バラストタンクにおける保護塗装及び塗膜劣化に関する研究

村上睦尚*、穴井陽祐**、林原仁志*、山根健次***、安藤孝弘**、岩田知明*

Research on Protective Coating Degradation for Seawater Ballast Tank

by

Chikahisa MURAKAMI, Yosuke ANAI, Hitoshi HAYASHIBARA, Kenji YAMANE, Takahiro ANDO and Toshiaki IWATA

Abstract

A seawater ballast tank of a ship is exposed to severe corrosive environment, and mainly protected by any coatings. Coating degradation is one of the main factors to cause the localized corrosion wastage of hull structure. It is important for soundness of hull structure to investigate coating degradation mechanism. The environment at back side of upper deck is most corrosive because of high temperature and high humidity. Sunshine causes high temperature, and residual ballast water causes high humidity. The coating test condition is proposed to simulate the seawater ballast tank environment at the back side of upper deck as the accelerating test of protective coating degradation. Coating degradation of actual ballast tank was also researched. Corrosion of hull structure increased at the specific part in ballast tank where the film thickness of protective coating was thin and no constant.

 ^{*} 生産システム系、** 構造系、** 大阪支所 原稿受付 平成 22 年 11 月 22 日
 審 査 日 平成 22 年 12 月 24 日

目 次

1.	は	じめに
2.	劣(化促進試験方法の確立研究50
	2.1	目的
	2.2	バラストタンク内の環境
	2.3	先行事例調查
	2.4	バラストタンク内高温高湿部位を模擬可能
		な試験装置
	2.5	開発装置の製作及び性能評価53
	2.6	まとめ
3.	塗	谟劣化に係わる諸因子の影響に関する調査
	研	究
	3.1	目的
	3.2	実験方法
	3.3	塗膜厚の影響に関する調査56
	3.4	酸素濃度の影響に関する調査65
	3.5	まとめ
4.	バ	ラストタンク内塗膜の実態調査72
	4.1	目的
	4.2	調查対象
	4.3	調查方法
	4.4	調査結果
	4.5	まとめ
5.	お	わりに
謝	辞·	
参	考文	て献 ・・・・・.75

1. はじめに

今般、国際船級連合(IACS)と主要な国際団 体がバラストタンク塗装強化基準を国際海事機 関(IMO)に提案し、500GT 以上の全ての船種 のバラストタンク、150m以上のバルクキャリア の二重船側区画に対し1)2008年7月1日以後建 造契約される船舶、2)2009年1月1日以後起工 される船舶、3)2012 年7月1日以後引渡しされ る船舶を対象とし、IMO 新塗装基準(すべてのタ イプの船舶の専用海水バラストタンク及びばら 積貨物船の二重船側部に対する塗装性能基準、 Performance Standard for Protective Coatings for Dedicated Seawater Ballast Tanks in All Types of Ships and Double-side Skin Spaces of Bulk Carriers: PSPC)の適用が決定した。バラ ストタンク塗装基準では、耐用年数15年と厳格 な塗装仕様を要求し、表面処理やエッジ処理、塗 装環境、膜厚、塗り回数、検査など多くの項目に 詳細な基準を設けている。また、塗装環境や検査

の面から使用する塗料に関してもタールエポキ シを使用禁止とし、エポキシ系の明色の使用を義 務化した。

一方で、海運事業所では、現存船は元より、今 後就航する船舶についても、塗膜の劣化を予測し、 船のライフサイクルコストの算定ならびにリス ク低減対策への関心がより一層高まっている。こ の状況の中で、船舶の一生に亘る総合的な塗装関 連支援技術を船主や造船所に提供することは、船 舶の設計、建造、保守、検査、運航計画等を検討 する上で有用である。また、タンカー及びバルク キャリアのIACS統一規則の開発に見られるよう に、船級規則が統一されていく中で、設計の分野 のみならず、建造、検査、運航、保守等の分野で 技術的優位性を確立することは重要である。

塗膜劣化 ^{1),2)}は船体の重要部材の局部的な腐食 板厚衰耗をもたらす大きな原因であり、塗膜劣化 現象を把握することは、船体構造の健全性を確保 するために極めて重要である。従来より、塗膜劣 化に関連する研究 ^{3)~11)}は実施されているものの、 就航後のバラストタンクの塗膜劣化の実情につい ては十分に解明されているとは言い難い。

また、現状では、航行している船舶のタンク内 塗料の主流はタールエポキシ系であるが、今後は ノンタールエポキシ系が主流となることが予測さ れる。そのため、ノンタールエポキシ系塗料を使 用した船舶も対象にして調査を行うことが重要で ある。一方で、塗料メーカーにおいてタールエポ キシ系塗料に匹敵ないし優れている性能を有する ノンタールエポキシ系塗料も開発されており、タ ールエポキシ系塗料と現用ノンタールエポキシ系 塗料の防食性能の比較・検討も重要である。

そこで本稿では、先導研究「保護塗装性能基準 の立案に関する研究(平成 20~21 年))」の一環 として行ったバラストタンク内の特に過酷な環境 となる部位を模擬する装置及び試験方法の確立、 塗膜に対する諸因子の影響調査、バラストタンク 内における塗膜実態調査について述べる。

2. 劣化促進試験方法の確立研究

2.1 目的

船体構造要素が直接高いレベルの腐食環境に対 峙しなければならない空間としてバラストタンク 内が挙げられる。バラストタンクは空荷状態で、 海水を入れて、船体を沈めることによりプロペラ を水没させ、貨物を積む場合には、海水を排出し て浮力を得る働きをしている。すなわち、バラス トタンクは海水を入れた状態と空気を入れた状態 で使用される。このバラストタンク内の環境であ るが、一般的に上甲板が日照にさらされ、この裏 側のバラストタンク内は 70℃程度まで昇温する ことがある。また、一般にタンク中央よりの縦隔 壁が貨物槽と接しており、タンカーについては原 油の品位により貨物槽の保持温度が異なる。最も 重質な原油の場合、70℃程度まで昇温する。この 場合、残留バラスト水や壁面付着水の水分が蒸発 して高い湿度の状態になることが予想される。

この様な過酷な環境を模擬し、長期の耐久性を 保証するための防食塗料試験の一つに PSPC のウ エーブ試験等がある。しかし、PSPC 評価試験基 準の中の 70℃の高温試験では、試験雰囲気が乾燥 空気の試験であり、バラストタンク内を再現して いるとは言いがたい。

本節では現実のバラストタンクの高温高湿状態 を再現した新しい試験法と試験装置を提案する。

2.2 バラストタンク内の環境

バラストタンクは多くのそれぞれ独立した区画 に分けられている。その理由としては、①貨物を 積んだ状態で1つの区画が破れても、他の健全な 区画の浮力により沈没を免れる。②積み荷を部分 的に積載あるいは陸揚げしたとき、船舶に加わる 荷重の変化を戻すために部分的に海水を積むなど である。このように多くの区画に分けられたバラ ストタンクは、それぞれ使用中の環境が異なる。 たとえば原油タンカーを例にすると、以下の形態 のバラストタンクがある。

①船首上部タンク:船首の上甲板から下のタン クで、最下は船舶毎に異なり、喫水より上の場合 も下の場合もある。

②船尾上部タンク:船尾上甲板から下のタンク で、最下は喫水より上となる。

③一般的な海水バラストタンク:船体中央と前後の横隔壁で仕切られた区画であり、上は上甲板、 下は船底(下記④と分離した場合には二重底上面) までの区画で、横方向の仕切りは、船側外板と船 体中央の貨物槽となる。

④二重底タンク:二重底内部で、喫水以下の位置 となる。これらのタンクの違いが顕著になるのは、 空荷で海水を積んだ状態より、むしろ、積み荷を 満載して海水を排出した状態である。原油タンカ ーの場合、上記①~④は満載状態で以下の環境に さらされる。

①船首上部タンク:上甲板は日照にさらされ、
 70℃程度まで昇温することがある。タンク後部の

横隔壁が貨物槽と接している場合、原油の品位に より貨物槽の保持温度が異なる。最も重質な原油 の場合、70℃程度まで昇温する。排出しきれなか った海水の存在する最下部の温度は、喫水以下で 海水温度程度、喫水以上であれば海水温度以上と なる。

②船尾上部タンク:上甲板は日照にさらされ、 70℃程度まで昇温することがある。タンク前方の 横隔壁が燃料用C重油タンクと接している場合に は、燃料加熱の影響を受ける。タンクの最下部は 一般に船首上部タンクより高い位置にあり、残留 海水の温度は船首上部タンクより高い。しかし、 船尾上部タンクの容積は小さく、オペレーション 効果が少ないため、ほとんど使用しない場合もあ る。使用頻度が少ないと残留海水の影響は小さく なる。

③一般的な海水バラストタンク:上甲板は日照にさらされ、70℃程度まで昇温することがある。 一般にタンク中央よりの縦隔壁が貨物槽と接しており、原油の品位により貨物槽の保持温度が異なる。最も重質な原油の場合、70℃程度まで昇温する。排出しきれなかった海水の存在する最下部の温度は、喫水以下で海水温度程度となる。二重底部分については④参照。

④二重底タンク:二重底タンクは 2 種類に分けられる。機関室二重底を海水タンクとして使用する場合には、船側と船底は海水に接し、上部は機関室空隙、中央付近は潤滑油だめあるいは空隙と接する。内部温度差は小さい。一方、一般的な海水バラストタンク下の二重底タンクはビルジナックルから船体中央よりの上面が貨物槽と接しており、原油の品位により貨物槽の保持温度が異なる。最も重質な原油の場合、70℃程度まで昇温する。 排出しきれなかった海水の存在する最下部の温度は、船底に接する海水温度程度となる。しかし、このタイプのタンクは少ない。

以上のように、バラストタンクの種類によって、 貨物を積んだ状態でのバラストタンク内の環境は 70℃程度の高温で蒸気不飽和状態といった劣悪 な環境となる場合がある。

2.3 先行事例調査

2.3.1 JIS K 5600 に規定の方法

JIS K 5600(塗料一般試験方法)の第7部¹²⁾にて、 塗膜の長期耐久性試験方法が規定されている。耐 候性試験を除く項目は、以下の通りである。 (1)耐中性塩水噴霧性(JIS K 5600-7-1)

35℃の環境中において、中性の塩水を噴霧する

方法により試験を行う。

(2)耐湿性(JIS K 5600-7-2 及び-3)

塗膜の高湿度条件に対する耐久性を調査するこ とが目的であり、連続結露法と不連続結露法があ る。連続結露法では、塗膜の表面に連続的に結露 が生じる条件で実験を行う。試験装置として温度 差固定式と回転式が規定されており、前者は35 ~40℃程度、後者は50℃の環境中で試験を実施す る。不連続結露法は、塗膜の断続的な結露に対す る抵抗性を試験する目的で実施する。温度40℃の 結露環境(相対湿度100%)と23℃の乾燥環境のサ イクルを試験片に与える。

(3) 耐湿潤冷熱繰返し性(JIS K 5600-7-4)

塗膜が湿潤又は浸漬の状態を経た後に温度変化 を受けた場合の塗膜の変化を試験する。湿潤-低 温-標準状態又は湿潤-低温-高温となる試験環 境のサイクルを試験片に与える。試験環境の温度 は最高値で 50℃となる。

(4)サイクル腐食試験方法(JIS K 5600-7-9)

塩水噴霧-乾燥-湿潤のサイクルに対する塗膜 の耐久性を試験する。規格内では4通りのサイク ルが規定されている。試験環境の温度は、最高値 で 60℃(乾燥)及び 50℃(湿潤)である。

2.3.2 SR165

日本造船研究協会第165研究部会「新舶用塗料 及び塗装の技術開発」(SR165)において実施され た試験¹³⁾について調査した。SR165では、コール タールフリーの新型塗料開発の過程において、開 発塗料の性能評価のための耐久性試験として浸漬 試験及びモデルタンク試験が行われた。

(1) 浸漬実験

天然海水、3%食塩水及び促進塩水中に塗装試験片 を浸漬する試験方法である。なお、促進塩水とは、 食塩 50g、酢酸 10mL、30%過酸化水素水 5g、純 水 1000ml で構成される溶液を水酸化ナトリウム にて pH3±0.2 に調整したものである。

試験条件については、天然海水は常温浸漬、6 ヶ月及び 40℃、6ヶ月であり、促進塩水は 60℃、 7 日及び 40℃、30 日の浸漬であった。

評価はふくれ、さび、付着性の項目により行われた。ふくれのサイズ及び頻度はASTM – D – 714 – 56、さびはSSPC法、付着性は剥離時の付 着力と素地からの剥離が占有する面積によりそれ ぞれ評価された。促進塩水の欠陥発生時間から促 進倍率を推定すると、60℃は40℃の4倍程度で あり、一般にいわれる10℃で2倍の関係が成立す ると報告されている。

(2) モデルタンクによる試験

実タンクの内部構造を模擬したモデルタンクを

作成し、内部に塗装を行う。なお、タンクは蓋付 き密閉となる。タンク内部に 1~2 段のロンジ様 構造を配置し、上段ロンジは海水張水時のみ没水、 下段ロンジは常時没水させる。海水温度を 40℃と し、張水 10 日間、排水 10 日間の水位 2 段階のサ イクル試験を 3 ヶ月間実施した。

2.3.3 SR182

日本造船研究協会 第182研究部会「海洋構造 物の重防食に関する研究」(SR182)において、重 防食塗膜の防食性評価のための劣化促進試験方法 として、熱衝撃試験法¹⁴⁾が検討された。空気又は 水を媒介として、塗膜に対して衝撃的な熱又は冷 衝撃を加え、塗膜に熱応力を発生せしめる方法で ある。本試験による促進効果は大きく、かつ浸漬 状態での塗膜のガラス転移点以上の温度で試験す ることにより劣化の促進効果がより大きくなると 結論づけている。

2.3.4 SR201

日本造船研究協会 第201研究部会「塗膜の耐 久性評価法に関する調査研究」(SR201)において 実施された試験¹⁵⁾について調査した。SR201では 海水環境中で使用される塗装鋼の塗膜について、 耐久性を短い試験時間で評価できる促進試験方法 の開発が検討された。

当該研究開始段階で有望視されていた試験法は、 温度勾配法、促進液浸漬法であった。また、基礎 データ収集のために温海水浸漬試験が行われてい る。

(1) 温度勾配法

従来の温度勾配法では試験水として蒸留水を使 用し、その評価は目視によりふくれが発生するま での時間を捕らえていたとしている。SR201では 海水環境を対象とし、試験水は海水を使用してい る。温度勾配による水の拡散と塩分の拡散の両面 から促進性が検討された。

試験温度は高温側 50℃、温度勾配 ΔT = 25℃と し、高温側が塗膜と接するようになっている。高 温側の試験水には天然海水を使用し、高温側の試 験液を循環、低温側の試験液は静止状態とされた。 (2) 促進液浸漬法(MHI法)

従来の浸漬法では、温度による促進を考え 60℃、 濃度 3%か 5%の食塩水浸漬又は温度 40℃、濃度 3%か 5%の食塩水浸漬等が用いられていた。 SR201 ではこれらの試験方法では塗膜欠陥(ふく れ)が生じるまでに長時間(6ヶ月以上)要する ことが短所であると述べられている。本促進液の 組成は、SR165 における促進液の組成と同一と考 えられ、液温 40℃で塗装試験片を浸漬し、液の更 新は週一回行われた。

(3) 温海水浸漬法

塩濃度と塗膜の耐久性を調査する目的で行われた。下記3濃度条件の海水を40℃に保持し、浸漬 試験が行われた。

3%海水 :長崎港の海水をそのまま使用

- 0.3%海水:上記海水を蒸留水にして、10 倍希 釈したもの
- 5%海水 : 上記の海水を水分を蒸発させて 5% にしたもの

2.3.5 まとめ

従来の塗膜劣化促進試験方法を調査した結果、 一般的な試験温度については、塗膜を湿潤状態に 曝す場合で 50℃、海水等に直接浸漬する場合で 60℃が最高温度であった。また、試験環境におけ る塗膜のガラス転移点以上の温度で劣化がより促 進されるとする報告があった。

2.4 バラストタンク内高温高湿部位を模擬可能な 試験装置

先行事例調査の結果、温度 70℃の高湿度環境と いうバラストタン内で最も劣悪と考えられる環境 を模擬した劣化促進試験方法の例は、確認されな かった。そこで本研究では、塗膜を温度 70℃の高 湿度環境(高温高湿環境)に保持する劣化促進試 験方法を考案し、試験装置の開発により当環境に おける塗膜劣化について検討することとした。

試験環境として温度及び湿度が制御可能である こと、及び操作とメンテナンスが容易であり、長 期間安定して試験する必要性を考慮して、図-2.5.1 に示す試験装置を考案した¹⁶⁾。試験装置は 試験片を保持するチャンバー部分を持ち、チャン バーの上部は気層(試験片保持部)、下部は水層 としている。気層及び水層には、独立に温度制御 が可能なように、温度センサ及び電気ヒータを設 置している。気層部の温度を一定とした状態で水 層部の温度を制御することで、気層部と水層部の 水蒸気圧が平衡となろうとする駆動力を利用して 気層部の相対湿度制御が可能である。また、一般 の環境試験器では湿度の調節のために水噴霧を行 っている例が多く見られるが、水中に含まれるス ケール成分も同時に噴霧されるため、試験物にス ケールが付着する問題があった。この対策として イオン交換水等を供給する方法もあったが、その ための装置が必要で、フィルターなどのメンテナ ンスも定期的に要するという課題があった。他の 方式に見られるような 17)18)液体噴霧時の成分除 去やメンテナンスを必要とすることなく、長期間 に亘って安定した試験条件の維持が可能となる。

2.5 開発装置の製作及び性能評価

塗膜劣化促進試験を実施するため前項にて考案 した劣化促進試験措置を製作した。図-2.6.1 に製 作した装置の一例を示す。本体 t は SUS304 ステ ンレス鋼により製作し、外部を厚さ t=50mm の発



①蓋(取手付)
②水側温度調節用ヒータ 500W
③給水メンテナンスマンホール
④試験片群
⑤塩ビ管貫通処理
⑥水温度制御用温度測定
⑦水温度制御装置
⑧空気温度制御装置
⑨空気温度制御用温度測定
①給水力セットタンク
【仕様】
設定温度:常温~80°C
設定相対湿度:0~100%



図-2.6.1 塗膜劣化促進試験装置製作例

図-2.5.1 防食塗料塗膜劣化促進試験装置

泡材で断熱する構造とした。装置内の気層部と水 層部の間は、温度差による熱移動を防止し、かつ 水蒸気を移動させるために、すき間のある樹脂製 の板を置いている。気層部及び水層部にそれぞれ 出力 1kW の電気ヒータ及び温度センサ(測温抵 抗体)を設置し、装置内の温度制御を行う。

水層部の温度と気層部の相対湿度の関係を把握 するため、気層部温度を70℃一定とした場合の気 層部相対湿度と水層部温度の関係を計測した。計 測は、気層部に設置した湿度計センサにより行っ た。結果を図-2.6.2 に示す。計測した範囲内で気 層部の相対湿度が水層部の温度にほぼ比例する関 係が見られた。また、水温が 64℃付近で相対湿度 が折れ線上に変化する箇所がある。本研究で製作 した装置では、循環ポンプなどの水層部の温度分 布を均一化する機構を設けていないため、水層の 水面部分は気層部の温度の影響を受けていると考 えられる。ただし、現状の装置でも水層部の温度 を制御することで、気層部の相対湿度を管理でき ることを確認した。

過去に塗装鋼板に対して本方式の装置を用い て行った、バラストタンク用塗装の付着力試験結 果を表-2.6.1 に示す。劣化の度合いを判別可能 にするために、本高温高湿試験だけでなく、40℃ 乾湿交番試験とブランク試験片(試験環境に置か ず、





室内で保存した比較用試験片)の結果を併記した ¹⁹⁾。本例では供試塗料種 8 種類の内、7 種類が PSPCの付着力の指標である5MPaを下回る結果 となっており、本装置の劣化促進能力が高いこと を示唆している。本試験では、高温高湿環境にお ける付着力低下の主原因が素地鋼板の発錆によ るものであることが分かった。

2.6 まとめ

塗膜劣化促進試験方法について過去の事例を調 査した結果、バラストタンク内環境として想定さ れる高温高湿度の環境にて試験を実施する方式は 確認されなかった。このため新しい塗膜劣化促進 試験方法を考案した。考案方法により塗膜劣化促 進試験を実施し、考案方法が高い劣化促進性能を 有することを確認した。

К	分類	3ヶ月経過試験片									Blank						
	促進試験方法		高温高湿(70°C99%)試験 40°C乾湿交番試験(塩水)								Blank						
涂彩珠	n数		1		2		9		10		17	1	18				
21112	ドーリー場所	Ũ		Ű		Û		0		Ū		0					
۸	付着力(kg)	111	186	67	R.	210		237	E.	297	(a	259	100				
	mpa 破断箇所及び面積(5) (3)接着剤内 (3)開中	3.5	60		-	80	6	80	0	80	-	70	~				
	2)層内 (2)層内(ショップ) (1)層間 恒価	80		70	B	10	C	10	0		C	2	0				
в	#TI# 付着力(kg)	131		170	32	209	0	361	A.	345	6	359	5				
	Mpa 破断箇所及び面積(%) (3)接着剤内	4.1	100	5.3	22	6.5 50	1	11.3 50	5	10.8 97	6	<u>11.2</u> 65	X				
	 (2)層内 (2)層内(ショップ) (1)層間 	<u>50</u> 50		70 20	(1)	20	\bigcirc			3	(c)	2	C				
с	#+111 付着力(kg)	37	dia	4.5	480	399	6	329	1	300	1	318	~				
	Mpa 破断箇所及び面積(%) (3)接着剤内	1.2	and the second s	0.1		12.4 60	X	90)(9.4		9.9	0				
	 (2)層内 (2)層内(ショップ) (1)層間 (1)層間 	100		100			0		\bigcirc	2	C		0				
D	付着力(kg)	71	-	128	翻	270	1	299	The	339	1	351	1				
	Mpa 破断箇所及び面積(5) (3)接着剤内 (3)開中	2.2	-	4.0	-	8.4 	~	9.3	(10.6	K	10.9 5	X				
	2)層内(ショップ) (1)層間 評価	100		96			\bigcirc	2	0	2	\bigcirc		0				
E	付着力(kg)	356	1	244	G.	323	P	203	1	325	1	288	0				
	破断箇所及び面積(%) (3)接着剤内 (2)層内	3 82	A	20 50	0	0.3 75 22	0	15	6	65	0	90	0				
	(2)層内(ショップ) (1)層間 評価	15	Q	30	Q	3	0	50		2	C	2	0				
F	付着力(kg) Mpa	37	33	56	diffe.	304 9.5	2	294 9.2	-	124	2	170	0				
	破断箇所及び面積(%) (3)接着剤内 (2)層内	5	0		0	25 75	Ó	<u>80</u> 20	0	60 40	6	100	0				
<u> </u>	2)層内(ショッフ) ①層間 評価	95	SUS.	100	C		0	_	0		C		C				
G	付着力(kg) Mpa	156 4,9	1	142	0	297 9.3	0	388	D.	317 9.9	0	309 9.6	0				
	破断箇所及び面積(%) ③接着剤内 ②層内		ê		in	100	0		0		õ		0				
	 (2)層内(ショップ) (1)層間 評価 	100		100	0		U		0		0		0				
н	付着力(kg) Mpa	54		94 2.9		312 9.7		383	0	240 7.5		256 8.0					
	破断箇所及び面積(%) (3)接着剤内 (2)層内	100	č	100		100	0	97 3	õ	100	0	98 2					
	(2)層内(ショッフ) (1)層間 評価										Ľ,						

表-2.6.1 高温高湿試験結果の一例(温度 70℃ 相対湿度 100%)

3. 塗膜劣化に係わる諸因子の影響に関する 調査研究

3.1 目的

バラストタンク内高温高湿部位における腐食因 子の内、材料側の因子として塗装膜厚、環境側の 因子として水蒸気分圧(湿度)及び酸素分圧(酸 素濃度)の影響について実験による調査を行った。

3.2 実験方法

3.2.1 試験片

船舶用防食塗料を塗装した鋼板により実験を行った。素地鋼板として寸法 200mm×100mm× 3.2mmの一般構造用圧延鋼材(SS400)を使用した。両面に表面粗度 50 µ m のショットブラスト処 理を施した後にジンク系ショッププライマを塗布 した。その後、主塗装として船舶用防食塗料を規 定の膜厚塗布し、試験片とした。なお、試験面は 片面とし、エッジ部には保護のためエッジシール 塗装を行っている。

3.2.2 塗膜劣化促進試験

前章にて考案した高温高湿塗膜劣化試験装置を 用いて塗膜劣化促進実験を行った。試験温度は 70℃とし、湿度は各試験により所定の値に制御し た。試験片の主塗装、膜厚及び試験環境を表一 3.2.1 に示す。促進環境の欄の数字は試験期間(月 単位)を表す。従来使用されている変成エポキシ系、 ピュアエポキシ系、タールエポキシ系防食塗料に 加えて、無溶剤エポキシ系防食塗料による試験を 行った。なお、本実験で用いた無溶剤系エポキシ 防食塗料(記号 A~I)は、当所及び社団法人日本中 小型造船工業会が日本財団の助成を受けて実施し た「低 VOC 防食塗料の耐久性に関する調査研究」 において開発中であった試作品の塗料である。試 験片は、膜厚及び試験環境につき各1枚を供した。 いずれの試験片も試験環境中に常時保持し、3、6、 9ヶ月経過後で取り出し、付着力試験を実施した。 更に継続したものは 12、18 ヶ月経過後で取り出 し、付着力試験を実施した。また、比較環境とし て温度 70℃の清水中での塗膜劣化促進試験を実 施した。

付着力試験にあたっては、試験片の塗膜表面を #120 程度のサンドペーパーで研磨し脱脂した後、 図-3.2.1 に示すドーリー(付着力試験治具)をア クリル系接着剤により接着した。接着剤の硬化後、 ドーリー周囲の接着剤及び塗膜層を、ホールソー により素地鋼板に達するまで取り除き、図-3.2.2 に示す付着力実験装置を用いて試験治具に引張負 荷を加えた。試験片から剥離する時の荷重を計測 し、試験治具の接着面積で除して付着力とした。 試験後に破断面を観察し、図-3.2.3 に示す破断層 の面積割合を記録した。付着力試験後の試験片は、 シリコンシーラント又はピュアエポキシ防食塗料 により破断面のタッチアップを行い、再び塗膜劣 化促進試験に供した。

				促進環境	
			高温	11高湿	
記号	塗料種	乾燥 膜厚 (µm)	相対 湿度 70%	相対 湿00% 脱酸素 環境	清水 浸漬
Α	NS_A		18		18
В	NS_B		18		18
С	NS_C		18		18
D	NS_D		18		18
Е	NS_E		18		18
F	NS_F		9		
G	NS_G			12	
Н	NS_H		9	12	
Ι	NS_I	200,		12	
J	低 VOC エポキシ系	500, 500	9	12	
K	ME_A		9	12	
L	ME_B		9	12	9
М	ME_C (冬季用)		9	12	9
N	PE A		9	12	9
0	 PE_B (冬季用)		9	12	9
Р	TE		9	12	

表-3.2.1 主塗装及び試験環境

NS : 無溶剤エポキシ、ME : 変成エポキシハイソ リッド

PE: ピュアエポキシ、TE: タールエポキシ



図-3.2.1 ドーリー (付着力試験治具)



図-3.2.2 付着力実験装置



図-3.2.3 剥離面の分類

3.3 塗膜厚の影響に関する調査

相対湿度 70%の高温高湿環境試験及び清水浸 漬試験から、塗膜劣化に及ぼす膜厚の影響を検討 した。図-3.3.1 に付着力の経時変化、図-3.3.2 に破断箇所の面積割合の経時変化をそれぞれ示す。 図-3.3.1 中の凡例は、塗膜厚(µm)を表す。また、 図-3.3.2 中表記の意味は、(f)図内に示す。なお、 ブランク試験片は、比較のために実験室内環境で 保存し、劣化促進試験に供した試験片と同様の間 隔で付着力試験を行ったものである。塗料種 H、 J~Pのブランク試験片の結果は3.4項にて述べる 脱酸素環境試験と共通であるため、本項には掲載 していない。

試験に供した塗料の内、無溶剤エポキシ系のものは開発段階であることもあり、付着力の低下が他の試験片より早期に発生しているものが多い (塗料種 A~D、F)が、長期間劣化の確認されない ものもある(塗料種 E、H)。塗料種 A、B、C、D、 Fの塗料は高温高湿環境において、プライマと主

塗装との界面において剥離が発生して付着力低下 の原因となっており、高温高湿環境における付着 力の低下は、膜厚 200um の試験片の付着力低下 が試験6ヶ月目で既に確認できるのに比較して、 膜厚 350 μ m 及び 500 μ m の試験片では試験 9 ヶ 月目頃より確認される。加えて、同一時における 付着力の大小関係は、塗膜厚の大小関係とほぼ一 致している。一方で同じ塗料種であっても清水浸 漬環境では膜厚に関係なく付着力が低下しており、 かつ、高温高湿環境では確認されていない塗膜下 腐食(発銹)が発生している。また、塗膜は軟化 し泥状になっている(塗料種 A~D、F)。高温高湿 環境と清水浸漬環境の付着力の経時変化を比較す ると、主塗装とプライマ界面で剥離の生じた塗料 種 A~D は、高温高湿環境での付着力低下が試験 3又は6ヶ月目以降急速に進行しているのに対し、 清水浸漬環境では、試験期間に対し直線的に付着 力が低下している。試験 18 ヶ月目には、どちら の環境においても付着力がほぼ零となった。

現用塗料種 J~P では、高温高湿環境における 付着力の低下は塗料種L及びNの一部で見られる が、その他の試験片では確認されていない。なお、 タールエポキシ塗料の付着力は他の塗料種と比較 して小さいが、全て塗膜内の凝集破壊で破断して おり、素地との密着性低下によるものではない。 一方で、清水浸漬試験では付着力は試験に伴い低 下する傾向が見られ、一部の試験片ではフクレの 発生が確認された。塗膜厚による違いについては、 途膜厚 200um の試験片が他の途膜厚の試験片と 比較して、付着力の低下がやや早期に起こってい る塗料種(J、L、N)もあるが、塗料種により差違 が大きく顕著ではない。塗料種による違いについ ては、変成エポキシ塗料である L、M がピュアエ ポキシ塗料N、O及びタールエポキシ塗料Pより も早期に付着力低下している。現用塗料の試験期 間は無溶剤塗料に比較して不足しており、今後試 験を継続して傾向を評価していく必要がある。

以上より、プライマと主塗装の界面で剥離が発 生しやすい場合には塗膜厚の影響が現れているが、 この部分の密着性が確保されている現用塗料では、 塗膜厚の影響は明確には確認されていない。また、 設定した劣化促進環境である相対湿度 70%では、 プライマと主塗装の界面に剥離を発生させること はあるが、塗膜下腐食を発生させ得る環境ではな いと考えられる。ただし、実船のバラストタンク 天井部では、海水中に含まれる塩化物により発銹 に必要な相対湿度が低下する可能性はある。



図-3.3.1(a) 付着力試験結果(付着力) 高温高湿(相対湿度 70%)環境、清水浸漬環境及びブランク試験片



図-3.3.1(b) 付着力試験結果(付着力)高温高湿(相対湿度70%)環境、清水浸漬環境及びブランク試験片



図-3.3.2(a) 付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度 70%)環境、清水浸漬環境及びブランク試験片



D 高温高湿 塗膜厚 200 μm D 高温高湿 塗膜厚 350 μm D 高温高湿 塗膜厚 500 μm 図-3.3.2 (b) 付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度 70%)環境、清水浸漬環境及びブランク試験片



図-3.3.2(c) 付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度 70%)環境、清水浸漬環境及びブランク試験片



K 高温高湿 塗膜厚 200 μm
K 高温高湿 塗膜厚 350 μm
K 高温高湿 塗膜厚 500 μm
図-3.3.2(d) 付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度 70%)環境、清水浸漬環境及びブランク試験片



図-3.3.2(e) 付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度 70%)環境、清水浸漬環境及びブランク試験片



図-3.3.2(f) 付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度 70%)環境、清水浸漬環境及びブランク試験片

3.4 酸素濃度の影響に関する調査

バラストタンク天井部の高温高湿環境における 腐食因子となるのは、酸素及び水蒸気であると考 えられる。タンク素地鋼板の腐食については、イ ナートガスのような不活性ガスの導入により酸素 濃度を低下させることで防食効果が得られるとさ れている^{20)~23)}。一方で、塗膜の付着力の低下や 劣化に関する酸素の影響は、不明確であった。そ こで、相対湿度 100%の脱酸素高温高湿環境にお ける塗膜劣化促進試験結果から、水蒸気のみによ って塗膜劣化が発生し得るかを調査した。

3.4.1 実験装置の構成

先に示した塗膜劣化促進試験装置に、装置内部 の酸素ガスを除去する機構を設けた。図-3.4.1 に酸素ガス除去機構の模式図を示す。

装置に対して窒素ガスを注入することにより酸 素ガスを除去する。工業用窒素ガスボンベ又は PSA 式窒素発生装置により 50~200NL/h 程度の 流量の窒素を常に送り込み、装置内部のガスを置 換する。注気管及び排気管には水封を設けて、外 部とガスの交換が行われにくい構造とした。内部 ガス濃度は、排気側にて管理した。排気管の水封 手前に容器を設け、容器内のガスの酸素濃度を東 レエンジニアリング製ジルコニア式酸素濃度計 RF-400 により都度計測した。装置内の試験環境 は温度 70℃、相対湿度 100%の環境であるのに対 し、酸素濃度計のサンプルされたガスの温度は、 ほぼ室温である。このため、酸素濃度の計測値は、 採取ガスの水蒸気分圧の違いによる誤差を含むが、 本実験の用途では問題とならない。試験を通じて、 促進試験環境の酸素濃度は1%以下に維持した。



図-3.4.1 塗膜劣化促進試験装置の酸素ガス除去 機構

3.4.2 実験結果

塗膜厚影響試験と同様に付着力試験により評価

した。図-3.4.2 に付着力の経時変化、図-3.4.3 に破面割合の経時変化をそれぞれ示す。先と同様 に図-3.4.2 中の凡例は塗膜厚(um)を表す。また、 図-3.4.3の表記は(e)図に代表として示す。試験3 ヶ月目のみ、一試験片につき二点の付着力試験を 実施した。試験に供した全ての塗料種において、 付着力の低下は確認されなかった。また、破断の 殆どは接着剤か主塗装の凝集破壊により発生して おり、かつ、破面面積の経時変化も明確ではない。 これらより、脱酸素高温高湿環境における塗膜劣 化は、少なくとも付着力試験で確認可能な程には 進行していないといえる。大気酸素濃度での相対 湿度 100%における現用塗料の試験は本研究では 未実施であるが、相対湿度70%の環境で一部の試 験片に付着力低下が生じていることを考慮すると、 酸素ガスは塗膜の付着力低下に寄与していると推 察される。今後も本実験を継続し、酸素の寄与に ついて判断することとしたい。



H 高温高湿

図-3.4.2(a) 付着力試験結果(付着力) 高温高湿 (相対湿度 100%、脱酸素)環境及びブランク試験片



図-3.4.2(b) 付着力試験結果(付着力)

高温高湿(相対湿度100%、脱酸素)環境及びブランク試験片



P 高温高湿

図-3.4.2(c) 付着力試験結果(付着力)

高温高湿(相対湿度100%、脱酸素)環境及びブランク試験片





高温高湿(相対湿度100%、脱酸素)環境及びブランク試験



J ブランク 塗膜厚 200 μm J ブランク 塗膜厚 350 μm J ブランク 塗膜厚 500 μm 図-3.4.3(b) 付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度 100%、脱酸素)環境及びブランク試験



付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度100%、脱酸素)環境及びブランク試験 ⊠ − 3. 4. 3 (c)

M 高温高湿 塗膜厚 500μm



0 ブランク 塗膜厚 200 µm 0 ブランク 塗膜厚 350 µm 0 ブランク 塗膜厚 500 µm 図-3.4.3(d) 付着力試験結果(破面面積割合)高温高湿(相対湿度 100%、脱酸素)環境及びブランク試験



図-3.4.3(e) 付着力試験結果(破面面積割合) 高温高湿(相対湿度100%、脱酸素)環境及びブランク試験片

3.5 まとめ

開発段階の無溶剤エポキシ塗料及び現用塗料を 用いて実施した塗膜厚影響評価試験では、プライ マと主塗装との付着性が低い無溶剤エポキシ塗料 を高温高湿環境に保持した場合、付着力の低下に 塗膜厚の影響が現れた。特に、塗膜厚 200µm と 350µm の試験片間の差違が大きい結果となった。 試験期間 9ヶ月目までの結果によると、現用塗料 では、塗膜厚の影響は明確には現れていない。ま た、塗料種による付着力低下傾向に付いては、ピ ュアエポキシ塗料に比較して変性エポキシ塗料の 付着力低下が早期に発生する傾向が確認された。

現用塗料を用いて実施した酸素影響評価試験で は、酸素濃度を 1%以下に保持した高温高湿環境 において、試験期間 12 ヶ月まででは付着力の低 下が現れなかった。

4.1 目的

経年船のバラストタンク内の塗膜劣化状況の情 報を収集することを目的とし、修繕入渠船2隻に 対して調査を実施した。次に、経年船の調査によ って得られた知見を元に、開発塗料を試験塗装し た船に対しても塗膜劣化状況を調査し、開発塗料 の効果を確認した。なお、試験塗装した開発塗料 に関しては、複数の試作塗料について各種性能試 験を行った結果、最も良好であった塗料を使用し ている。

4.2 調査対象

調査を実施した船の新造時のデータを表-4.4.1 に示す。表-4.4.1 中A船及びB船が上述の 修繕入渠船、C船が開発塗料を試験塗装した船で ある。

				-
船 名	船種	トン数 (D/W)	船齡	WBT内塗料
A 船	ばら積み 貨物船	23,612	10	ノンタール系
B 船	一般 貨物船	8,668	11	ノンタール系
C 船	ばら積み 貨物船	200,000	2.5	タールエポキシ 一部開発塗料

表-4.4.1 調査対象船の一覧

4.3 調査方法

調査はタンクの区画毎に行うため、最初に同一 タンク内にある各区画のおおまかな塗膜劣化状況 を把握し、調査対象とする区画を決定した。区画 における調査内容は、主に①目視及び計測による 塗膜状況の判定、②膜厚計測、③調査区画内の撮 影、である。

塗膜の劣化状態調査においては、フクレ及び錆 の状態による評価を実施した^{24)~26)}。塗膜劣化状 態の判定方法は、過去に IACS(国際船級協会連 合)ガイドラインを参考にして作成したもの²⁷⁾ を使用した。劣化度の判定基準は、フクレに関し ては ASTM D714-87 を、錆に関しては ASTM (American Society for Testing and Materials:アメリカ材料試験協会)D610-01 を 参考にしている。また、塗膜劣化に影響を及ぼす と考えられる塗装の膜厚、電気防食設置状況及び タンク内部材の処理状況等も併せて評価した。作 成したタンク内塗装調査要領を文末の参考資料に 示す。

4.4 調査結果

得られた調査結果を以下に示す。なお、試験塗

装を施した C 船の調査時においては、調査船の修 繕スケジュールの関係上、十分な調査時間を確保 することができなかったことから、主に試験塗装 部に対しての簡易的な調査を実施した。

4.4.1 経年船(A船)

表-4.4.2 調査概要

日時	2008年7月12日
調査員	4名(海技研)

表一4.4.3 調査対象船詳細

船種	ばら積み貨物船
船齢 [年]	10
$L \times B \times D[m]$	$143 \times 28 \times 13$
G/T [ton]	14,000
D/W [ton]	24,000
調査区画	No.2 S.B.T., No.3 S.B.T.,
	No.5 T.S.T.

表一4.4.4 新诰時塗装仕様

<u> </u>			- 14			
	COAT	TING		DENADKS		
WHERE USED	1ST	2ND	COLOR	RENARKS		
	NB COAT		GRAY			
FORE PEAK TANK	200 µ		N-6			
	NB COAT		GRAY			
	200 µ		N-6			
STERN TUBE	NB COAT		GRAY			
COOLING	200 //		N-6			
WATER TANK	200 μ		11 0			
NO. 1,5,6	NB COAT		GRAY			
TOP SIDE	200 <i>u</i>		N-6			
TANK(P & S)	μ.					
NO. 2,3,4	NB COAT		GRAY			
SIDE BALLAST	200 µ		N-6			
TANK(P & S)						
NO. 1,2,3,4	NB COAT		GRAY			
WATER BALLAST	200 <i>µ</i>		N-6			
TANK(P&S)						
BILGE TANK						
TANK(D)	NB COAT					
	P/E(D)	\mathbf{D} / $\mathbf{E}(\mathbf{E})$	N U			
	100 //	100 //	☆GRAY			
	100 μ	100 μ				
FRESH WATER	P/F (P)	P / F(F)		TO BE		
TANK(S)	100μ	100 <i>u</i>	☆GRAY	CLEANED		
				WATER IN		
	P/E (P)	P / E(F)	☆GRAY	ACCORDANCE		
TANK(P)	100 μ	100 μ		PRACTICE.		
SHARP EDGES OF	MANHOLE	JPENING T	U BE TOU	CHED UP BY		
BRUSH.						

調査結果の例として、No.3 S.B.T. 内・二重底 区画の調査結果を示す。 ①目視及び計測による塗膜状況の判定、及び②膜 厚計測の結果

名称	有無	型 断 而	エッジョ	調査項目	グレー	不具合 箇所	不具合 箇所	膜厚	(µm)	フクレ	熱影(囲 ()	嘗部範 □□)	儀考
	<u> </u>	混一	発理		F	(%)	合(%)	G	NG	密度 サイズ	顿	長さ	1
面番号: 1	有	平坦部			Good			472	303				
船体部位	有	開口部	無	エッジ	Good			475	279				-
	睙	板總部											
	箫	捕強村	-										
区面内位置													
													電気防度
前面		本奴											· 本致 · 体理
													+:+
T		m 40 Az	-		0 d			10.1	0.70				
回会亏: 4 00.00000	15	半坦 静	-		0000			404	278				ロンシリ法 : 250×90
Roth Rota	索	15-19-92	-	62,95 60 40	Good						80	1000	-
		SARE HP		101840 F	Good							1000	
ガーダ	有	補強材 型]	×.	林影響和	Fair								-
		10.24 17 Lat. 14		迎接線 F	Fair								
区面内位置		0.50		エッジ	Fair								1
				ウェブ1	Good			311					電気防食
+ -		本数		ウェブ2									本数
4 8				フランジ1	Good			448	362				位置
L				フランジ2									寸法
面番号: 3	有	平坦部			Good			521	334				İ
船体部位	有	開口部	鎆	エッジ	Good			406	319				
	箫	板総部											
	箫	捕強村	-										
区面内位置													
													電気防算
後面		本数											本数
													位置
													可法
由香号: 4	有	半坦部	-		Good			478	286				-
脂体能设	15	HE LI ED	10	エッシン かみかいがみの	Bood			440			20		-
	75	dicitie ap		1018-10 F	Poor						20		
	5	4424	-										
	791	10.28/15											
区面内位置													
													電気防倉
		本数											本数
左由													位置
1													寸法
面番号: 5	有	平坦部			Good			389		1 1			
船体部位	無	開口部	-										1
	有	板継部		熱影響部	Good]
1				溶接線上	Good								1
1	有	捕強村 型 L	有	熱影響部	Good		1 -	1 -			1 -	1 -	1
		-		溶接線上	Good								1
区面内位置		ロンジ		エッジ	Good							<u> </u>	
1				ウェブ1	Good			451	247				電気防食
床		不奴 2		7172	0 · · · ·	-							不数
1				フランジ1	0000			011					<u>世直</u> +34
TAB 4		W 40 Az	-	17772	o	_			635				197 8
回香号: 6	전	十垣郡	-		300d			414	275				1
20130-0016	素	HE HE AP	-	AD INC RELEASE	Good								4
1	-18	tix the sp		1021の音称	6004								1
1	<i>te</i>	2620 22 20 1	×.	11月1日1日	Good		-						1
1		18.2819 (<u>32</u> L	-73	流接線ト	Good								1
区面内位置		a>0 *		1972	Good		1				1	1	1
				ウェブ1	Good			343	250				電気防食
		本数 2 1		ウェブ2									本数
大开				フランジ1	Fair			386	269				位置
1				フランジ2				1				I	寸法





ロンジのフランジ及び平坦 部の溶接線上に発錆

ロンジのフランジ面

外板側隔壁の様子



開口部周辺及び平坦部 の溶接線上に発錆



フクレ・発錆



発錆している溶接線の

様子

天井、ロンジのフランジに 床面、ロンジ上のアノード 設置の様子

天井及び床面の様子 図-4.4.1調査区画内の結果及び撮影写真(A船) 4.4.2 経年船(B船)

表 - 4.4	4.5	調査概要	ļ
			_

日時	2008年8月23日
調査員	4名(海技研)

表-4.4.6 調査対象船詳細

船種	ばら積み貨物船
船齢 [年]	11
$L \times B \times D[m]$	$100 \times 19 \times 8$
G/T [ton]	6300
D/W [ton]	8700
調査区画	No.2 W.B.T. No.3 W.B.T.

なお、新造時塗装仕様に関するデータは、入手 出来なかった。

調査結果の例として、No.2 W.B.T.内・二重底の 調査結果を示す。

①目視及び計測による塗膜状況の判定、及び②膜 厚計測の結果

					-		н	도르슈	TRA					45 EV 45 45 45		
名称	有無	部位	型溶湯	断面	コッジ盤	調査項目	ν Γ	箇所面積	が兵合 箇所 長さ割	膜厚((µm)	73	フクレ		F#5#0 nm)	備考
			SE.		理		F	(%)	合(%)	G	NG	密度	サイズ	幅	長さ	
面番号: 1	有	平坦部		_			Good	5		299	202	2	5			スティフナ寸法:130×t10mm
船体部位	有	開口部			無	エッジ	Poor		60	432	295	1	5			
	*	放戦部														
フロア	*	1270-11	÷1	1.01	÷.	40.01(H) 47	Eale					- 2	6			
	77	7/8 25(11)	×		77	波接線上	Good					3				
区画内位置		7. 7.	17	÷ *		エッジ	Fair									
						ウェブ1	Good			289	217					電気防食
前亦		本数	1	1		ウェブ2	Good									本数
D.1 Mai																位置
																寸法
面番号: 2	有	平坦部		_			Fair1	5		184	124					
船休葬位	有	開口部		_	慧	エッシ	Fair		25	238	155	Z	5	_	_	
	景	放戦部														
サイドガーダ	4	1079-117	- 1	1.1	- 1								_			
	775	10.13(15)	-	_	-											
区画内位置																
				_	·											電気防食
+=		本数		_												本数
																位置
																寸法
面番号: 3	有	平坦部		_			Good			198	138					タレが多い
船体部位	有	開口部			無	エッジ	Fair		_	304	196	2	5			
	兩	化文 利益 声D														
707	4	102001	- 1	1.1	-								_			
	100		-	-	-											
区面内位置																
																電気防食
後面		本数	_													本数
																位置
	-		-	-	-								_			可法
(約香号: 4)	有	半坦部		_	1.1		Good			217	181		_			
后体影位	15	同口部		_	15	エッシン	Good		e	243	217	2	6			
	70	5X.962.00				波接線上	Good		5			-				
サイドガーダ	無	補強材	- 1	- 1	-											
		1	_		_											
区面内位置																
					.											電気防食
左面		本数	_	_									_			本数
																位直
TAB 5	+-	PT 40 80	-	-	-		Ealet			000	450		_			11A
10 ft	17	イ坦部	-	-	-					203	150		_			1200回よりサビタし ロンジサイズ・150 X 90 X 19mm 2本
10 10 10 IV.	無	板総部			۲											ロンジスペース:73mm
0.4.401	1 mil	1														
コンテーホトム	有	補強材	켚	L	有	熱影響部	Poor		70					50	103	
L			_			溶接線上	Good					1				
区圈内位置		(27-8	(MAR	09 ⁷		エッジ	Good									
1					.	ウェブ1	Good			233	204	Ι.				電気防食
天井		本数		z	•	7172	Good			210	139	2	3			本奴
1						77777	0000			138	140					12 III
						1,192		1								り病

※ 床面は泥の蓄積により計測不可能であった



遠景、スティフナやロンジ 熱影響部、開口部エッジ に発錆



に発錆

おもて側隔壁の様子







ティフナ周辺に発錆

遠景、開口部エッジやス スティフナウェブの発錆の 様子

中央側隔壁の様子





天井、フクレ・発錆 床面、泥が蓄積 天井及び床面の様子 図-4.4.2 調査区画内の撮影写真(B船)

4.4.3 開発塗料試験塗装 (C船)

表-4.4.7 調査概要

日時	2008年11月22日
調査員	4名(海技研)

表-4.4.8 調査対象船詳細

船種	ばら積み貨物船
船齢 [年]	2.5
$L \times B \times D[m]$	$290\! imes\!50\! imes\!24$
D/W [ton]	200,000
調査区画	No.2 T.S.T.(床面)、No.3 W.B.T.
	(天井)
	※試験塗装部のみを調査

表-4.4.9 新造時塗装仕様(試験塗装部)

				A/C		実測膜厚			
		下地 処理	塗料名 膜厚		回数	一般部	ロンジ 側面	ロンジ 裏面	ロンジ フランジ
W.B.T.部	T.S.T.部 床面(30m ²)	Sa 2.5	低VOC塗料 バフ色	300(µm)	A/0×1	365(μm)	562 (μm)	453 (μm)	427 (μm)
(50m ²)	D.B.T.部 王共(20m ²)	Sa 2.5	低VOC塗料 パフ色	300(µm)	A/0×1	487(μm)	698 (µm)	452(μm)	351 (μm)

調査結果の例として、No.3 W.B.T. 二重底の調 査結果を示す。

①目視及び計測による塗膜状況の判定、及び②膜 厚計測の結果

名称	有集	部位	型溶の	町道	エッジョ	調査項目	グレー	不具合 箇所 面積	不具合 箇所 長さ割	膜厚	(µm)	フクレ	熱影響 囲(r	「新範 1m)	儀考				
	~						灑		発理		۲. ۲	(%)	合(%)	G	NG	密度 サイズ	幅	長さ	
面番号: 1	有	平坦部					Good			806					平坦部TE膜厚:423				
船体部位	無	開口部			-														
,	有	板総部				熱影響部	Good												
インナーボトム				溶接線上	Good								溶接線上の一部に発頻						
	有	捕強材	켚	L	有	熱影響部	Good												
			-			溶接線上	Good												
区面内位置			ンジ		2	エッジ	Good												
		-				ウェブ1	Good								電気防食				
天井		本数	τ ¹		ウェブ2	Good								本数					
			_			フランジ1	Good			547					位置				
						フランジ2	Good								寸法				

※ 試験塗装部(天井)のみを調査した。











天井溶接線部 良好

天井溶接線部に一部錆

図-4.4.3 試験塗装部位の撮影写真(C船)

4.5 まとめ

本調査において確認した塗膜劣化状況の特徴を、 経年船(A船及びB船)と試験塗装船(C船)に 分けて以下に示す。

(1) 経年船(A船及びB船)

経年船(A船及びB船)の調査においては、バ ラストタンク内の塗膜劣化状況の情報収集を実施 した。得られた結果のまとめとして、フクレ・錆 の発生が著しかった箇所を下記に示す。この特徴 は、過去に同様の調査を行った際にも見られたも のであり、塗装の際に均一かつ十分な膜厚を確保 することが難しい箇所であるためと考えられる。

- ・溶接ビード
- ・開口部及び補強材等のフリーエッジ部
- 補強材で囲まれた箇所や区画の隅等の狭隘部
- ・ブラケット

- ・タンク内配管
- ・梯子取り付け部等の溶接部及び周辺(特に溶接 部下方)

(2) 試験塗装船(C船)

試験塗装船(C船)の調査においては、開発塗 料の効果を確認した。当船でもロンジのエッジ部 等のごく一部にフクレ・錆の発生が認められたも のの、全体の試験塗装部の塗膜状態は良好であっ た。また、同区画内においてタールエポキシ塗料 を塗装した箇所と比較しても、その効果は同等以 上であった。

5. おわりに

本研究では、バラストタンク内の環境を想定し た塗膜劣化促進試験方法として、高温高湿環境に おける試験方法を考案し、その有効性を示した。 また、試験装置製作及び塗膜劣化促進試験を行っ た。更に、実船を対象に実態調査方案を作成し、 提案方案に則り実態調査を行い、データ収集を実 施した。今後、塗膜劣化に及ぼす相対湿度の影響 等を対象に考案した劣化促進試験装置を用いた実 験を行いデータの収集、分析を行っていく必要が あると考えられる。

塗膜劣化は、船体の構造部材の腐食板厚衰耗を もたらし船体強度を低下させる大きな一因であり、 塗膜劣化を把握することは、船体構造の健全性を 確保するために必要不可欠である。そこで、塗膜 劣化に関して、定量的な知見を得るためには、今 後も引き続き様々な船種、バラスト注排水頻度の 多い船舶を対象に調査を実施することが必要であ る。

また、外観や付着力試験以外の劣化度評価方法 についても検討し、バラストタンク塗膜の実験室 環境及び実船における劣化評価方法を確立してい くことが必要である。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、日本ペイントマリン (株)の石原慎一氏に助言いただいた。また、修繕船 調査においては、各船の修繕監督殿並びに造船所の 担当殿にご協力いただいた。関係各位に感謝申し上 げます。

参考文献

1) 石塚、中道:塗装ハンドブック、朝倉書店

2)長谷川:塗料と塗装技術、日本理工出版会

- 3)柴田、千田、高橋、松岡、上寺、正木:タール エポキシ塗料の海水浸漬による劣化(その1: 電気化学的評価)、平成10年度春季船舶技術研 究所研究発表会講演集、(1998)、pp.186-189
- 4) 千田、柴田、松岡、古谷、矢ケ崎、西尾、的場: タールエポキシ塗料の海水浸漬による劣化(その2:材料学的評価)、平成10年度春季船舶技術研究所研究発表会講演集(1998)、pp.190-193
- 5) 濱田:船舶タンク・コーティングの諸検討、船 の化学、Vol.40(1987)、pp.65-72
- 6)濱田:鋼構造物に対する溶接部の塗装、船の化
 学、Vol.41 (1988)、pp.88-92
- 7) 濱田:溶接部における塗膜の膨れと防止法、船 の化学、Vol.41 (1988)、pp.35-38
- 8) 濱田:鋼構造物の歪取り跡における塗膜欠陥発 生機構と防止法、船の化学、Vol.41(1988)、 pp.50-56
- 9)恵美、湯浅、熊野、山本、有馬、海野:適切な 船体防食管理法に関する研究、日本海事協会会 誌、No.225(1993)、pp.184-208
- 10)松岡、在田、翁長:海洋構造物用塗装系の耐用期間の要因解析、日本造船学会論文集、第
 161号(1987)、pp.422-428
- 11)村上、松岡、田中、林、松尾、田原:バラス トタンクにおける防食の現状、日本船舶海洋工
 学会講演会論文集第1号(2005)、pp.141-144
- 12)日本規格協会:JIS ハンドブック 2010-30、 塗料
- 13)日本造船研究協会:第 165 研究部会報告書 (1976-1979)
- 14)日本造船研究協会:第 182 研究部会報告書 (1980-1985)
- 15)日本造船研究協会:第 201 研究部会報告書 (1985-1990)
- 16) 特開 2009-198195
- 17) 特開昭 62-81547
- 18)特開平 7-209174
- 19)林原、村上、山根、松岡、菅原、田中、石原: 低 VOC 耐久性塗料の防食性評価、海上技術安 全研究所第9回研究発表会講演論文集(2009)、 pp.313-314
- 20)日本造船研究協会:第 128 研究部会報告書 (1971-1974)
- 21)日本造船研究協会:第 172 研究部会報告書 (1977-1981)
- 22) 熊田、小渕:原油タンカーのオイル及びバラ

ストタンクのイナートガスシステムによる防食 と腐食事例、材料、Vol.49(2000)、pp.1185-1192

- 23)American Bureau of Shipping (ABS): Guide for Inert Gas System for Ballast Tank (2004)
- 24)鋼船規則検査要領 B 編付録 5、すべてのタイ プの船舶の専用海水バラストタンク及びはら積 貨物船の二重底側部に対する塗装性能標準
- 25) Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Surface, ASTM, Designation, D 610-01
- 26)Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering Paints, ASTM, Designation, D 714-87
- 27) International Association of Classification Societies (IACS): Guidelines for Coating Maintenance & Repairs for Ballast Tanks and Combined Cargo / Ballast Tanks on Oil Tankers (2006)

参考資料 塗膜調査要領

調査区画の分割方法

サイドタンク・F.P	上・中・下3分割	6 面ずつ評価
二重底	上・下2分割	5 面ずつ評価
A.P	上・下2分割	6 面ずつ評価

評価手順

- 電気防食の有無の確認
- 計測区画の寸法計測(ロンジ本数・ロンジ間隔等含む)
- 塗膜状態についての評価(新造時(タッチアップ時)の下地処理ミスではない箇所を評価する。
 ただし、下地処理ミス等はコメントを残す。)
 - ▶ 平坦部(非熱影響部)の錆、塗装の不具合を下記グレードで評価。
 - Good < 3%, Fair-1:5%, Fair-2:10%, Fair-3:15%, Poor > 20%. (面積割合)
 - ▶ 開口部の周辺の発錆部の範囲計測(幅・長さを計測)

Good < 3%, Fair-1:5%, Fair-2:10%, Fair-3:15%, Poor > 20%.(面積割合)
 板継部、補強材等の熱影響による発錆部の範囲計測(幅・長さを計測)

Good < 20%, Fair: 20~50%, Poor > 50%.

- エッジ及び溶接線上(板継・補強材取付等)の錆、塗装の不具合を下記グレードで評価。
 Good < 20%, Fair: 20~50%, Poor > 50%.(長さ割合)
- ロンジ等の補強材について、フランジ・ウェブの錆・塗装不具合を下記グレードで評価。
 Good < 20%, Fair: 20~50%, Poor > 50%.(面積)
- ① フリーエッジ部の処理についての評価
 ▶補強部材エッジ処理の有無
 ▶開口部エッジ処理の有無
- ② 膜厚計測
 >平坦部及び開口部周辺の健全部および不具合部周辺
 >補強材(フランジ・ウェブ表裏面)
- ③ フクレについての評価(新造時(タッチアップ時)の下地処理ミスではない箇所を評価する。ただし、下地処理ミス等はコメントを残す。)

- サイズ・密度について評価する。評価は IACS 準拠として、それぞれ 0~5 のレートで表す。
- 但し、密度・サイズ共にレート 0,1 は非常に少量もしくは小さいため、目視での評価はレート 2 以上が現実的と思われる。

レート	密度(不具合箇所の数) 10~20cm ² の範囲 (ex.4×5cm)	サイズ
1	ごくわずか	
2	わずか	ぎりぎり見える程度
3	適当	明確に確認できる。最大0.5mm まで
4	相当	0.5mm~5mm
5	密	5mm 以上

● <u>その他</u>

- 航路、航海日数、バラスト積載情報について、船員に聞き取り調査を実施する。
- 下地処理(塗装前処理)について調査し、次により対応する記号にてまとめる。(ISO 規格)

Sa 3	ショット/サンドを十分投射し、ミルスケール、錆及びその他の
	異物が除去され、均一な金属光沢が見られるブラスト処理面
Sa 2.5	ショット/サンドを投射し、ミルスケール、錆及びその他の異物
	がかなり除去されたブラスト処理面
Sa 2	ショット/サンドを軽く投射し、ルーズなミルスケール、錆及び
	その他の異物がかなり除去されたブラスト処理面
St 3	動力工具、手工具で十分研磨し、錆及びその他の異物が除去され
	金属光沢が見られる表面
St 2	St2 :動力工具、手工具で研磨し、錆及びその他の異物が除
	まされた表面