

塗膜欠陥の近接度が鋼材の腐食挙動に及ぼす影響に関する基礎的研究

九州大学大学院	学生会員	○林 秀行	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	小林 淳二	九州大学大学院	正会員	合田 広樹
			鉄道総合技術研究所	正会員	坂本 達朗

1. はじめに 腐食性が高い塩環境に曝される塗装鋼構造物では、紫外線等により塗膜が劣化する前にピンホールや線傷などの物理的欠陥が起点となり、腐食が発生・進行することが少なくない。この腐食は単体の塗膜欠陥から進行するだけでなく、近接する複数の塗膜欠陥から発生し、それらが相互干渉しながら進展・結合する場合もある。しかし、これらの腐食挙動については不明な点が多い。そこで、本研究では塗膜欠陥の近接度が鋼材の腐食挙動に及ぼす影響を検討するため、単体および複数の円形欠陥を有する塗装鋼板を対象とした腐食促進試験を実施した。

2. 腐食促進試験の方法 試験体はウェザロサイズ(150×70×6mm)とし、その供試鋼材にはJIS G3106 SM490A 材を用いた。試験体の塗装はグリッドブラスト処理 (ISO Sa2.5) した後に、A-5仕様で対象面のみ施した。その裏面については、防食のためにシリコン樹脂を塗布した。塗膜欠陥は図-1に示すように、塗膜に直径 ϕ を1mmとした単体の円形欠陥、直径 ϕ を1mmとして欠陥距離 d をそれぞれ10mmおよび20mmとした複合の円形欠陥の計3種類とした。これらの欠陥は、塗膜表面から鋼素地に達するように機械加工で施した。なお、複数の欠陥については、上側の欠陥からの流れさびの下側の欠陥への影響を抑制するために、各欠陥を板幅方向にずらして配置した。また、塗膜自体の劣化度を評価するために、無欠陥の試験体も製作した。

腐食促進試験には JIS K5600 のサイクル D を適用し、その繰返し回数を 3,600cycles とした。この試験条件は、沖縄本島(気温: 23°C, 相対湿度: 74%RH, 飛来海塩量: 0.29mdd (Lat.26°15'N, Long.127°46'E))に水平に設置した無塗装鋼材の約 40 年の暴露期間に相当する¹⁾。腐食試験後における試験体の塗膜の膨れ、および塗膜と腐食生成物の除去後の表面性状は、レーザーフォーカス深度計(スポット径: 30 μ m, 分解能: 0.05 μ m)を用いて、0.2mm ピッチで測定した。また、塗膜の劣化状態を評価するために、塗膜の交流抵抗値を LRC ハイテスタを用いて、測定範囲を 10m Ω ~200M Ω とすることで測定した。

3. 腐食促進試験の結果 試験終了後における試験体の塗膜の表面状態を図-2 に示す。d が 10mm の試験体は、塗膜の膨れ部分が結合しているが、d が 20mm の試験体では結合していない。塗膜と腐食生成物の除去後における試験体の表面性状を図-3 に示す。d が 10mm の試験体は塗膜欠陥が結合し、d が 20mm の試験体の塗膜欠陥は結合していない。また d が 10mm と d が 20mm の試験体は、いずれも局部腐食が発生している。特に、d が 10mm の試験体については、多数の腐食孔から塗膜欠陥が生じている。

腐食試験後の塗装の膨れ面積 A_p と鋼素地の腐食面積 A_s の概念図を図-4 に示す。本検討では塗膜膨れ面積 A_p は、無腐食領域の高さを閾値と設定し、この閾値に比して高い領域を抽出することで算出した。鋼素地腐食面積 A_s は、腐食試験後の試験体の塗装と腐食部を除去した後の鋼素地の無腐食領域の高さよりも低い領域として定義した。

無欠陥部の試験体の塗膜の交流抵抗値 R_p 、および静電容量値 C_p の測定結果を図-5 に示す。測定では導通させる領域を 50×50mm² とした。図中の値は基準面積 100cm² に換算した R_p と C_p の値を示している。測定時に用いる導電ペーストには 3wt%NaCl とカルボキシルメチルセルロースナトリウムを用いた。測定周波数は交流周波数依存性を確認するために、200, 400, 600, 800 および 1000Hz とした。図-5 (a) と (b) に示すように、促進サイクルの経過に伴い R_p と C_p の大小関係が異なっているが、初期値に対して差異がほとんど無いことから、塗膜は劣化していないと考えられる。

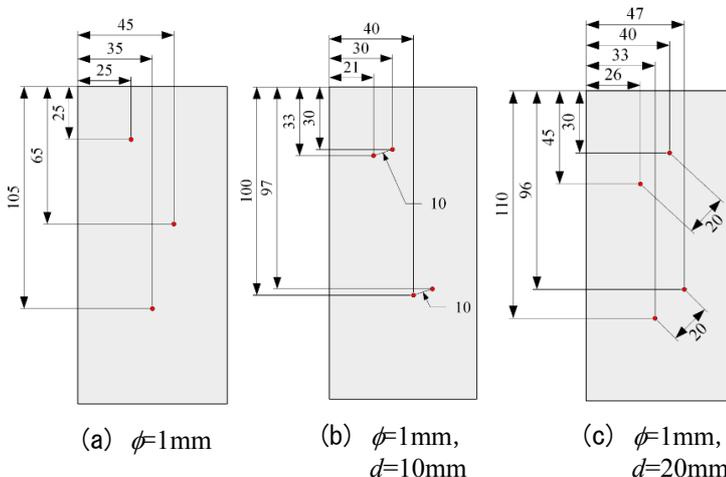


図-1 試験体の塗膜欠陥の寸法と配置(単位: mm)



図-2 試験終了後の試験体の腐食状況

キーワード 腐食 塗装 腐食促進試験 欠陥 近接度

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

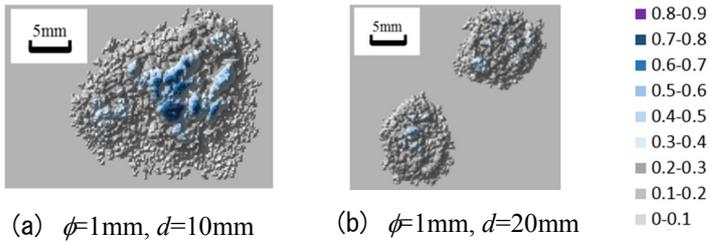


図-3 塗膜と腐食生成物の除去後における鋼素地の腐食表面性状

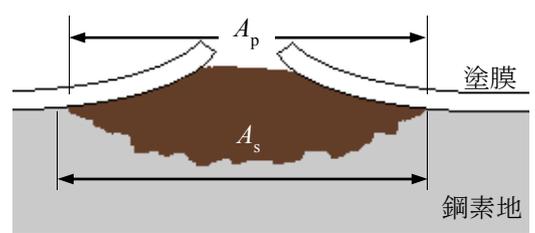


図-4 塗膜の膨れ面積 A_p と鋼素地の腐食面積 A_s の概念図

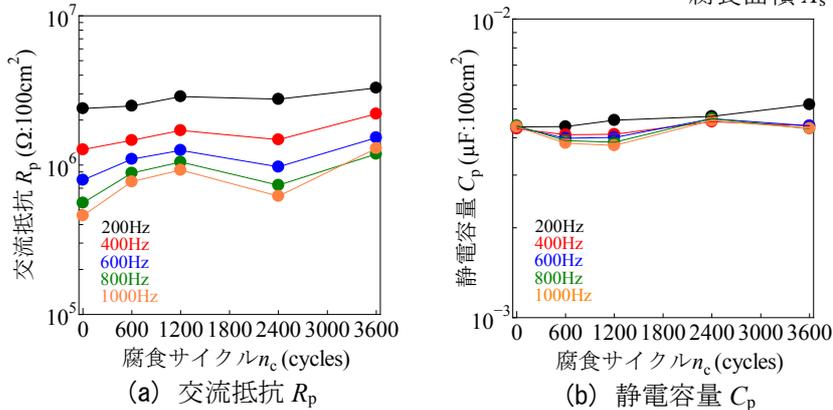


図-5 交流抵抗 R_p および静電容量 C_p の測定結果

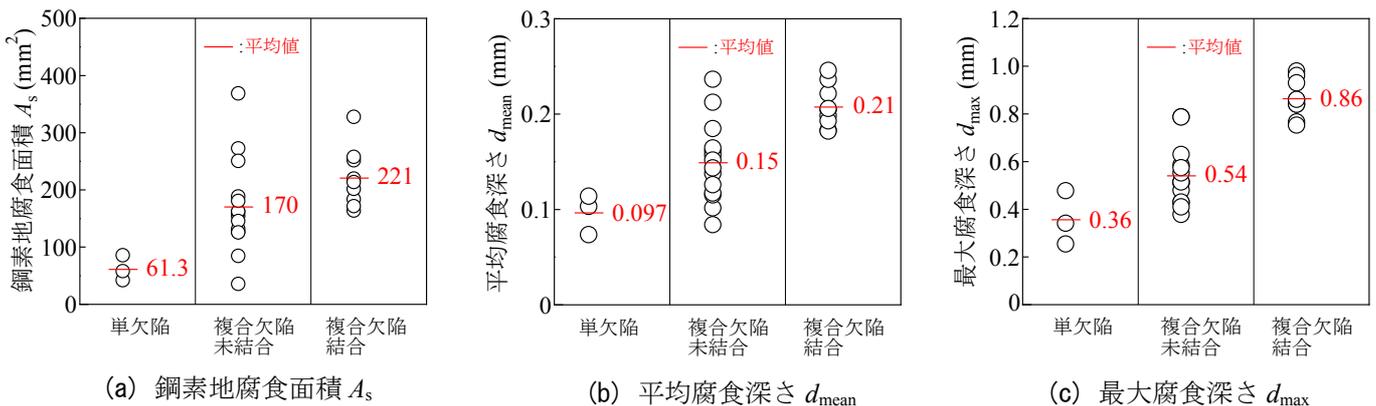


図-6 各種塗膜欠陥の鋼素地腐食面積 A_s , 平均腐食深さ d_{mean} および最大腐食深さ d_{max}

単欠陥と複合欠陥において2つの塗膜欠陥が未結合の場合、および2つの欠陥が結合した場合の A_s , d_{mean} および d_{max} を図-6に示す。なお、単体の円形欠陥の A_s と比較するために、2つの塗膜欠陥が結合した複合欠陥の A_s については、欠陥数で除した値を示す。単体の円形欠陥に比して、複合の円形欠陥の A_s , d_{mean} , d_{max} が大きくなっている。単体の円形欠陥の A_s の平均値に比して、複合の円形欠陥の A_s の平均値は3倍程度になっている。また、単体の円形欠陥の d_{mean} および d_{max} の平均値に比して、塗膜欠陥が未結合の複合の円形欠陥の d_{mean} と d_{max} の平均値は1.5倍、塗膜欠陥が結合している複合の円形欠陥の d_{mean} と d_{max} の平均値は2倍程度になっている。これは腐食の進展が塗膜欠陥の結合の有無に関わらず近傍の塗膜欠陥の影響を受けるためと考えられる。近傍に塗膜欠陥が存在する場合、1つの塗膜欠陥の内部のみで腐食が進展するのではなく、隣接する塗膜欠陥の間で電気回路が形成されると考えられる。前述のように、3,600cycles後の塗膜は健全な状態であった。そのため、隣接する塗膜欠陥の間に、電気化学的応答を生じるほどの抵抗の小さい電気回路が形成されたとすると、その回路は塗膜内部を通じる電気回路ではなく、塗膜表面が濡れている際に隣接する塗膜欠陥が導通することで形成される電気回路であると推定される。隣接する塗膜欠陥が電気的に短絡すると、1つの塗膜欠陥の内部で流れる腐食電流に比して、大きな腐食電流が流れる。そのために、複合の円形欠陥の腐食の進行性が、単体の円形欠陥の場合に比して高くなったと考えられる。また、隣接する塗膜欠陥が電気的に短絡するのは、塗膜表面に水分が付着したときのみである。そのため、塗膜表面が乾燥状態にあり隣接する塗膜欠陥が電気的に短絡しない場合については、隣接する塗膜欠陥の腐食はそれぞれ独立して進行すると考えられる。

4. まとめ 近接する複数の円形欠陥における鋼素地腐食面積、平均腐食深さおよび最大腐食深さは、その結合の有無によらず、単体の円形欠陥に対して1.5~3倍程度となる。

参考文献 1) 貝沼重信, 山本悠哉, 伊藤義浩, 林秀幸, 押川渡: 腐食生成物層の厚さを用いた無塗装普通鋼材の腐食深さとその経時性の評価方法, 材料と環境, Vol.61, No.12, pp.483-494, 2012.