

腐食損傷を有する鋼部材に対するセラミック系材料の引張付着強度に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○加藤 祐介 九州大学大学院 正会員 貝沼 重信
阪神高速技術(株) 正会員 山上 哲示 阪神高速技術(株) 正会員 塚本 成昭

1. はじめに 鋼構造物を腐食損傷に対して適切に維持管理するためには、その腐食表面性状を把握した上で補修・補強を行うことが重要となる。本研究では補修時に撤去された鋼製壁高欄基部を対象として、その腐食表面性状を把握するため、空間統計分析を行った。また、腐食部材の補修・補強材料にセラミック系材料を用いることを想定した付着強度試験を実施することで、平均腐食深さと付着強度、および空間統計量と付着強度の相関関係を明らかにした。

2. 試験体 試験体には供用後37年経過した鋼製壁高欄基部から切り出した70×70mmの寸法の鋼板(JIS G3101 SS400、腐食前の板厚:6mm)を用いた。試験体の表裏面は、それぞれ高欄外面の塗装が健全であった無腐食面、および高欄内面の塗膜が全面劣化した腐食面である。本研究では高欄内面の腐食表面のみを検討対象とした。なお、部材表面の腐食生成物はブラスト処理により除去した。腐食表面性状はレーザーフォーカス深度計(スポット径:30μm、分解能:0.05μm)により測定した。また、平均腐食深さは片面のみが腐食していたため、重量換算に基づき算出した。なお、試験体の腐食による表面積の増加は、腐食前に対して5%以下であった。

3. 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。そこで、回帰樹分析¹⁾を用いることで、全面腐食と局部腐食が混在する腐食領域を分割・分類した。なお、分割回数は複雑度パラメータ c_p 値を用いて決定した。 c_p 値は全試験体の中で、腐食表面性状の凹凸が小さく全面腐食が生じていた試験体に対して、回帰樹分割回数が0となる値とした。腐食表面の回帰樹分析結果の例を図-1に示す。試験体数は29体で、各試験体の回帰樹分割数は1~9領域であった。腐食表面性状の特性値である空間統計量(レンジ h , シル γ)は、回帰樹分割後の領域に対して、セミバリオグラム分析¹⁾を行うことで算出した。平均腐食深さ d_{mean} と空間統計量の関係を図-2に示す。平均腐食深さと空間統計量の関係には累乗関係があり、 d_{mean} と h および d_{mean} と $\sqrt{\gamma}$ の関係は、それぞれ図中に示す累乗回帰曲線で表すことができると考えられる。 d_{mean} と h の累乗回帰曲線の相関係数 R は、 d_{mean} と $\sqrt{\gamma}$ の R に比べて低くなっている。これは、鋼製壁高欄試験体の切り出し位置により、腐食環境が大きく異なることに起因していると考えられる²⁾。

4. 引張付着強度試験 付着強度試験は補修・補強材料にセラミック系材料³⁾を採用し、これをブラスト処理後の腐食表面(70×70mm)に打設した試験体を用いることで実施した。なお、試験体端部や側面へのモルタル付着を防止するため、試験体の縁端から内側に5mmの領域についてはマスキング処理した。本研究で用いたセラミック系材料は、耐熱性、密着性、緻密性や高強度早強性などの特徴を有している。セラミック系材料の水配合比は、22%とした。また、打設時の室温は、約20℃として、養生は気中で行った。材齢7日のセラミック材料の圧縮強度および割裂引張強度の平均値は、それぞれ49.1N/mm²および3.5N/mm²であった。本試験は変位制御で0.1mm/sec.で実施した。試験体の破壊状況を図-3に示す。試験体の破壊形式は、全て

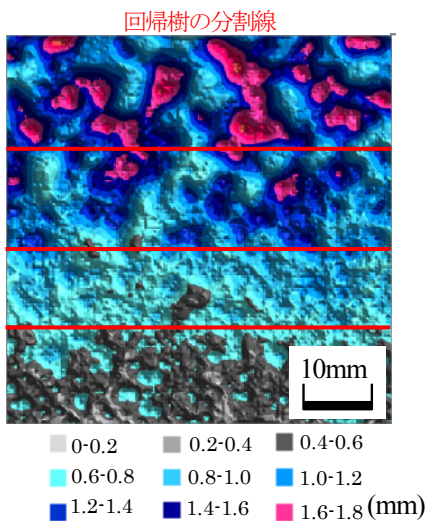
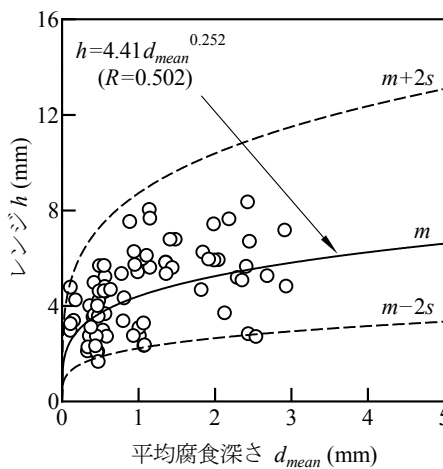
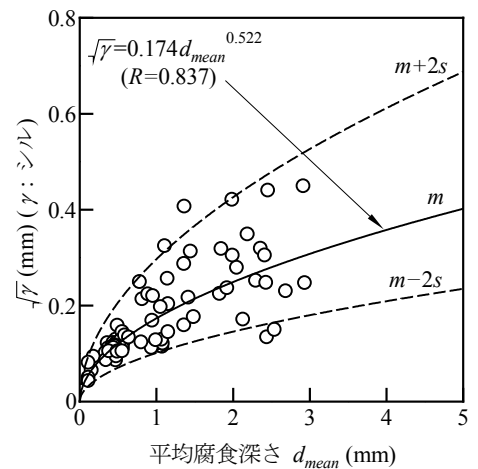


図-1 回帰樹分割の例



(a) 平均腐食深さとレンジの関係



(b) 平均腐食深さとシルの関係

図-2 平均腐食深さと空間統計量の関係

キーワード：腐食, 補修・補強, 付着強度, 空間統計分析

〒819-0395 福岡市西区元岡744番地 九州大学大学院 工学研究院都市環境システム工学専攻 TEL : 092-802-3392

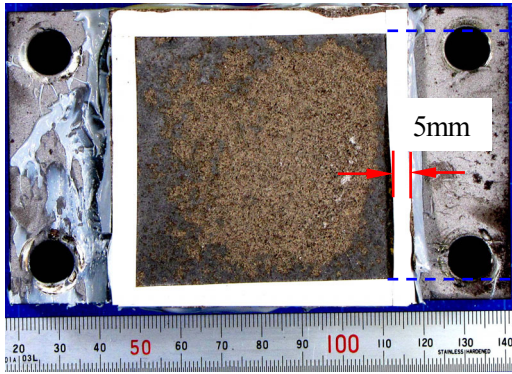


図-3 破壊断面

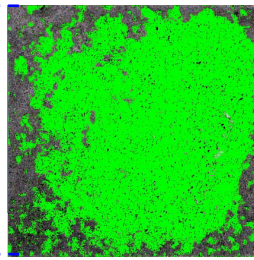


図-4 2値化処理

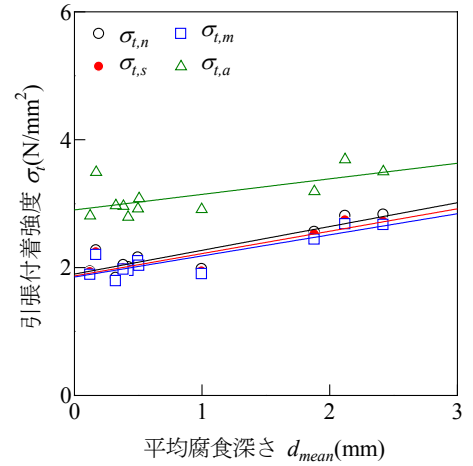
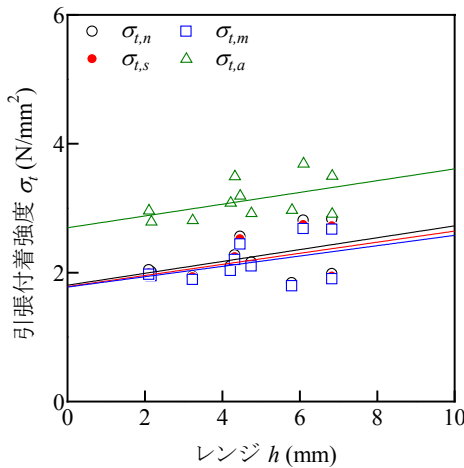
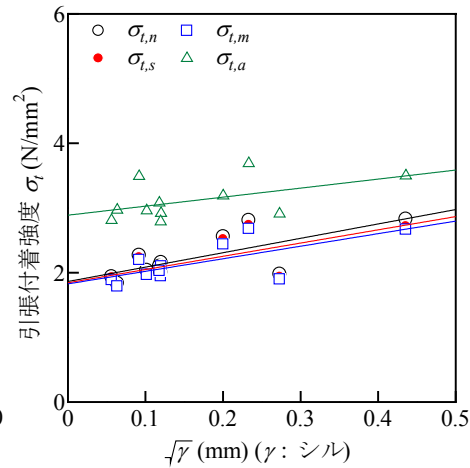


図-5 平均腐食深さと引張付着強度の関係



(a) レンジと引張付着強度の関係



(b) シルと引張付着強度の関係

図-6 空間統計量と引張付着強度の関係

界面および凝集の混合破壊であった。各試験体の引張付着強度 σ_t は、破壊荷重を検討面積 $60 \times 60 \text{mm}$ 、腐食部材表面積および破壊後表面積で除することで算出し、それぞれ $\sigma_{t,n}$ 、 $\sigma_{t,s}$ および $\sigma_{t,m}$ とした。また、試験体周端部で生じるモルタルの温度収縮によるモルタル剥離が付着強度に及ぼす影響を考慮するため、破断面のモルタル付着面積で破壊荷重を除くことで付着強度 $\sigma_{t,a}$ を算出した。モルタルの付着領域の面積は、2値化処理で算出した。モルタル残留による表面積の増加は、腐食前の8%以下であった。

破断面を2値化処理した結果を図-4に示す。また、平均腐食深さ d_{mean} と σ_t の関係を図-5に示す。 d_{mean} と σ_t の関係は、ほぼ比例関係にあると考えられる。2値化処理により算出した $\sigma_{t,a}$ 以外については、相関係数が比較的高くなっており、同様の傾向にある。空間統計量（レンジ h 、シル γ ）と σ_t の関係を図-6に示す。試験体全面に対する空間統計量は、図-1で示す回帰樹分割後の各領域の空間統計量に試験体全面に対する各領域の面積比率を乗じた値の総和と定義することで算出した。 h と σ_t の関係、および \sqrt{h} と σ_t の関係は、 d_{mean} と σ_t の關係に比して、相関係数が低くなっているが、 h と \sqrt{h} が増加するにしたがって、 σ_t がほぼ線形的に増加しており、同様の傾向を示している。この σ_t の増加は、腐食の進行に伴い、腐食孔の幅および深さが増大していくためと考えられる。

5. まとめ

- 1) 平均腐食深さと空間統計量（レンジ、シル）は累乗関係にある。
- 2) 腐食鋼板とセラミック材料の引張付着強度は、平均腐食深さおよび空間統計量に対して、ほぼ比例関係にある。

参考文献

- 1) 貝沼重信, 細見直史, 後藤淳, 伊藤義人: 海洋環境下における長尺鋼部材の腐食挙動の評価・予測に関する基礎的研究, 土木学会論文集, Vol.65, No.2, pp.440-453, 2009.
- 2) 加藤祐介, 貝沼重信, 向川優貴: 腐食環境が鋼部材の腐食表面性状に及ぼす影響に関する基礎的研究, 鋼構造年次論文報告集, Vol.18, pp.603-608, 2010.
- 3) 小出博, 永井光夫, 中馬勝己, 津田康平: 高性能セラミック素材の補修材料への活用について, 土木学会第64回年次学術講演会, V-339, pp.675-676, 2009.