

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04874

研究課題名（和文）水ブラストにおける戻り錆の塗膜耐久性に対する影響の検討

研究課題名（英文）Study on the effect of recurrence rust generated from water blast on the coating film performance.

研究代表者

高田 篤志（TAKADA, ATSUSHI）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：90470054

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：塗装前鋼板上に錆が存在している場合の塗膜性能に与える影響を検討した。水ブラスト等による戻り錆のように発生した錆中に可溶性塩類等の汚染物質が含まれていない場合には、錆中に汚染物質等を含有している可能性の高い屋外暴露等により生じた錆と異なり、浸漬による錆の発生及び進展に関して、その影響は、錆等がきちんと除去された状態に塗装されたものと同程度であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通常造船現場等で用いられている研削材を使用するドライブラストには、粉塵等の発生や処理後の研削材の処理といった問題が存在する。これらの問題を解決する1つの候補として高圧水による水ブラストという手法が存在するが、処理後の鋼板上に戻り錆が発生することから敬遠されている現状がある。戻り錆の塗膜性能への影響がドライブラスト処理された鋼板と比較してもそれほど大きくないことが示されれば、環境負荷の小さいブラスト手法として広く普及する可能性がある。また、ブラストと同時に水洗の効果も期待できより高品質の塗装を実現できる可能性も高いと考える。

研究成果の概要（英文）：The effect of the rust on the coating film performance was investigated, when rust was present on the steel panel before coating. We compared rust caused by water blasting that does not contain contaminants such as soluble salts with rust caused by outdoor exposure that is likely to contain contaminants in the rust. According to the results of this study we found that the effect of non-contaminant rust on coating performance was similar to that of a properly blasted condition.

研究分野：塗装 腐食

キーワード：塗膜下腐食 戻り錆 可溶性塩類 腐食進行シミュレーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

船舶は、海洋上を航行するため厳しい腐食環境にさらされている。船舶の主要材料は鋼材であり高い防食性をもつ重防食塗装が施されている。高い防食性をもつ重防食塗装では、塗装前の下地処理が重要であり、研掃材を高圧のエア等で吹き付けるドライブラストが通常用いられている。ドライブラストは、高品質な処理面を生成できる反面、粉じんの発生や処理後の研掃材の後処理といった廃棄物等の問題がある。粉じんや研掃材の処理といった問題の解決策として高圧水を用いた水ブラストがある。水ブラストは、粉じんや廃棄物が少なくなるといった利点だけでなく、水洗浄によりドライブラストと比べて鋼材表面に存在する塩化物や硫化物の除去能力が高く、また、鋼材表面にもともとあるアンカーパターン内の錆や介在物まで除去できる等の利点もあり、塗膜の付着が良くなるとの報告もある【文献 1,2】。

しかし、作動水に水を利用するため、ブラスト後に戻り錆が発生する問題があり、一部修繕や環境の問題等でドライブラストが使用できないような場合等に限定的に使用されている状況である。

戻り錆の問題については、水ブラスト直後にエアを吹き付け、乾燥を促進させたり、作動水に防錆用の添加剤を添加する、また、作動水にアルカリ水を使用する等の対策が検討され試されてきた。しかしながら、戻り錆を完全に防止するにはいたっていない。

実際の現場では、戻り錆を完全に防止できない現実があり、ある程度の戻り錆は許容され塗装が行われている。実際に修繕等で使用される場合、ある程度の戻り錆であれば、必要な塗膜耐久性は得られる場合もあるが、どの程度まで許容されるのかは明確な根拠はない。戻り錆に対する規格は、ISO8501-4 と SSPC - SP12 とあるが、数種類のグレードに目視によりレーティングするものであり、実際にどの程度まで戻り錆が許容されるかは、現場の監督の経験によるところが大きいのが現実である。

また、通常的环境暴露等による錆は、錆がポーラス構造をしているため、毛細管現象等により耐久性に大きな影響を与える塩分等の汚染物質を錆内部に残留し、浸透圧による塗膜剥離を助長していることが考えられるが、水ブラスト後の戻り錆では、このような汚染物質の残留がないと考えられるので、環境暴露等により生じた錆と異なる挙動をすることも考えられる。

このような状況に鑑み、本研究では、透明塗料を塗装した試験板を用いた環境暴露試験により水ブラスト後の戻り錆と環境暴露等により生じた錆が塗膜耐久性に与える影響の差異を明らかにすることを発想した。

2. 研究の目的

本研究では、水道水浸漬により戻り錆を発生させた、屋外暴露により発生させた及び可溶性塩類を付着させた鋼板に透明塗料を塗装した試験板を用いて浸漬試験を行い、塗膜下腐食の発生及び進展に関するデータを取得するとともに、科研費(2013-2015、25289318)の中で開発した塗膜下腐食シミュレーション【文献 3】を改良し、初期に塗膜下に錆を有する試験板の腐食発生及び進展の検証を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

鋼材表面に錆等の腐食生成物が存在している状態でそのまま塗装を行うと塗装された塗膜の防食性能を低下させると考えられており、造船におけるブラストタンク塗装のような重防食塗装を行う際には、塗装前処理としてブラスト処理を行い、錆等が完全に除去されたグレードまで処理したうえで塗装が行われている。屋外で暴露された鋼板に発生する錆には、塗膜性能に影響を及ぼす空気中の可溶性塩類等の汚染物質等がその錆中に含まれていることが考えられるが、水ブラストや水洗作業により発生する戻り錆には、水ブラストや水洗中にそのような汚染物質が洗浄されるため汚染物質の残留はないと考えられる。この錆中に含まれると考えられる可溶性塩類等の汚染物質が塗膜の防食性能に影響を与えているのではないかと考え、鋼板表面に発生した錆中に含まれる汚染物質の塗膜性能に与える影響を検証するため、以下の検討を実施した。

(1) 戻り錆試験板と屋外暴露試験板による 50 浸漬試験

ブラスト処理により Sa2.5 に処理された試験板 (150mm × 75mm × t3.5mm、材質 SS400) を用いて、戻り錆試験板と屋外暴露試験板の 2 種の試験板を作成した。戻り錆試験板は、水道水に 5 分間浸漬した後、自然乾燥させて戻り錆を発生させた。屋外暴露試験板は、戻り錆試験板と同程度の錆が鋼材表面に発生するように、屋外環境に 1 週間暴露した。両試験板とも塗装前に造船現場で用いられる可溶性塩類の測定法であるブレッセルパッチ法を用いて可溶性塩類の付着濃度を計測した。戻り錆試験板では 0mg/mm²、屋外暴露試験板では、4 ~ 6mg/mm² の可溶性塩類の付着が認められた。

上記の下地処理をした 2 種の試験板に対して、塗膜下の錆の発生及び進展が観察できるように透明な塗料を塗装した。透明塗料として、市販のブラストタンク用塗料から顔料等を抜いた透明の主剤を、短期間で試験結果が出るように防食性能を変えた 2 種の硬化剤を用いて硬化させ

た塗料を使用した。

作成した2種の試験板と下地処理を施していないリファレンス用の試験板の3種の試験板をシリーズとして50の水道水で浸漬し、塗膜下における錆の発生及び進展をマイクロ스코プ（SHOUDENSYA TG500CS）を用いて観察及び計測を実施した。

(2) 海塩付着試験板による浸漬試験

(1)において戻り錆試験板と屋外暴露試験板の比較試験を実施した。しかし、内陸環境での屋外暴露であったため、暴露試験板における付着塩分濃度は、4~6mg/mm²と小さなものであった。実際の造船の現場は、海に近い環境にあり鋼板の塩分付着量も高くなる傾向がある。建造の際の国際基準でも付着塩分の許容値が50mg/mm²以下と規定されている。このため、鋼板に可溶性塩類（人工海水）を付着する手法を検討した。海水による浸漬や直接噴霧により塩類を付着させると試験板全面がすぐに腐食してしまい、実際の造船所における付着状況や戻り錆の発生状況と大きき異なったものになってしまうため、図1に示すようにサーキュレータで試験板に向けて送風し、その送風の中に人工海水を噴霧することにより、海水成分を試験板表面に付着させた。

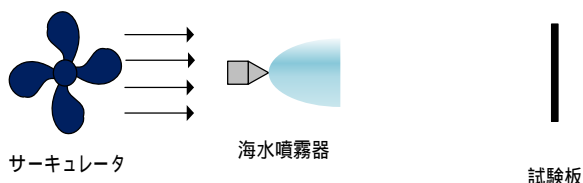


図1 人工海水付着法

上記方法により、試験板表面に海水成分を54mg/mm²および120mg/mm²付着させた2種の試験板を作成した。

これら、人工海水を付着させた試験板と併せて、水道水に浸漬し戻り錆を発生させた試験板及び屋外暴露により発錆させた試験板の3種の試験板を用意した。人工海水付着試験板の発錆状態に合わせるため、戻り錆試験板は、5分間の水道水浸漬の後自然乾燥を2回繰り返し、戻り錆を発生させた。屋外暴露試験板は、2週間の屋外暴露を行う処理を施した。屋外暴露試験板の付着塩分濃度はブレッセル法で計測した結果、4mg/mm²であった。

これらにシリーズと同様の2種硬化剤を用いて硬化させた透明塗料を塗装し、下地処理を施していないリファレンス用の試験板を加え、計4種類の試験板を、シリーズとして50の水道水に浸漬し、発錆状況及び錆の進展具合を、KEYENCE マイクロ스코プのVHX-8000を用いて観察及び計測を行った。

(3) 塗膜下腐食進展シミュレーション

(1)、(2)の試験結果を検証するため、塗膜欠陥を起点とする腐食進行シミュレーションを改良し、塗装前に導入した塗膜下錆（戻り錆、屋外暴露による錆）を起点としたシミュレーションを構築し、塗膜下の錆を起点とした腐食進展の検証を行う。

4. 研究成果

(1) 浸漬試験による錆発生起点

図2にシリーズの屋外暴露試験板の浸漬開始後288H経過後のTG500CSで観察した発錆状況を示す。発錆は、浸漬開始前から試験板上に存在していた暴露による錆を起点にしていることがわかる。約4か月半（3356H）の試験を行ったが、戻り錆試験板及びリファレンス試験板の発錆は観察されず、暴露試験板における発錆は、屋外暴露による発錆を起点とするもの以外は観察されなかった。また、図3にシリーズの浸漬開始後70H経過後（図上段）および756H経過後（図下段）のマイクロSCOプVHX-8000で観察した発錆状況を示す。戻り錆試験板及びリファレンス試験板では、浸漬による発錆は観察されず、屋外暴露試験板では、

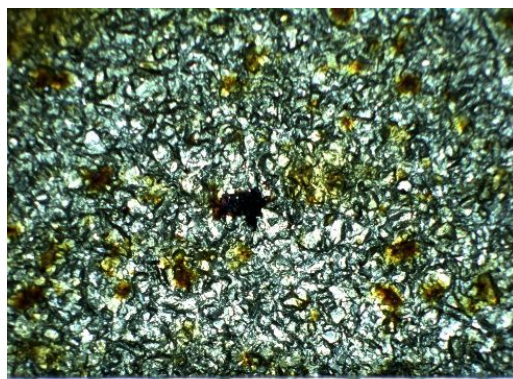


図2 シリーズ 屋外暴露試験板における発錆状況（288H経過後）

シリーズ同様に屋外暴露による錆起点の発錆が観察されている。また、人工海水付着試験板では、浸漬前から発生していた錆上から発錆しているもののほかに、浸漬前には発錆のなかった箇所からの発錆も併せて観察されている。

上記シリーズ及びシリーズの結果より今回の浸漬試験による錆の発生には、浸漬前の戻り錆や屋外暴露等により生じた錆そのものによる直接の影響は小さく、それよりも、屋外暴露により生じた錆中に含まれる可溶性塩類等の汚染物質や人工海水付着による可溶性塩分の鋼板上への付着が大きく影響していることが分かった。



図3 シリーズにおける発錆状況（上段：70H 経過後、下段：756H 経過後）
戻り錆試験板（左） 屋外暴露試験板（中央） 人工海水付着試験板（右）

(2)塗膜下腐食の進展

シリーズにおいては、塗膜下腐食の進展を、マイクロSCOPE(TG500CS)を用いて観察・撮影し、撮影したデータを画像計測ソフトを用いて腐食面積を測定した。塗膜下腐食は、戻り錆試験板や無処理のリファレンス試験板では観察されず、屋外暴露試験板でのみ観察された。図4にシリーズにおける塗膜下腐食の進展状況を示す。

浸漬開始から1462Hまでは塗料の硬化に用いた硬化剤の種類を問わず、各試験板とも徐々に腐食面積が増加していくが、浸漬開始後3356H経過後には試験板1および試験板4で大きな腐食面積の増加が見取れる。これは、1462Hから3356H経過の間に試験板1および試験板4において塗膜下で進展していた腐食が塗膜を突き破り塗膜上に進展したためである。（図5参照）

また、塗膜下で腐食が進展している1462Hまでは、硬化剤Aを用いて硬化させた塗料を用いた試験板のほうが腐食の進展が早いことがわかる。

次に、シリーズの結果を示す。シリーズでは、人工海水付着試験板の塗膜下腐食状況が図3右に示すように試験板上に広範囲に広がっていることからマイクロSCOPE（VHX-8000）の自動面積測定機能を用いて計測を行った。VHX-8000の2D合成機能も用いて撮影した写真に80mm×70mmのエリアを設定し、そのエリア内の腐食面積を色抽出機能を用いて計測した。

図6にシリーズの塗膜下腐食進展の結果を示す。シリーズでは、人工海水を付着させた試験板における腐食進展が非常に大きいことがわかる。また、図6右に戻り錆試験板、屋外暴露試験板及びリファレンス試験板のデータを示す。VHX-8000の20倍での目視観察では、戻り錆試験板およびリファレンス試験板には塗膜下腐食の発生は確認できなかったが、自動面積計測においては、戻り錆試験板やリファレンス試験板においても若干の錆面積が計測されている。しかし、その値はどちらもほぼ同じレベルで非常に小さ

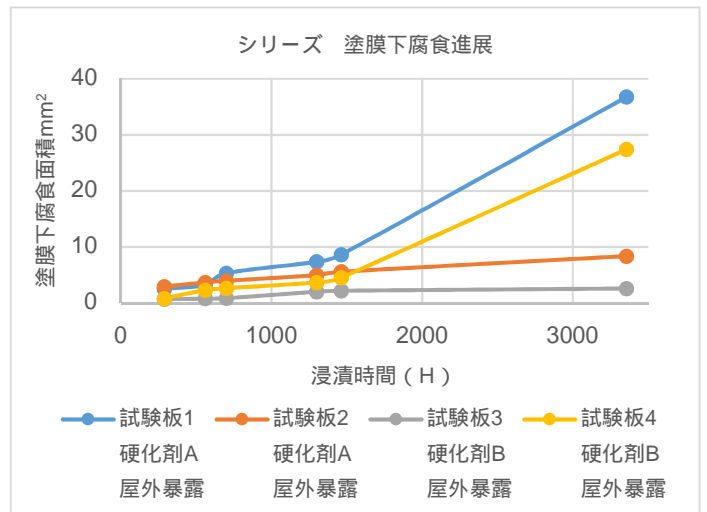


図4 シリーズにおける塗膜下腐食の進展

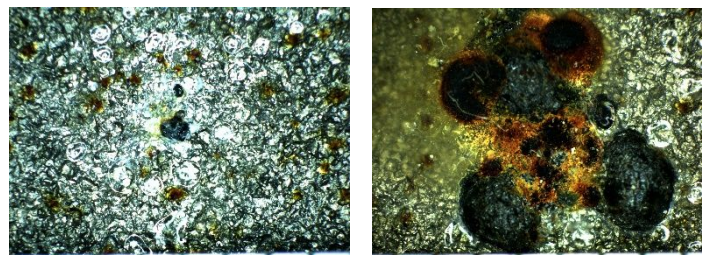


図5 シリーズ試験板4で観察された腐食状態
左：浸漬開始後1462H、右：浸漬開始後3356H

い。

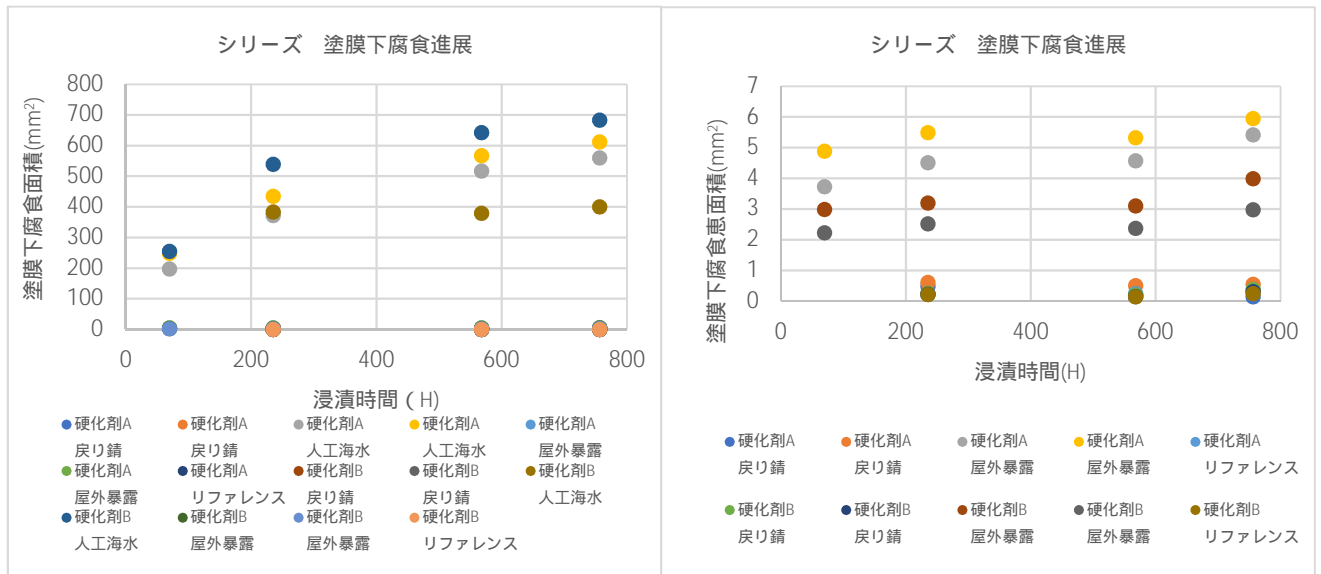


図6 シリーズ 塗膜下腐食進展

左:人工海水付着試験板を含む、右:人工海水試験板をのぞく

シリーズ及び シリーズを通して、塗膜下腐食の発生及び進展には、塗装前鋼板上に付着している可溶性塩類等の汚染物質の影響が大きく、水洗等により汚染物質が洗い流されている場合には、鋼板上に炭り錆が存在しても、その影響は非常に小さいことがわかった。少なくとも、本研究の範囲内においては、その影響は錆や汚染物質の付着していないリファレンス試験板と同等の性能を確保できるものであった。また、腐食の進展に関しては、初期の段階では、汚染物質等を起点として錆が発生し徐々に塗膜下で腐食が進展していくが、腐食が塗膜を突き破って塗膜表面に達すると腐食の進展速度が大幅に増加することがわかった。

(3)塗膜下腐食進展シミュレーション

塗膜下腐食進展シミュレーションとして2次元セルオートマトンを用いたシミュレーションを開発してきた【文献 3】。本研究では、従前のシミュレーションを改良し、鋼板上の塗膜下にランダムに事前導入された錆を腐食の起点として、事前導入された錆の量及び錆中の可溶性塩分等の汚染物質の量により腐食発生時期及び進展速度が異なる現象をシミュレートできるものの構築を目標にしていた。従来シミュレーションは、塗膜欠陥を起点としたものであったが、腐食起点を塗膜下に導入された錆に変更し、塗膜損傷から腐食進行開始までの時間を可溶性塩類濃度による腐食発生時間の遅速に合わせられるように変更することを検討した。

しかしながら、浸漬試験による腐食進展データの取得に手間取ったため、本研究期間中に、シミュレーションによる検証を行うことは出来なかった。また、塗膜下腐食が進行し塗膜を突き破るようになると急激に腐食進展速度が上がるのが実験によりデータとして得られたので、今後あるは、程度塗膜下腐食が進行した場合には、ある確率で腐食進展速度が変化するモデルを検討する。

本研究期間内では、塗膜下シミュレーションを用いた検証までは出来なかったが、腐食進展データはすでに得られているので、本データを検証するための検討を引き続き実施していく予定。

参考文献

1. A Comparison of surface preparation for coatings by water jetting and abrasive blasting, Lydia M. Frenzel etc. , Proceedings of 1999 WJTA Conference
2. 特集「塗装・防食」 第3章 塗装・防食の最新技術 (1)超高压水ブラストによる塗装前下地処理について、佐々木他、日本造船学会誌 第866号 (H14.3) p.35-37
3. セルオートマトンによる塗膜下腐食シミュレーション手法に関する研究 (第1報:スクライプ塗装鋼板の解析)、日本船舶海洋工学会論文集、23(2016)、pp.139-152

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大沢 直樹 (OSAWA NAOKI) (90252585)	大阪大学・工学研究科・教授 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関