

滞水環境における複数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

九州大学大学院 学生会員 ○増本 岳 九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
九州大学 学生会員 長谷川 昂志 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は、紫外線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。鋼橋においては、塩類が付着・蓄積する乾湿部位と雨水が滞水する部位などに、著しい腐食損傷が報告されている。そこで、著者らは先行研究¹⁾で滞水環境における近接する2つの塗膜傷間の電気化学機構について検討した。本研究は径の異なる複数の塗膜傷間の滞水環境における鋼材腐食の電気化学機構を検討することを目的とした。そのために、このモデル試験体を製作して電極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ために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。図-1 (a) に示すように、1つの試験体に塗膜傷を模した径の異なる3つの電極を配置した。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3つの電極を1点で接続することで、各電極間のマクロセル腐食電流を測定するための回路を形成した。電極の接続の組み合わせは、径 10-3-3mm, 10-5-3mm, 10-7-3mm, 9-5-4mm および 10-10-7mm の計5種類とした。本測定では鋼構造物の滞水部位のように複数の塗膜傷が常時短絡する場合の電気的な相互干渉作用を定量的に把握するために、3.5mass% NaCl aq (水深: 5mm, 水温: 22°C) の浸漬環境における電極間のマクロセル腐食電流を1分毎に24時間測定した。また、測定終了時における各電極のデジタル画像 (4608×3456pixel) の画像解析を行い、電極上で生成された FeOOH 領域の面積を求めることで、実際のアノードとカソード反応面積を推定し、マクロセル腐食電流密度 i_{corr} を算出した。

3. 測定結果 著者らの先行研究¹⁾で得られた2電極間のマクロセルとマイクロセルの腐食電流密度 i_{corr} を図-2 に示す。電極の径によらず電極間の電流値は安定しており、正の値となっている。これは面積の異なる塗膜傷が短絡する場合、面積の大きい塗膜傷がアノードに固定され腐食が進行していることを意味している。また、塗膜傷部の面積の差異が小さくなるほど i_{corr} は大きくなることを示した。本測定で得られた3電極間のマクロセル腐食の電流密度 i_{corr} の経時変化を図-3 に示す。ここではアノード電流を正、カソード電流を負としている。10-5-3mm で接続した場合、図-3 (a) に示すように、径 10mm の電極がアノードとなり、径 5mm と 3mm の電極はカソードに固定され腐食が進行している。径 10-3-3mm, 10-7-3mm および 9-5-4mm の電極の組み合わせでも同様の傾向を示し、最も大きな径の電極がアノードに固定され腐食が進行している。また、2つのカソード電流密度は電極径に関わらずほぼ同じ値を示している。これはカソード反応における単位面積当たりの溶存酸素の還元反応量は、同一環境の場合一定になるためだと考えられる。²⁾一方、10-10-7mm で接続した場合、図-3 (b) に示すように2つの径 10mm の電極がアノード、径 7mm の電極がカソードに固定され腐食が進行している。図-4 に示す試験終了後の試験体の外観についても同様に各電極がアノードとカソードに固定されて腐食が進行していると言える。このとき、2電極間の場合と同様、面積の大きい電極がアノードに固定されることで、マイクロセル腐食に比して腐食速度が増大すると考えられる。著者らの先行研究¹⁾で得られた2電極間のマクロセル腐食の電流密度 i_{corr} と電極の面積比 R_A の相関図に、本測定結果をプロットした結果を図-5 に示す。電極径の組み合わせによらず、回帰直線近傍に本測定結果が位置していることから、3電極間であっても図中の2電極間の関係式を用いることで、マクロセル腐食の電流密度 i_{corr} を推定

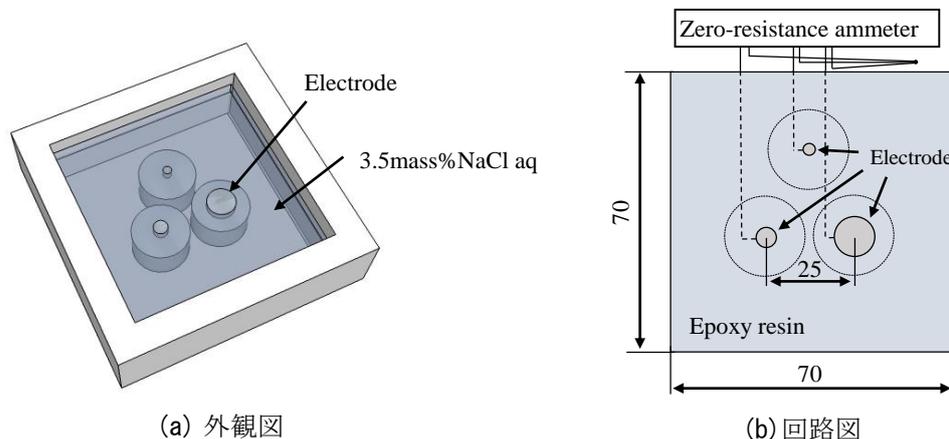


図-1 試験体の外観と回路図 (単位: mm)

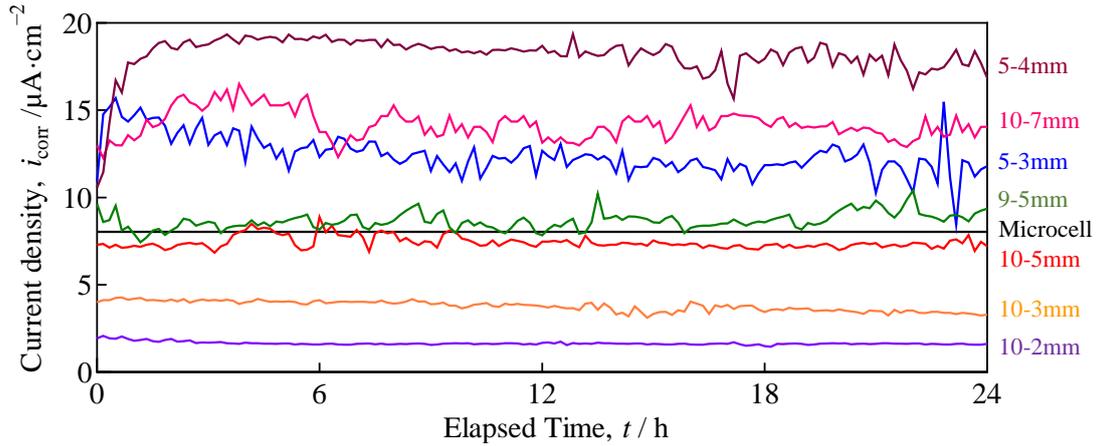


図-2 2電極間の電流密度の経時変化

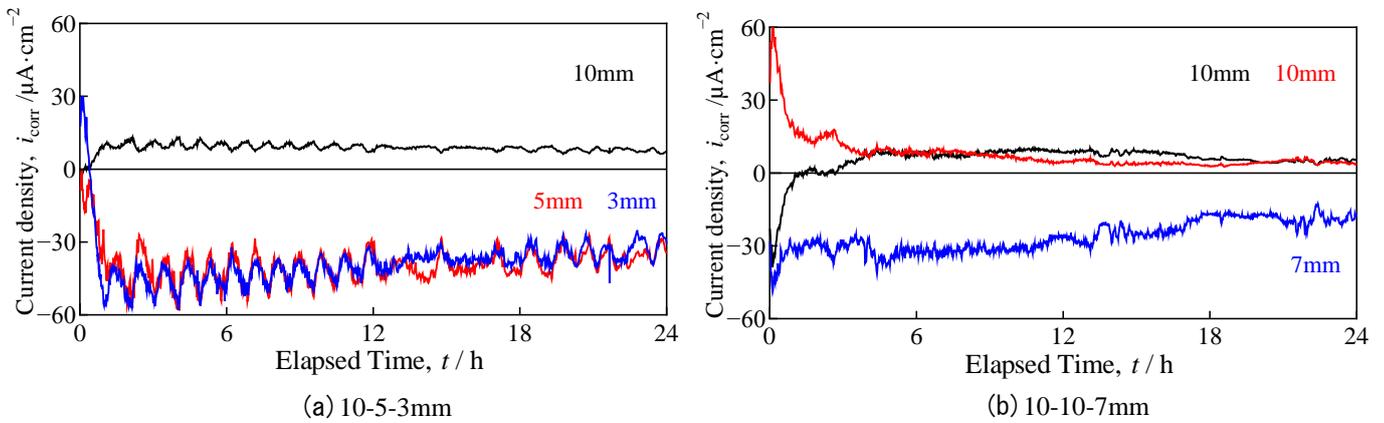
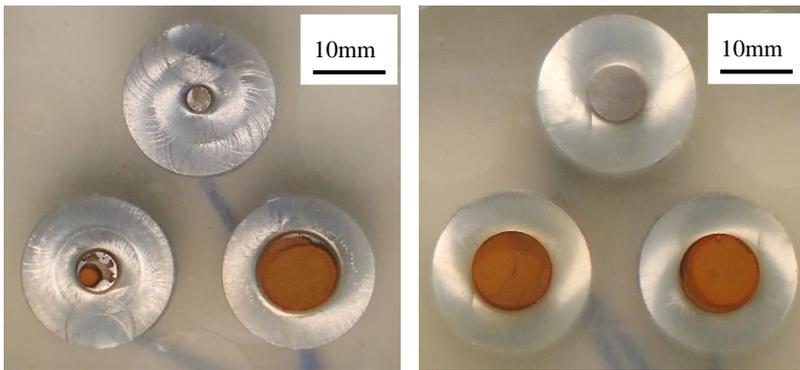


図-3 3電極間の電流密度の経時変化



(a) 10-5-3mm の電極

(b) 10-10-7mm の電極

図-4 試験終了後の試験体の外観

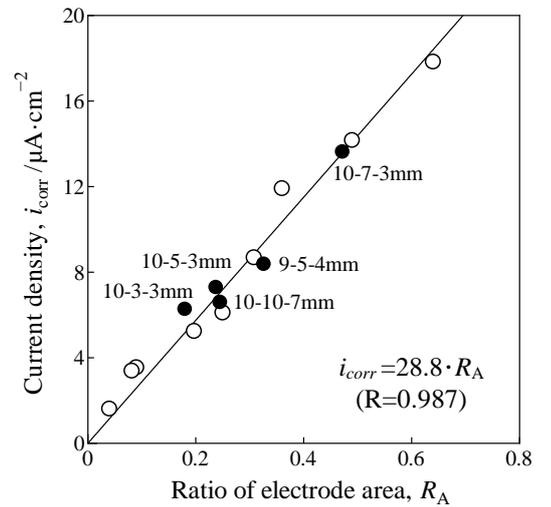


図-5 マクロセル腐食の電流密度と電極の面積比の関係

できると考えられる。

4. まとめ 1) 複数の径の異なる塗膜傷が塩水環境で短絡すると、径が大きい塗膜傷がアノードに固定されて腐食が進行する。2) 塗膜傷部がアノードに固定されることで、マイクロセルに比してマクロセルによる腐食の進行速度が増加する。3) 近接する複数の塗膜傷の面積比とマクロセル腐食の電流密度には、線形の相関関係がある。

参考文献 1) 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. 2) H. Uhlig, D. Triadis, M. Stern: Effect of Oxygen, Chlorides, and Calcium Ion on Corrosion Inhibition of Iron by Polyphosphates, J. Electrochem. Soc., Vol.102, No.2, pp.59-66. 1955.