

研削材を用いた超高压水混相流体による表面処理技術の除塩・徐錆効果に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○岡田 紗季
九州大学大学院 学生会員 パク サンホン
西日本高速道路(株) 正会員 豊田 雄介

九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
池田工業(株) 正会員 池田 龍哉
(株)スギノマシン 非会員 森田 裕史

1. はじめに 道路橋において、飛来海塩などの塩類が付着・蓄積する部位に致命的な腐食損傷が多数報告されている。このような重度の腐食損傷が一旦生じると、塗替え塗装時の鋼素地調整で腐食孔底部の塩類や腐食生成物を適切に除去することは極めて困難になる。その結果、塗替え後の早期に進行性の早い塗膜下腐食が局部的に発生・進行する場合が多く、部材破断や構造物の崩壊に至った事例もある。したがって、鋼構造物を安全かつ経済的に維持するためには適切な表面処理を行うことが不可欠である。ブラスト処理などの従来技術では、重度の腐食部材に対して、孔食底部の腐食生成物や残留塩分を完全に除去することが難しい。そこで、著者らはブラスト処理の課題をブレイクスルー可能とする研削材を用いた超高压水混相流体（以下、AWT (Abrasive Water-jet Treatment)）を用いた新技術を開発した。本研究では、AWT による除塩・徐錆効果に関する基礎的研究として、AWT 処理した腐食鋼板のターニングとその鋼板と CFRP の鋼板への接着時等に用いられるエポキシ樹脂の付着引張強度について検討した。

2. 試験方法 試験体は 14 年大気暴露試験を行った $60 \times 400 \times 9 \text{ mm}$ の JIS G3106 SM490A 材（以下、普通鋼）の腐食鋼板を $30 \times 60 \times 9 \text{ mm}$ に切断して用いた。腐食鋼板は水平に対して 45° で設置し、対空面を検討対象とした。大気暴露地点は東側海岸線から約 2.9km、西側海岸線から約 5.3km に位置し、付着海塩の雨洗作用がある九州大学伊都キャンパス構内（以下、九州大学）（Lat. $33^\circ 35' \text{ N}$, Long. $130^\circ 12' \text{ E}$ ）とした。暴露地点の大気腐食環境データを表-1 に示す。気温と湿度は温湿度センサ（分解能： 0.5° C , $0.5\% \text{ RH}$ ）を用いて 2013/9 から 2019/8 まで測定した。飛来海塩量はドライガーゼ法（JIS Z 2328）により測定した。また、Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサ（JIS Z 2384）の出力を用い、降雨の影響を考慮して算出した日平均電気量 q^1 を記している。試験体の平均腐食深さ d_{mean} は 0.085 mm 、最大腐食深さ d_{max} は 0.280 mm であった。試験体の d_{mean} は、試験体の重量減少量から算出し、 d_{max} は試験体中央部の $20 \times 20 \text{ mm}$ の範囲における上位 5 位の平均値で定義した。試験体の AWT による鋼素地調整には、粒度 #80 のガーネットを用いた。AWT 後から現場塗装されるまでの時間を想定し、処理した試験体を沖縄本島の夏期の平均的な測定データに基づき恒温恒湿槽で 28° C と $87\% \text{ RH}$ の環境条件に保持した。試験体は 0, 1, 2, 4, 8, 16 および 24 時間で回収し、それぞれの時間における表面状態をデジタルマイクロスコブにより外観観察した。鋼素地表面の線粗さは触針式表面粗さ測定機（スポット計： $2 \mu \text{ m}$ ）を用いて測定した。測定ピッチは $0.01 \mu \text{ m}$ 、基線長を 10 mm とした 11 線の平均値で線粗さを算出した。また、処理した試験体を用いて、JIS K5600-5-7 に規定されるプルオフ法²⁾に基づき付着引張試験を行った。付着引張試験には卓上試験機ミドルセンスター MSC-10/500-2 を用いた。引張速度は 0.5 mm/min とした。ドリーの全表面を均一な粗さとするため、サンドペーパー（#120）で研磨した。ドリーと試験体は常温硬化型 2 液性エポキシ樹脂接着剤（スリーボンド社製、TB 2087）を用いて、ドリーを対象面に 0.9 MPa で 30 分間圧着することで接着した。なお、圧力と保持時間は、予備試験に基づき付着引張強度のばらつきが最も小さくなる条件を考慮して決定した。

3. 試験結果 AWT 後から 0, 1, 2, 4, 8, 16 および 24 時間経過後における試験体表面のマクロ写真を図-1 に示す。AWT 直後腐食生成物の面積はほぼ 0 であり、恒温恒湿槽に設置後 24 時間保持しても、ほとんど増加しない。したがって、AWT を用いることで、腐食鋼板の塩類を除去できると考えられる。AWT 後からの経過時間と線粗さの関係を図-2 に示す。最大値は 1 時間後の $19.4 \mu \text{ m}$ 、最小値は 24 時間後の $15.9 \mu \text{ m}$ であり、全てのターニング時間において平均値 $18.0 \mu \text{ m}$ から 30%以内である。腐食面積と同様に、24 時間経過後、線粗さも変化していない。したがって、AWT 後からの経過時間は線粗さにほとんど影響を及ぼさず、24 時間経過しても塗膜の付着強度は変化しないと考えられる。付着引張強度試験では図-3 に示すように、鋼素地と接着剤間の界面破壊、接着剤の凝集破壊

表-1 暴露地点における大気環境データ

Temperature $T (^\circ \text{ C})$	Relative humidity $RH (\%)$	Precipitation $P (\text{ mm/day})$	Airborne salt $w_s (\text{ mdd})$	Daily average electricity ¹⁾ $q (\text{ C/day})$
16.2	76.4	6.20	0.500	0.0280

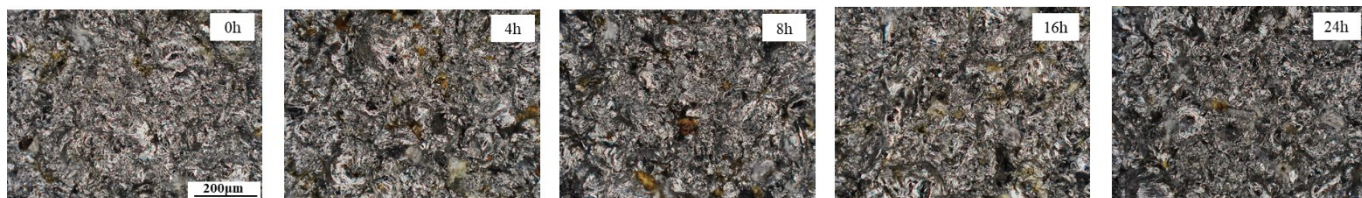


図-1 (b) マイクロ写真 (×350)

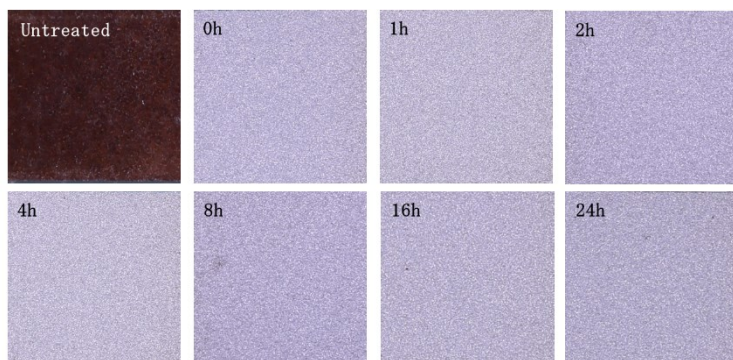


図-1 (a) 試験体外観 (25mm×25mm の領域)

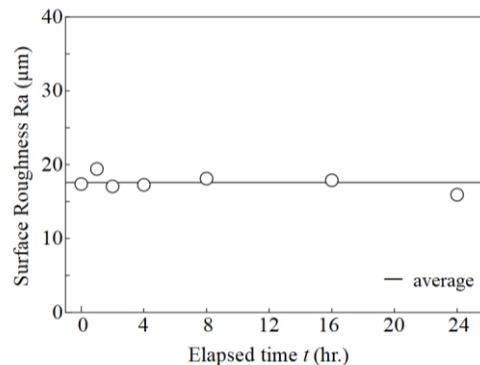


図-2 ターニング時間と線粗さの関係

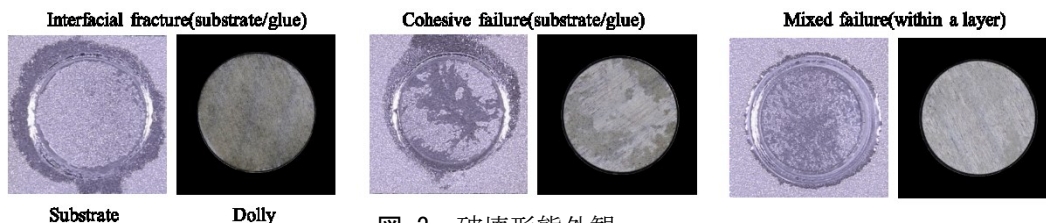


図-3 破壊形態外観

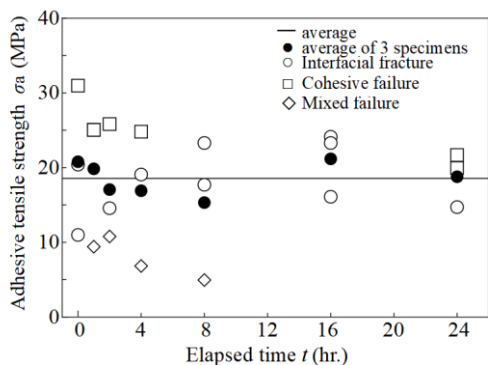


図-4 ターニング時間と付着強度の関係

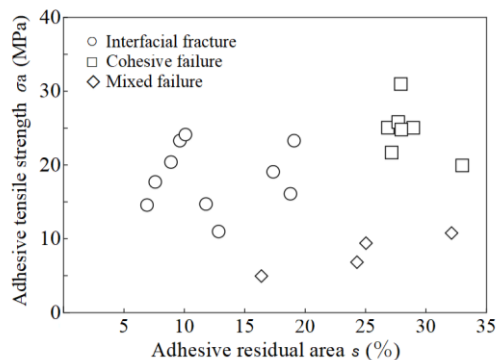


図-5 鋼素地に残留した接着剤面積と付着強度の関係

およびこれらの混合破壊が観察された。時間 t と付着引張強度 σ_a の関係を図-4 に示す。図中の直線は t に対する σ_a の回帰直線を示している。各時間の 3 体の試験体の付着強度はほとんど低下しない。しかし、各時間における 3 体の σ_a の付着強度はばらつきが大きい。また、 σ_a と鋼素地に残留した接着剤の面積 s の関係を図-5 に示す。付着強度は破壊形態により異なり、鋼素地と接着剤間の界面破壊の場合には、3 体のばらつきが小さくなっている。凝集破壊した場合、その付着強度が他の破壊形態に比して大きく、界面破壊と凝集破壊の混合破壊の場合には付着強度が低くなる傾向にある。

4. まとめ 1) AWT により腐食鋼板の鋼素地調整を行うことで、経過時間に関わらず、腐食生成物の領域面積はほとんど変化しない。2) 24 時間程度であれば、経過時間によらず、表面粗さはほぼ同じになり、処理表面とエポキシ樹脂との付着強度も変化しない。以上の結果から、AWT で腐食鋼板を鋼素地調整することで、十分な除塩・徐錆の効果が期待でき、素地調整後 24 時間程度までは CFRP の鋼板への接着時に用いられるエポキシ樹脂接着剤の付着力は低下しないと言える。

参考文献 1) 貝沼重信, 山本悠哉, 林秀幸, 伊藤義浩, 押川渡: Fe/Ag 対 ACM 型腐食センサを用いた大気環境における無塗装普通鋼板の経時腐食深さの評価方法, 材料と環境, Vol. 63, No. 2, pp. 50-57, 2014. 2) 日本規格協会: JIS K 5600 5-7 塗料一般試験方法 一第 5 部, 塗膜の機械的性質— 第 7 節, 付着性 (プルオフ法), 2014.