

船体腐食の現状と防錆対策

江口聡道*, 廣澤陽介*, 山谷尚弘*

Present and rust measures of hull corrosion

EGUCHI Toshimichi*,
HIROZAWA Yousuke*,
YAMATANI Naohiro*,

For facilities and equipment, such as the iron and steel as the main material, rust is one of the factors that lead to a serious accident. Generation of rust in the vessels, significantly reduces the strength of the outer plate, it is considered a cause of tear and cracks. In this study, can be suppressed by rust early stages of, consider maintenance method to improve the service life.

キーワード 錆, 防錆, 船舶, 保守整備

1. はじめに

鉄鋼を主材料とする施設や設備において、錆の発生は重大な事故に繋がる要因のひとつである。船舶においても錆の発生は、外板の強度を著しく低下させ、破孔や亀裂の原因と考えられている。本研究では、船員が行う保守整備作業のひとつである防錆作業の工程を比較し、防錆効果を検証した。現場で行っている防錆作業の質の向上を計り、船体外板の耐用年数の向上を計る整備方法を提案する。

2. 背景と目的

船舶は「航行中」「停泊中」を問わず、多くの保守整備作業が行われている。その中で、防錆作業は時間と人員が多く割かれる作業のひとつである。発錆原因は様々な要因が考えられるが、船舶においては、大きく分けてふたつの要因が考えられる。船舶建造時、「品質管理不足により発錆した母材を使用した場合」と「船体溶接時に発生するスラッグの除去不足による酸化

物介入による発錆」である。この状態で母材に塗装されたことにより、錆の要因を内部に留めたことで発錆すると考えられる。

本研究では、発錆の原因に着目し、従来行われている防錆作業を効果的に施工する方法を確立することを目的とし、施工方法の違いを比較検証し、今後の作業方法を考察する。

3. 発錆メカニズムと金属の耐食性

造船所の母材の品質管理や溶接手の技量には差があり、均一ではない。溶接スラッグは、建造時における発錆の大きな原因の一つと考えられる。溶接スラッグとは、母材や溶接棒に含まれる Si や Mn がアーク溶接時に CO₂ や O₂ といったシールドガスから解離した酸素と反応して生成した酸化物 (SiO₂ あるいは MnO) である。この酸化物は酸やアルカリに強く、かつ非電導性である。したがって、塗装前の化成処理では除去できず、リン酸塩皮膜も生成しない。非電導性であるため、電着塗装による塗膜も形成しない。塗膜が形成できた場合でも密着性が悪いうえに、塗膜の下のスラッグ自体が溶接部から剥離しやすい状態になる。スラッグと母材では熱膨張率が異なるため、溶接後の冷却過程で生じるひずみによってスラッグが剥離しやすくなる。スラッグの存在が電着塗装皮膜の形成を障害し、塗装後

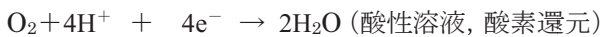
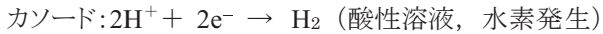
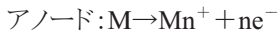
* 練習船 若潮丸

e-mail: eguchi@nc-toyama.ac.jp

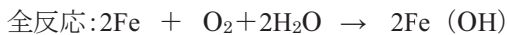
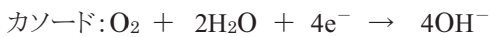
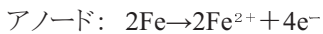
e-mail: hirozawa@nc-toyama.ac.jp

e-mail: yamatani@nc-toyama.ac.jp

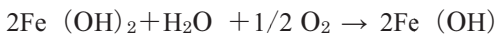
剥離によって母材表面を露出させるため、防錆効果を失う。⁽¹⁾ 金属の腐食は、電気化学的反応に基づいて進行する。この反応は酸化反応(アノード反応)と、同時に還元反応(カソード反応)を伴う。腐食が進行すると金属は、金属イオンとなって溶液中に移行し、水素イオンは、水素ガスあるいは溶存酸素によって水になる。これらを反応式であらわすと次のようになる。



金属が腐食する場合、アノードとカソード反応が金属表面で等しい速度で同時に起こる。この反応は極く近い箇所で行われる場合もあるが、別の場所で起こる場合の方が多い。中性溶液中で鉄が腐食する場合、



となり、この化合物に酸素および水の供給を受けて、



赤さびとなる。さらに、この化合物は、水和酸化鉄(FeOOH)または $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ に変化する。このとき、酸素が不足すると $Fe_3O_4 \cdot nH_2O$ (黒さび)となる。実際の鉄のさびは、表面が赤さび、その下地が黒さびの2層構造となっていることが多い。⁽²⁾ 金属の耐食性には、化学組織、金属組織(熱履歴)、表面性状などの因子が関与するが、多くの場合、これに加えて金属の巨視的および微視的不均一性が悪影響を与える。溶接は金属を利用するうえで有用かつ不可欠なものであるが、腐食の立場からすると、基本的に異なる二つのマイナスの影響を与える。一つは、「溶接部」という、それ自体耐食性が劣る部分を導入することである。すなわち、母材との相互作用を切り離して考えて、上記の因子や微視的不均一性を生じやすい溶接部は、母材に比べ耐食性が劣りやすい。もう一つは、「一つの金属系内に、溶接金属部、ポンド部、熱影響部、母材部が共存する」という巨視的不均一性をもたらすことで、耐食性上不利である。かりに前者を固有の耐食性の問題、後

者を巨視的不均一性の問題と呼ぶ。これら二つはしばしば同時に作用するが、与えられた金属-環境の組合せにたいして、いずれか一方が決定的な影響をもつことが多い。⁽³⁾

4. 船体発錆の現状

新造時、母材管理が悪く発錆した状態で利用した場合や、溶接時における溶接スラグの介在で母材と塗膜の間に酸化物を介在させ酸化を助長した場合などの多くの発錆原因が潜在している。図1は、船舶に多く見られる溶接部に発生した錆を撮影したものである。



図1 溶接スラグの介在により酸化した箇所

このような溶接部に発錆する原因は溶接スラグの介在が考えられる。図2は、建造から発錆までの要因をフローにしたものである。このように、船舶は建造から、引渡される前までに、すでに発錆要因が潜在し、錆は既に進行状態にあると考えられる。発錆初期の段階では、溶接箇所に塗装が施され発錆の発見は困難である。数年後錆は塗装下で進行し、膨張拡大し、塗装皮膜を破る。この状態で目視により発見されることが多い。しかし、溶接箇所は一箇所ではなく、複数個所に出現するため膨大な箇所の発錆となる。

図3は母材から発錆した状態を撮影したものである。このような発錆は、溶接スラグによる発錆に比べ、塗装下での錆の潜伏期間が長く、塗膜を破りに顕著に現れるまで、発見することが難しい。発錆の発見には、点検が必要となるが、錆の発生初期における目視で

の発見には、長い経験と知識が必要である。

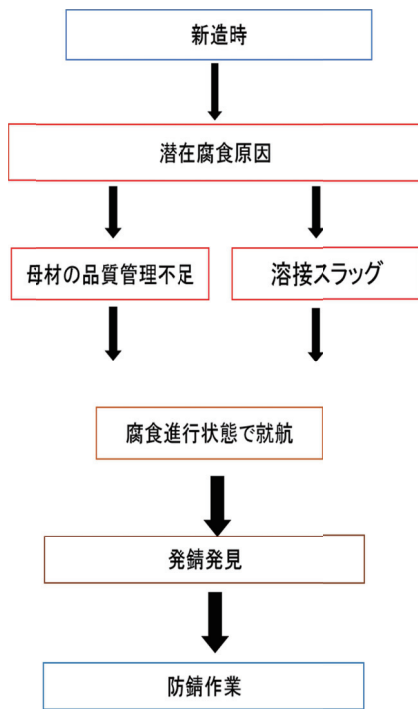


図2 建造から発錆までの要因



図3 母材から発錆した状態

5. 従来の防錆作業方法

船舶で行われてきた防錆作業は、電動ツールによるケレン作業(ジェット鑿, 回転式ワイヤーブラシを用いて錆の除去を行う作業)によって錆の除去を行い、「直接合成樹脂エナメル塗料」→「特殊合成樹脂塗料」→「アクリル系樹脂塗料」の順に塗装を行う作業であった。この手法では錆を完全に除去することは困難である。酸化した鉄鋼は、錆を発生させる要因が潜在し、その表面に防錆を施工しても防錆機能を維持できない。

これにより、数ヶ月後から1年後には再び発錆し、防錆作業を行うことになる。保守整備作業は、天候に大きく左右され、定員数減少により保守整備を行なう乗組員の数も少ない。また、作業を行える期間も限られている現状があり、新たな防錆方法を確立する必要がある。

図4は、発錆箇所を従来の防錆作業方法により、整備した箇所である。防錆を施行したが、わずか1年後に同じ箇所に発錆した。原因は、従来の防錆方法により整備を行ったことが原因と考えられる。作業終了後、完全に錆の要因が除去できないため、表面上の付着物(細かい錆や、塗膜片)が母材面と塗料の間に層を作り、錆を再発させると推測する。更に作業箇所以外にも、細かい錆が飛散し、塗装面に付着し発錆する。従来の手法でも塗装前に掃除機、ブローアなどの清掃により取り除いていたが、微粒子状の酸化物は除去できない。清水による洗浄を行う方法による除去が効果的ではあるが、露出した部分に水分が付着すると、再び酸化し、錆が発生する。



図4 防錆作業後、1年経過し発錆した箇所

6. 新しい防錆方法

従来行われてきた防錆作業では、錆の抑制が期待できない。多岐に渡る整備作業の中において、防錆作業の繰り返しは、作業を行う乗組員への負担も増加すると共に、同じ発錆箇所に何度も防錆作業を施すことで、母材自体が痩せ細り、強度不足を引き起こす可能性も考えられる。発生した錆の除去を行った後、露出した母材表面に防錆被膜を科学的に作り、発錆し

難しい状況にすることで錆の再発を防止する手法を考えた。これは、母材に無機正リン酸・界面活性剤を塗布し、母材表面に不溶性の正リン酸塩皮膜を作り表面腐食の進行を防止する処理方法である。無機の正リン酸は、母材表面の錆と反応して安定したリン酸塩被膜を形成しながら、浸透し錆中の水分を除去する。これにより継続的に発錆を防止する効果が現れる。無機正リン酸・界面活性剤の性質は、錆と反応し液剤の浸透性が強く、錆中の水分を除去する働きがある。塗布前に塗装箇所及び周囲に清水による洗浄を行なうことができ、防錆処理箇所を清潔に保つことができる。

図5は、電動工具により錆の除去を行った箇所である。この時点では、錆はまだ除去しきれておらず、母材に錆が付着している状態である。



図5 電動工具により錆の除去を行った状態

図6は、錆と溶剤が反応しなかった個所に再度溶剤の塗布を行った個所である。錆と溶剤の反応により、さらに黒色へと反応し、母材部分は銀色に光沢を帯びた状態である。

図7は、母材に無機正リン酸・界面活性剤を使用した数分後、液剤が母材に残った錆と反応し、黒色へと変色する。錆の反応が見られない個所には、十分乾燥させた後、さらに全体的に塗布を行なう。この工程を繰り返すことにより、錆に浸透した溶剤が、錆との反応を繰り返し、防錆処理箇所の水分を追い出す。反応し強固な防錆機能を増し、リン酸被膜を形成する。



図6 無機正リン酸・界面活性剤を使用した箇所



図7 溶剤を繰り返塗布を行った状態

図8は、無機正リン酸・界面活性剤を繰り返すことにより、溶剤と反応し、防錆機能を有した母材へと変化した状態である。この上から従来の工程と同じように、「合成樹脂エナメル塗料」→「特殊合成樹脂塗料」「アクリル系樹脂塗料」の順に塗装を行なうことで防錆効果が向上する。

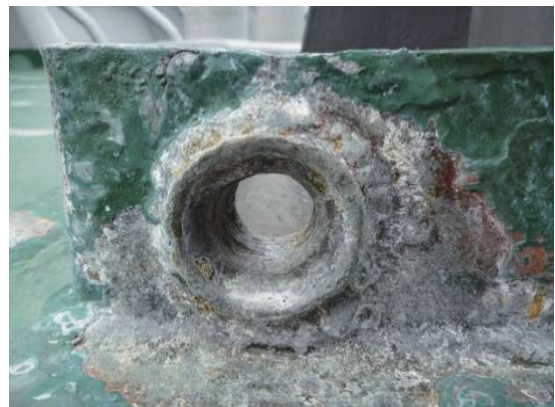


図8 防錆被膜が形成された状態

図9は、新しい防錆方法により整備した箇所である。施工後、4年が経過しているが、錆の発錆は見られない。従来方法の防錆作業により整備した箇所に比べ、明らかに錆を抑制していることがわかる。この方法で防錆することで、防錆作業の回数は、明らかに減少し、保守整備作業の軽減を図ることができる。



図9 新しい防錆方法により整備した箇所(4年経過)

(2)佐藤 幸弘 大阪府立産業技術総合研究所研究報告, No.10, p.36(1997.7) 金属材料の腐食とその防止

2. 金属の腐食 2.2 腐食の電気化学的機構

(3)松島 巖 溶接学会誌 第60巻(1981)第8号連載講義 溶接部の腐食(I) 腐食反応の特性と溶接部p5

7. まとめ

近年の燃料高騰により、ランニングコストが増加し、船体減価償却の期間が長期化している。船員の1人あたりの作業負担は定員数の削減と共に増加している。塗料の品質向上により防錆効果の得られる塗料は多くなったが、少人数で船体を管理しなければならず、建造前の塗膜の内部まで管理することは不可能である。発錆を早期発見、防錆することで、耐久性を著しく低下させることを防ぐことができる。発錆箇所に対し、無機正リン酸系海面活性剤を用いることで、作業工程が増え整備期間は長くなるが、錆打ち作業の回数が減ることにより、外板の肉厚減少を防ぎ、強度低下を抑制できる。また、ランニングコスト低減にも貢献すると考えられる。船員の技術の継承は、従来の技術を改善することにより、新しい技術として船員の技術として継承することで、船員の資質を向上することができる。

8. 参考文献

(1)鈴木 励一, 河西 龍 神戸製鋼技報・Vol.63No.1(Apr.2013)純 Ar ガスシールド溶接法「MX-MIGプロセス」の展開-炭素鋼-p62.3-1

