

大気腐食環境における普通鋼板の腐食表面性状の予測手法に関する基礎的研究

(株)東京鐵骨橋梁 正会員 ○細見 直史 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

1. はじめに 鋼橋では部位・部材により腐食環境が異なるため、その腐食表面性状が異なることが少なくない。しかし、様々な大気環境における腐食表面性状の経時性については、明らかにされていない。そこで、本研究では大気腐食環境における普通鋼板の腐食表面性状の予測手法を提案することを目的とした。そのために、無塗装普通鋼板を用いた大気暴露試験および ACM 型腐食センサによる腐食環境モニタリングを行った。また、試験体の腐食表面性状を空間統計学的手法により分析し、腐食環境と経時腐食表面性状の相関を定量的に明らかにした。

2. 大気暴露試験と腐食環境のモニタリング 試験体にはグリッドブラスト処理 (ISO Sa2.5) した無塗装普通鋼板 (JIS G 3106 SM490A 材, 400×60×9mm) を用いた。大気暴露試験は琉球大学千原キャンパス構内 (Lat.26°15'N, Long.127°46'E) で行った。異なるマイクロ腐食環境を再現するため、水平に対し 0°, 45°あるいは 90°の角度に設置した試験体の対空面と対地面を検討対象とした。各角度の対空・対地面における大気マイクロ腐食環境は、Fe/Ag 対タイプの ACM 型腐食センサを用い、約 1 ヶ月間でセンサを取り替えながら、1 年間モニタリングした。

ACM 型腐食センサの出力から算出した日平均電気量 q (C/day) を表-1 に示す。試験体の各面の平均腐食深さ d_{mean} は、電子天秤を用いた重量減少量と、レーザーフォーカス深度計 (スポット径: 30μm, 分解能: 0.05μm) の測定結果を併用することで算出した。

3. 大気暴露試験の結果 腐食生成物を除去した試験体の表面性状の例を図-1 に示す。暴露角度の減少にともない、表面粗さが粗くなる傾向にある。また、0°対地面では他の対象面で生じている全面腐食に加え、局部腐食が所々発生している。

各試験体の表裏面の腐食環境における平均腐食深さ d_{mean} (mm) と暴露期間 t (year) の関係を図-2 に示す。図中のプロットは、各 3 体の試験体の平均値を示している。なお、暴露期間 0.5 年のデータは、1 年間の腐食環境の変動に配慮し、回帰解析から除外した。 d_{mean} は各暴露角度で表裏面の違いによる影響は比較的小さい。また、暴露角度が 0°の d_{mean} が最も大きく、45°は 90°よりも若干大きくなっている。既往の研究¹⁾から、 d_{mean} (mm) は q (C/day) と t (year) を用い、次式で与えられる。

$$d_{mean} = 1.02 \ q \ \sqrt{t} \tag{1}$$

4. 大気腐食環境における普通鋼板の経時腐食表面性状の評価 腐食性状が混在している試験体に対し、表面性状が空間的に異なる領域を分割するため、回帰樹分析²⁾を用いた。腐食性状が混在する試験体に対しては、回帰樹分析結果の全面腐食領域を検討対象とした。その他の試験体は表面性状が一様であったため、試験体中央の 40×40mm の領域を検討対象とした。また、表面性状の空間的自己相関構造を分析するため、検討領域に対しバリオグラム解

表-1 琉球大学構内における日平均電気量 q

		日平均電気量 q (C/day)
0°	対空面	0.055
	対地面	0.057
45°	対空面	0.041
	対地面	0.045
90°	対空面(北面)	0.021
	対地面(南面)	0.022

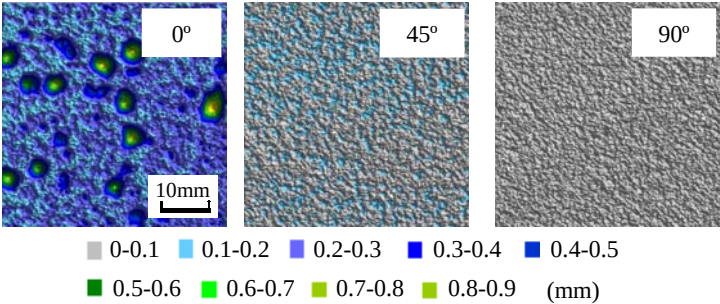


図-1 大気暴露試験体の腐食表面性状の例 (対地面, 大気暴露期間: 2 年)

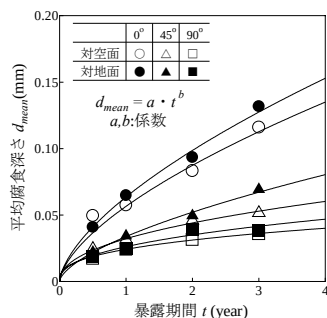


図-2 平均腐食深さ

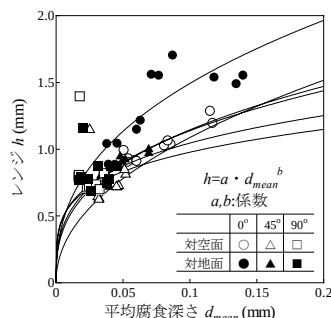
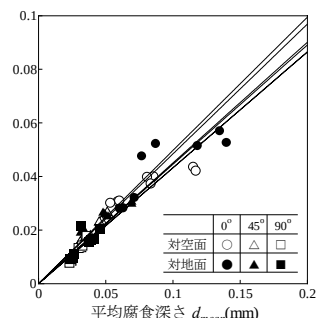
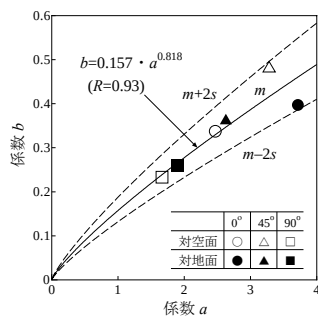
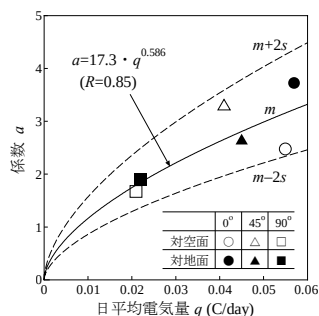
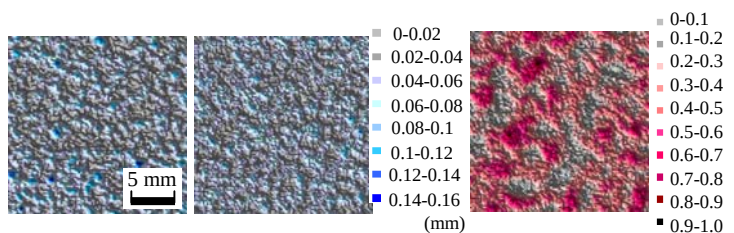
(a) レンジ h (b) $\sqrt{\text{シル}}$ $\sqrt{\gamma}$ 図-3 平均腐食深さ d_{mean} と空間統計量($h, \sqrt{\gamma}$)の関係(a) 係数 a と係数 b (b) 日平均電気量と係数 a 図-4 平均腐食深さ d_{mean} , a および b の関係(a) 試験体 (b) シミュレーション (c) シミュレーション
(45°対地面, (予測式より算出) による予測結果
2年間暴露)

図-5 数値シミュレーションの結果

析²⁾を行った。解析モデルは球型モデルとした共分散関数を用いた。

バリオグラム解析によるレンジ h (mm)およびシル γ の正の平方根である $\gamma^{1/2}$ (mm)と d_{mean} (mm)の関係を図-3に示す。図中に各マイクロ腐食環境における回帰解析の結果を実線で示す。図-3(a)に示すように、各腐食環境における h と、表-1に示す日平均電気量 q のそれぞれの大小関係はほぼ一致している。また、暴露期間0.5年における45°および90°の試験体については、1年間の気候変動の影響を受けるため回帰解析から除外した。図-3(a)で示した各回帰曲線の係数 a, b および q (C/day)の関係を図-4に示す。図-4中に示す回帰解析の結果を図-3(a)に示す累乗曲線の式に代入すると d_{mean} (mm)と h (mm)の関係は、 q が0.021~0.057(C/day)の範囲で q を用いた式(2)で与えられる。また、 d_{mean} (mm)と $\gamma^{1/2}$ (mm)の関係は、 q が0.021~0.057(C/day)の範囲では、腐食環境に依存せず、式(3)で表すことができる。

$$h = 17.3 \cdot q^{0.586} \cdot d_{mean}^{1.62 \cdot q^{0.479}} \quad (2)$$

$$\sqrt{\gamma} = 0.447 \cdot d_{mean} \quad (R=0.88) \quad (3)$$

式(2)および式(3)に式(1)を代入することで、供用期間と腐食環境から、 h および $\gamma^{1/2}$ の予測ができると考えられる。

5. 空間統計数値シミュレーションによる経時腐食表面性状の予測 腐食表面性状の数値シミュレーション²⁾は4.で前述した球型モデルの共分散関数に基づき、 h , γ および d_{mean} を用いて行った。

腐食表面性状の数値シミュレーションの結果を図-5に示す。図-5(b)は図-5(a)と同様の d_{mean} と式(2)および式(3)から算出した h および γ を用いてシミュレーションした結果である。シミュレーションの結果は、試験体の腐食表面性状の腐食深さとその分布性状の傾向と良く一致している。図-5(c)は式(1)~式(3)を用いて、日平均電気量が0.05(C/day)の腐食環境における50年後の鋼板の腐食表面性状をシミュレートした結果を示している。 d_{mean} の増加に伴い、表面粗さが粗くなり、腐食孔のサイズが大きくなっている。

6. まとめ 1) 日平均電気量 q が0.021~0.057C/dayの範囲では、レンジは腐食環境により異なるが、シルは腐食環境に依存せず一定である。2)空間統計数値シミュレーションを用いることで、任意の大気腐食環境(日平均電気量 q : 0.021~0.057(C/day))における鋼板の腐食表面性状を予測する手法を提案した。

参考文献: 1)Kainuma, S., Sugitani, K., Itoh, Y. & Kim, I.T.: Evaluation Method for Time-Dependent Corrosion Behavior of Carbon Steel Plate Using Atmospheric Corrosion Monitoring Sensor, *Proc. of 6th International Conference on Fracture and Damage Mechanics*, CD-ROM, 2009., 2)貝沼重信, 細見直史, 金仁泰, 伊藤義人: 鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的な腐食特性に関する研究, 土木学会論文集, No.780/I-70, pp.97-114, 2005.