

超音波噴霧を用いた定量塩付着手法における塩付着性状に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○キム アラン

九州大学大学院
九州大学フェロー会員 貝沼 重信
非会員 有島 和弥

1. はじめに 飛来海塩などの高腐食環境に曝される鋼構造物における鋼材の腐食特性や防食皮膜の防食特性を材料科学や電気化学などの学際的視点で検討するためには、試験体に高精度に定量塩を付着させることが不可欠である。そのため、先行研究¹⁾²⁾ではエアブラシを用いた様々な方法が提案されてきた。しかし、従来の塩付着方法では、塩結晶間の分布などの塩付着性状についてはほとんど検討されておらず、塩結晶の大きさも制御することが困難である。そこで、本研究では超音波噴霧による高精度な定量塩付着方法を提案し、その塩付着性状を明らかにすることを目的とした。そのために、アクリル板、ステンレス（以下、SUS）鋼板および普通鋼板を用いた塩付着試験、塩付着した普通鋼板の腐食試験を行った。

2. 試験方法 試験体には、ウェザロサイズ（150×70×6 mm）のアクリル板、鏡面仕上げした SUS 鋼板および普通鋼板を用いた。なお、塩付着後早期に腐食する普通鋼板や表面傷を有する試験体では、塩付着性状の高精度な分析が不可能であり、初期の塩付着分析のためにアクリル板を用いた。SUS 鋼板と普通鋼板の対象面は、#40～#8000 の研磨紙で表面を極力、鏡面状になるように処理した。塩付着装置の考案に際して、塩噴霧空間の形状・寸法、噴霧塔のスリットの数・形状・角度・寸法、試験体の配置などが塩噴霧の拡散性状や試験体の塩付着性状に及ぼす影響を明らかにするため、これらに対してパラメトリックな予備試験を行った。この結果に基づき、図-1 に示す塩付着装置を考案した。この装置は上部を円錐状、下部を円筒状とした密閉ケース（ポリエチレン製、高さ：1,000 mm、直径：600 mm）の内部に円筒状のアクリル製容器（高さ：130 mm、直径：130 mm）で製作した噴霧塔を設置することで構成されている。噴霧塔の中には、超音波噴霧ユニット（周波数：1.6～1.7MHz、噴霧水粒径：約 5μm、噴霧量：約 400ml/hr）を設置した。なお、超音波噴霧ユニットを設置したアクリル製容器には、塩噴霧時の拡散性向上とスリットへの塩水の滞水防止を考慮して、鉛直方向に 16 個のスリット（長さ：30mm、幅：5 mm）を円周方向に均等配置した。前述の試験体は、図-1 に示すように、噴霧塔の中心からの試験体までの最近接距離が 200 mm となるように、円周状に等間隔で 8 体設置した。噴霧時における装置の密閉ケース内の温度と湿度は、それぞれ 25℃と 60%RH とした。塩水濃度は塩付着の予備試験に基づき、塩水粒子の凝集・偏析や噴霧時間による塩付着効率を考慮して、0.1、10mass%とした。また、噴霧時間は、アクリル板では、1、3、5、10 および 15 min の 5 条件とし、SUS 鋼板と普通鋼板は、アクリル板の結果に基づき、塩付着性状および試験体の濡れ性の違いによる凝集作用が少ない噴霧時間 5 min とした。アクリル板と SUS 鋼板は、噴霧終了後に試験体を密閉ケースから取り出し、噴霧試験と同様の環境で 24 時間乾燥させた。普通鋼板は、定露点型サイクル腐食試験³⁾を行った。普通鋼板は塩水噴霧後、早期に腐食するため、サイクル数は 1 サイクルとした。試験体表面の塩付着性状は、デジタルマイクロスコブを用いて 300 倍で分析した。また、試験体表面の付着塩分量は、試験体（各 4 体）を蒸留純水 100ml（50℃）に 5min 間浸漬して超音波洗浄した後、その溶液の塩分濃度を塩素イオン計（固体膜塩素イオン電極法）

$$W = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (1) \quad E[W] = \frac{1}{2\sqrt{N/S}} \quad (2) \quad P = E[W] / W \quad (3)$$

N : 点の数, S : 対象面積
d_i : 点 i から最近接点までの距離

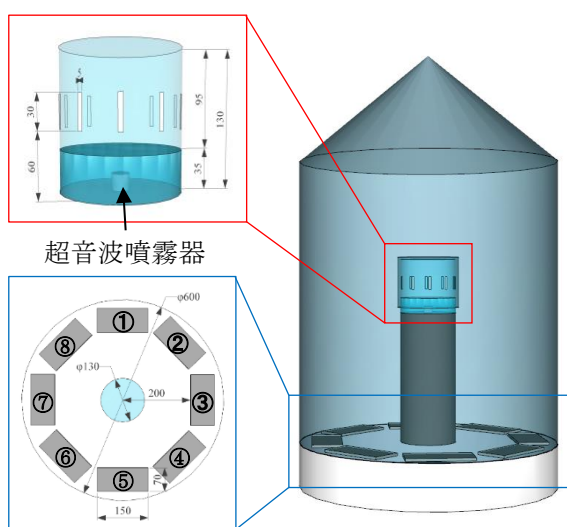
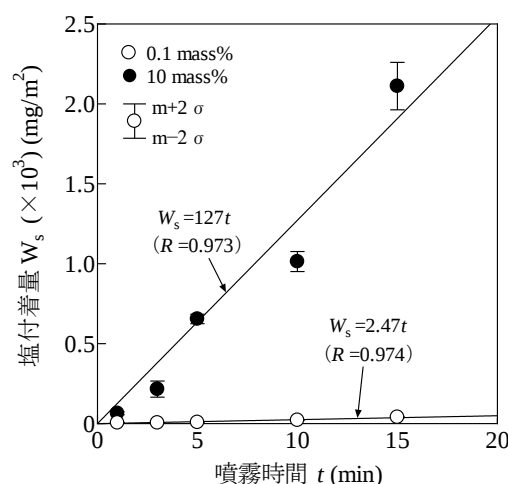
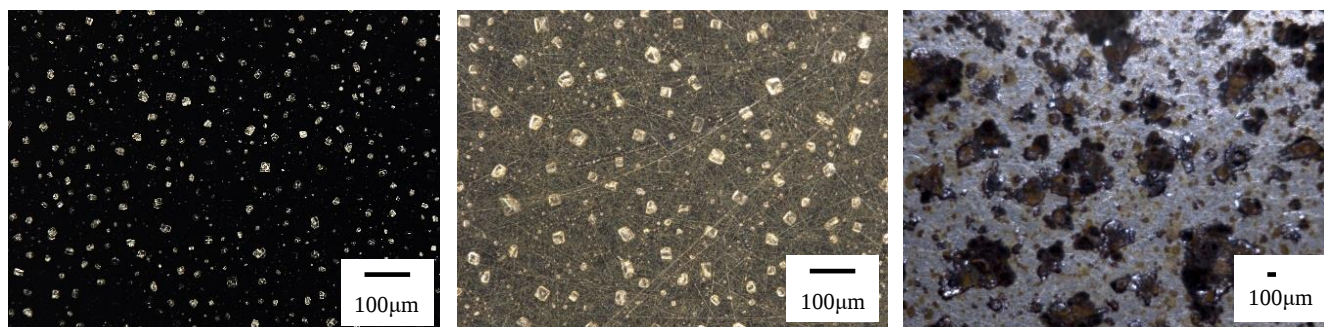


図-1 超音波噴霧試験

図-2 アクリル板の噴霧時間 t と塩付着量 W_s の関係

キーワード 超音波噴霧器、塩付着、空間統計学、定量評価

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡744番地 ウェスト2号館 1104号室 TEL 092-802-3392



(a) アクリル板 (倍率: 300 倍) (b) SUS 鋼板 (倍率: 300 倍) (c) 普通鋼板 (倍率: 30 倍)

図-3 試験体表面の塩付着外観評価 (塩水濃度 10 mass%, 噴霧時間 5 min)

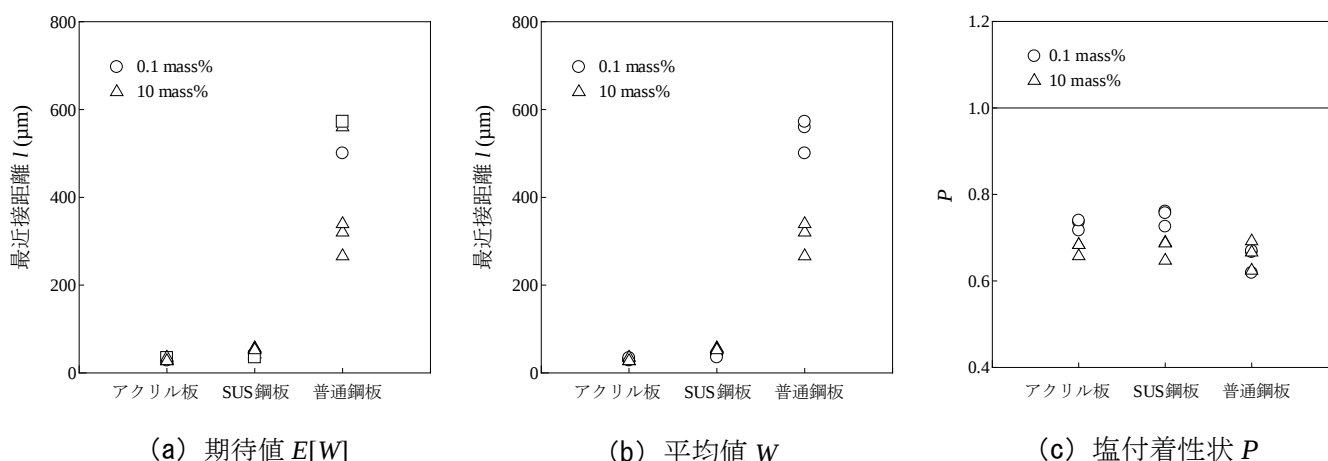


図-4 塩付着性状 P の数値的評価 (塩水濃度 0.1, 10 mass%, 噴霧時間 5 min)

により測定することで評価した。また、試験体表面に付着した塩結晶の付着性状を評価するため、空間統計学的手法である空間点過程を適用した。空間点過程は任意の点とその点から最も近接した点との距離を算出する手法である。最近接距離 l の平均値 W 、およびその期待値を $E[W]$ は、それぞれ式 (1) と式 (2) から算出した。付着性状の評価には、式 (3) P の値を用いた。 $P > 1$ 、 $P = 1$ ($\pm 0.05\%$) および $P < 1$ の場合は、それぞれ点が集中、ランダム分布および分散の状態を意味する。

3. 試験結果 アクリル板の噴霧時間 t と塩付着量 W_s の関係を図-2 に示す。塩水濃度に関わらず t の増加に伴い、 W_s は線形増加している。近似直線の相関係数 R は 0.97 以上で相関性が高い。したがって、本研究で用いた塩付着手法は t により定量的に W_s を制御できると言える。10 mass% の塩水を 5 min 噴霧したアクリル板、SUS 鋼板および普通鋼板の表面の塩付着外観を図-3 に示す。図-3 (a) と図-3 (b) に示すように、SUS 鋼板では、アクリル板に比して塩結晶数が少ない。また、アクリル板と SUS 鋼板に付着した塩結晶の平均粒径はそれぞれ約 20.4, 38.9 μm であり、SUS 鋼板に付着した塩結晶の粒径は大きい。これは SUS 鋼板の濡れ性に起因して、凝集しやすいためと考えられる。また、図-3 (c) に示すように、普通鋼板の腐食の平均径は 399 μm である。塩水噴霧直後に腐食する際に、腐食部分が周囲の腐食と結合したことにより腐食の径が増大したと考えられる。試験体ごとの最近接距離 l の変化および塩付着性状を表す P の関係を図-4 に示す。図-4 (a) と図-4 (b) に示すように、アクリル板と SUS 鋼板に関しては期待値 $E[W]$ と平均値 W は、同様の挙動を示す。一方、普通鋼板に関しては、 $E[W]$ と W がアクリル板と SUS 鋼板に比して著しく高い。これは、普通鋼板表面の腐食が進行する際に周囲の腐食部分と結合し、腐食のプロット数 N が減少したためだと考えられる。図-4 (c) に示すように、試験体に関わらず塩付着性状 P が 1 より小さいため、分散分布であり、塩結晶は均一に付着したと言える。したがって、本研究で提案した超音波噴霧による方法を用いることで、試験体に均一かつ高精度に塩付着ができる。

4. まとめ 本研究では、超音波噴霧による高精度な定量塩付着方法を提案し、その塩付着性状を明らかにした。本方法を用いることで、塩水濃度と噴霧時間により塩付着量を定量制御できる。また、塩結晶を対象表面に均一かつ高精度に付着できる。

参考文献 1) 藤井和美, 高橋克仁, 菅原政典: 大気腐食促進試験方法 ISO16539 における塩分付着方法の検討, 材料と環境, Vol.64, pp.458-461, 2015. 2) 高橋克仁, 藤井和美, 大橋健也: アルミニウム合金の大気腐食評価への塩付着と絶対湿度一定による腐食促進試験法の適用, 材料と環境, Vol.63, pp.341-348, 2014. 3) 島田隆登志, 大谷良行, 本川幸翁, 児島洋一, 武藤泉: 定露点型サイクル試験中の 1100 アルミニウム合金の腐食挙動における付着塩の影響, 材料と環境, Vol.62, pp.56-60, 2013.