

## 大気環境における機能性防錆塗装システムの腐食進行特性に関する研究

宮崎大学大学院 学生会員 ○豊田 祐樹, 汐川 晶 宮崎大学 正会員 中野 敦  
宮崎大学 正会員 森田 千尋 (株)オリエンタルコンサルタンツ 非会員 博多屋 智志

## 1. 研究背景・目的

鋼道路橋の老朽化が漸進的に進行する我が国では、赤錆を安定した錆へ転換する機能性防錆塗装システムが新しく多数開発されている。狭隘部などで1種ケレン程度(ブラスト工法)の素地調整が困難な場合でも、3種ケレン程度の素地調整を行い、残った赤錆を化学的に安定した錆に転換する塗装法である。これにより、長期防食性能を保持し、騒音やケレンダストなどの環境負荷の低減、LCCの削減に繋がる。しかし、黒錆の安定期間が不明瞭であることや実環境での従来塗装との比較試験が実施されていないなど、各塗装システムの性能においては未解明な部分が多い。そこで本研究では、各機能性防錆塗装システムについて、それぞれの錆安定化機構について調べた。また、鋼板表面上の残存錆厚と付着塩分濃度を変化させた鋼板に従来塗装と5種類の各種塗装システムの試験体を作製し、宮崎県内2か所において実施した大気暴露試験を通して、それらの初期腐食挙動及び腐食進行特性について評価した。

## 2. 試験方法

試験体はSS400鋼材:150×70×2.3mmの鋼材を使用した。裏面には防錆塗料による保護塗装をしている。試験体は塩害環境下において1年間自然発錆させたのち、3種ケレンを想定して、錆厚を75 $\mu\text{m}$ と25 $\mu\text{m}$ に調整した。錆厚25 $\mu\text{m}$ の試験体においては、現場塗装時において工程中に飛来塩分が塗膜内に含まれる可能性を考慮し、100mg/m<sup>2</sup>の付着塩分を含有させた。表-1に試験体の初期条件を示す。各条件にて作製した鋼板上に従来塗装系(Rc-I, Rc-III)および5種類の塗装システム(A~E)を塗布した防錆塗装鋼板を図-1のように作製した。試験体は、「工法\_暴露場所の頭文字\_初期条件」のように分類した。暴露期間は5年間とし、本システムの錆安定化機構や初期腐食挙動及び腐食進行特性は以下のように検討する。

はじめに、塗装システムは塗装前の残存錆の表面性状を評価するために手工具による素地調整前(錆厚約

105 $\mu\text{m}$ )と調整後(錆厚約75 $\mu\text{m}$ と約25 $\mu\text{m}$ )の天然錆板表面にX線を照射(PANalytical X'Pert-Pro MRD)し、腐食生成物の変化を検討した。

次に、素地調整した試験体に5種類の塗装システムを塗布した。各種工法によって残存錆を黒錆に安定化する機構は異なっている。そこで、各塗装システムの錆安定化機構を推察するために、SEM観察およびEDXによる元素分析を行った。腐食進行特性を暴露架台と試験体を宮崎県下2か所に設置し、2021年7月から暴露試験を行った。宮崎大学木花キャンパス構内の暴露試験場において、試験体の暴露面は南向き、水平角度30°に設置した。一方、同学延岡フィールド構内に、海側の北向きに水平角度30°で設置した。なお、延岡試験場は北および西側は海洋に面している。それぞれの大気暴露試験場の腐食環境は、ドライガーゼ法による飛来塩分量の測定や風向・風速および気温・湿度などの気象観測を行った。

腐食の進行を評価するために、点錆やふくれなどの塗膜の表面性状の変化を1ヶ月ごとの外観観察によって調べた。大気暴露1年後の試験片に対しては、重量及び塗膜厚・錆厚の測定やSEM観察およびEDXによる元素分析を行い、初期との暴露1年後の試験片を比較し、腐食進行特性について検討した。

## 3. 結果と考察

図-2に塗装前錆板のX線回折結果を示す。素地調整前はレピドクロサイト( $\gamma\text{-FeOOH}$ )が多く、わずかにマグネタイト( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )も検出された。一方、調整後はマグネタイトの回折が支配的となった。この傾向は錆厚が小さくなるほど多く見られ、錆層の下層において酸素の補給が抑制され、レピドクロサイトからマグネタイトに還元された<sup>2)</sup>ものが、表面研磨によって露出したものと考えられる。すなわち、錆表面を3種ケレンによって研磨することで錆の安定化を図ることができるものと考えられる。しかしながら、マグネタイトは還元性の環境下で初めて安定する化合物であるため、早急

表-1 試験体の初期条件

ケース	残存錆厚( $\mu\text{m}$ )	付着塩分量(mg/m <sup>2</sup> )
1	75	0
2	25	0
3	25	100

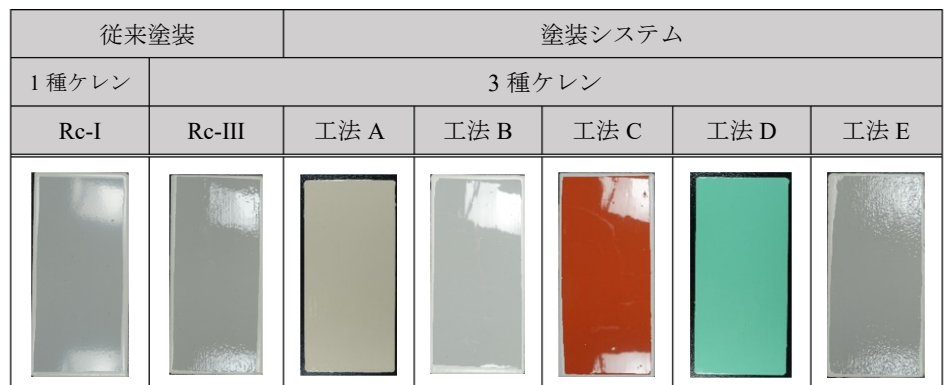


図-1 各種塗装システム

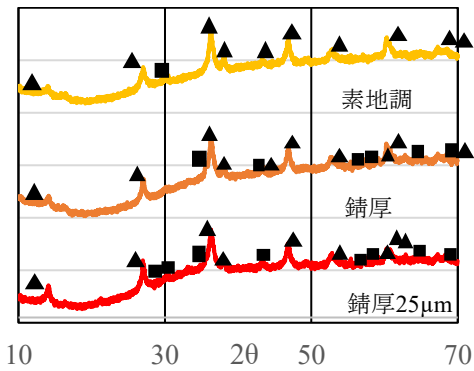


図-2 X線回折結果

▲ : レピドクロサイト ( $\gamma$ -FeOOH), ■ : マグネタイト ( $Fe_3O_4$ )

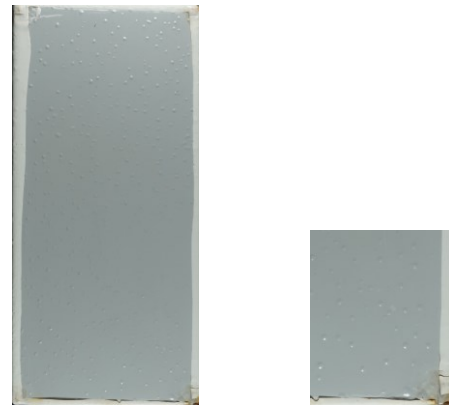


図-4 1年後のB\_K\_3 (左)と端部の点錆 (右)

や水分などの腐食因子を鋼素地から保護し、塗膜内を還元性の環境に保持することによって、残存錆をマグネタイトに安定させていると推定できる。工法Eでは、Alが下塗りと錆層から検出された。山下ら<sup>1)</sup>は、Al<sup>3+</sup>を添加した反応性塗料により、オキシ水酸化鉄の中でも防食性に優れたゲーサイト ( $\alpha$ -FeOOH) 構造を主体とした錆層に変化することを明らかにした。これにより、ち密な錆構造のゲーサイトの存在によって、防食性が保持されていると推察できる。さらに、大気暴露試験を1年間行った各塗装システムに関して初期材と同様に断面解析を行い、初期材と比較した。初期材で検出された元素分布に違いはなかったため、塗装による防食性が保持されていると考えられる。

しかしながら、1年間の大気暴露試験により、試験体によっては点錆およびふくれの発生が視認された。図-4に表面変化の一例として、暴露1年後のB\_K\_3試験体の外観および端部に生じた点錆およびふくれを示す。この変化は暴露2ヶ月後に確認され、暴露2ヶ月以降は点錆およびふくれが試験体に広がっていた。

ここで、ケース1における各塗装システムの初期材と大気暴露を1年間行った試験片の錆厚を測定すると、初期材よりも暴露1年後の錆厚が大きくなっていた箇所がみられた。そのため、赤錆を化学的に安定した錆への転換が行き届いていないことが表面性状の変化の一因と考えられる。

4. まとめ

- [1] ケレンによる表面研磨により、還元性環境下で安定するマグネタイトの露出が確認された。
- [2] 各塗装システムの断面解析により、工法Bではマグネタイトを保持する環境を保持する一方、工法Eではゲーサイトを生成するなど、工法ごとに錆安定化機構が異なることが推察された。
- [3] 1年間の大気暴露試験から、木花及び延岡試験場の双方において、点錆とふくれが発生した試験体が見られた。

参考文献

- 1. 山下正人, 花木宏修, 野村豊和, 寺谷亨他: 反応性塗料を塗布した発錆炭素鋼に生成するさび層の構造と防食性, 材料と環境, Vol.66, No.1, pp.21-24, 2017.
- 2. 岡田秀弥: 鋼の大気腐食, 材料, Vol.17, No.179, pp.705-709, 1968.

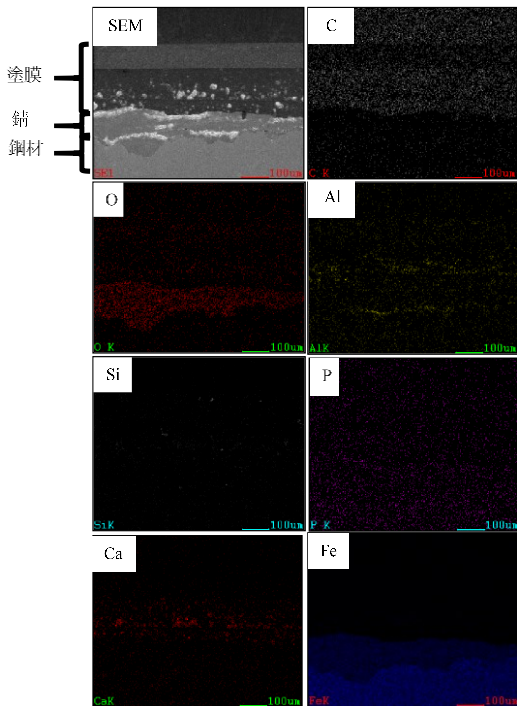


図-3 工法BのEDX及びSEM像

に塗装し酸化を防止する必要があることも示唆した。

各塗装システムの初期材に関してEDXによる断面解析を行った結果、工法別により錆層や塗膜層の特性がみられ、錆安定化機構も異なっていた。工法BのSEM画像および主要な元素分布を図-3に示す。断面構造は素地鋼板上に、約75μmに調整した残存錆があり、その上に下塗り、中塗りおよび上塗りとして3層の塗膜で構成されている。塗膜の中でも錆の安定化に直接寄与する下塗りには、粒状の物質が分布していた。分布元素は、Ca, Alのような、Feよりもイオン化傾向が大きい金属元素が検出されている。これらの金属元素は、鉄よりも早期にイオン化、消費されることで鉄を保護しているとも考えられる。また、粒状の周囲にはO、微量のPも検出されていることから、アルカリ性環境を保持するリン酸塩系または亜リン酸塩系の金属化合物と推察できる。さらに、下塗り層全体にCと微量のSiが検出されていることから、対汚染性の有機ケイ素樹脂が含まれていると考えられる。以上の塗膜構成により、酸素