

甲板裏部材の腐食状態推定手法について

松下 久雄*, 中井 達郎*, 山本 規雄*

1. はじめに

経年船の安全航行を確保するために重要な構造健全性を確認する方法としては、点検により構造部材に損傷が発生していないことを確認する事と、板厚計測により構造部材が強度を十分担保するための寸法を維持していることを確認する事が基本になる。点検及び板厚計測を実施するためには対象構造部材まで接近することが必要であるが、船舶といった巨大構造物においては、点検・計測対象構造部材までの接近には困難を伴う場合が多い。特に、垂直構造部材の上部、甲板裏等は、接近が困難な箇所の代表的な例といえる。

船舶にとって最も重要な強度要件として縦強度が挙げられる。経年船の縦強度は、縦強度部材の腐食による衰耗減厚（腐食量）によりほぼ線形的に低下してくる。図1に示すシングルハル(SH)油タンカーの例^[1]のように、縦強度の劣化傾向は甲板部分の断面積の減少傾向と密接な関係があるので、上甲板及び上甲板縦通梁の腐食状況を把握することは重要である。しかし、甲板部分の状態を把握するための点検及び板厚計測の実施は、困難な場合が多い。

IMOで決議されたMSC134(76)及び151(78)、並びに、MSC158(78)に規定されているように、検査性を確保するための固定点検用足場の設置が義務付けられるようになれば、若干の検査性の向上は期待されるにしても、やはり、点検・検査が困難な箇所であると言える。従って、より簡易に且つある程度の精度を持って甲板裏の腐食状態を推定する技術があれば、その結果を用いて点検・計測をより効率的に行うことができると思われる。

本報告では以上の観点から、大型油タンカーを例として取り上げ、甲板上からの計測結果に基づき、甲板裏の腐食状態を簡易に推定する方法について検討した結果を報告する。

2. 甲板裏の点検と腐食状況

2.1 甲板裏部材に対する点検性

大型油タンカーの甲板裏の点検及び板厚計測といったタンク内点検の実施にあたっては、甲板裏の構造部材に接近するための手段としてボート点検を実施するのが通常である。この方法は、漲水したタンク内にボートを浮かべ、水

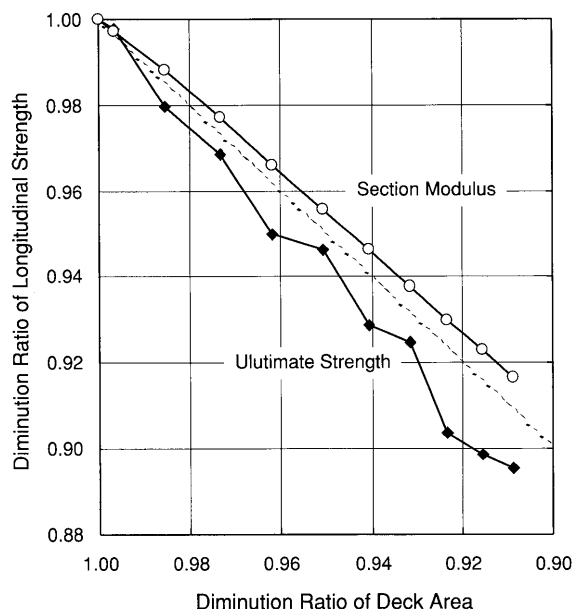


図1 腐食による縦強度の劣化^[1]

位を調節することにより甲板裏に接近したり、或いは、タンク内を移動したりしながら点検・計測を実施する方法である。ボート点検の採用は対象箇所への接近が簡易且つ確実な方法といえるが、

- ① タンク内のガス抜き、酸素濃度の確保等安全上の注意が必要。
- ② 照明が不十分な暗所作業のため、作業効率が悪い。
- ③ 接近・移動のためにタンク内の水位調整が必要なため時間が掛かる。
- ④ 水面上のボートの動揺により安定性を欠き、作業に危険が伴う。

等の問題点がある。

2.2 甲板裏の腐食状況

SH油タンカー（船齢22年）のカーゴタンク甲板裏の典型的な腐食状況を写真1に示す。

油タンカーの甲板裏は、爆発防止用イナートガスとしてのエンジン燃焼排気ガス及び貨物油の揮発性ガスが混在する腐食雰囲気のため、部材表面に層状の錆が形成される。写真1左の写真は、甲板裏及び甲板縦通梁表面に形成された層状錆の状態を示し、右の写真は横桁貫通部付近の層状錆を一部除去した状態を示している。

油タンカーの甲板裏の目視による外観観察では、部材表面を覆う層状錆のため実態を正確に把握することは困難であり、腐食状態を把握するためには、層状錆の除去作業が

* 技術研究所



写真1 油タンカー甲板裏の腐食状況

必要である。超音波 (UT) 板厚計測器により計測を行なう場合でも、錆の除去は必要である。腐食状態の厳しい箇所を予め予想することができれば、点検・板厚計測を実施するための下準備の効率化を図ることが可能となり、点検の効率化・質の向上に繋げることができるものと考えられる。即ち、甲板上から簡易に且つ或る程度の確度で甲板裏の腐食状態を推定できれば、

- ① 予め疑わしい箇所を把握することにより、疑わしい箇所の甲板裏での点検を重点的に行なうことが出来る。
- ② 固定点検用足場の設置場所に関わらず、色々な場所の腐食状態を調べることが出来る。
- ③ タンク内の状況に関わらず、いつでも腐食状態を調べることが出来る。

等の利点が考えられる。

3. 甲板裏上からの腐食状態推定

3.1 一般的な腐食状態

写真1で示した油タンカーの甲板構造の一部を切り出し、錆を除去した後の断面の状態を写真2に示す。断面の甲板には板の曲がりが見受けられたが、写真2中には、元厚の状態を示すと共に、腐食量を示す。

油タンカーの甲板裏のような気相部では、甲板裏並びに甲板縦通梁ウェブの甲板付近の腐食環境はほぼ同じと考えられ、腐食量もほぼ同じ値を示している。このことは、上甲板の腐食量を知ることにより隣接する甲板縦通梁ウェブの腐食状態を推定できることを示している。

実際には、甲板縦通梁ウェブの腐食量は深さ方向に変化し、通常は、甲板との接合部近傍において最も大きい腐食量を示す。従って、甲板縦通梁における最も厳しい腐食状態を推定できることは、強度検討を行なう上でも安全側の取り扱いとなる。

3.2 腐食状態推定の手順

甲板縦通梁は一般に、隅肉溶接により甲板に接合されるので、甲板と甲板縦通梁との溶接接合部には未溶着部が存在し、この部分には腐食が生じない。従って、甲板上から

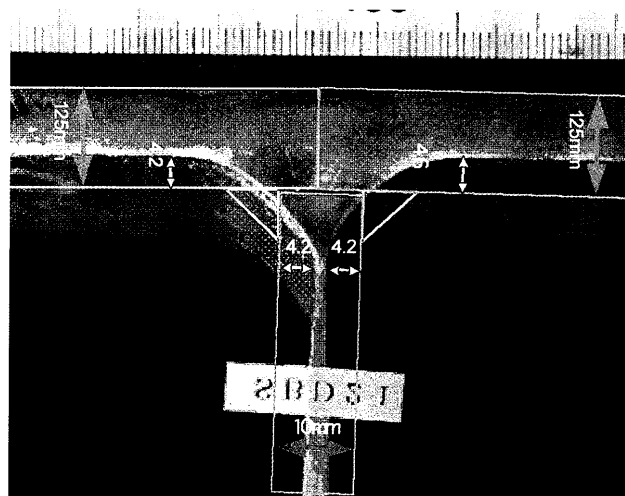


写真2 腐食した甲板裏構造の断面

腐食が進行する場合であっても、甲板下の腐食が無い未溶着部の板厚を基準とすることにより、甲板裏からの腐食量を計測することが出来る。

上甲板部は日常的なメンテナンスが容易な箇所であり甲板上の塗装の保守が良好に行なわれるが、塗膜の上からの板厚計測が可能であれば、計測のための下準備を殆どすることなく、より容易に計測することが出来る。即ち、以下の手順により、甲板上から甲板裏の腐食状態を推定することが出来る。

- ① ハンマーリング等で甲板上から横桁或いは甲板縦通梁が在る位置を見つける。
- ② 周辺の板厚 T_s を計測することにより、未溶着部（基準面）を探し基準板厚 T_{s0} とする。
- ③ 基準板厚 T_{s0} とその周辺の板厚 T_s との差から甲板部の裏側（気相部）からの腐食量 $\Delta t_s (= T_{s0} - T_s)$ を求める。
- ④ 得られた甲板部の裏側からの腐食量 Δt_s を基にして、甲板縦通梁ウェブの腐食量 $\Delta t_w (\cong 2\Delta t_s)$ を推定する。

甲板裏の溶接部近傍における腐食状態及び腐食量の推定法の概念を図2及び図3に示す。

4. 調査検討例

4.1 経年船から採取した部材での調査例

前述の写真2で示した油タンカーの切替え材から採取した甲板部材を用い、外側の塗膜上から板厚計測を実施し甲板の鋼板及び縦通梁ウェブの腐食量を推定した。測定状況及び計測器を写真3に示す。UT板厚計測器は種々市販され

ている^[2]。ここでは、塗膜上から鋼板の板厚を求めることが出来るタイプのものを用いた。

甲板の未溶着部と溶着部近傍の板厚を計測し、甲板縦通梁ウェブの腐食量を推定した結果を表1に示すが、甲板側から板厚を計測することにより、裏部材である縦通梁ウェブの腐食量をほぼ推定できることが分かる。

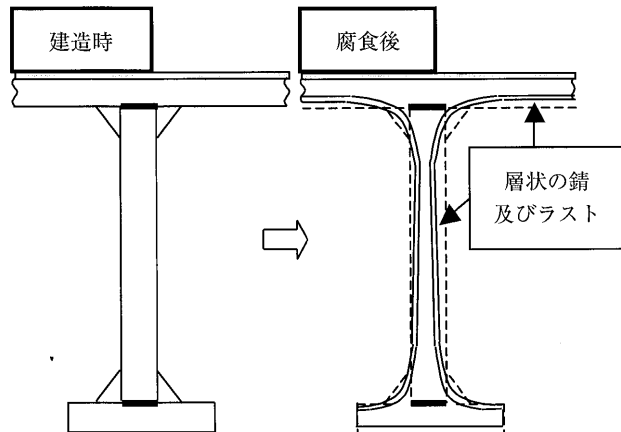


図2 甲板の腐食状態の模式図

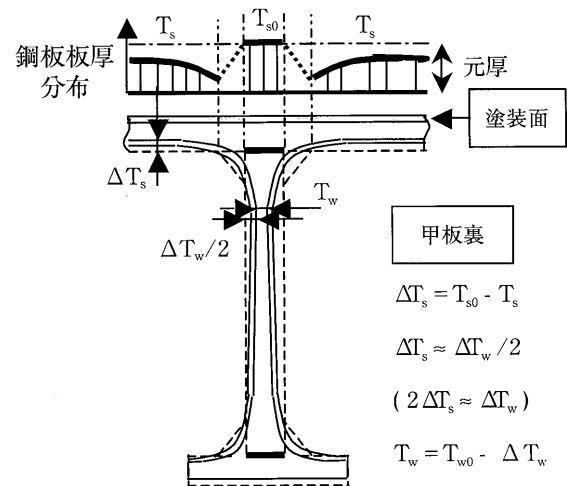
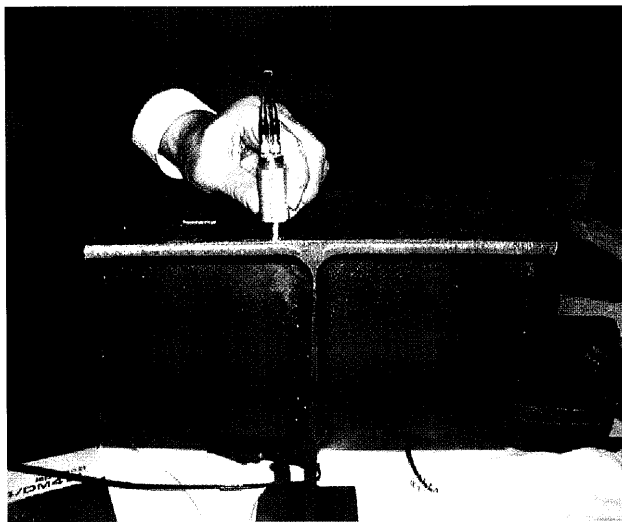
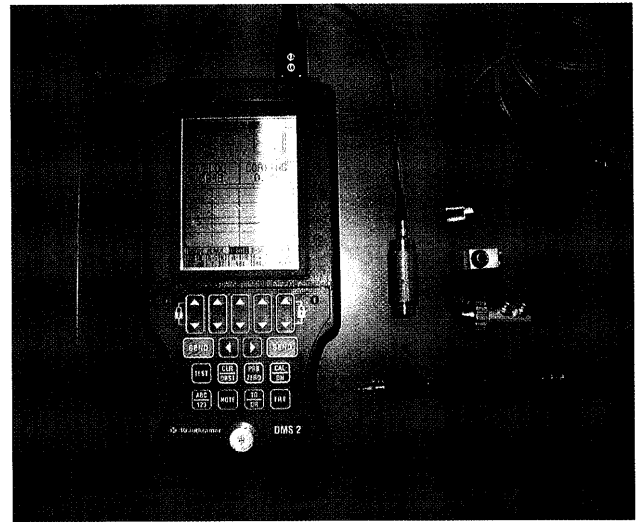


図3 甲板及び縦通梁の腐食量



(a) 計測状況

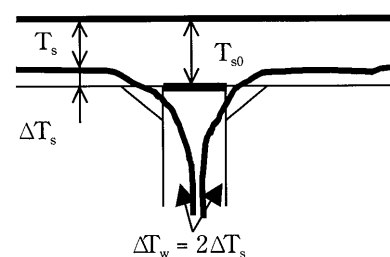


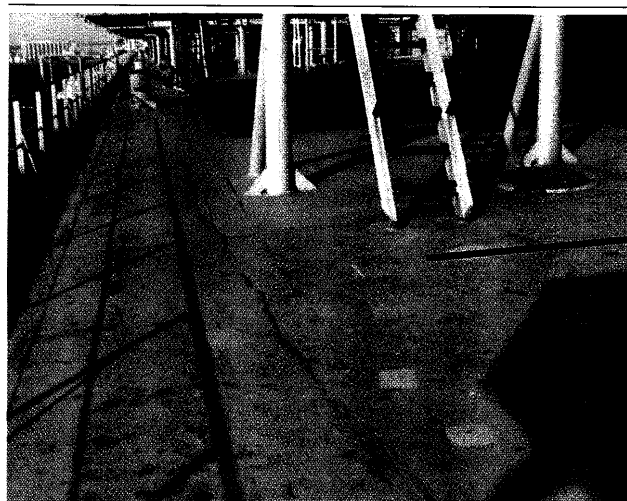
(b) 計測状況

写真3 経年船甲板部材の板厚計測状況及び計測器

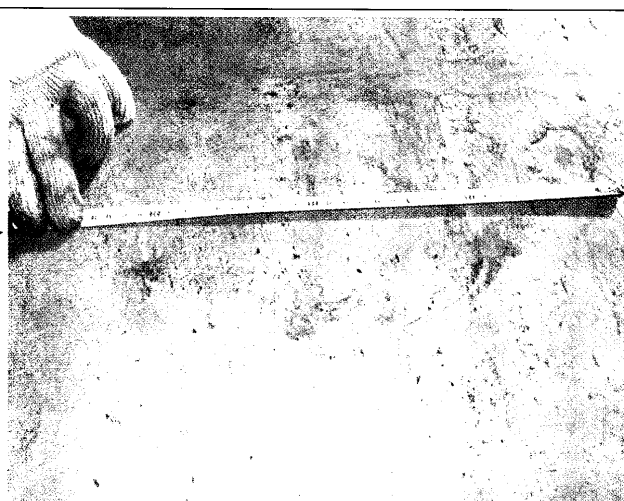
表1 調査結果（単位：mm）

計測位置		S1	S2
甲板	未溶着部板厚 T_{s0}	12.5	12.5
	甲板板厚 T_s	8.3	7.9
	腐食量 ΔT_s	4.2	4.6
甲板縦通梁ウェブ	腐食量推定値 $\Delta T_w = 2\Delta T_s$	8.4	9.2
	ΔT_w 実験値（ノギスで計測）	8.5	9.3



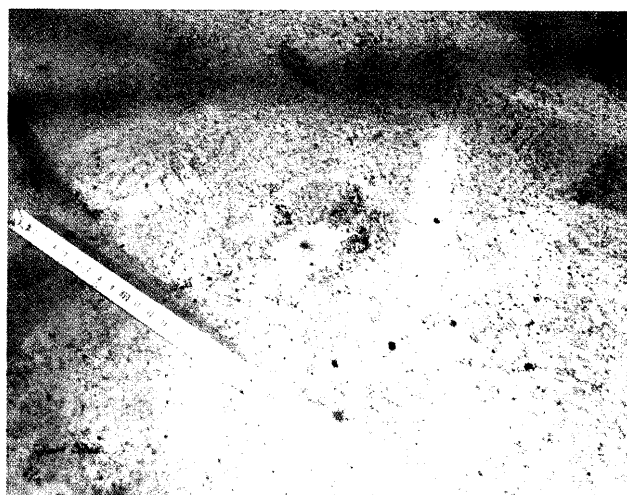


(a) 板厚計測位置 (テスト5)
No.6 C.H. 左舷側

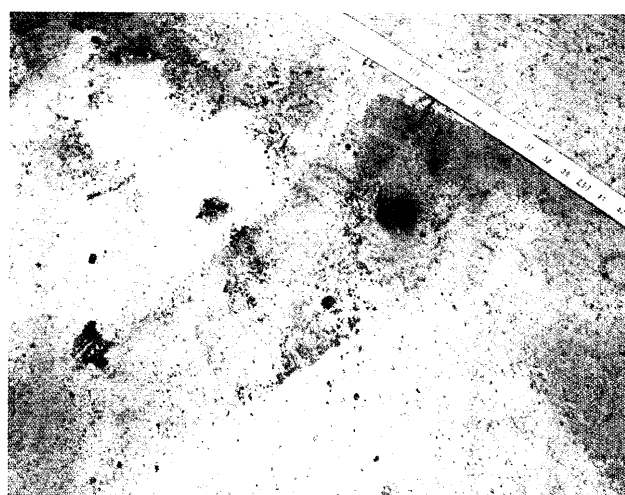


(b) 板厚計測位置の塗膜状態

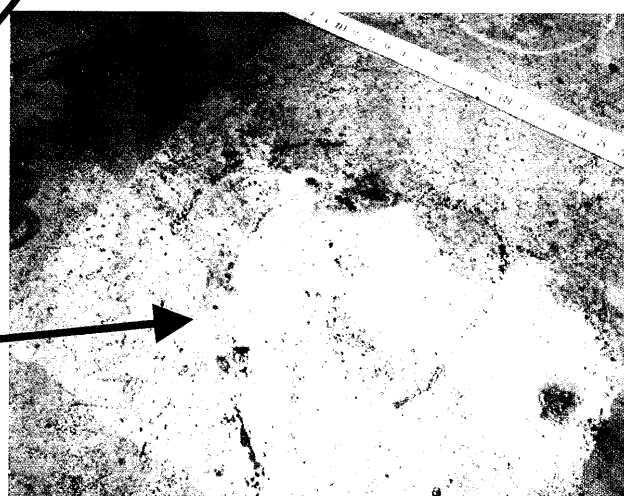
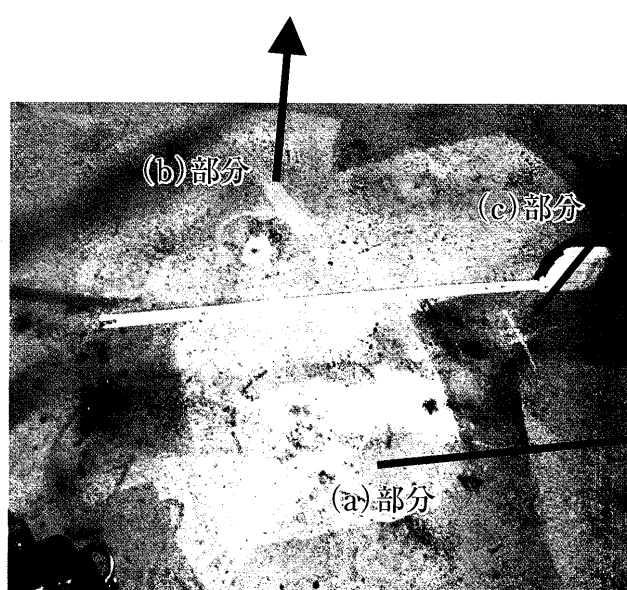
写真4 甲板の板厚計測位置及び塗膜状態 (ばら積み貨物船, 船齢13年) (テスト5)



(b) 直径10mm程度以下の点錆 (計測不能)



(c) 錆の表面の凹凸が大きい部分 (計測不能)



(a) 塗膜の段差がある部分 (計測可能)

○印は計測可能な状態 (小さな錆)
×印は計測不可能な状態 (比較的大きな錆)
(テスト3) No.6 C.H. とNo.7 C.H. の中間部

写真5 甲板の塗膜状態による板厚計測の可否調査例 (ばら積み貨物船, 船齢13年) (テスト5)

表2 板厚計測結果（ばら積み貨物船、船齢13年）

テスト5	計測位置：CLからの距離（CL：裏に骨材がある位置）（mm）										
	50	40	30	20	10	CL	10	20	30	40	50
推定腐食量（mm）	0.22	0.24	0.19	0.19	0.28	…	0.27	0.34	0.22	0.25	0.25

表3 板厚計測の可否に及ぼす塗膜状態の影響（ばら積み貨物船、船齢13年）

テスト3	小さな点錆 (直径10mm以下)	再ペイントによる凹凸部					大きな点錆 (直径15mm)	
		段差のない部分			段差部分			
	測定可能	測定可能			測定可能		測定不可	
推定腐食量(mm)	0.20	0.22	0.32	0.32	0.25	0.21	×	×

写真5 (b)

写真5 (a)

写真5 (c)

表4 腐食量計測結果（自動車運搬船、船齢22年）

テスト6	計測位置：CLからの距離（CL：裏に骨材がある位置）（mm）										
	50	40	30	20	10	CL	10	20	30	40	50
推定腐食量（mm）	0.39	0.36	0.47	0.39	0.45	…	0.40	0.34	0.35	0.35	0.34

4.2 実船での調査例

本手法の実船での適用性、特に、板厚計測の可否に及ぼす塗膜状態の影響や計測の作業性等を明らかにするために、船齢13年のばら積み貨物船及び船齢22年の自動車運搬船での甲板板厚計測実験を行った。

まず、船齢13年のばら積み貨物船における板厚計測実験（テスト5）の板厚計測位置及び塗膜状態を写真4に、この調査での板厚計測結果を表2に示す。また、同船で行った甲板の塗膜状態による板厚計測の可否調査例（テスト3）を写真5に、その調査結果を表3にそれぞれ示す。次に、船齢22年の自動車運搬船における板厚計測実験（テスト6）の板厚計測位置及び内部塗膜の状況を写真6に、その板厚計測結果を表4にそれぞれ示す。

これらの実船での調査結果から以下のことが分かった。

- ① 塗膜が比較的良好的な甲板上から容易に甲板板厚を計測できる。
- ② 甲板裏側に骨材のある所（CL）を見つけその板厚（ T_{s0} ）と骨材とクロスする方向で板厚 T_s を計測すればほぼ腐食量 ΔT_s を推定できる。
- ③ 塗膜に直径10mm程度以下の点錆や薄い錆がある部分（写真5 (b)）、再ペイントによる1mm程度の塗膜の段差がある部分（写真5 (a)）においても板厚計測可能であるが、大きな錆や錆の表面の凸凹が大きい部分、塗膜が浮いている部分（写真5 (c)）では、計測できない。

以上から、甲板の板厚を計測することにより甲板の腐食量の推定がほぼ可能であるが、塗膜状態の影響を受けることが分かった。尚、今回本手法の実船での適用性を調査した2隻の船舶はメンテナンスの状態が良いため甲板の腐食量は少なかったが、本手法の実船での適用性を確認することが出来た。



(a) 板厚計測位置・計測状況（テスト5）
A.P.Tk 右舷側 W.B. マンホール付近



(b) 内部塗膜の状況

写真6 板厚計測位置及び内部塗膜の状況
（自動車運搬船、船齢22年）（テスト6）

5. あとがき

UT板厚計測機器を用いて甲板上から甲板板厚を計測し腐食量を求め、縦通梁の腐食量を推定する方法を開発した。本手法を補足的に用いることにより、腐食状態の厳しい箇所を予め予想することができれば、点検・板厚計測を実施するための下準備の効率化を図ることが可能となり、点検の効率化・質の向上に繋げることができるものと考えられる。

以上の検討結果に基づき、板厚計測並びに腐食状態の推定法として取り纏めたものを付録として示す。

最後に、本手法の実船での適用性調査に対して、快くご了解頂きました各船舶の関係各位に対しお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Yamamoto, N. and Yao, T., "Hull Girder Strength of a Tanker under Longitudinal Bending considering Strength Diminution due to Corrosion", 2001, Proc. of ICOSAR 2001
- [2] 各社カタログ：東日本クラウトクレーマー販売 (DMS2), 日本マテック (1062CT-2), 帝通電子 (UDM-2001), アムテックス (CYGNUS001-7131), 湘菱電子 (UI-23LOG), 石川島検査計測 (UTR-02), 日本パナメトリックス (36DL PLUS), テックス (UTM-1C) 他

付 録

甲板裏部材の腐食状態推定法

甲板裏部材の腐食状態推定法

1. まえがき

本法は、甲板上からの板厚計測結果に基づき、簡易な甲板裏の隅肉溶接部近傍の腐食状態を推定する手順を示したものである。本法は、通常行なわれる点検の実行を支援するためのものである。

2. 適用

本法は、甲板上からの板厚計測結果に基づき、甲板裏における腐食状態即ち甲板裏部材の板、桁或いは骨における隅肉溶接部近傍の腐食量を推定する場合に用いる。本法の適用により腐食の状態が危惧される場合は、甲板裏からの点検或いは板厚計測により、腐食状態をより正確に把握する必要がある。本法は、板と骨或いは、板と桁との交差部等、隅肉溶接部に沿って選択的に腐食が進行することが知られている局所的な腐食の進行による部材の強度低下が問題となる箇所、例えば、(1) 甲板と甲板縦通梁、(2) 甲板と縦通隔壁、(3) 甲板と甲板横桁、(4) 甲板と横隔壁の隅肉溶接部近傍を対象とする。

3. 腐食状態推定法

本法で甲板裏部材の腐食状態を推定する上で、最も基本となるのが、甲板裏の板、桁或いは骨との隅肉溶接部に存在する未溶着部での板厚である。未溶着面は内部の腐食環境にさらされないので、経年船であっても腐食が無い状態で存在する。

従って、甲板上から未溶着面までの板厚 ($Ts0$) を計測し、近傍の板厚計測値 (Ts) との差を取ることで、甲板裏面から進行した腐食量 (ΔTs) を算出することができる。即ち、甲板に溶接接合された板、桁或いは骨の腐食量は、接合部周辺では、ほぼ同じ腐食雰囲気であることから、同じ腐食量であると想定することができる。これら板、桁或いは骨部材は、両面から腐食が進行することから推定する腐食量 (ΔTw) は、甲板での腐食量 (ΔTs) の2倍となる。写真1に、実際の経年油タンカーの甲板と甲板縦通梁との隅肉溶接部近傍断面の腐食状況を例示。甲板の裏側からの腐食量と縦通梁ウェブの片面からの腐食量がほぼ等しいことから、「桁或いは骨部材は両面から腐食が進行するので推定する腐食量としては、甲板に対する値の2倍とすれば良い」ことが分かる。

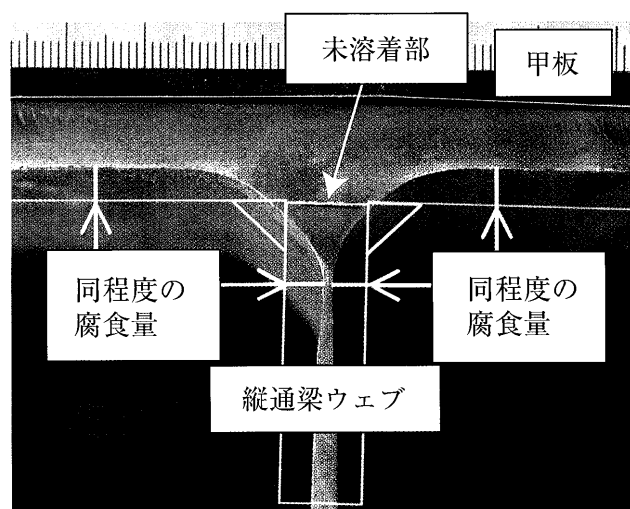


写真1 経年油タンカーの甲板下の腐食状態

推定手順

以下に、甲板裏部材の腐食状態の推定手順を示す。(図1参照)

- (1) 甲板に接合する甲板縦通梁、縦通隔壁、甲板横桁、或いは、横隔壁の位置を、甲板上から特定する。
- (2) 甲板裏に板、桁或いは骨があると思われる箇所の板厚計測を実施し、隅肉溶接部の未溶着部を探す。
例えば、図面との突き合わせやハンマリング等で位置を特定する。
- (3) 隅肉溶接部の未溶着部における計測結果を基準値とする。(板厚: $Ts0$)
- (4) 甲板裏の板、桁或いは骨と直交する方向に沿って、連続で数箇所の板厚を計測する。(板厚: Ts)
計測点は左右各4点以上とし、板厚 Ts は計測板厚の最小値とする。その間隔は **10mm** 程度とする。
- (5) 上記(4)による計測結果と基準値との差から、甲板裏の腐食環境による甲板裏部材の腐食量 ΔTs を求める。
($\Delta Ts = Ts0 - Ts$)
- (6) 上記(4)及び(5)の手順を、位置をずらして繰り返し行なう。計測と平行する位置で次の計測を行なう場合は、**30mm** 程度離れた位置で行なう。
- (7) 上記(5)及び(6)により求めた値の2倍の腐食量を、板、桁或いは骨における隅肉溶接部近傍の腐食量 ΔTw と推定する。($\Delta Tw = 2\Delta Ts$)

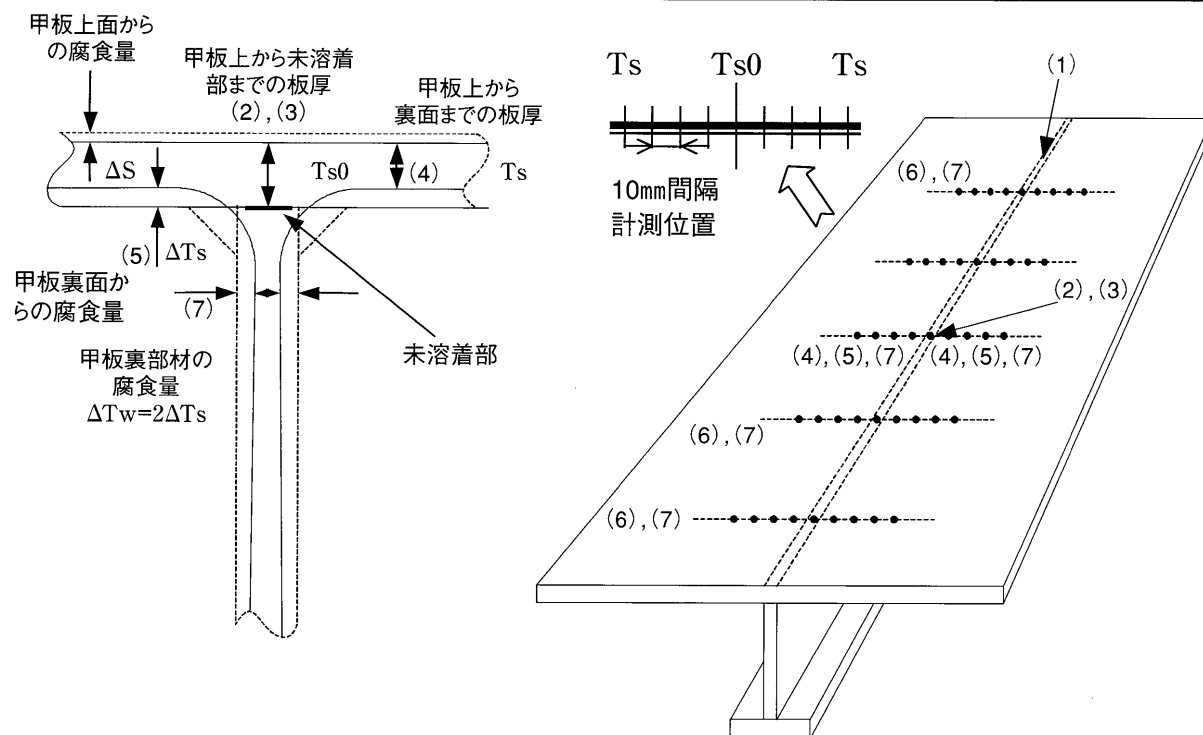


図1 甲板下部材の腐食状態推定手順の概要

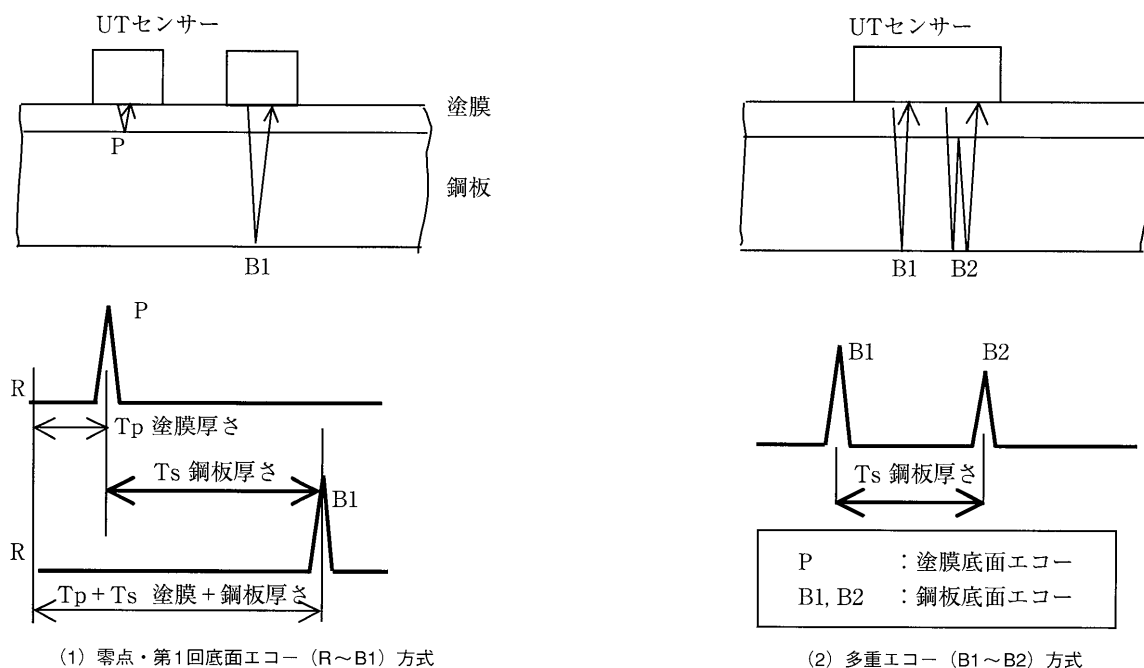


図2 UTセンサーを用いた板厚計測法

4. 板厚計測関連

(1) 計測機器

本法に用いる板厚計測機器は、零点・第1回底面エコー (R~B1) 方式、多重エコー (B1~B2) 方式等で、塗膜厚さを除いた鋼板厚のみを計測出来るものまたは塗膜面の上から鋼板の厚さを正確に計測できる機器とする。JIS Z2355を参照する。デジタル計測値表示の場合は、その妥当性を超音波の反射波表示等により、確認する。

(2) 計測箇所

計測を実施しようとする甲板上面は、予め清掃を行なう。錆により甲板上面の塗膜が浮いているような箇所は、避けるか、錆を除去後に計測する。