

## 9. 補修・補強を目的とした鋼部材の腐食表面性状の空間統計分析に関する基礎的研究

加藤 祐介

**1. 目的** 鋼構造物において、著しい腐食損傷が数多く報告されている。腐食損傷部を樹脂による繊維接着やコンクリートなどにより補修・補強するためには、その腐食表面性状を定量的に評価する必要がある。本研究では腐食損傷が生じた鋼製高欄基部の腐食表面性状を空間統計分析した。この結果に基づき、補修・補強材料の付着強度に影響を及ぼすと考えられる平均腐食深さと腐食表面性状（空間統計量）、および平均腐食深さと最大腐食深さの関係を明らかにした。また、この検討結果から得られた腐食特性値を用いた数値シミュレーションを行うことで、腐食表面性状の経時性を明らかにした。

### 2. 内容

**2.1 対象とした腐食試験体** 試験体には片面のみが腐食している鋼製高欄基部から切り出した鋼板（JIS G3101 SS400, 70×70×6mm）を用いた。試験体はすべて検討対象とする面の全面が腐食していた。試験体の腐食表面性状は、レーザーフォーカス深度計（分解能：0.05μm）を用いて測定した。また片面のみが腐食しているため、重量換算に基づき平均腐食深さを算出した。

**2.2 空間統計分析** 腐食表面性状には全面腐食と局部腐食が混在するため、領域により腐食挙動が著しく異なる。そのため、回帰樹分析<sup>1)</sup>を用いることで、腐食領域を分割・分類した。腐食表面の回帰樹分析結果の例を図-1 および図-2 に示す。図-1 の分割後の領域に対してバリオグラム分析<sup>1)</sup>を行い、腐食表面性状の特性値である空間統計量（レンジ  $h$ , シル  $\gamma$ ）を算出した。また、最大腐食深さを算出した。図-3 に平均腐食深さ  $d_{mean}$  と最大腐食深さ  $d_{max}$  の関係を示す。鋼製高欄は、 $d_{mean}$  と  $d_{max}$  が累乗関係にあると考えられる。 $d_{mean}$  と  $d_{max}$  の関係は相関係数  $R$  が 0.97 と大きく、高い相関関係がある。図-4 に平均腐食深さ  $d_{mean}$  と空間統計量 ( $h, \sqrt{\gamma}$ ) の関係を示す。 $d_{mean}$  と  $h$ ,  $d_{mean}$  と  $\sqrt{\gamma}$  も累乗関係にあると考えられる。平均腐食深さ  $d_{mean}$  と表面積比  $A/A_0$  ( $A_0$ : 腐食前の表面積,  $A$ : 腐食後の表面積) の関係は、腐食前後での表面積の変化が最大で 5%程度であり、表面積の変化は小さい。しかし、図-4 で示したデータのばらつきは、本研究の対象部材が塗装仕様であったため、ピンホールなどの塗装欠陥から腐食が不均一に進行したことが原因と考えられる。

**2.3 鋼部材の腐食表面性状の空間統計数値シミュレーション** 分割後の領域の平均腐食深さと空間統計量に基づき、数値シミュレーションを実施した。鋼製高欄と数値シミュレーション結果の腐食表面性状を図-5 に示す。数値シミュレーション結果は、鋼製高欄の腐食表面の腐食深さとその分布性状と良く一致している。また、腐食深さのヒストグラムについても傾向を良く表していた。したがって、本研究の数値シミュレーションの手法により、任意の腐食深さに対する腐食表面性状をシミュレートできると考えられる。平均腐食深さ  $d_{mean}$  が 1, 3, 5, 10, 20, 30 および 40mm の計 7 種類の腐食表面性状に相当する空間統計量を用いて、数値シミュレーションを各 11 回実施した。図-6 は  $d_{mean}$  が 40mm の腐食表面性状を示している。腐食の進行に伴い、腐食孔が拡大することが確認できる。図-7 に平均腐食深さ  $d_{mean}$  と最大腐食深さ  $d_{max}$  の関係を示す。シミュレーション結果の  $d_{mean}$  と  $d_{max}$  の関係は、鋼製高欄の結果と良く一致している。したがって、 $d_{mean}$  に対する適用範囲の広がり、空間統計数値シミュレーションにより得られた  $d_{mean}$  と  $d_{max}$  の回帰式を提案式とする。提案式は次式で表される。

$$d_{max} = 1.50 \times d_{mean}^{0.91} \quad (\text{適用範囲} : 0 < d_{mean} < 40)$$

**3. 結論** 1) 平均腐食深さと腐食表面性状（空間統計量）、および平均腐食深さと最大腐食深さの関係を定量的に明らかにした。2) 空間統計数値シミュレーションを行うことで、鋼製高欄基部の腐食表面性状の経時性を明らかにした。

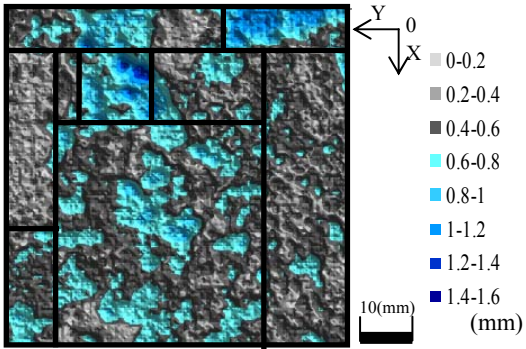


図-1 腐食表面性状の例

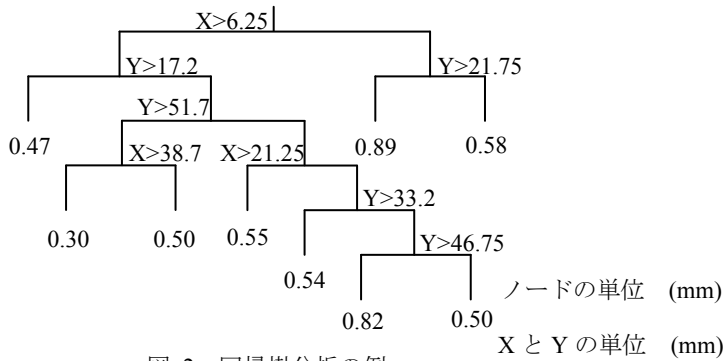


図-2 回帰樹分析の例

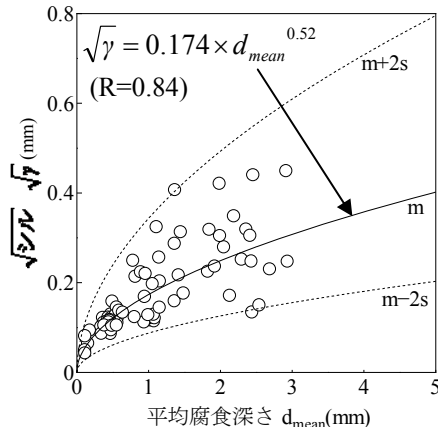
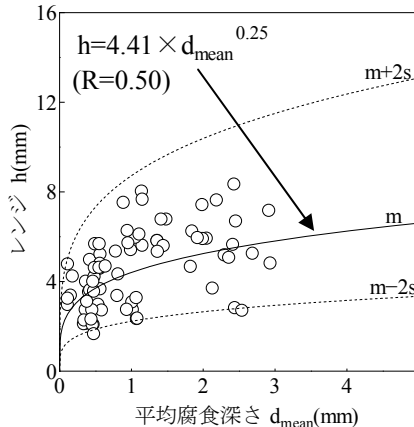
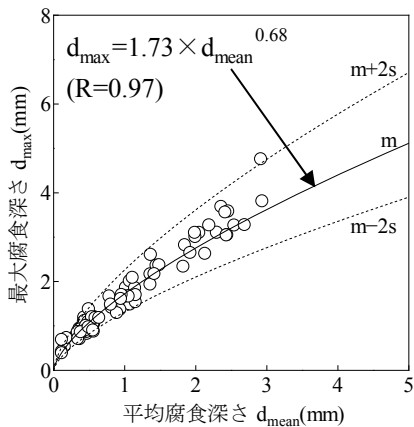


図-3 平均腐食深さと最大腐食深さの関係 (a) 平均腐食深さとレンジ (b) 平均腐食深さと $\sqrt{\text{シル}}$

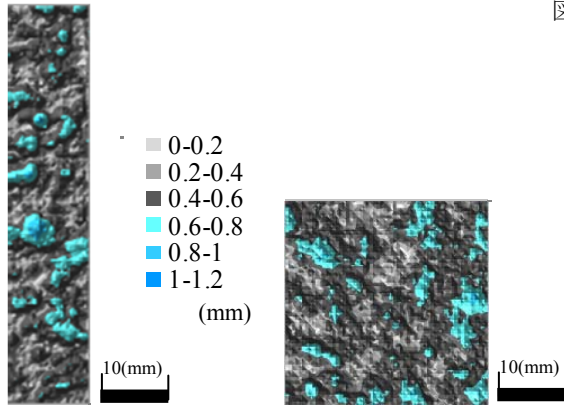


図-4 平均腐食深さと空間統計量の関係

(a) 鋼製高欄 (b) 数値シミュレーション

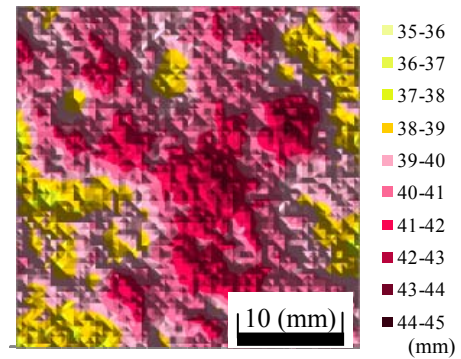


図-5 腐食表面性状の比較

図-6 腐食表面性状 ( $d_{mean} = 40\text{mm}$ )

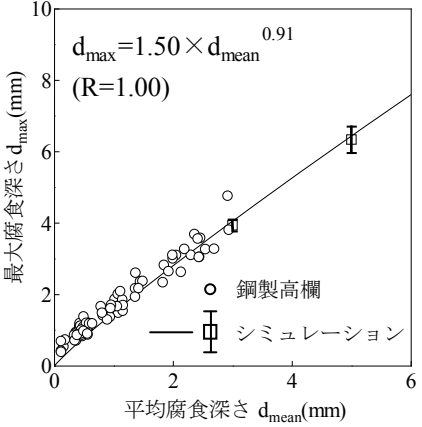
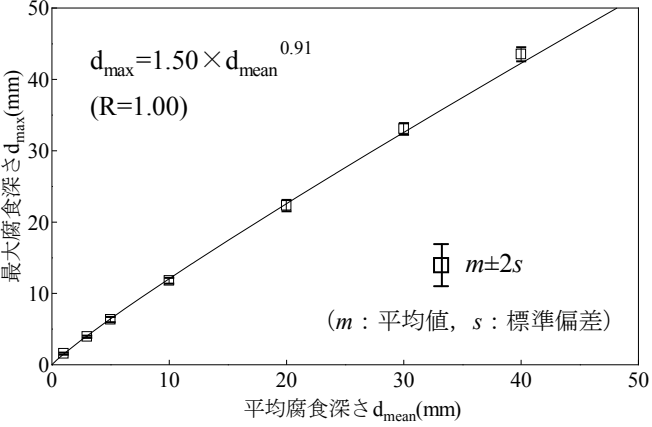


図-7 平均腐食深さと最大腐食深さの関係 (a) 数値シミュレーション (b) 鋼製高欄および数値シミュレーション

図-7 平均腐食深さと最大腐食深さの関係