

腐食した鋼部材に対するセラミック材料の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
阪神高速技術(株) 正会員 山上哲示

九州大学大学院 正会員 貝沼重信
阪神高速技術(株) 正会員 塚本成昭

1. はじめに 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。腐食損傷部を適切に補修・補強するためには、腐食表面性状を定量的に把握する必要がある。本研究では腐食損傷を有する鋼製壁高欄基部を対象として、その腐食表面性状を空間統計分析した。この分析結果に基づき、腐食部材の表面性状（空間統計量）と平均腐食深さの相関関係を明らかにした。また、補修・補強材料にセラミック材料を用いる場合を対象として、腐食部材との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 試験体には鋼製壁高欄基部から切り出した 70×70mm の鋼板 (JIS G3101 SS400, 腐食前の板厚: 6mm) を用いた。高欄の内面は塗膜が劣化し、全面に腐食が生じていたが、外面は塗装が健全であったため、腐食損傷が生じていなかった。そこで、本研究ではその腐食面のみを検討対象とした。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、平均腐食深さは試験体の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。試験体の腐食による表面積の増加は、腐食前の 5% 以下であった。

3. 空間統計分析 腐食表面には全面腐食と局部腐食が混在していたため、領域によって腐食挙動が著しく異なる。そこで、回帰樹分析¹⁾により、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、最も平均腐食深さが小さく全面腐食が生じていた試験体に対して、回帰樹分割ができなくなる値とした。腐食表面の回帰樹分析結果の例を図-1 に示す。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。 d_{mean} と h および d_{mean} と $\sqrt{\gamma}$ の関係は、それぞれ累乗関係にあると考えられる。 d_{mean} と h の累乗回帰曲線の相関係数 R は d_{mean} と $\sqrt{\gamma}$ のそれ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って腐食環境が異なるためと考えられる²⁾。

4. 付着強度試験 本研究では腐食部材の補修・補強材料として、セラミック材料を選定した。付着強度試験は、この材料を試験体の腐食表面に打設した試験片を用いて実施した。なお、腐食試験体の端部が付着強度に影響を及ぼさないように、端部から 5mm 内側の周辺領域をマスキングした。本研究で用いたセラミック材料は、耐熱性、密着性、緻密性および高強度早強性などの特徴を有している。セラミック材料の水配合比は 22% とし、打設条件は室内の常温 (20℃前後)、養生条件は大気中とした。材齢 7 日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。付着強度試験は図-3 に示すように、引張およびせん断について実施した。本試験は 0.1mm/sec. の変位制御で実施し、載荷荷重は載荷軸表面に貼付した 4 枚のひずみゲージの平均値を用いて算出した。本稿では引張強度試験結果のみを示す。引張付着試験後の破断面を図-4 に示す。破壊様式はいずれの試験体も界面と凝集の混合破壊であった。引張応力 σ の経時変化の例を図-5 に示す。引張付着強度 σ_t は引張破壊時の載荷荷重を試験体の腐食表面積で除すことで算出した。平均腐食深さ d_{mean} と引張付着強度 σ_t の関係を図-6 に示す。 d_{mean} と σ_t の関係は、比例関係になっている。空間統計量 (レンジ h , シル γ) と引張付着強度 σ_t の関係を図-7 に示す。試験体の全腐食表面の空間統計量は、回帰樹分割後の各領域の空間統計量が面積比にしたがうと仮定することで算出した。 h と σ_t , および $\sqrt{\gamma}$ と σ_t の関係は、いずれもほぼ比例関係にある。これは腐食の進行に伴い、腐食孔の幅および深さが増加したためと考えられる。

5. まとめ 1) 平均腐食深さと空間統計量 (レンジ, シル) の関係は、累乗関係にある。2) 腐食鋼板と本研究で対象としたセラミック材料の引張付着強度は、平均腐食深さと空間統計量に対して比例関係にある。

【参考文献】1) 貝沼重信, 細見直史, 金仁泰, 伊藤義人: 鋼構造物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. 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.

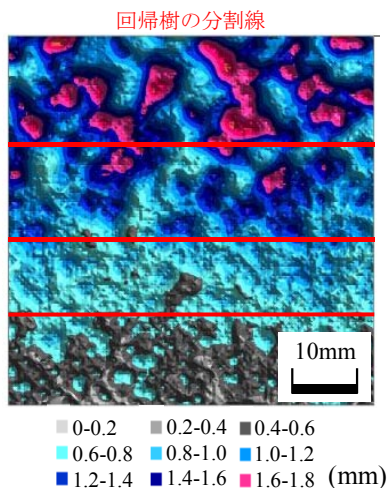
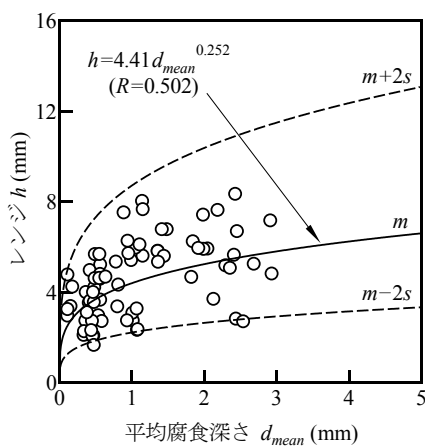
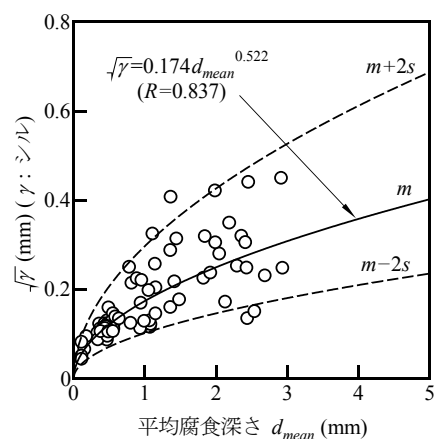


図-1 回帰樹分析の例



(a) 平均腐食深さとレンジの関係

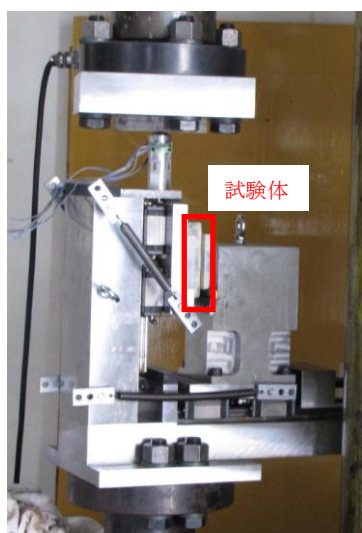


(b) 平均腐食深さとシルの関係

図-2 平均腐食深さと空間統計量の関係



(a) 引張試験



(b) せん断試験

図-3 試験状況

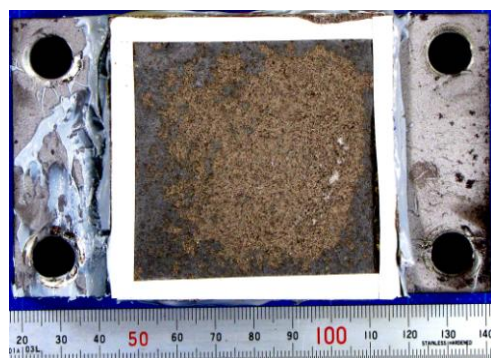


図-4 破壊断面 (引張試験)

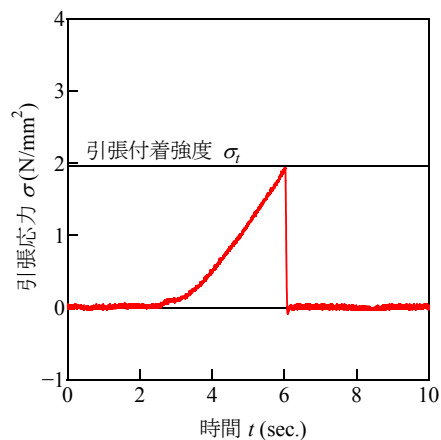
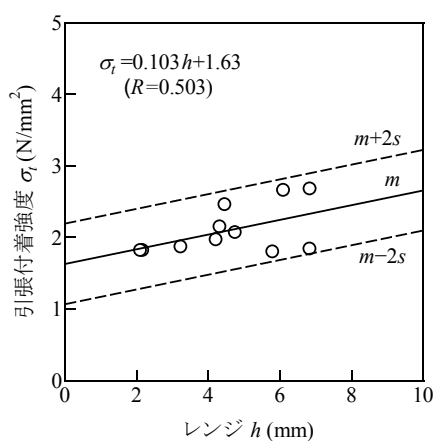
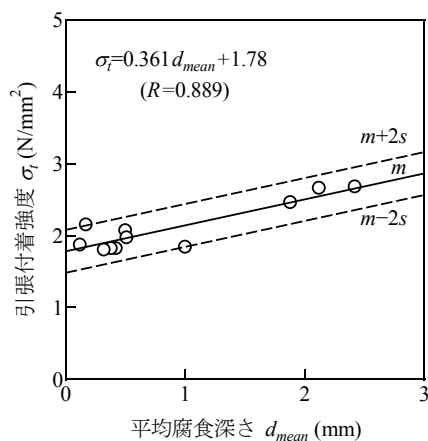
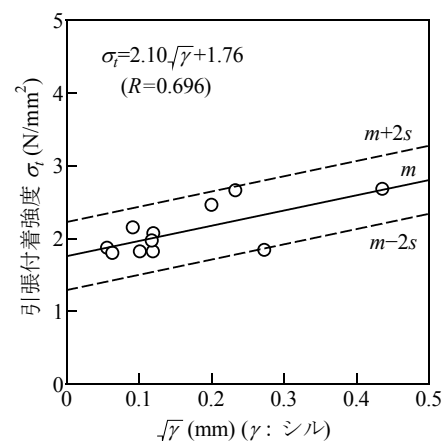


図-5 引張応力の経時変化



(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 平均腐食深さと引張付着強度の関係

図-7 空間統計量と引張付着強度の関係