腐食した溶接継手の疲労強度について

正員 湯 浅 通 史* 渡 辺 富 雄*

Fatigue Strength of Corroded Weld Joints

by Michifumi Yuasa, *Member* Tomio Watanabe

Summary

This paper describes summarized results of the appraisal on measured corrosion data of hull structure which are obtained through periodical surveys, the corrosion test of specimens of various weld joint, the fatigue test and the stress analysis of corroded specimens. To grasp the conditions of corrosion and the strength is indispensable for the integrity of hull structure through ship's life.

Statistical analysis of pitting corrosion on bottom plate of oil tankers is carried out with good results. It is also found that tank cleaning has considerable effect on the progress of pitting corrosion. Data of plate thickness on lower part of side frames of bulk carriers is appraised by two parameters namely initiation life and progress rate of corrosion wastage. The results show that the progress rate of corrosion wastage is larger than conventional numerals.

Corrosion test of weld joint specimens is carried out under the cycles of sea water and the air. Grooving corrosion has initiated at weld toe of butt joints as a result of the test. The cause of grooving corrosion is presumed due to difference of corrosion potential between HAZ and base metal/weld metal of the specimen. Tensile fatigue test and stress analysis of corroded specimens are carried out. The results are examined as to the relation of fatigue strength and stress concentration factor. It is confirmed that in the case of butt joint stress concentration factor has increased by corrosion and then fatigue strength is reduced. On the other hand, in the case of cruciform joint the factor has nearly unchanged and then the fatigue strength is almost not reduced.

1. 結 言

最近では、油タンカー及びばら積貨物船等の重大海難事故を契機として、船体構造の健全性を維持するためには日常的な保守管理が重要であることが汎く認識されている。船体構造の損傷統計では、その原因の約70%以上は腐食衰耗に起因するものである。船舶は海上という過酷な腐食環境下で運航され、貨物あるいはバラスト水による腐食が生じ、さらに、波浪の繰返し荷重により腐食が促進される。腐食衰耗が進行すると強度低下及びそれに伴う損傷発生により安全性が損なわれることがある。

腐食衰耗は船体構造強度に関わる最も基本的な問題であり、すでに、局部異常腐食に対する検討¹⁾、高齢船の腐食と安全性についての調査²⁾、腐食材の静的強度に関する実験的考察³⁾、船の経年変化と設計への適用⁴⁾及び腐食の進行シミュレーションと表面凹凸特性の研究⁵⁾等の調査・研究が行われている。

船体構造の腐食衰耗の状況には大きなバラツキがあることが知られており⁶⁾、より合理的な評価を行うには腐食衰耗の実態を十分に反映した資料が必要であると考えられる。さらに、腐食部材の強度に関する研究は数少なく、今後、さまざまな観点から既存船の実態に対応した実務的な調査・研究が必要であると考えられる。

本研究では船体構造部材の腐食衰耗についての調査、溶接継手試験片の乾湿繰返し環境下での腐食試験、腐食した試験片の疲労試験及び応力解析等を行い、腐食衰耗の進行状況及び腐食部の応力集中と疲労強度の関係等について検

* (財)日本海事協会

討を行った。本稿ではこれらの結果をとりまとめて報告する。

2. 船体構造部材の腐食衰耗についての調査

船体構造部材の腐食衰耗の形態については、全体的な一般腐食、応力集中部の局部腐食、点食及び溝状腐食等に分類されているが、実際にはそれらの形態が重なった例も多い。以下では、定期的検査時に収集された腐食衰耗データ及び腐食衰耗による損傷データから、数例についての調査結果を示す。

2.1 腐食衰耗による船体損傷

船体の腐食衰耗については、防食法、積荷やバラストの化学的及び力学的影響、気象・海象条件、保守・点検の時期と内容等の多くの因子が複雑に絡んでくる。腐食衰耗は経年の影響が大きい現象であるが、その一例として、第1世代のVLCC 35隻についての調査結果^{7),8)}から、船齢毎の腐食衰耗による損傷率と疲労による損傷率を比較してワイブルプロットでFig.1に示す。腐食衰耗による損傷は形状パラメータ $m=2.78$ の磨耗型損傷であり、船齢と共に急激に増加することがわかる。なお、腐食衰耗による損傷とは腐食衰耗が進行してき裂あるいは破口等を生じて部材の切替えあるいは補強等の修理を行ったものである。

2.2 船底外板、水平桁等の点食

油タンカーの原油タンクでは、船底外板、船底ロンジ及び水平桁等の水平部分に点食が生じることが多い。この点食は、金属表面のアノードが固定的になることにより腐食が急激に進行し、その部分に深い孔を生じる現象である。原油中の海水成分、残留した洗浄水及び飽和した水蒸気の

Fig.1 Statistics of structural failures of VLCCs vs. ship's age

結露等は強電解質であり、その電気化学作用によって点食を生ずるが、タンク洗浄や原油中の硫黄分等の影響も大きいと考えられている。鋼板表面は原油中のワックス分と錆からなる黒錆に覆われているが、この黒錆が剝離すると、その部分に海水が溜まり深い点食が急速に発生して進行する。

第一世代のVLCC 35隻についての調査結果⁹⁾では、10隻の船で著しい点食による部材修理が行われている。さらに、点食により船底外板の破口に至った事例が2件報告されている。調査結果から、VLCCの船底外板に生じた点食の分布例をFig.2及びTable 1に示す。ここで、Fig.2はTable 1のShip Aのデータの一部に対応している。同図から、中央部甲板下からのタンク洗浄水が直撃する、水平桁や船底ロンジの影にならない個所には点食が多い傾向がみとめられる。タンク洗浄によってスラッジが除去されると、残留した洗浄水あるいは凝縮水によって露出した鋼板表面に局部電池が形成されて、点食が進行するものと考えられる。

石油タンクの底板及び港湾施設の鋼管杭等の点食については、材料条件及び環境条件の不均一性やゆらぎを定量的に評価するために、統計確率的な手法による解析が行われて

Table 1 Measured number of pits on bottom plate of oil tankers

	T. Bhd				S. Bhd				T. Bhd				Sum
P	16	4	7	5	14	17	2	6	11	9	15	12	118
Ship A	33	25	16	5	16	18	2	16	11	15	13	18	188
No. 2	13	14	12	3	12	16	12	17	12	17	13	16	157
COT (C)	6	8	10	6	10	20	6	6	10	12	11	9	114
S	68	51	45	19	52	71	22	45	44	53	52	55	577
P	5	11	6	3	8	9	8	6	7	10	16	17	106
Ship A	12	40	17	11	26	28	12	13	14	22	22	37	254
No. 4	8	19	14	8	22	14	11	25	8	7	18	27	181
COT (C)	0	15	2	6	7	5	3	6	3	6	10	9	72
S	25	85	39	28	63	56	34	50	32	45	66	80	613
P	4	2	4	3	11	15	27	17	4	3	20	0	110
Ship B	11	8	7	0	18	11	12	29	7	11	8	19	141
No. 2	9	9	0	0	11	1	26	6	1	0	5	2	70
COT (C)	0	0	0	2	3	4	23	30	8	0	6	3	79
S	24	19	11	5	43	31	88	82	20	14	39	24	400
P	2	7	4	2	23	18	0	14	14	25	2	12	123
Ship B	0	42	13	21	8	20	2	19	18	19	19	17	198
No. 4	0	4	0	0	18	21	1	4	4	9	3	4	72
COT (C)	0	11	3	0	3	1	8	0	5	4	3	1	39
S	2	64	20	23	52	60	11	37	41	57	27	34	428

T. Bhd : Transverse Bulkhead, S. Bhd : Swash Bulkhead,
COT (C) : Cargo Oil Tank (Center), P : Port Side,
S : Starboard Side

Fig. 2 Examples of pits distribution on bottom plate of an oil tanker

いる⁹⁾。ここでも同様の検討を行った。大型油タンカー3隻の船底外板の点食データについて、深さの頻度分布をFig. 3に、またShip Aの単位面積(トランススペース×1/4タンク幅)毎の最大深さの分布を極値プロットでFig. 4にそれぞれ示す。Fig. 3から、点食が進行するにともなってその深さの分布形状が変化していると推察される。また、最大深さの分布は、Fig. 4でほぼ直線とみなせることから、グンベルの極値分布にほぼ適合していると判断される。

2.3 溶接部に沿った溝状腐食

残水やスラッジの溜まりやすいビルジ外板のロンジ、サイドフレームの足元、縦通隔壁のロンジ直上部等では溶接部に沿って溝状腐食を生じることがある。また、小型船では船首部船底外板の溶接線に沿って溝状腐食を生じることがある。溝状腐食は、直線的に連なって生じた点食であると考えられている。一例として、船底外板のシーム溶接部に発生した溝状腐食部の断面をPhoto 1に示す。溶接による熱影響部から腐食が選択的に進行していることがわか

る。この船は1年半前に海難損傷の修理工事で船底外板の溶接を施工しているが、その溶接趾端部近傍に溶接線に沿って溝状腐食が生じたものである。

このような腐食は、金属組織が溶接によって母材、熱影響部及び溶接金属に変化し、それぞれが異種金属となり電気化学的な反応によって腐食を生じるものである。しかし、実際的にはむしろ塗装不良がその要因となることが多く、良好な塗装を行えばこの腐食は防止できるものと考えられる。修理工事では塗装の時間間隔が十分にとれないため一般に塗装品質が悪いことが問題となる。なお、この溝状腐食の試料については広島大学で腐食電位の計測が行われ、熱影響部と溶接部中央では約100 mVの相対電位差があると報告されている。

2.4 一般腐食

金属表面の比較的広い部分がアノードとして作用すると浅い点食となり、そこに腐食生成物が堆積すると逆にカソードとして作用するようになる。このアノード作用とカソ

Fig. 3 Statistics of depth of pits on bottom plate of oil tankers

Fig. 4 Statistics of maximum depth of pits on bottom plate of oil tankers

Photo 1 An example of grooving corrosion along seam weld of bottom plate

Fig. 5 Parameters for initiation and progress of corrosion wastage

ード作用が繰り返されると一般腐食（全面腐食）の形態となって板厚が平均的に減少する。しかし、実際には、一般腐食と点食は明瞭に区分できない例も多い。

高齢大型ばら積貨物船に関する調査¹⁰⁾では、重大海難事故に関連した調査結果がまとめられている。腐食衰耗の著しい船側肋骨については、板厚計測データから、塗装の種類別に腐食衰耗の発生及び進行の状況が検討されている。ここでは、さらに最近のデータを追加して、若干の検討を加えた。対象のデータは、船側肋骨下部の代表的な個所についての計測値である。

バラストタンクの塗装についての調査結果⁸⁾からも明らかのように、腐食衰耗は建造後ある程度の年数を経過してから始まることが多い。ここでは、10隻についての各2回の板厚計測データから、Fig. 5に示すように、腐食衰耗の発生寿命及び進行速度を推定した。解析結果をTable 2に示しているが、塗装されている場合は7～8年目頃から腐食衰耗が発生し、油性塗料等の場合はタールエポキシ塗料と比

Table 2 Corrosion wastage at lower part of side frames of bulk carriers

Type of Paint	No. of points	Initiation life α (years)		Progress rate β (mm/year)	
		Mean	S. Dev.	Mean	S. Dev.
Oily paint	40 (5)	7.71	3.22	0.570	0.260
Tar-epoxy paint	17 (5)	8.61	2.32	0.239	0.233
Metamorphosed epoxy paint	14 (1)	7.20	0.77	0.971	0.229
Nil	3 (1)	2.18	1.68	0.647	0.270

Figures in () indicates the No. of ships

べてその進行速度が大きいこと等がわかる。従来、衰耗は建造直後から発生し、年間衰耗率 0.1~0.15 mm 程度で進行すると考えられているが、腐食衰耗の発生寿命を考慮したこの例では、進行速度は従来の年間衰耗率と比べてかなり大きい値となっている。

対象の板厚計測データは検査時に部材の板厚が十分であることを証明するためのものであり¹¹⁾、腐食衰耗の状態が良好なもの及び極端に悪いものは除外されていると考えられる。しかしながら、船体構造の健全性という観点からは、平均的な腐食衰耗状態よりむしろやや悪い状態を基準とする方が合理的であると判断される。

3. 溶接継手試験片の腐食試験

船体用圧延鋼材に対する腐食の影響は主として腐食部近傍の幾何学的な表面形状の変化である。ここでは、腐食衰耗による表面形状の変化についての実験的検討を行うため、各種溶接継手の試験片の腐食試験を実施した。

3.1 材料及び試験片

供試材は板厚 20 mm の KA32 及び KA36 鋼材（一般船体用 TMCP 高張力鋼）である。その化学成分ならびに機械的性質を Table 3 に示す。試験片は突合わせ継手、荷重非伝達十字継手及びガセット継手の 3 種類とした。各試験片の形状寸法を Fig. 6 に、溶接条件を Table 4 にそれぞれ示す。母材は黒皮付き、試験片は溶接ままである。

3.2 腐食試験

腐食試験は、50℃の人工海水 (ASTM-D11) に 6 時間浸漬及び空気中で 6 時間乾燥のサイクルによる乾湿繰返し試験として、腐食を促進させた。試験条件を Table 5 に示す。試験装置は、タンク内に試験片を配置して人工海水を 6 時間毎に注排水する方式である。人工海水は常時回流されており、タンク上面には空気孔が設けられている。乾燥時の温度及び湿度は制御されていないが、試験片はタンク内にあるため環境温度は 25~35℃、湿度は 90% 程度であった。

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of material

Grade	Chemical composition (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Al
KA32	0.12	0.34	1.19	0.014	0.002	0.01	0.02	0.02	0.00	0.27
KA36	0.14	0.39	1.21	0.016	0.003	0.01	0.02	0.02	0.00	0.28
Grade	Mechanical properties									
	Thickness (mm)	Yield point (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)						
KA32	20.0	318	456	25						
KA36	20.0	401	514	21

Fig. 6 Specimens for corrosion test and tensile fatigue test

試験期間は 3 カ月（ケース 1）及び 6 カ月（ケース 2）とし、3 種類の試験片について各ケース 5 本、合計 30 本の試

Table 4 Welding conditions of test specimens

Type of specimen	Welding method	Weld rod	Welding current (A)	Welding voltage (V)	Welding speed (mm/min)	Heat input (KJ/cm)
Butt	CO ₂ semi-auto	bcw-100 φ1.4	280x2 300x3	26 ~ 28	280x2 300x3	16.8
Cruciform	CO ₂ semi-auto	DW-100 φ1.4	270	30	300	16.2
Gusset	CO ₂ semi-auto	DW-100 φ1.4	270	30	300	16.2

Table 5 Conditions of corrosion test

Items	Test conditions
Cycles of atmosphere	6 hrs in sea water and 6 hrs in air
Kind of sea water	Artificial sea water (ASTM-D11)
Temperature of sea water	50° C
Period of test	3 months (Case 1) 6 months (Case 2)

試験片について試験を行った。腐食の進展状況は試験開始から約1週間後部分的に錆が発生し、その後、錆の範囲が徐々に拡大して約1カ月目にはほぼ全面が赤錆に覆われる状態となった。以後は、錆の層が重なるような状態でその厚さが増加した。

3.3 表面状態及び溶接部の断面形状

腐食試験の終了後、中性錆とり剤を用いて試験片の錆を落としてその表面状態を観察した。突合せ継手では溶接趾端部近傍に溶接線に沿ったやや深い溝状腐食を生じていた。十字継手の溶接部近傍には局部的な腐食がみとめられたが、ガセット継手の溶接部近傍では腐食はほとんどなかった。突合せ継手及び十字継手試験片の腐食試験後の溶接部断面形状の一例を Photo 2 及び Photo 3 にそれぞれ示す。突合せ継手の腐食部形状は、Photo 1 に示す実船の溝状腐食の例とよく似ており、その要因はほぼ2.3に述べた通りであると考えられる。また、健全な試験片の硬さ分布についての計測結果を Fig. 7 に示しているが、突合せ継手では十字継手と比べて熱影響部の硬さが若干小さいことがみとめられる。

腐食の進行速度に関してケース1とケース2の腐食状況についての比較結果から、3カ月以降は腐食進行速度が鈍化していることがわかった。その原因として、腐食が進行すると表面が厚錆に覆われて酸素の供給が制約されること及びカルシウムの保護膜が形成されること等が考えられる。試験片の平坦部では全般的に腐食量は少ないが、その表面状態にはかなりのバラツキがあり、ほとんど腐食のないもの、小さな点食あるいは大きな点食を生じているもの、

Photo 2 Cross section of corroded specimen (1) butt joint

Photo 3 Cross section of corroded specimen (2) cruciform joint

Fig. 7 Hardness distribution of weld joint specimens

全面的な腐食と緩やかな表面凹凸を生じているもの等さまざまであった。

4. 腐食した試験片の引張り疲労試験

腐食した溶接継手の疲労強度を求めるため、腐食試験後の溶接継手試験片について疲労試験を行った。

4.1 試験方法

腐食試験後の錆を落とした溶接継手試験片について引張り疲労試験を実施してその破断寿命を求めた。疲労試験の条件は、応力比(R)は0.1、繰返し速度は5 Hz、荷重波形はサイン波とした。なお、試験機は50 トンサーボ型疲労試験機を用いた。

4.2 試験結果

腐食した試験片の引張り疲労試験の結果を、別に実施した健全な試験片の試験結果と比較して継手の種類別に Fig. 8~Fig. 10 にそれぞれ示す。突合せ継手では溝状腐食が生じたことにより健全試験片と比べて疲労強度がかなり低下している。一方、十字継手及びガセット継手では疲労強度については健全試験片と腐食試験片の差はあまりみとめられない。また、各継手ともに、ケース1とケース2を比較すると疲労強度についてはあまり差がないことがわかる。

4.3 腐食材の疲労強度について

腐食した平板の疲労強度に関しては、石油タンク底板及び自動車用鋼板等についての研究が行われ、腐食孔の切欠き効果による疲労強度の低下、孔食深さの寿命への影響等が検討されている^{12),13)}。また、腐食したガセット継手の疲労強度に関しては、腐食により溶接趾端部半径が増大するため、腐食前と比較して同等またはそれ以上であると報告されている¹⁴⁾。溶接趾端部の応力集中が大きい溶接継手では腐食による切欠き効果があらわれず、逆に溶接趾端部形状が腐食により平坦化されるために疲労強度はほとんど低下しないと考えられている。また、腐食による溶接部残留応力の減少もその原因の一つであると考えられている。

5. 腐食試験片の応力解析

溶接継手の疲労強度に対しては、継手の形状、冶金的特性、残留応力及び溶接欠陥等が影響するが、そのうち継手形状による応力集中の影響が最も大きいと考えられる。特に、溝状腐食に直交する方向に荷重が作用する場合は大きな応力集中が予測される。ここでは、腐食試験後の局所的な腐食を有する試験片について応力解析を行い、腐食部近傍の応力分布を求めた。

5.1 解析モデル

腐食した突合せ継手及び十字継手試験片(ケース2)について腐食部周辺の応力分布を求めるため、溶接継手断面を平面ひずみモデルとしてFEMによる応力解析を行った。各継手の代表的な各7断面について、2次元平面要素を

Fig. 8 Result of tensile fatigue test of corroded specimens (1) butt joint

Fig. 9 Result of tensile fatigue test of corroded specimens (2) cruciform joint

Fig. 10 Result of tensile fatigue test of corroded specimens (3) gasset joint

用いて最小要素長さ約0.3 mmの範囲で腐食部形状を忠実にモデル化した。突合せ継手の解析モデルの要素分割例を Fig. 11 に示す。荷重条件は、疲労試験に対応した引張り

Fig. 11 FEM model for stress analysis of corroded specimen

Fig. 12 An example of stress distribution of corroded specimen

荷重である。

5.2 応力分布及び応力集中係数

解析結果から、突合せ継手の溝状腐食部周辺の応力分布の一例を Fig. 12 に示す。溝状腐食の底部ではかなり大きい応力集中がみとめられる。また、板厚 (20 mm) に比べて腐食量は少ないため、応力集中はかなり局部的である。応力解析を行った腐食試験片の腐食溝の平均寸法は、突合せ継手では深さが 0.6 mm、幅が 1.5 mm、十字継手では深さが 0.3 mm、幅が 0.9 mm である。

各継手の応力集中係数を求め、健全な試験片の応力集中係数とともに、疲労試験の結果から求めた 5×10^5 回疲労強度と対比させて Table 6 に示す。ここで、健全な試験片の応力集中係数は溶接趾端部の形状から文献 15) の方法にしたがって求めたものである¹⁶⁾。突合せ継手では、健全試験片の応力集中係数は比較的小さいが、腐食試験片では溝状腐食により応力集中係数が大きくなり健全試験片と比べて疲労強度はかなり低下している。一方、十字継手では、健全試験片の応力集中係数が比較的大きく腐食試験片とあまり差がないために疲労強度もあまり低下しないと考えられる。

Table 6 Stress concentration factor and fatigue strength of specimens

Type of specimens		Stress concentration factor		Fatigue strength for 5×10^5 cycles
		Mean	S. Dev.	
Butt	Uncorroded	2.13	0.41	211 N/mm ²
	Corroded	3.83	0.50	156
Cruciform	Uncorroded	3.91	1.76	138
	Corroded	3.63	0.73	129

6. 考 察

6.1 船体構造部材の腐食衰耗について

一般に、船舶が老齢化すると船体構造部材の腐食衰耗が問題となることが多く、その状態に応じた適切な対策が必要となる。その強度が問題となる程度まで進行した腐食衰耗についても、その状態に至るまでのかなり以前から腐食が顕在化しているものであり、多くの場合は、計画的な点検及び的確な保守によって十分に防止できるものと考えられる。最近では、合理的な設計手法により部材寸法が軽減される傾向にあるため、特に、局部的な腐食衰耗についての対策が必要とされよう。

点検時に記録される腐食衰耗データについては、腐食衰耗が空間的及び時間的にかなりのバラツキをもつことを考慮して、その目的に沿って継続的に収集されることが望まれる。ばら積貨物船のサイドフレームについての調査結果では、腐食衰耗の進行速度はかなり大きく、従来の年間衰耗率にもとづく予測では非安全側となる。

貨物倉やタンクの使用状況及び保守管理等の差によって船体構造の腐食衰耗の状態は異なり、また、貨物倉及びタンクの前後部によってもかなり異なる。このため、腐食衰耗については抜き取り点検では適切でない場合がある。部材強度あるいは構造強度への影響を定量的に評価するためにはやや詳細なデータが必要とされよう。

6.2 溶接継手の腐食及び疲労強度

溶接継手試験片の腐食試験の結果から、溶接趾端部近傍では局部的な腐食が進行しやすいこと、特に、突合せ継手では溝状腐食が生じてその疲労強度がかなり低下することが示された。また、十字継手及びガセット継手では、その疲労強度はほとんど低下しないという結果であった。これらの結果は、従来の実船についての経験からも妥当なものであると判断される。

試験及び解析結果から、継手固有の応力集中係数が小さく疲労強度の高い溶接継手では腐食により疲労強度が低下し、一方、継手固有の応力集中係数が大きく疲労強度の低

い溶接継手では腐食による疲労強度の低下はほとんどないことが確認された。しかしながら、今回の腐食試験による腐食衰耗では、実船の腐食衰耗がかなり進行した状態までを模擬するという点では、試験途中の錆落とし及び空気温度の制御等の問題が残されている。

6.3 損傷防止対策と検討課題

船舶の運航状況はまちまちで、各貨物倉、タンク等の使用状況も各々異なる。このため、防食対策と共に各区画毎にその腐食衰耗状況を早期に察知して確実に処置することが不可欠である。船の一生にわたる安全性を確保するためには、設計時の考慮に加えて、就航後の計画的な点検と適切な時期の保守が必要とされる。

最近では、船舶の安全性に対する要求のレベルが高くなったことに関連して、腐食衰耗データを含む検査に関するデータの収集・整備がさらに進められようとしている。今後は、検査関係のデータについての解析及び評価等が比較的行えるものと期待される。

船体構造部材の衰耗限度については、設計時に想定している腐食予備厚（コロージョンマージン）と直接的に関連するため、腐食衰耗の発生及び進行に対する総合的な検討が必要であると考えられる。

7. 結 語

船体の腐食衰耗データについての調査、各種溶接継手試験片の腐食試験、腐食した試験片の疲労試験及び応力解析等を行い、腐食データの統計的特性、溶接継手試験片の腐食状況及び腐食による疲労強度の低下と腐食部の応力集中係数の関係等について検討した。その結果をまとめると以下の通りである。

(1) 船体構造部材の腐食データについての調査から、大型油タンカーの船底外板の点食に関してはその統計的特性及びタンク洗浄の影響、ばら積貨物船のサイドフレーム下部の腐食衰耗についてはその発生及び進行の過程等が明らかにされた。

(2) 各種溶接継手試験片についての乾湿繰返しによる腐食試験を行ったが、突合せ継手では溶接趾端部近傍に溝状腐食が生じた。この腐食の主な原因は、熱影響部の腐食電位が母材及び溶接金属部と比べて卑側となることであると推定された。

(3) 腐食した試験片の引張り疲労試験を行ったが、突合せ継手では健全な試験片と比較して疲労強度がかなり低下した。一方、十字継手及びガセット継手では疲労強度の低下はほとんどみとめられなかった。

(4) 腐食した試験片の応力解析を行い、健全試験片及び腐食試験片の応力集中係数と疲労強度の関係について検討した結果、継手固有の応力集中係数が小さい突合せ継手では溝状腐食により同係数が大きくなり疲労強度が低下すること、一方、十字継手では継手固有の応力集中係数が大き

いため腐食しても疲労強度はほとんど低下しないことが示された。

(5) 船体構造の腐食衰耗については、その発生位置、発生寿命及び進行速度等に大きなバラツキがあることがわかった。したがって、船体構造の健全性を確保するためには腐食衰耗についての計画的な点検及び評価と時機を得た保守が不可欠であると考えられる。

本研究の実施にあたり、データ収集及び解析計算等でご協力を頂いた本会検査技術部及び技術研究所の関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 船体構造委員会西部地区部会：船体構造部材の局部異常腐食に対する検討(その1)及び(その2)、日本造船学会誌、第622号及び623号(1981)
- 2) 在田正義、井上 肇、藤井英輔、小林卓也：腐食と船体の安全性について—高齢船の調査結果、西部造船会々報、第75号(1988)
- 3) 岡 実、北田博重、渡辺富雄：腐食材の静的強度に関する実験的考察、日本造船学会論文集、第167号(1990)
- 4) 岡本賢二、杉田英二：船の経年変化と設計への適用、石川島播磨技報、第32巻第4号(1992)
- 5) 的場正明、山本規雄、渡辺富雄、海野昌俊：船体の腐食・防食とその強度への影響に関する研究(第1報)—強度評価のための腐食の進行シミュレーションと表面凹凸特性—、日本造船学会論文集、第175号(1994)
- 6) Tanker Structure Cooperative Forum: Guidelines for the Inspection and Maintenance of Double Hull Tankers (Draft), (1993)
- 7) 恵美洋彦、湯浅通史、熊野 厚、熊本啓行、山本規雄、松永昌樹：船舶・海洋構造物の寿命評価に関する研究(その2 船体疲労損傷の危険評価)、日本造船学会論文集、第172号(1992)
- 8) 恵美洋彦、湯浅通史、熊野 厚、山本規雄、有馬俊朗、海野昌俊：船舶・海洋構造物の寿命評価に関する研究(その3 長寿命計画船体の防食管理と状態評価)、日本造船学会論文集、第174号(1993)
- 9) 佐藤栄次：鉄鋼材料の環境脆化の基本要因と寿命評価、新素材(1992.9)
- 10) 検査技術部：高齢大型ばら積貨物船に関する調査—高齢大型ばら積貨物船調査会報告から—、日本海事協会誌、No. 219 (1992)
- 11) Nippon Kaiji Kyokai: Thickness Measurement Standards for Hull Structural Members, (1994)
- 12) 西村 昭、皆田 理：腐食環境下でのガセット継手の表面形状と疲労強度、土木学会論文集、第380号(1987)
- 13) 亀井浅道、平野敏行：腐食を有する石油タンク底板(SS41)の疲労破壊強度、日本機械学会講演論文集、No. 790-2 (1979)
- 14) 小川一義、猿木勝司、浅野高司、古田忠彦：塩水腐食した鋼板の疲労強度低下率と切欠感受性、材料、第36巻第411号(1987)

- 15) 後川 理, 中山英治: 溶接継手部の応力集中係数, 石川島播磨技報, 第23巻, 第4号(1983) る溶接形状の実態に関する調査研究, 日本海事協会研究発表会前刷集(1991)
- 16) 山本規雄, 島村裕之, 渡辺富雄: 疲労強度に影響す
-