腐食と腐食疲労の二相境界領域における破損挙動

正 員 的 場 正 明 *

Failure Behavior in Boundary between two Phases of Corrosion and Corrosion Fatigue

Masaaki Matoba, *Member*

Summary

The problems in the boundary between corrosion and corrosion fatigue of hulls are described.

The hull failure phases of corrosion, corrosion fatigue and fatigue have been studied extensively in academic and practical points view. The knowledge hitherto gotten for these three failure phases is separately each other.

Some failure instances have been pointed out that the hull members of 8 to 15 years old, where fatigue crack is possible to occur in corrosive environment, failed without cracks, but with corrosion wears. In the case of these instances, it can be imaged that corrosion wear speed overcomes micro fatigue crack's propagation speed.

Former, the author presented simulation calculation of hull's corrosion and wear.¹⁾ As a sequel of the calculation, the author made up mixed simulation calculation of corrosion with corrosion fatigue crack propagation.

The calculation results show the qualitative evidence for the imaged reason why of the instances without fatigue crack, but with corrosion wear.

1. 緒 言

船体の寿命は疲労と腐食により定まる。この両現象については、従来から数多くの研究がある。海水腐食環境下の疲労についても、実験データが取得されつつある。しかし、いずれも単独の現象についての研究である。

これらの現象が問題になるのは、船令4年以上が大部分である。疲労は、繰返速度や休止の影響が少ないので、4年以上の現象を短期で再現するのは容易である。腐食についても、高温と乾湿交替による促進が可能で著者の実

Fig. 1 Failure mode in fatigue load and corrosive environment

* (財)日本海事協会

原稿受理 平成10年12月14日

春季講演会において講演 平成11年5月12, 13日

験例では²⁾ 25倍の促進が確認され船令4年以上の現象の再現が確認されている。しかし、海水腐食疲労については、有効な時間促進実験が難しいので、長寿命に対する有効なデータは取得されていない。

本論文で取上げるテーマは、Fig. 1に示す腐食と腐食疲労の両現象の相境界領域に関する問題である。以後、腐食は海水によるものを指す。有効な実験データがないので、従来の研究成果を基に理論を構築し推定する。

本問題を取上げる契機となったのは、実船で見られる以下の現象である。

実船の疲労と腐食の損傷はFig. 2に平均的傾向を示すように³⁾ 疲労損傷は船令4~5年で多く、それ以降減少する。

Fig. 2 Relation between Ships' ages and Number of Accidents on Fatigue and Corrosion

腐食損傷は船令7~8年頃から発生し、船令を増す毎に件数が増加する。

船令10~18年程度で、腐食環境にあって応力集中の高い箇所は、腐食疲労による亀裂が生じることを想像させる。

しかし、実際は応力集中部分で激しい衰耗が見られるが

Fig. 3 A Sample of Corrosion Damage around Slot

、亀裂は生じていない。減厚によるいっそうの高応力でも亀裂に結び付かず、座屈による面外変形による場合のみ亀裂が生じている。Fig. 3にスロット周りの腐食衰耗の事例を示す。この場合も、高応力部分で板厚が1/3程度になっているが、亀裂には至っていない。

この原因を基本的に以下のように考える。腐食疲労試験は、平均波周期に相当する0.17Hzで連続して繰返荷重を付加している。実際の船の荷重で疲労に有効なのは、全期間の0.1以下であり⁴⁾ 大部分は無負荷状態である。腐食疲労亀裂の核となる微小亀裂が生じて、長い疲労上無負荷と見なせる期間中の腐食進行で微小亀裂が溶解すると考えられる。実船の腐食亀裂は、実験から想像されるのとはかなり違うと想像される。

本論文は、荷重が負荷される場合の実船の腐食衰耗状況を、上記した考えを基本として考察する。先に無負荷状態での腐食進行のシミュレーション計算を行ったが¹⁾、それに付加して腐食疲労環境下での亀裂の発生と進展挙動を配慮して腐食・亀裂シミュレーション計算を行う。

2. 理論計算における諸仮定

2. 1 腐食進行

荷重負荷のない状態での腐食進行の理論は、先の著者の論文¹⁾に従う。概略以下の通りである。

- 板表面に腐食活性点は多数あり、孔食の発生個数は、同一条件でPoisson分布に従う。発生個数は時間と共に減少し、個数の対数と時間はほぼ比例する。
- 孔食は浅い半球であり、深さは直径のほぼ1/5である。
- 孔食の成長速度は、時間の指数であり、指数は1.0より小さい。特定時間での速度の分布は対数正規であり、速度の極値はGumbel分布である。
- 腐食の速度は温度、流速および応力に影響される。
- 溶接し端部分は、特殊に腐食量が多い溝状腐食であるが、腐食活性点は溝を最頻線とするGauss分布である。

その際、溝の腐食量は、実験と実船の例から、一般部分の2~10倍である。

2. 2 実船での疲労に有効な期間

実船での波浪荷重は、大部分の期間は天候は平穏であり有効ではない。実験室のように連続負荷されるのではない。富田らによると⁴⁾、空中の疲労破壊に有効な嵐の期間は4.5%程度である。また、角回し溶接のし端の疲労亀裂を対象とした場合、疲労破壊の評価には低めに見積もっても応力振幅は30MPa以下を無視して差し支えない。⁵⁾

腐食疲労には、空中より低応力の振幅が影響する。上記した角回し溶接継手の空中での有効期間を参照して、無視しうる応力振幅のレベルと、実船の就航期間のうち疲労

破壊に関係する期間の比率はFig. 4 で表される。

Fig. 4 Relation between Negligible Stress Amp. and Effective Period Ratio for Box welded Joint

2. 3 腐食疲労亀裂の発生

遠藤らは、腐食疲労亀裂は空中の場合と異なり、試験開始直後に発生することを指摘している。⁶⁾ また、著者は文献⁶⁾の腐食電流を(1)式に整理したが、繰返に伴って腐食電流は増える⁶⁾

$$\log(I) = \log(I_0) + \left\{ \frac{N}{N_f} \right\} \{ \log(I_f) - \log(I_0) \}$$

$$I_f/I_0 \cong 5.0 \quad \text{---(1)}$$

Where : N_f ; Number of Cycles to Fracture
 N ; Number of Cycles in Test
 I_0 ; Initial Corrosion Current
 I_f ; Corrosion Current at Fracture

このことは、亀裂近傍での腐食が一般の表面より急速であることを示唆している。

駒井らは^{7, 8)}平滑材では、腐食亀裂はビットの底から発生することを指摘している。この際、元表面からのビット深さ a と表面楕円亀裂の半長さ c の比は、著者の研究¹⁾とはほぼ同じで、 $a/c=0.6$ であり、発生時の応力拡大係数はTMCP鋼の場合 $\Delta K_{CF}=1.7 \text{ MPa}/\text{m}$ 程度であるとしている。

溶接部においては、溶接し端から腐食疲労亀裂は発生するが³⁾、腐食環境では $\Delta K_{CF}=1.7 \text{ MPa}/\text{m}$ 程度となるアスペクト比0.6の初期表面楕円亀裂がただちに伝播を開始するとして検討する。

2. 4 腐食疲労亀裂伝播挙動

腐食疲労亀裂は⁷⁾ Fig. 5 に概念的に示すように、空気中とは異なり、その形は先端が丸みを持ち、間口が広がっている。これより想像できるように、亀裂の内面の腐食溶解は表面より激しい。

腐食疲労亀裂の伝播は、Akid, Miller⁹⁾や駒井⁷⁾らによ

り(2)式に示すように表されている。すなわち、腐食疲労亀裂の伝播速度は、空気中の速度と腐食溶解の和であるとしている。

Fig. 5 Section of Corrosion Fatigue Crack

$$\left(\frac{da}{dN} \right)_{CF} = \left(\frac{da}{dN} \right)_{AIR} + \left(\frac{da}{dN} \right)_D \quad \text{---(2)}$$

Where : $(da/dN)_{CF}$; corrosion fatigue crack propagation
 $(da/dN)_{AIR}$; fatigue crack propagation in air
 $(da/dN)_D$; crack propagation by dissolution

特に、伝播速度の遅い領域について、駒井は⁸⁾ TMCP鋼の実験データを基に Fig. 6 のような考えを示している。

Fig. 6 Characteristics of Corrosion Fatigue Crack Propagation in Low Speed Range (Cycle=0.17HZ)

すなわち、腐食ビット深さの平均増加速度である PGR、空気中の亀裂伝播の下限界 ΔK_{th} 、亀裂先端の腐食溶解速度 $(da/dN)_D$ によって低応力域の腐食疲労亀裂伝播が定まるとしている。PGR は約 1mm/Year であり、これは腐食環境にある船舶の実際の部材の板表面の平均衰耗 0.05~0.2 mm/Year の 10 倍程度である。¹⁰⁾ PGRはまた上記の平均

衰耗中に見られる多くのピット深さの増加速度の有義値にほぼ相当する。¹⁾

2. 5 理論計算に用いる仮定・数値の詳細

空中での疲労寿命が4年以上の隅肉溶接のし端を対象とする。亀裂想定位置まわりで配慮する破損の項目は、Fig. 7 に示す通りである。

Fig. 7 Items of Wear Progress and Crack Propagation to be considered

a) 考慮する腐食疲労亀裂としては、2.3 で述べた $a/c=0.6$ の表面楕円亀裂とする。軸応力 σ を受ける隅肉溶接し端の亀裂の底の応力拡大係数 K_A として、Newman-Raju の式を基にしたWR3 委員会¹¹⁾の(3)式を用いる。(3)式はアスペクト比を0.6とし、溶接し端の応力集中率を配慮している。

$$K_A = m_{kwa} 0.843 \sigma \sqrt{\pi a} \quad \text{--- (3)}$$

$$m_{kwa} = 0.83 \left(\frac{a}{t} \right)^{-0.31} \quad 3.0 \geq m_{kwa} \geq 1.0$$

Where : a ; Depth of Crack t ; Plate Thickness

b) 不規則荷重を受ける場合、SN 線図が直線で Miner 則が成立すると、作用応力振幅は等価な一定応力 σ_a が作用するとして検討できる。隅肉角回しの疲労試験結果と20年の空中疲労の有効繰返数 4.48×10^6 回⁴⁾より⁴⁾、亀裂発生年数と等価応力振幅の関係はほぼ(4)式で表される。 σ_a は4年で35MPa、20年で21.6MPaである。

c) 腐食環境中および空中の疲労亀裂伝播、疲労荷重を受けている際亀裂先端の溶解と無負荷中の亀裂先端の溶解PGRはFig. 6の駒井によるものを⁸⁾用いる。ただし、これ

に溶接し端の異種金属や残留応力による促進を配慮する。
 d) 溶接継手の疲労強度は、著者によると、溶接し端に深さ0.02~0.1mmで平均0.05mmの仮想初期亀裂を想定した、破壊力学による亀裂伝播計算により説明できる。¹²⁾ 諸検討は、初期亀裂を想定した亀裂伝播計算により行う。

$$\sigma_a = 53.0 (N_{cy})^{-0.3} \quad \text{--- (4)}$$

Where : N_{cy} ; Number of Years to Crack Initiation

σ_a ; Equivalent Stress Amplitude in Random Load

e) 検討に使用するFig. 7の各数値の概略の範囲を以下に示す。数値は[下限値≤標準値≤上限値]で示す。

無負荷時腐食進行は2.1の前論文¹⁾に従う。

板表面の衰耗 W_{PS} ; $[0.05 \leq 0.1 \leq 0.2]$ mm/year ただし、溶接部し端近傍は溶接線に沿って W_{PS} の $[2 \leq 2 \leq 10]$ 倍を最大とするGauss分布型の腐食溝の促進が存在する。

腐食疲労亀裂伝播量 $(da/dN)_{CF}, a_{CF}$; Fig. 6に従う。

$(da/dN)_{CF} = 2.7 \times 10^{-8} (\Delta K)^{3.1}$ とする。応力は(4)式の等価応力振幅を用いる。Fig. 8に示すような深さ a_D のピット型腐食とする。

空気中の疲労亀裂伝播下限 ΔK_{th} ; Fig. 6とWR3委員会¹¹⁾の式より $2.45 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ とする。 $(da/dN)_{Air}$ の検討は不規則荷重であるので ΔK_{th} を無視し伝播線図を直線延長する。

空気中の疲労亀裂伝播 $(da/dN)_{AIR}$; Fig. 6の腐食疲労亀裂の伝播速度と腐食溶解速度の差とする。

腐食疲労亀裂進展時溶解速度 $(da/dN)_{D, a_D}$; Fig. 6での溶解速度線は腐食疲労線と平行とし $(da/dN)_D = 1.355 \times 10^{-8} (\Delta K)^{3.1}$ とする。ただし、応力振幅による ΔK が ΔK_{th} 以下ではPGRが優先する。

各種の亀裂伝播則による亀裂の進展量：亀裂伝播速度 da/dN と繰返数 N および応力拡大係数の範囲 ΔK が与えられると(5)式¹¹⁾により亀裂長さ a と繰返数 N の関係が求まる。(5)式は精度を確認し、分割して解く。

$$\int_{a_i}^{a_N} \frac{da}{C(\Delta K)^m} = \int_0^N dN \quad \Delta K \geq \Delta K_{th} \quad \text{--- (5)}$$

Where : a_i ; Initial Crack Length a_N ; Crack Length after N cycles Load

N ; Number of Stress Cycles $\Delta K_i = \sigma_a \cdot f(a)$

ΔK_{th} ; Propagation Lower Limit

亀裂先端の無負荷時衰耗 W_{CF} ; Fig. 6のPGRを採用し、Fig. 8に示すようなピットと同様な進行とする。亀裂深さ方向にPGR、亀裂面を削るように半円型に進行とする。

亀裂面の衰耗 W_{CS} ; 庄子らの研究¹⁴⁾などを参考に、亀裂先端のピット腐食の影響の少ない領域では、板表面の $[2 \leq 4 \leq 5]$ 倍とする。

Fig. 8 Corrosion Pit at Crack Front

腐食疲労における亀裂先端の溶解量 a_D と無負荷時の亀裂先端の腐食 W_{CF} は Fig. 8 に示すように腐食により丸みを帯びる。その丸みの部分は $a=a_D=W_{CF}$ だけ半円型に腐食し、亀裂面の $c=a/0.6$ の範囲だけ部分楕円の量だけ腐食すると仮定した。楕円を折曲写像したことになる。亀裂先端と亀裂面の腐食進行に関し、無負荷時にみられる溶接し端付近の溶接金属による異種金属効果などによる腐食促進は、亀裂先端はすでに皮膜破壊などで速い腐食進行であるので¹³⁾、PGR、一般部腐食疲労溶解の 1~2 倍とする。亀裂始端の角の腐食 W_{EC} ；腐食量は表面積に比例とする。従って、角は表面部分より衰耗量は大きくなるが、角の腐食後の形状は円弧であるとする。

亀裂伝播の空中成分 $(da/dN)_{air}$ の計算に際しては、前述したように不規則荷重であることを配慮し、 ΔK_{th} 以下まで伝播則が有効であるとする修正マイナー則を用いる。その際、荷重は 20 年で 10^8 回とし、2.2 節で述べたように有効荷重期間を 4.5% とし、(4) 式の等価応力振幅 ($\sigma_a = 1/2 \Delta \sigma$) と亀裂伝播寿命に関する (5) 式により亀裂長さを計算する。

亀裂の進展と腐食溶解に用いる諸数値を Fig. 9 に改め

Fig. 9 Numerals for Crack Propagation and Dissolution Assessment

て示す。なお、 ΔK の計算に際し、(3) 式の m_{kwa} は微小な変化内での離散的階段型数値とした。

荷重影響を考えない腐食衰耗の諸仮定の概要は 2.1 に示した。詳細は文献¹⁾と同一であるので割愛した。

3. 理論計算

3. 1 亀裂深さの進展

筆者による破壊力学を用いた溶接継手の疲労強度の解析¹²⁾で求めた、仮想初期亀裂の平均値 0.05mm を用いて対象とする角回しなどの隅肉溶接継手の疲労強度を解析した。応力レベルは富田らの実験⁴⁾を基に定めた (4) 式で、寿命がほぼ 3~7 年に相当する 60~75MPa とした。応力拡大係数を (3) 式とし、(5) 式により経過年数と亀裂深さの関係を求めて Fig. 10 に示した。

Fig. 10 Fatigue Crack Depth Propagation for Welded Fillet Joint

この図で、(4) 式より亀裂発生寿命がほぼ 4 年と計算できる応力範囲 70MPa の場合、4 年で亀裂深さは 1mm 強である。

富田らの実験での亀裂発生は、ほぼ亀裂深さ 1mm になる時点である。これより、筆者による溶接継手の破壊力学解析¹²⁾は富田らの実験⁴⁾をも説明できる事が分かった。

本研究では、実船の腐食損傷が船令 7~8 年頃より生ずることより、船令 4 年以降塗装劣化などにより腐食環境になるとする。腐食環境中の検討は 4 年以降であるが、船令 4 年時の亀裂深さは、応力レベルに応じ Fig. 10 の 4 年時の値とする。

船令 4 年以降の亀裂進展の、空气中疲労の成分を Fig. 11 に示す。横軸の経過時間は、1 年の 1/4、四半期を示している。

空气中疲労と腐食疲労時の腐食溶解を加えた、腐食疲労による亀裂進展を Fig. 11 と同様な表示で、Fig. 12 に示す。

波浪荷重のうち、疲労に影響するのは、全体のごく短い期間であることは、前述した。疲労上無負荷と見なせる期間、亀裂先端は PGR の亀裂進展が有るとし、荷重期間中の腐食疲労を加えた、全亀裂進展を Fig. 13 に示す。なお、Fig. 12&13 での腐食進行には、溶接金属の存在による促進効果は考慮していない。

Fig. 11 Crack Propagation by Fatigue in Air After 4 Years Service

Fig. 12 Corrosion Fatigue Crack Propagation After 4 Years Service

Fig. 11, 12, 13 の内、空気中の疲労亀裂発生寿命が 4 および 7 年である、それぞれ 60MPa および 70MPa の応力レベルの結果を重ねて Fig. 14 に示す。

図での太い実線の腐食と腐食疲労を含めた亀裂進展に対し、細線の腐食疲労と、点線の空気中疲労は、それぞれ無負荷時がないとした場合の線である。

無負荷時腐食と負荷時腐食溶解の量は大きく、Fig. 14 の 4 四半期 (腐食環境後一年経過)、すなわち 5 年目には、応力レベルが高い場合でも点線で示す空中疲労による亀裂進展は太線で示す全体の半分以下である。無負荷時の

腐食は、亀裂の進展方向にも進むので、太線における負荷時の亀裂進展は、無負荷時を無視した細線場合より大きい。

Fig. 13 Total Crack Propagation Included Pure Corrosion in no Effective Load

Fig. 14 Comparison of Total Crack Propagation with the Propagations of Corrosion Fatigue and Fatigue

また、疲労亀裂が問題となるような応力レベルでは、4 年を経て腐食環境になったとすると、その後全亀裂進展量は、1 年程度で深さ 3~5mm にも達する。亀裂が 5mm の深さであることは、損傷と見なし得ることである。溶接し端で応力レベルが高い箇所は、腐食環境になると短期で損傷に至ることになる。

Fig. 14 は、無荷重時の腐食進行に見られる溶接し端の溝状腐食のような腐食促進を考慮していない。

この腐食促進が 2 倍であるとした場合の Fig. 14 と対比すべき図を Fig. 15 に示す。図から促進効果を配慮すると

、腐食環境になった後、1年程度の経過で、亀裂深さは4~8mm 程度になる。荷重負荷がないとすると、4四半期における太線の位置はPGRの二倍促進で2mm となる。Fig. 15 より、荷重の存在により亀裂深さは無負荷時の2~4倍になる。なお、本節の検討は板厚10mmとした。

Fig.15 Cracks in Case of Corrosion Acceleration

3.2 亀裂断面の形状

亀裂の面に直交する線で切断した断面は、2.4 Fig. 5 に示したように、腐食により広く開口する。この断面形状を2.5 に示した仮定により計算する。

溶接金属による腐食促進効果がないとし、亀裂長さが自然腐食により4mm に達した時の亀裂最深部の亀裂面に直交する断面の計算値をFig. 16 の実線で示す。疲労荷重と無負荷時の自然腐食を受け亀裂が4mm に達した時の断面形状を、Fig. 16 に実線と比較し点線で示す。

Fig.16 Section of Cracks for Corrosion and Corrosion with Fatigue

実船の損傷で見られる溶接し端の溝状腐食の深さは、2.5 で述べたように、一般部分の2~10 倍と幅広い実例がある。Fig. 16 からは、疲労亀裂進展が腐食に介在しても、外観上溝がやや幅狭く見える程度と受け取れる。腐食ピットの生成や成長を統計的に取り扱う2.1 で述べた腐

食シミュレーション計算に疲労亀裂伝播を導入した。

Fig.17 Simulations of Corrosion and Corrosion with Fatigue at Welded Toe

結果をFig. 17 に示す。計算に際し、実船や腐食実験で見受ける溶接し端近傍の腐食促進を考慮した。腐食促進を考慮すると、板表面の同所の腐食進行は大きく、Fig. 16 と比較し、亀裂の間口が広がったように見られる。疲労亀裂進展が介在する場合、Fig. 16 で得られた所見と同様に、溝がやや幅狭く見られる程度である。実船の溶接し端の溝状腐食の例での幅と深さの程度は、前述したように範囲が広い。疲労亀裂進展が腐食に介在しても、実船の損傷事例からは、見分けがつかないのではないかと想像される。

4. 結言

実船で、腐食環境にあり、腐食疲労亀裂が発生すると予想される船令7~20 年における破損挙動は、実験により再現できないのが実情である。

この長船令における環境は、疲労強度に影響するわずかな負荷期間、と疲労荷重として無負荷と見なせる長い腐食期間で構成される。

腐食と腐食疲労それぞれについては、従来多くの研究がある。これにより得られた知見をもとに、前記した腐食・腐食疲労の二相境界での破損挙動について、隅肉溶接のし端を対象に考察した。

その結果以下の結論を得た。

1) 船令4年より海水腐食環境になるとし、2章で述べた諸仮定により、溶接し端の腐食溶解と疲労亀裂進展を計算により検討した。腐食環境になって一年後の亀裂進展量のうち、純粋な疲労亀裂進展は、溶接金属による腐食促進を配慮しない場合、全体の半分以下であり、同腐食促進を配慮した場合、全体の1/4以下である。年数を経過するに従い、純粋な疲労亀裂進展の全体の進展量に対する比率は減少する。

2) 亀裂の断面形状について、2章で示した平均的腐食・疲労亀裂進展量の仮定により推定した。さらに腐食における各種変数を確率変数とし、腐食・腐食疲労二相境界での亀裂進展のシミュレーション計算を行った。その結果、同二相境界での亀裂断面形状は、純粋な溝状腐食進行の場合と比べて、ややその溝が狭くかつ深くなるのみで、もし実船で損傷として発見されても、純溝状腐食とは区別が難しいと考えられる。

謝辞

本研究の構想については、造船学会の旧材料分科会の委員各位より討論を頂いた。論文内容については、溶接学会FS委員会の委員各位より討論を頂いた。また、運輸省船舶技術研究所の小林佑規氏より、種々の有益なご助言を頂いた。

上記各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 的場正明他：船体の腐食・防食とその強度影響に関する研究（第一報），SNAJ, Vol. 175 (1994)
- 2) 的場正明：海水環境中にある塗装鋼板の腐食進行に関する研究，SNAJ, Vol. 183 (1998)
- 3) 日本造船研究協会：バラストタンクの腐食疲労に関する研究、平成5,6年度報告
- 4) 富田康光 代表：実働荷重をシミュレートするランダム疲労試験システムの構築に関する研究、平成4年度文部省科学研究成果報告書
- 5) 富田康光他：波浪荷重の統計的性質と疲労強度評価のための波浪荷重のシミュレーション法（その3）SNAJ, Vol. 177 (1995)
- 6) 遠藤吉郎：腐食疲れおよび腐食摩耗、日本機械学会誌、Vol. 75, No. 641 (1972)
- 7) 駒井謙治郎：構造材料の環境強度設計、養賢堂 (1998)
- 8) 駒井謙治郎他：長時間腐食疲労亀裂進展特性推定法に関する一提案、日本機械学会論文集, Vol. 54, No. 4

99 (1988)

- 9) 大内博史：腐食疲労における微小亀裂の定義と挙動材料と環境、Vol. 42 (1993)
- 10) 山本規雄、的場正明他：船体の腐食防食とその強度影響に関する研究（第2報），SNAJ, Vol. 176 (1994)
- 11) 日本溶接協会WR-3委員会：溶接構造物の脆性破壊強度評価方法、(1992)
- 12) 的場正明：溶接継手SN線図の破壊力学による解析、三菱重工業社内研究報告 (1978)
- 13) 庄子哲雄他：腐食疲労破壊の機構、鉄鋼の環境強度部会第3回シンポジウム (1987)

Appendix

海水漬浸実験および実船での溶接し端の溝状腐食の事例を Fig. App. に示す。a) は突合溶接継手の実験例で、b, c) は隅肉溶接し端の実船の例である。実験および実船で見られる溝状腐食の溝の深さと一般部分の腐食量の比は広い範囲にばらついている。

一般的には、溝の最深部は溶接し端のわずかに母材側に入った所である。突合溶接継手の場合は隅肉溶接の場合より、溝は深く狭い傾向にある。

溝の生成原因が溶接金属が母材にとって異種金属であることで多くの腐食電池を形成するからであると考えられる。また、溶接残留応力による腐食促進効果もあるであろう。これが、板の中まで溶接金属のある突合溶接の方が、隅肉溶接より溝が深く狭い原因であろうと推定している。

a) Butt Welded Joint : Dip Tested

b) Fillet Welded Joint : Actual Ship

c) Fillet Welded Joint : Actual Ship

Fig. App. Samples of Welded Toe Channel Corrosion