

超音波噴霧による定量塩付着方法の提案と塩付着性状に関する基礎的検討

九州大学 学生会員 ○有島 和弥

九州大学大学院

九州大学大学院

フェロー会員 貝沼 重信

学生会員 キムアラン

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、ステンレス鋼板および普通鋼板を用いた塩付着試験、および塩付着した普通鋼板の腐食試験を行った。

2. 試験方法 試験体の供試鋼材には、ウェザロサイズ (150×70×6mm) のアクリル板を用いた。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分析が不可能なため、初期の塩付着分析にはアクリル板を用いた。超音波噴霧器、噴霧ケース、試験体の設置方法、および塩噴霧装置の概略図を図-1に示す。本研究では塩水噴霧の飛散の方向性を考慮して、霧粒径の微小な超音波噴霧器 (噴霧粒径: 約 4μm) を用いた。また、図-1 (a) に示すように、塩水噴霧を密閉ケース全体に極力、均一に充満させるために、予備検討結果に基づき円筒状のアクリル製容器 (高さ: 130mm, 直径: 130mm) を用いた。この容器内の中央に超音波噴霧器を設置し、高さ 60mm の位置に 16ヶ所の縦スリット (30×5mm) を円周方向に配置した。なお、スリットは予備検討の結果に基づき、塩粒子の拡散性向上と塩水の滞水防止のため、鉛直方向に導入した。さらに、外気や噴霧ケースの形状が塩付着に及ぼす影響に配慮して、円筒状の密閉ケース (ポリエチレン製, 高さ: 1000mm, 直径: 600mm) を製作した。試験体は密閉ケース内の中央から試験体中央までの距離が 200mm となるように、円周上に等間隔で 8 体設置した。図-1 (b) の奇数番号に設置した試験体は、塩付着性状、偶数番号に設置した試験体は塩付着量を評価した。超音波噴霧器、試験体を密閉ケース内に設置後、温湿度それぞれ 25°C, 60%RH の環境で塩水を噴霧した。塩水濃度は塩付着の予備試験を実施し、塩水粒子の凝集・偏析や噴霧時間による塩付効率を考慮して、1, 3.5, 10 および 20 mass% の 4 種類とした。また、噴霧時間は 1, 3, 5, 10 および 15min の 5 種類とした。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乾燥させた。試験体表面の塩付着性状は、デジタルマイクロスコープ (300 倍) を用いて観察した。また、試験体表面の付着塩分量を高精度に評価するために、試験体を蒸留純水 100ml (50°C) で 5min 間、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, 測定範囲: 0-2000mg/l, 分解能: 0.1mg/l) を用いて測定した。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) の 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。本検討では、塩の配置が分散している状態を均一な塩付着分布とした。

$$W = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (1)$$

$$E[W] = \frac{1}{2\sqrt{N/S}} \quad (2)$$

$$P = E[W]/W \quad (3)$$

N: 点の数, S: 対象面積

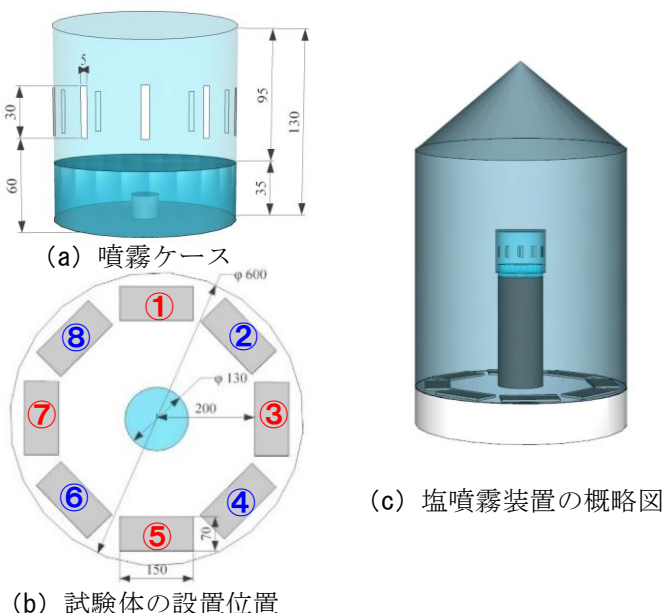
 d_i : 点 i から最近接点までの距離

図-1 超音波噴霧試験

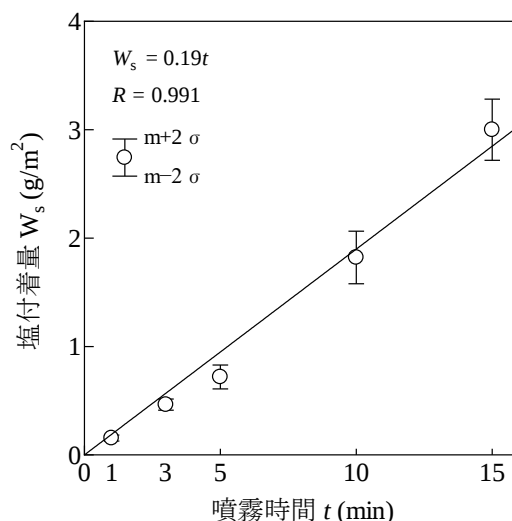


図-2 塩付着量と噴霧時間の関係

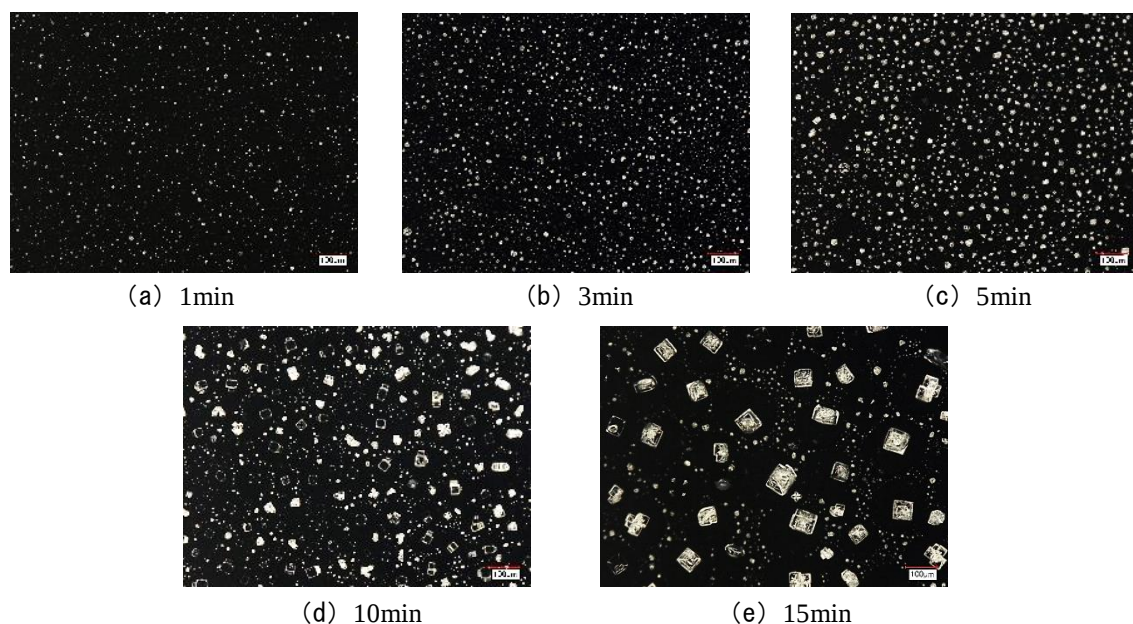


図-3 噴霧時間を変化させた塩付着性状 (倍率, 300 倍)

3. 試験結果 塩水濃度 20mass% の場合における噴霧時間 t と塩付着量 W_s の関係を図-2 に示す. t の増加に伴い,

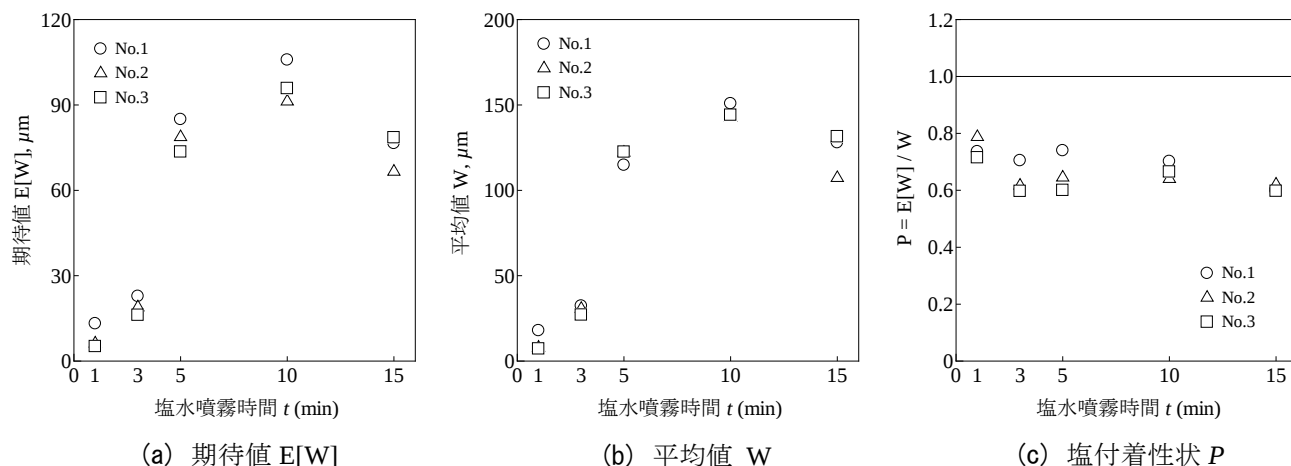


図-4 塩付着性状 P の数値的評価

塩付着量がほぼ線形増加している. 相関係数 R は 0.9 以上であり相関性が高い. この結果から, t により試験体表面の W_s を制御できると言える. 噴霧時間を変化させた場合, アクリル板表面の塩結晶の付着状況を図-3 に示す. 噴霧時間によらず, 試験体表面にほぼ均一に塩結晶が付着していることから, 超音波噴霧器を用いることで塩を効果的に付着できると言える. 噴霧時間 1, 3, 5, 10 および 15min について, それぞれ塩結晶の粒径が約 1~10, 1~20, 1~30, 1~50 および 1~100 μm の塩結晶が付着している. 噴霧時間の増加にしたがって塩粒子のプロット数が減少し, 粒径が増加している. 特に, 図-3 (e) に示す噴霧時間が 15min の場合には, 図-3 (d) に示す噴霧時間 10min に比べて, 塩結晶の粒径が 2 倍大きくなっている. これは試験体表面に付着した塩水粒子が乾燥する過程で周囲の塩水粒子と凝集しているためである. この結果から, 噴霧時間を変化させることでアクリル板の表面に付着させる塩結晶のプロット数と粒径の制御できると言える. 噴霧時間 t と最近接距離 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, 期待値 $E[W]$ と平均値 W は同様な傾向を示しており, t の増加にしたがって $E[W]$ と W は増加する傾向にある. これは噴霧時間が増加するにしたがって, 塩水粒子が凝集することで近接距離が増加すると考えられる. 図-4 (c) に示す塩付着性状 P については, 噴霧時間に関わらず P が 1 より小さく, 分散分布となっているため, 塩が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, その結晶の大きさも制御できると言える.

4. まとめ 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. 今後は, 本塩付着方法を用いて, ステンレス鋼板と普通鋼板の塩付着性状を検討する予定である.

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.