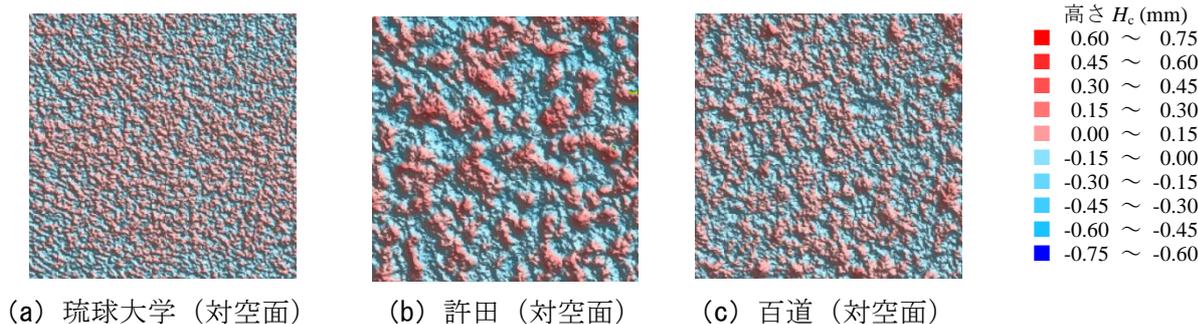


図1 腐食生成物層の表面性状 (ウェザロ試験体)

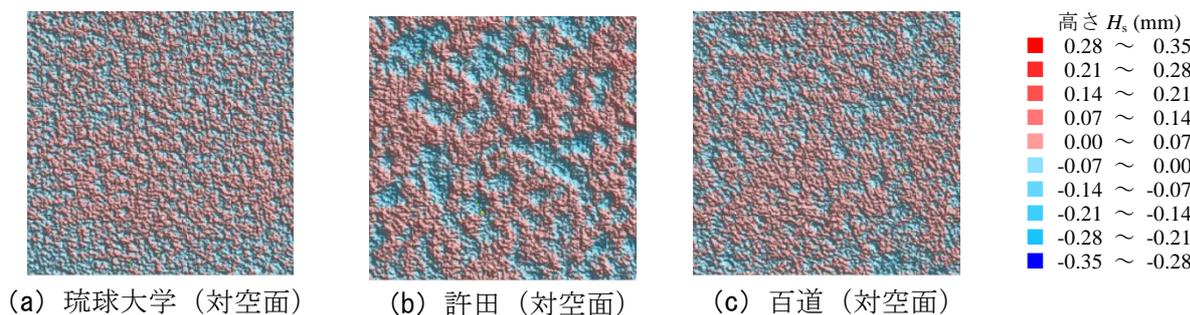


図2 鋼素地の表面性状 (ウェザロ試験体)

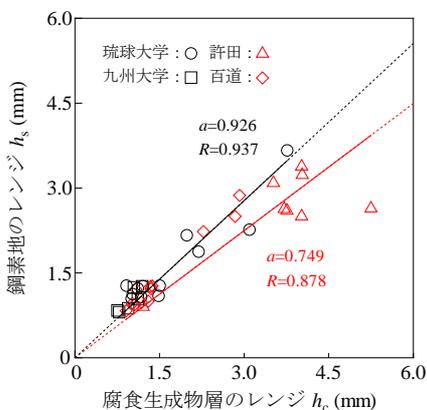


図3 腐食生成物層と鋼素地のレンジの関係

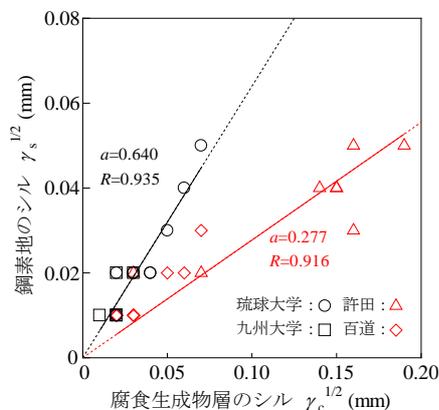


図4 腐食生成物層と鋼素地のシルの関係

腐食生成物層のレンジ h_c と鋼素地のレンジ h_s の関係および腐食生成物層のシル γ_c と鋼素地のシル γ_s の関係をそれぞれ図3および図4に示す。図中には回帰直線、回帰直線の傾き a および相関係数 R を示す。 h_c と h_s および γ_c と γ_s は雨洗効果の有無で異なる相関があり、その相関係数は比較的高く、0.9程度となっている。したがって、鋼構造物の対象部位における腐食生成物層の表面性状を3次元測定することで、その表面の h_c と γ_c から鋼素地の h_s と γ_s を推定できると言える。

4. まとめ 無塗装耐候性鋼材における腐食生成物層のレンジと鋼素地のレンジ、および腐食生成物層のシルと鋼素地のシルの関係を定式化した。また、これらの関係式を用いて、腐食生成物層の表面性状に基づき鋼素地の表面性状を評価する手法を提案した。

参考文献 1)例えば、(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, 2006. 2)例えば、紀平寛：耐候性鋼上の安定さび形成状況評価と診断、材料と環境、Vol.48, No.11, pp.697-700, 1999. 3)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. 4)紀平寛、塩谷和彦、幸英昭、中山武典、竹村誠洋、渡辺祐一：耐候性鋼さび安定化評価技術の体系化、土木学会論文集、No.745/I-65, pp.77-87, 2003. 5)田中誠：鋼構造物の塗装の寿命とは、(財)鉄道総合技術研究所、RRR, 1991.9号, pp.9-14, 1991.