

船体の塗装

船体構造は鋼という錆び易い材料を溶接して造られ、海水や種々の貨物と接しながら、長期間にわたって使用される。

- ⇒ 表面を保護することが不可欠。
- ⇒ 一般的に使われる手段が**塗装**(塗料を塗布すること)である。

塗料は一般的に、流動状態で対象面に広げる(「塗る」、「塗布する」と)時間経過とともに固着して薄い連続皮膜(「塗膜」と呼ぶ)を形成して対象面を覆うもの、と定義される。

塗装の目的には上記「対象物の保護」の他、見栄えの向上や特殊機能の付与が挙げられるが、その目的を達成するためには、①塗装対象面の事前処理、②塗装仕様(塗料の種類と塗布回数)、③塗装条件(周囲の環境と塗装方法)、を適切に管理・実施することが重要である。

塗膜寿命への寄与率で見ると、最も重要なのは①**塗装対象面の事前処理**で寄与率は50%、次いで**塗布回数**が寄与率20%、**塗料の種類**が5%と言われている。

塗装工程の概要

船体建造工程の全体における塗装工程の概要を表に示す。

船体の建造と塗装工程を追うと、内業工場では一次表面処理とショッププライマー塗装を行った板材を切断して小組、中組加工を行い、大組、総組工程を経て造られた大型ブロックを船台orドックに搭載する中では、鋼材前処理と二次表面処理、防食・防汚・上塗り塗装を行い、ファイナルドックで船底と外板の仕上げ塗装が行われる。

建造工程	塗装工程
1. 内業(板切、小組、中組)	ショッププライマー塗装 ① 一次表面処理(ショットブラスト) ② ショッププライマー塗装
2. 地上作業(大組、総組)	ブロックの防食塗装 ① 鋼材前処理 ② 二次表面処理 ③ 防食塗装 ④ 上塗り塗装の一部
3. 船台またはドック、艀装岸壁における作業	区画塗装(接合部塗装) ① 鋼材前処理 ② 二次表面処理 ③ 防食塗装 ④ 上塗り塗装の一部
4. ファイナルドック	船底と外板の仕上げ塗装 ① 水洗い ② 仕上げ塗装前処理 ③ 仕上げ塗装

ショッププライマー塗装

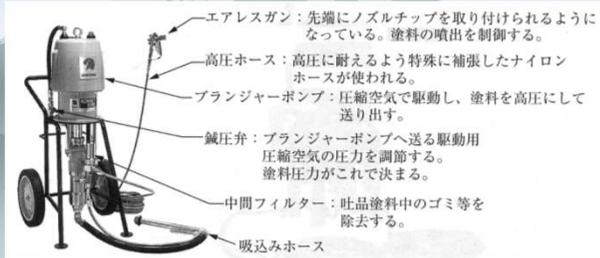
ショッププライマーはShopとPrimerからなる言葉であるが、Shopは店ではなく工場、Primerは最初にやることを意味しており、鋼板が造船工場に納入された段階で、直ぐに一次表面処理を施してから自動塗装する薄膜の防錆塗料を意味している。

圧延製造され表面がミルスケール(mill scale)で覆われたままの鋼板を塗装すると付着性が低いので、ショットブラストなどで一次表面処理してミルスケールを除去してから、ショッププライマー塗装を行う。ミルスケールは黒皮とも呼ばれる酸化皮膜であるが、millは製造工場(製鉄所)を意味し、scaleは物差しや音階ではなく鱗や歯垢の意味であるから、「製鉄所から来たばかりの鋼板に付着している硬い皮膜汚れ」を意味する。

ショッププライマー塗料は他の船舶用塗料とは異なり、良好な防錆・防食性に留まらず、乾燥性が良く、鋼材および他の塗料との付着性に優れ、溶接などで熱を加えても有害ガスを発生しないなど、要求項目が多い。

塗装の方法

塗装には古来ハケが用いられてきたが、ローラーが使われるようになり、更に進んで大規模な塗装にはスプレー塗装装置が使用されるようになった。船舶用塗料には粘度の高いものが多いので、霧吹きで液体をスプレー化するエアスプレー装置は適用できず、造船所で使用されるのは主として下図に示すエアレススプレー装置(塗料そのものを高圧でノズルから噴出させスプレー化する)であり、補完的にハケやローラーが使われている。



IMO 塗装性能基準

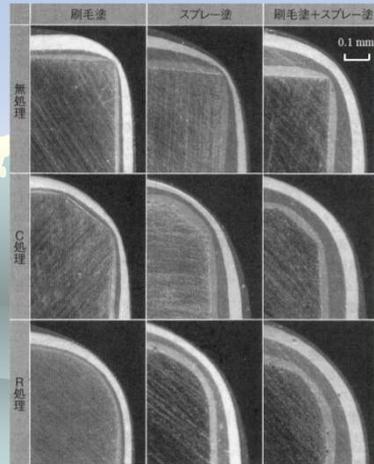
船舶の耐用年数は明確に決められておらず、建造時の諸検査だけでなく就航後も定期的に検査を行って、構造部材や塗装に損傷が発生していれば就航継続に必要な補修をするものと考えられている。定期検査を担うのは主として船級協会であるが、検査の信頼性にはバラつきがあり、定期検査で見逃された塗膜損傷から腐食が進展して沈没に至ったと疑われる事故がママ発生する。1997年に隠岐島沖の日本海でナホカ号が沈没しても(対岸の火事だから)欧米は騒がなかったが、2002年にプレステージ号がビスケー湾で沈没したら大騒ぎになった。

こうした事故を発生させた船級協会は顧客の信頼を失って淘汰されるという考え方もあるが、現実には「就航後の検査では十分な対処ができないので、建造時にキチンとした塗装をさせる必要がある」という主張が勝ち、2006年12月に専用の海水バラストタンクとバラ積み貨物船の二重船側部を、2010年5月に原油タンカーの貨物油タンクを、対象とするIMO塗装性能基準が定められて施工らびに検査・管理の手順が規定された。

IMO 塗装性能基準 シャープエッジ

切断された鋼板の端部が整形されないままシャープエッジを持っていると、角の所で塗膜が薄くなるので劣化して腐食し易いとして、IMO基準では「最低でも半径2mmのRを持つように整形しなければならない」と規定された。

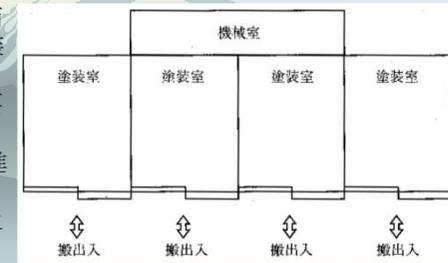
右図は、上段から下段にかけて無整形、角を45度削った場合、丸く削った場合の塗膜厚さを調べた結果を示しているが、半径2mmより小さくて良いようにも思える。



IMO 塗装性能基準 ブロック塗装工場

船殻ブロックの段階で完成状態に近い塗装を行う「ブロック塗装方式」は専用の建屋を要する機会が多いが、天候の影響を避けられ作業足場の架設が容易であることから、温湿度と塗膜厚さの徹底管理が可能で、塗装品質と作業効率の両方を向上させられる。

IMO基準により塗装管理の厳格化が要求され、特定部位に限定されるとは言え、(1) ショッププライマー不健全部に対するショットブラストによる二次表面処理と、(2) 防食塗装の乾燥最低膜厚320μmの確保が必要になったため、専用塗装工場の整備が進んだ。専用塗装工場の平面図の例を右に示す。



塗装と防食

- (1) 船舶塗装の概要
- (2) 塗装以外の防食手段

電気防食

鋼よりイオン化傾向の高い金属アノードを設置して、鋼より先に酸化させ溶け出させる。

→ 鋼の酸化を防止

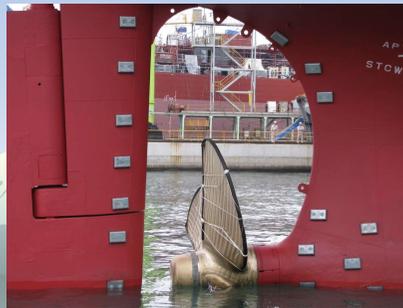
アノードの定期交換だけで制御を必要としないので、手軽であり広く使われている。



アノード(アルミニウム)

船尾船体の防食

船尾にはプロペラが着くが、プロペラは銅(Cu)合金で出来ていて鋼(Fe)よりもイオン化傾向が低いので、Cu-Feの局部電池ができると鋼(Fe)のイオン化が促進されて、腐食・衰耗してしまう。それを防ぐため、プロペラを囲うように鋼(Fe)よりイオン化傾向の高い亜鉛やアルミニウムの防食アノードを着けて局部電池を作り、防食アノードを先に衰耗させて鋼(Fe)の衰耗を防止する。



チタンを使った防食

東京アクアラインの橋脚 →

海洋土木構造物は供用期間が長く、ドックでの補修することもできない

→ 強固な防食が必要

チタンの使用が一つの手段だが、チタンは高価であるので、全てに部材をチタン製にする訳にはいかない。

↓
飛沫帯に限定して、チタン被覆やチタンクラッド鋼を使用する。

羽田空港D滑走路 →
(鋼桁下面にチタン)



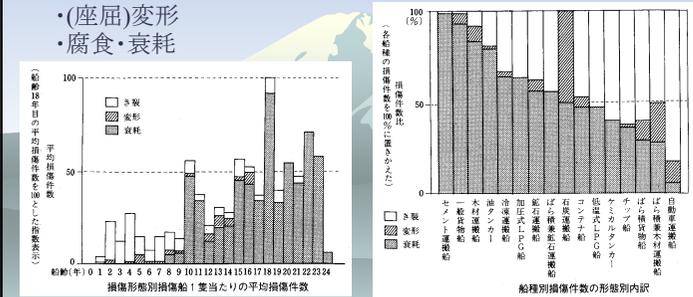


船体の損傷

一般的な商船: 20~25年間の航行 ⇒ 何らかの損傷が生じる可能性がある. ⇒ 定期検査、要すれば補修

船体構造に生じる主な損傷:

- き裂
- (座屈)変形
- 腐食・衰耗

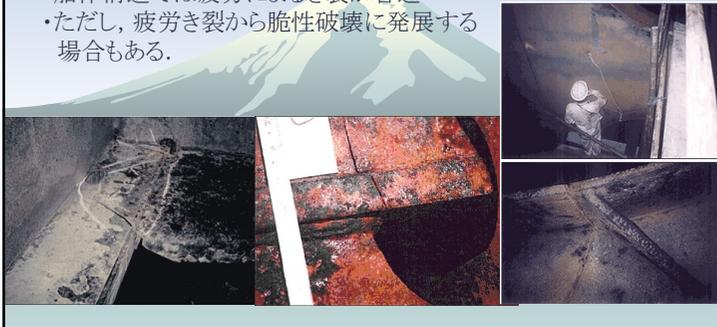


船齢と船種によって発生しそうな損傷が異なる

き裂損傷

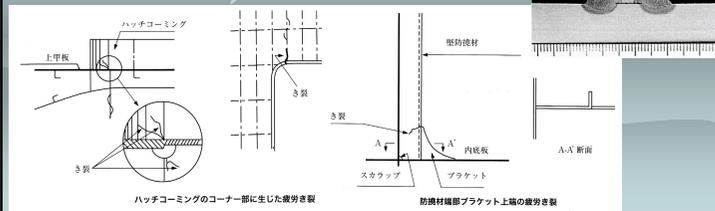
き裂: 脆性破壊 (塑性変形を伴わない一瞬の破壊)
 疲労破壊 (変動荷重の振幅と繰り返し回数の組合せが、或る限界を超えた場合に生じる進行性の破壊)

- 船体構造では疲労によるき裂が普通
- ただし、疲労き裂から脆性破壊に発展する場合もある。



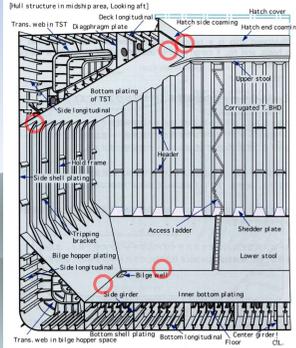
疲労き裂の原因

- 過大な応力
- 過大な荷重 (e.g. 荒天回避に失敗)
- 応力集中 (開口の周り, 非連続部で発生応力が増大) (き裂先端の応力は無限大!)
- 振動による荷重繰り返し回数の増加
- 腐食・衰耗 (板厚減少による応力増加, 凸凹による応力集中)
- 多くの場合、溶接部からき裂が発生 (ビード形状による応力集中, 溶接欠陥)

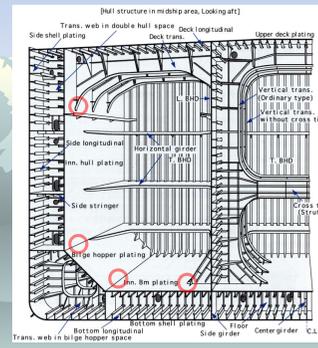


き裂の生じやすい箇所

応力集中部 (不連続構造部)
斜め部材が交差する箇所、開口部近傍



バルクキャリア



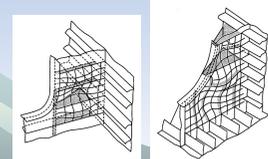
オイルタンカー

座屈変形

変形損傷: 塑性変形
座屈変形 (圧縮荷重下の変形)



座屈変形 → 撓んだ部材はその後の
剛性や強度が大幅に低下!

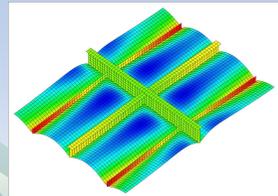


座屈損傷が問題

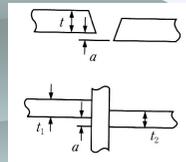


座屈変形の原因

- 過大な応力 (過大な荷重)
- 初期不整
初期変形
(溶接による変形や初期損傷)
目違い
(接続箇所のズレ)
↓
変形やズレがあると座屈しやすい
- 腐食・衰耗
↓
板厚が減ると座屈荷重が低下



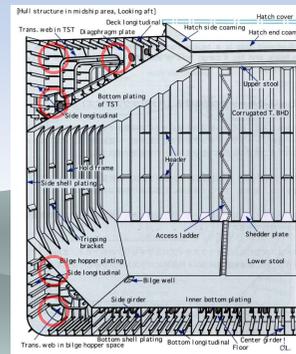
溶接による初期変形



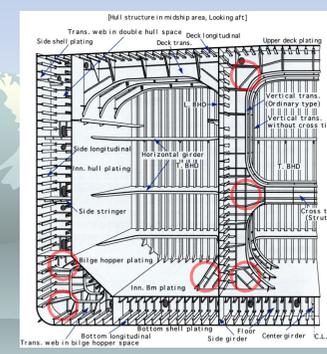
目違い a

座屈の発生しやすい箇所

横部材の開口周辺, 三角形に近い部材形状



バルクキャリア



オイルタンカー

腐食・衰耗

- 船体構造 → 水 (外部の水+バラスト水)にさらされる
→ 腐食(錆)が発生しやすい
- 積み荷によっては化学反応によって腐食が進行

↓
板厚の減少(衰耗)



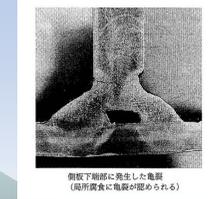
バラストタンク内の腐食

孔食(半球状の局部腐食)

腐食の原因

腐食=鋼の酸化反応

↓
腐食しやすい環境
水+酸素(乾湿を繰り返す環境, 飛沫帯)
高温, 高応力

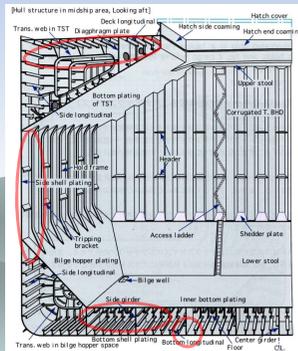


腐食の原因:

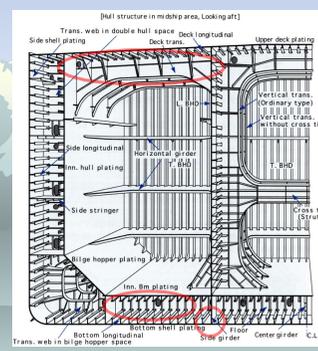
- 塗装不良・塗装劣化
固形の積み荷, 荷役機器の接触による劣化
き裂や座屈変形による塗装劣化も
- 化学反応
積み荷の化学成分によっては腐食が加速
- イオン化傾向の異なる材料が連続
マイナス電極となる箇所に腐食が集中(溶接部など)
→ 孔食の原因でもある

腐食の発生しやすい箇所

バラストタンク内の上部
温度が高くなる箇所(燃料タンクの近傍など)



バルクキャリア



オイルタンカー

メンテナンスの必要性

船の一生を通じて損傷の発生しない構造

↓
必要以上に強固な構造, コスト増大

↓
強固な構造にするのが得策とは思えない。

適切なメンテナンス(検査・保守)をすれば
重大な(=航行不能な)損傷状態は回避可能



適切なメンテナンスをした部材とそうでない部材

船級検査

検査・点検: 船級検査, (管海官庁検査), 船主点検

船級検査 (IACS内でほぼ統一)

(1) 登録検査 (船を登録するときの検査)

- 製造中登録検査
- 製造後登録検査

(2) 定期的検査

- 定期検査: 船級証書の有効期間(5年)が満了するまでに実施
- 年次検査: 上記満了日までに毎年実施
- 中間検査: 定期検査の2年あるいは3年度後の年次検査時に実施
- 船底検査: 定期検査時+その3年後までに実施,
ドックに入れて船底を検査
- ボイラ検査
- プロペラ軸および船尾管軸の検査

検査の内容や検査の実施箇所: 船級規則で細かく定義
実施箇所は損傷発生頻度の高い箇所

CAP (Condition Assessment Program)

船主の依頼により, 船級協会が実施する特別検査プログラム
「船舶状態評価鑑定」と呼ばれ, 通常の定期検査では把握できない船舶の詳細な状態を評価

CAP-HULL (船体構造の評価鑑定) のレーティング ➡ 証書発行

- Rating Level 1: Very good condition
- Rating Level 2: Good condition
- Rating Level 3: Satisfactory condition
- Rating Level 4: Unsatisfactory condition

証書とともに下記の関連記録も発行

- 各構造ごとの評価と船体構造強度検討の評価
- 検査報告書
- 疲労強度検討書
- 防食評価
- 写真による報告書
- 板厚計測記録

船体修理工事の種類の

損傷が発見された場合これを修理しなければならない

修理の形態:	修理の方法:
• 本修理	• ドック修理
• 応急修理	• 岸壁修理
	• 沖修理
	• 航海中修理

「ドックでの本修理」が常道だが, それ以外の修理を行う場合の例

- ドックまでの航行を可能にするために応急修理をし, その後に入渠修理をする場合
- ドックに入れなくても修理が可能な部位の損傷である場合
- 損傷が軽微で, ドックに入れないで修理しても当面の運航が可能であり, 且つ定期入渠が間近に迫っている場合

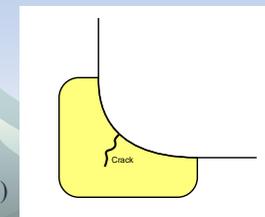
↓
損傷の程度とその時の強度の把握が必要!

損傷の修理

本修理: 損傷箇所近傍の部材を切り取り, 新しい部材を溶接
(※ 溶接線が混み合わないよう, 切り取り範囲に要注意)

↓
損傷原因に応じて追加補強を行う

- 板厚の増加
- 穴の曲率半径を大きく, 穴を塞ぐ
- 補強材の取付け, ダブリング
- 構造変更
- 溶接部の後処理 (e.g. グラインダ処理)
- 強度, 靱性の高い材料に変更
- 塗装の変更, 防食方法の変更



き裂に対する応急修理ではき裂先端に穴(ストップホール)を開けて, き裂の進展を防ぐ場合もある。

