

水膜の乾燥過程の環境における近接塗膜傷間の鋼材腐食の電気化学機構に関する基礎的研究

九州大学 学生会員 ○長谷川 昂志 九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
九州大学大学院 学生会員 増本 岳 九州大学大学院 非会員 佐島 隆生

1. はじめに 飛来海塩環境における塗装鋼 I 桁橋の外桁の内面や内桁などでは、紫外線による光ラジカル反応による塗膜劣化が生じにくい。しかし、飛来海塩が付着・蓄積する環境に曝されるため、ピンホールや顔料粒子との接触界面等に生じたホリデーを介して、進行性の高いマクロセルによる局部腐食が生じやすくなる。また、腐食は単体の塗膜傷からの進行に加え、複数の塗膜傷が相互干渉しながら進行・結合する場合もある。また、部材塗膜表面に結露が発生すると、濡れ・乾きが繰り返されることで腐食の進行が促進されることが考えられる¹⁾。そこで、本研究では水膜の乾燥過程の腐食環境における 2 つの塗膜傷間の電気化学機構を検討するために、モデル試験体を製作して塗膜傷間のマクロセル腐食電流を測定した。

2. 測定方法 試験体の電極は径 20mm の丸鋼 (JIS G 4051 S45C) を機械加工することで製作した。試験体の各電極間には、絶縁と電極を固定する目的でエポキシ系樹脂を充填した。試験体の概略図を図-1 に示す。試験体の滞水対象領域の形状は、乾燥過程の水膜の不整の影響を無くすために、図-1 (a) に示すように矩形とせず、径 70mm の円形とした。試験体の滞水表面は、240~2000 番のエメリー紙を用いて湿式研磨処理した。試験体の裏側については、図-1 (b) に示すように、導線を介して 2 つの電極を接続することで、マクロセル腐食電流を計測するための回路を構築した。著者らの先行研究²⁾において、滞水環境において近接した 2 つの塗膜傷の面積が同一の場合には、電流値が不安定となることを明らかにしている。一方、塗膜傷の面積が異なる場合には、面積の大きい電極がアノードに固定され、塗膜傷間で一定の電流が生じることを明らかにした。本研究では塗膜傷を模した電極の露出面積の組み合わせをφ10mm と 3mm の対とした。電極間の縁端距離は、文献 1) を参考にして、5, 15 および 25mm の計 3 種類とした。また、試験の滞水面上に 1° の勾配を設けることで、水膜の乾燥方向を制御して、φ10mm の電極から乾燥する場合と φ3mm の電極から乾燥する場合の 2 種類の条件で電流測定を行った。水膜は NaCl aq (水温: 22°C) とし、初期水膜厚は試験体が水平状態の場合に 1mm とした。様々な飛来海塩環境に曝される鋼道路橋の構造部位には、1~10000 mg/m² 程度の塩が付着しているとの報告がある³⁾⁴⁾。そこで、本試験では付着塩分量が 100, 1000, 10,000mg/m² の環境を想定して、初期塩水濃度は 1, 0.1 および 0.01 mass% の計 3 種類の条件下で腐食電量を測定した。電流測定は室内環境で行い、電極間のマクロセル腐食電流の測定を試験体が乾燥するまで継続した。試験体の濡れと乾燥の状態は、4 分毎に撮影したデジタル画像 (4608×3456 pixel) を目視により確認することで判定した。水膜厚の経時変化は、電子天秤 (最小表示: 0.01g) を用いて、1 分毎に測定した。

3. 測定結果 マクロセルの腐食電流密度 i_{corr} と試験体中央における水位 h の経時変化を図-2 に示す。図中の実線、破線および色を付けた領域は、それぞれ i_{corr} , h および先に乾燥する電極表面上の乾燥過程の時間を示している。 i_{corr} が正の場合はφ10mm の塗膜傷がアノード、負の場合はφ3mm の塗膜傷がアノードであることを意味する。なお、 h は水膜の重量を密度 1g/cm³ として体積換算後、試験体の滞水対象の領域面積で除すことで定義した。φ3mm から乾燥する場合は i_{corr} が正の値に、φ10mm から乾燥する場合は i_{corr} が負になっているため、先に乾燥する側の電極がカソードに固定されて腐食が進行していると言える。これは先に乾燥する電極の大气中から供給される酸素量が他方の電極に比して多くなるためと考えられる。また、浸漬状態では i_{corr} は変化しないが²⁾、乾燥過程では h の減少に伴って、 i_{corr} は一定とはならず増加して最大値を示している。その後、 i_{corr} は減少して、最終的に 2 つの電極間が短絡しなくなり、 i_{corr} は 0 になっている。各試験における i_{corr} の最大値を図-3 に示す。φ10mm の電極から乾燥する場合の i_{corr} は、φ3mm から乾燥する場合と比較して大きくなっている。これはφ3mm に比してφ10mm の電極では、カソード反応場が増加するためと推察される。したがって、実鋼構造物において、領域が大きい塗膜傷から乾燥する場合の腐食進行性は、小さい塗膜傷から乾燥する場合に比して高くなると考えられる。また、溶液濃度が高いほど i_{corr} の最大値が大きくなる傾向があるため、実鋼構造物では付着塩量が多い部位ほどマクロセルによる腐食反応が促進されると推察される。なお、本測定では電極間の縁端距離が i_{corr} に及ぼす影響については、有意差が確認できなかった。

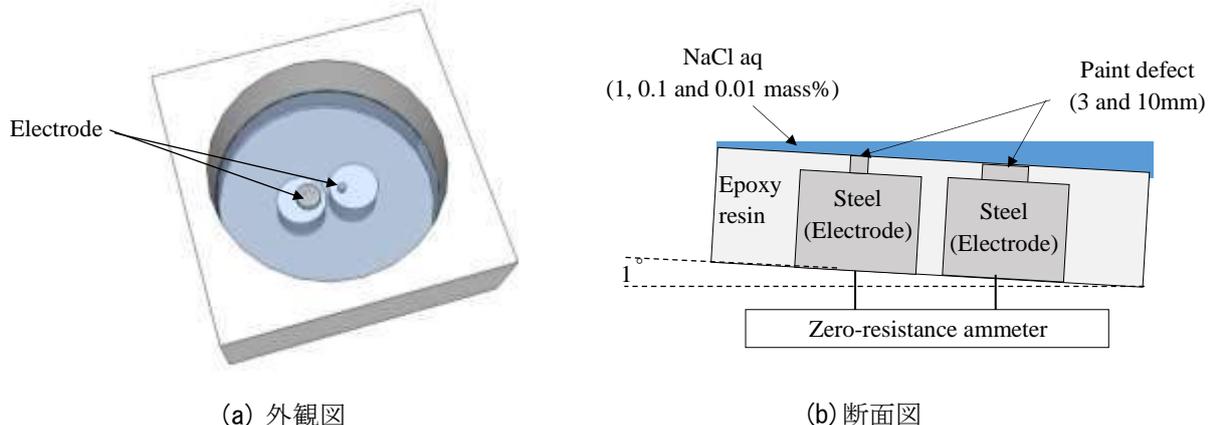


図-1 試験体の概略図

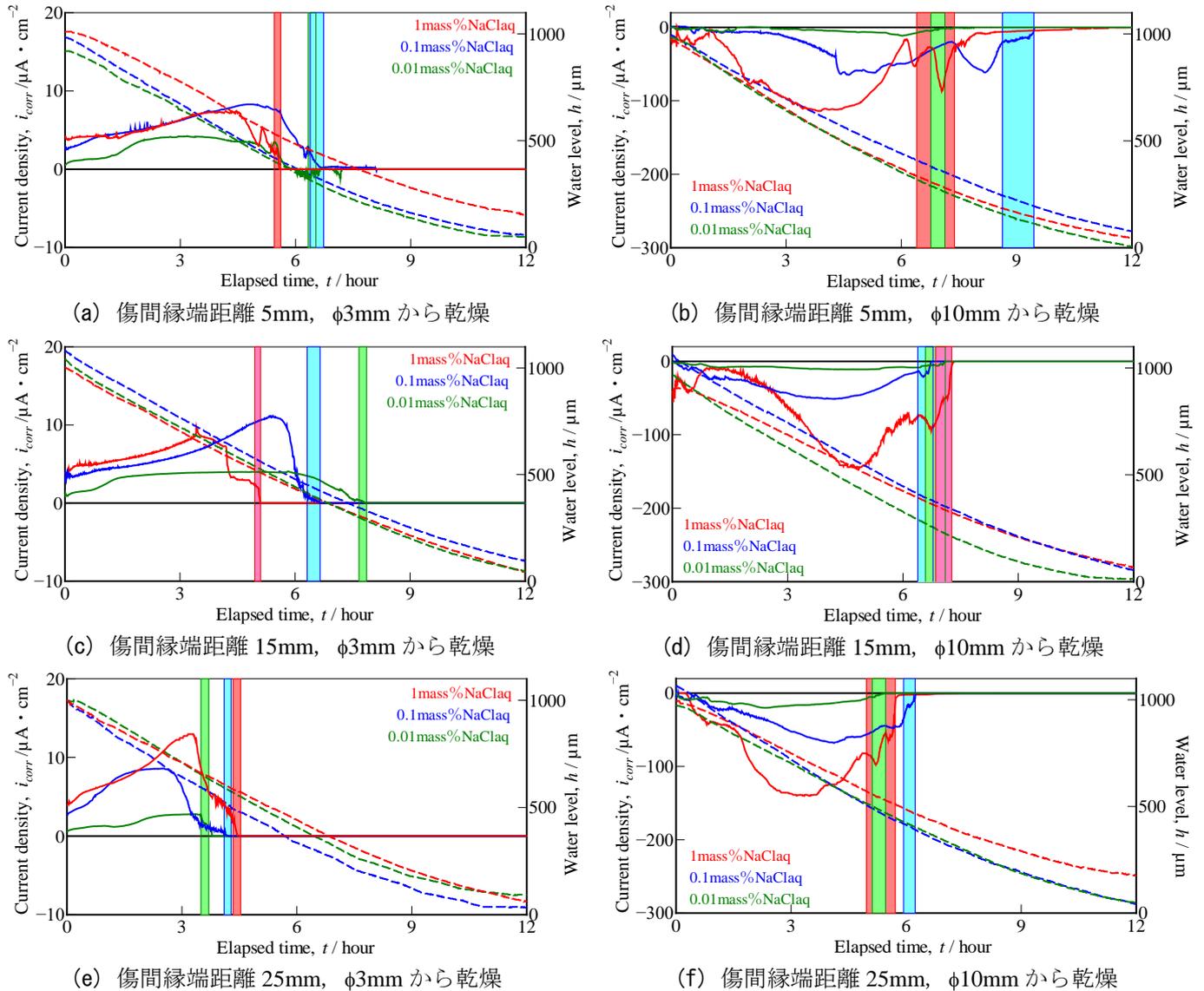


図-2 電流密度及び水位の経時変化

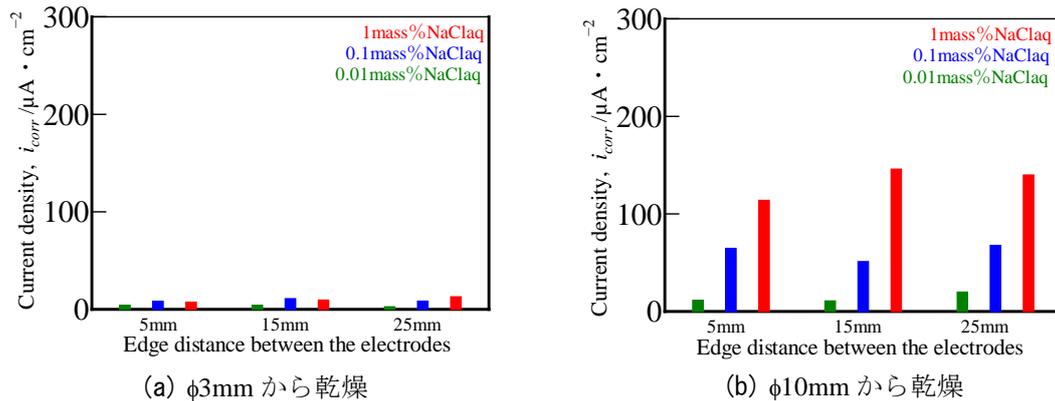


図-3 各試験における電流密度の最大値($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

4. まとめ 1) 乾燥過程において塗膜傷間が短絡する場合、先に乾燥する塗膜傷がカソードに固定されて腐食が進行する。2) 2つの塗膜傷において、径が大きい傷から乾燥する場合の腐食性は、小さい傷から乾燥する場合に比して高くなる。3) 付着塩量の多い部材ほど、乾燥時においてマクロセルの腐食反応が促進されると推察される。

参考文献 1) 小林淳二, 貝沼重信, 増本岳, 坂本達朗: 塗膜傷・劣化の複合性とその電気化学機構を考慮した鋼部材の経時腐食挙動の空間統計数値シミュレーション, 土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集, I-064, pp.127-128, 2016. 2) 増本岳, 貝沼重信, 佐島隆生: 近接する塗膜傷間における鋼材の電気化学機構に関する基礎的研究, 材料と環境 2017, A-202, pp.71-74, 2017. 3) 小畑誠, 李国泰, 渡辺泰成, 後藤芳顕: 局所および広域解析を組み合わせた付着塩分量推定法に関する研究, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.668-678, 2012. 4) 篠原正, 元田慎一, 押川渡: ACM センサによる環境腐食性評価, 材料と環境, Vol.54, No.8, pp.375-382, 2005.