

船体構造部材の静的強度に及ぼす腐食の影響（第8報）

— 腐食ピットが発生している部材の引張強度評価式の提案 —

正員 中井達郎* 正員 松下久雄*
正員 山本規雄*

Effect of Corrosion on Static Strength of Hull Structural Members (8th Report)

by Tatsuro Nakai, Member Hisao Matsushita, Member
Norio Yamamoto, Member

Summary

The purpose of this research project is to establish a method of evaluating the effect of pitting corrosion with a circular cone shape on local strength of hold frames of bulk carriers. In the present study, an empirical formula is proposed based on the tensile test results conducted in the previous study. In the formula, tensile strength reduction due to pitting corrosion is expressed as a function of *DOP* (degree of pitting intensity), pit diameter and original thickness of pitted plates. It has been shown that tensile strength of relatively small plates with pitting can be well predicted by the formula. In order to check the applicability of the formula to wide plates, a series of tensile test with wide specimens having artificial pits has been performed. It has been found that when diameter of all the pits is the same, prediction results of the tensile strength of wide specimens with artificial pits are conservative, and when pits with different diameter coexist, prediction of the tensile strength using average pit diameter give a little optimistic (non-conservative) results.

1. 結 言

船体構造部材に見られる腐食は、全面腐食(*general corrosion*)と局部腐食(*localized corrosion*)に大別することができ、腐食ピットは局部腐食のひとつの形態に分類される。全面腐食の場合、表面の凹凸が板厚に比べて小さいので、基本的に板厚一定の板として強度評価が可能であると考えられるのに対して、凹凸の激しい腐食ピットの場合、その分布や大きさが部材の強度にどのように影響するかは明確ではない^[1]。本研究は、石炭と鉄鉱石を運搬するばら積み貨物船の腐食ピットが発生している構造部材の局部強度の評価法確立を目的として実施している^{[2][3]}。上記のばら積み貨物船の倉内肋骨に発生している典型的な腐食ピットは円錐形であり、その直径と深さの比は8:1~10:1の範囲にある^{[2][5]}。IACS統一規則S-31^[3]で、腐食ピットが発生している場合を含めた倉内肋骨の切替え基準が規定されているものの、腐食ピットの程度と残存強度の関係について十分に明らかにされ

ているとは言えない状況にある。本研究では、上記のような円錐形の腐食ピットが部材強度に及ぼす影響について系統的に検討を進めている。これまでに、1)腐食の実態調査^{[2][5]}、2)腐食ピットが発生している板要素の強度調査^{[2][5]}、3)構造強度に及ぼす腐食ピットの影響調査^{[5][10]}、を実施してきた。さらに、FEMを用いた弾塑性大たわみ解析により得られた板要素の圧縮最終強度、せん断最終強度、面内曲げと圧縮の組合せ荷重下における最終強度を、既報における模擬腐食ピットを設けた試験片を用いた引張試験結果と比較することにより、上記のいずれの強度が円錐形の腐食ピットの影響を最も強く受けるかについて検討した^{[11][12]}。そして、それぞれの荷重条件下の強度に対する等価板厚を比較した結果、円錐形の腐食ピットの影響を受けて最も強度が低下するのは、引張強度であることが明らかとなった。ここで、等価板厚とは、腐食ピットが発生している部材と同等の強度をもつ、一様衰耗(板厚一定で衰耗が進むと仮定した場合)の部材の板厚である。この結果から、引張強度に対する等価板厚を適切に評価する方法を確立すれば、他の荷重条件下における板要素の最終強度についても安全側の評価が可能であると考え、本報では、過去に実施した円錐形の模擬腐食ピットを設けた小型試験片を用い

* (財)日本海事協会 技術研究所

た引張試験結果^{[2][4][5]}をもとに、円錐形の腐食ピットが発生している板要素の引張強度の評価式を提案した。さらに、実際のばら積み貨物船の倉内肋骨ウェブと同様な幅厚比を有する幅広試験片を用いた引張試験などから、提案した評価式の妥当性について検討した。

2. 小型引張試験の概要^{[2][4][5]}

本章では、腐食ピットの発生している部材の引張強度評価式を検討する際に使用した過去に実施した小型試験片を用いた引張試験の結果^{[2][4][5]}についてその概要を述べる。

2.1 供試材

供試材はYP32鋼であり、板厚10、14、16及び22mmの板材を用いた。降伏点は347~457MPa、引張強さは504~555MPaであり、破断伸びは23~31%である。

2.2 試験片

小型引張試験片は、幅80mm、標点間距離200mmであり、上記の板材から切り出した。試験片の板厚は10、13、16及び22mmの4種類である。一部の試験片は上記の板材を減厚加工することにより用意した。また、試験片には、ドリル加工により模擬腐食ピットを設けた。実際の大形ばら積み貨物船の倉内肋骨に発生していた腐食ピットの観察結果^{[2][4][5]}をもとに、ピット直径は20、30あるいは40mmの3種類とし、ピット形状は直径と深さの比が8:1の円錐形とした。幅80mm×標点間距離200mmのピット加工領域におけるピット分布をFig.1に示す。より厳しい条件を考え、試験片の両面の同じ位置にピットを配置した。既報^{[2][4][5]}において、腐食ピットが発生している実部材を用いた引張試験で破断面における引張強さを調査した結果、腐食による鋼材そのものの引張強さの低下は見られず、部材の材質変化が強度に与える影響は少ないと考えられることから、模擬腐食ピットは実部材における腐食ピットの幾何学的形状を一致させた

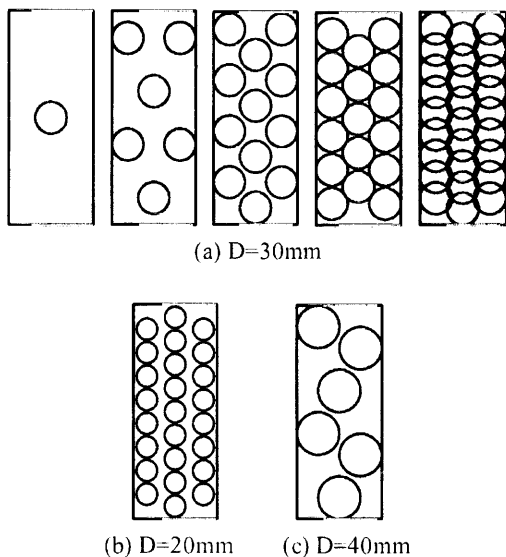


Fig. 1 Pit distribution in small tensile test specimens ($t_0=10, 13, 16, 22\text{mm}$, $D=20, 30, 40\text{mm}$)

ものを採用した。

2.3 引張強度に及ぼすピットの影響

Fig.2にピット直径が30mmの場合について、各板厚における公称引張強度 σ_u/σ_{u0} とピット面積率DOPの関係を示す。本論文では、公称引張強度を $\sigma_u=P_{max}/A_0$ で定義する。ここで、 P_{max} 、 A_0 は、それぞれ最大荷重、模擬腐食ピットを設ける前の荷重軸に垂直な断面の面積である。また、 σ_{u0} は材料の引張強さであり、ピット面積率DOP (Degree Of Pitting intensity) は、試験片の幅×標点間距離の面積に占めるピットの面積の割合[%]である。この図には、後述する引張強度評価式による予測結果を合わせてプロットしている。この図から分かるように、公称引張強度はピット面積率の増加とともに徐々に低下しており、その低下量は板厚が小さいほど大きくなっている。また、Fig.3(a)及び(b)にそれぞれ板厚10及び13mmの場合について、各ピット直径における公称引張強度とピット面積率の関係を示す。これらの図には、後述する引張強度評価式による予測結果を合わせてプロットしている。これらの図から、元厚が等しく、ピット面積率もほぼ等しい場合、ピット直径が大きい方が公称引張強度の低下が大きいことが分かる。

2.4 破断伸びに及ぼすピットの影響

Fig.4に標点間の破断伸びとピット面積率DOPの関係を示す。この図から分かるように、ピットがある場合、標点間の破断伸びは激しく低下しており、その低下量は板厚が小さい方が大きい。

3. 引張強度評価式の提案

本章では、前章で説明した模擬腐食ピットを設けた小型試験片を用いた引張試験結果を基に、腐食ピットの発生している部材の引張強度評価式を提案する。

3.1 従来の研究

腐食ピットが発生している部材の強度評価式について検討した研究例としては、Paikらのものがある^{[1][4][5]}。彼らは、円筒形の模擬腐食ピットを設けた正方形板の圧縮試験を実施する^{[1][4]}とともに、FEM解析により圧縮^{[1][4]}及びせん断最終強度^{[1][5]}に及ぼす円筒形の腐食ピットの影響について検討し、それぞれの荷重条件について最終強度の評価式を提案している。この中で、注目すべき点は円筒形の腐食ピットが発生している板のせん断最終強度を下式のように、ピット面積率DOPの関数で表している点である。

$$\frac{\tau_u}{\tau_{u0}} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } DOP \leq 1 \\ 1.0 - 0.18 \ln(DOP) & \text{for } DOP > 1 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 τ_u 及び τ_{u0} は、それぞれ腐食ピットが発生している板のせん断最終強度および腐食ピットが発生していない板のせん断最終強度である。

実際の検査を考えた場合、腐食ピットが発生している部材は凹凸が激しいため最小断面積や平均衰耗量といったパラメータの同定は困難であり、式(1)のようなピット面積率といった部材表面の観察結果から決定できるパラメータによる評価方法の方が適用しやすいと考えられる。そこで、次節で、円錐形の腐食ピットが発生している板の引張強度評価式を検討する際に、部材表面の

観察結果から決定できるピット面積率やさらにピット直径といったパラメータを用いることとした。

3.2 引張強度評価式

Fig.2及びFig.3に示した通り、円錐形の模擬腐食ピットを設けた小型試験片の引張強度は、ピット面積率 DOP 、ピット直径、及び、元厚に依存する明確な傾向が見られることから、Paik らの提案した評価式(式(1))を参考にして、円錐形の腐食ピットが発生している鋼板の引張強度評価式として、新たに下式を考案した。

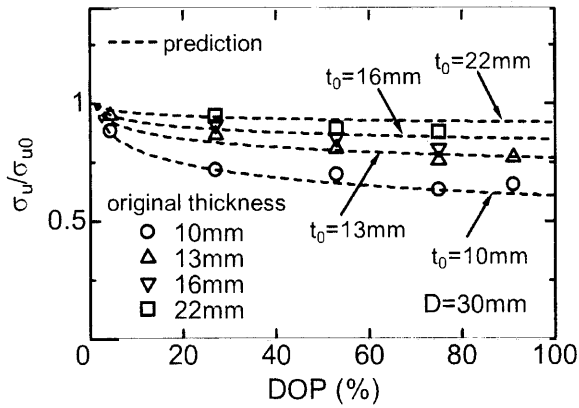


Fig. 2 Relationship between nominal tensile strength and DOP ($t_0=10, 13, 16, 22\text{mm}$, $D=30\text{mm}$)

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_{u0}} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } DOP \leq 1 \\ 1.0 - A \left(\frac{D}{t_0}\right)^2 \ln(DOP) & \text{for } DOP > 1 \end{cases} \quad (2)$$

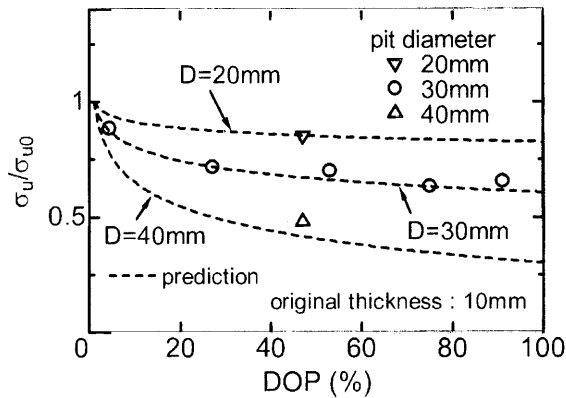
ここで、 A 及び D はそれぞれ定数及びピット直径(mm)である。上式で、公称引張強度の D 、 DOP 及び t_0 に対する依存性を表す項(右辺第二項)は、小型引張試験片の実験データを精査した結果から、ベストフィットするパラメータとして決定した。従って、本評価式は小型試験片を用いた引張試験の結果に基づく経験式である。また、板厚一定の場合、引張強度は板厚に比例すると考えられることから、引張強度に対する等価板厚 t_e/t_0 と σ_u/σ_{u0} の間には、下式が成立する。

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_{u0}} = \frac{t_e}{t_0} \quad (3)$$

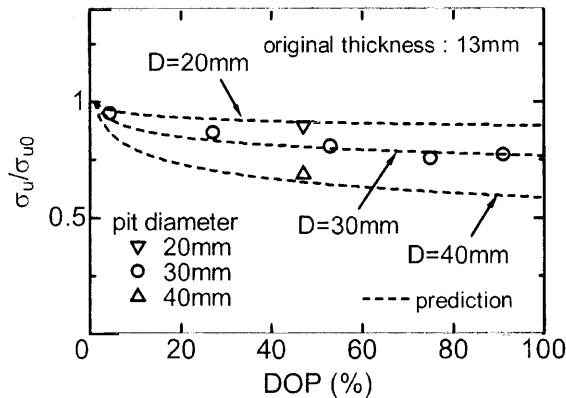
従って、式(2)は下式のように書き直すことができる。

$$\frac{t_e}{t_0} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } DOP \leq 1 \\ 1.0 - A \left(\frac{D}{t_0}\right)^2 \ln(DOP) & \text{for } DOP > 1 \end{cases} \quad (4)$$

実際の検査などにおいて、腐食ピットの直径 D とピット



(a) $t_0=10\text{mm}$



(b) $t_0=13\text{mm}$

Fig. 3 Relationship between nominal tensile strength and DOP ($t_0=10, 13\text{mm}$)

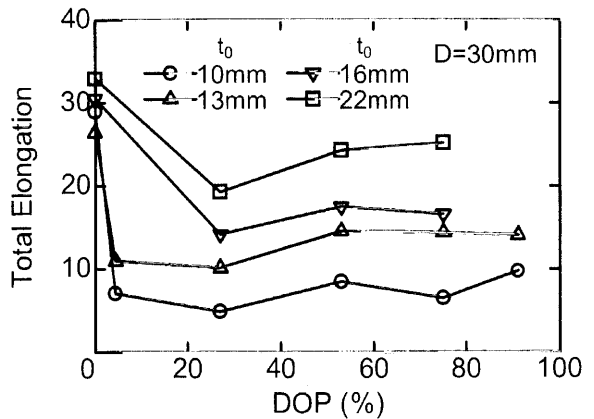


Fig. 4 Relationship between total elongation and DOP ($D=30\text{mm}$)

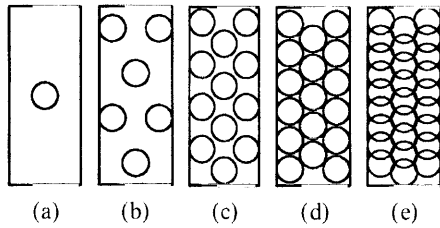


Fig. 5 Pit distribution in small tensile test specimens ($t_0=5, 6\text{mm}, D=20\text{mm}$)

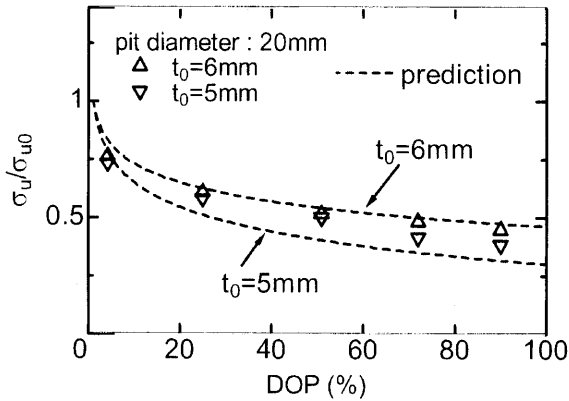


Fig. 6 Relationship between nominal tensile strength and DOP ($t_0=5, 6\text{mm}, D=20\text{mm}$)

面積率 DOP が分かれば、等価板厚 t_e を求めることができる。等価板厚と元厚との差 t_0-t_e を考えれば、一樣衰耗の場合の許容衰耗量との直接的な比較が可能である。 A の値については、前章で述べた小型引張試験片を用いた引張試験結果をもとに 9.5×10^3 とした。

3.3 引張強度評価式の適用

Fig.2 及び Fig.3 の小型引張試験の結果に、式(2)による公称引張強度の予測結果を合わせてプロットした。Fig.2 から分かるように、本評価式により、ピット直径が一定で 30mm の場合、各板厚の公称強度の低下傾向を非常に良く表現できていることが分かる。また、Fig.3 から分かるように、板厚一定で、ピット直径を 20, 30 及び 40mm に変化させた場合についても、公称強度の低下傾向を非常に良く表現できている。

さらに、上記以外で過去に実施した模擬腐食ピット (直径 20mm, 直径:深さ=8:1) を設けた小型試験片 (板厚 5 あるいは 6mm, 幅 55mm, G.L.: 135mm) を用いた引張試験結果に上記の評価式の適用を試みる。実験結果の詳細については、文献[10]を参照されたい。Fig.5 に幅 55mm \times G.L.135mm の領域に設けた模擬腐食ピットの分布を示す。また、Fig.6 に、公称引張強度とピット面積率の関係を示す。この図には、各板厚における引張強度評価式による公称引張強度の予測結果を合わせてプロットしてある。この図において、実験結果と評価式の比較から分かるように、小型試験片の引張強度を良い精度で予測可能である。

以上のことから、本引張強度評価式は、小型試験片レ

Table 1 Mechanical properties of tested steel for wide tensile test specimens

t (mm)	Y.P. (MPa)	T.S. (MPa)	El. (%)
6	389	557	37

ベルの引張強度に及ぼす円錐形の腐食ピットの影響を精度良く評価可能であることが分かる。

4. 幅広試験片を用いた引張試験

本章では、前章で小型試験片を用いた引張試験の結果をもとに提案した腐食ピットが発生している部材の引張強度評価式の適用性を検討するために実施した幅広試験片を用いた引張試験の方法及び結果について述べる。

4.1 供試材

供試材は YP32 鋼であり、板厚 6mm の板材を用いた。その機械的性質を Table 1 に示す。この表から分かるように、降伏点は 389MPa、引張強さは 557MPa であり、破断伸びは 37%である。

4.2 幅広引張試験片

幅広引張試験片は、幅 225mm、標点間距離 300mm であり、上記の板厚 6mm の鋼板から切り出した。なお、板厚は 6mm から 5mm に減厚加工した。本試験片は、板厚 10mm、深さ 450mm の倉内肋骨ウェブを想定し、その 2 分の 1 スケールとしたものである。模擬腐食ピットを設けた試験片の寸法効果については、角ら^[6]によって検討されており、相似な縮尺試験片で得られた結果では、2 分の 1、4 分の 1 スケールにおいても寸法効果の影響はほとんど見られないことが確認されている。試験片の両面には、ドリル加工により模擬腐食ピットを設けた。実際の大型ばら積み貨物船の倉内肋骨に発生していた腐食ピットの観察結果^{[2][9]}をもとに、ピット直径は 10, 15 あるいは 20mm の 3 種類とし、ピット形状は直径と深さの比が 8:1 の円錐形とした。本試験片は 2 分の 1 スケールであることを考えると、板厚 10mm の部材に直径 20, 30 あるいは 40mm の腐食ピットが発生している部材を模擬したものであると言える。

4.3 ピット分布

幅広試験片におけるピット加工領域は標点間中央部の幅 225mm \times 長さ 225mm の領域である。このピット加工領域における各試験片におけるピット分布を Fig.7~9 に示す。ピット分布の種類は大きく分けると以下の 5 種類である。

Type A: Fig.7(a),(b)に示すように、ピットを格子状に試験片の両面の同じ位置に配置し、全てのピットの直径を同じにしたもの。

Type B: Fig.7(c),(d)に示すように、ピットを格子状に配置するとともに、正方形をなす 4 つの格子点の中

間部にもピットを配置したもの。試験片の両面の同じ位置に配置し、全てのピットの直径を同じにしている。

Type C: Fig.8(a),(b)に示すように、ピットを格子状に配置したもの。試験片の両面でピットの位置は異なる。全てのピットの直径を同じにしている。

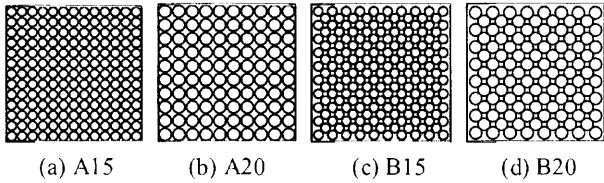


Fig. 7 Pit distribution in wide tensile test specimens (Type A, Type B)

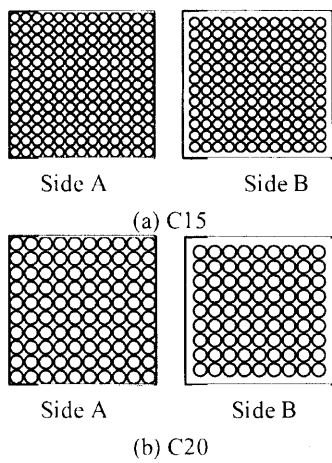


Fig. 8 Pit distribution in wide tensile test specimens (Type C)

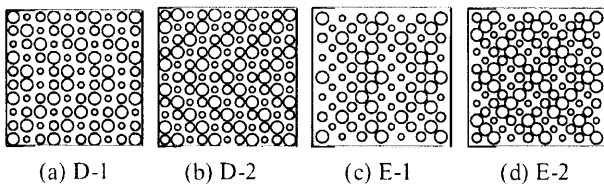


Fig. 9 Pit distribution in wide tensile test specimens (Type D, Type E)

Type D: Fig.9(a),(b)に示すように、ピットを格子状に試験片の両面の同じ位置に同じ直径のピットを配置し、3種類の直径のピットを混在させたもの。

Type E: Fig.9(c),(d)に示すように、ピットを格子状に配置するとともに、正方形をなす4つの格子点の中間点にもピットを配置したもの。試験片の両面の同じ位置に同じ直径のピットを配置し、3種類の直径のピットを混在させている。

Table 2の試験片一覧に各試験片のピット分布タイプ、ピット面積率、平均衰耗量及び荷重軸に垂直な最小断面における平均衰耗量をまとめて示す。ここで、ピット面積率及び平均衰耗量はピット加工領域(幅225mm×長さ225mm)における値である。

4.4 破壊挙動

破断後の試験片の代表例を Fig.10 に示す。破壊のタイプは大きく分けて、1)荷重軸に垂直な断面の中で最小断面積を持つ断面で破断するタイプ、2)複数の大きなピットでき裂が発生しそのき裂が合体することによって破断するタイプ、の2つがある。上記の1)に分類される試験片の破断後の写真の例を Fig.10(a)~(c)に示す。また、上記の2)に分類される試験片の破断後の写真の例を Fig.10(d)~(f)に示す。破壊のタイプが上記の1)と2)のどちらになるかは、両面に存在するピットの位置関係や大きなピットの位置間隔などに依存するものと考えられる。それぞれの試験片における破壊タイプを Table 2 にまとめて示す。

4.5 引張強度に及ぼす腐食ピットの影響

幅広試験片を用いた引張試験結果を公称引張強度とピット面積率の関係で Fig.11 に示す。両面のピット面積率が異なる試験片があるが、その場合は両面の平均値とした。この図には、前章で提案した強度評価式により得られるラインについても合わせてプロットしている。この図から、ピット面積率が異なるので単純な比較はできないが、ピット直径が同じデータを比較した場合、Type Cの公称引張強度は、Type AやBよりも大きくなる傾向が見られる。これは、Type Cでは、両面の同じ位置にピットが存在せず、最小断面積が Type AやBよりも大き

Table 2 Wide tensile test specimens

No.	pit distribution type	t ₀ mm	W mm	pit diameter mm	DOP %			thickness* Ave. mm	thickness** min. mm	fracture Type***
					side A	side B	Ave.			
A15	A	5	225	15	59	59	59	4.26	3.38	M
A20	A	5	225	20	62	62	62	3.97	2.78	M
B15	B	5	225	15	63	63	63	4.21	3.75	M
B20	B	5	225	20	70	70	70	3.83	3.22	C
C15	C	5	225	15	59	50	55	4.32	4.19	M
C20	C	5	225	20	62	50	56	4.06	3.89	M
D-1	D	5	225	10, 15, 20	38	38	38	4.46	3.57	M
D-2	D	5	225	10, 15, 20	46	46	46	4.35	3.44	C
E-1	E	5	225	10, 15, 20	32	32	32	4.54	3.97	C
E-2	E	5	225	10, 15, 20	43	43	43	4.38	3.85	C

*average thickness of the whole pitted region

**average thickness at the minimum cross section

***M : Fracture occurred at the minimum cross section., C : Cracks at the large pits coalesced to fracture

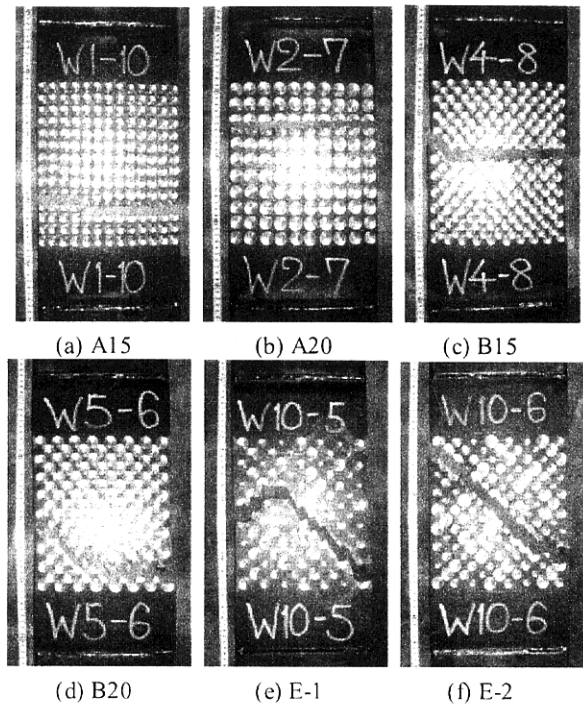


Fig. 10 Wide tensile test specimens after test ($t_0=5\text{mm}$)

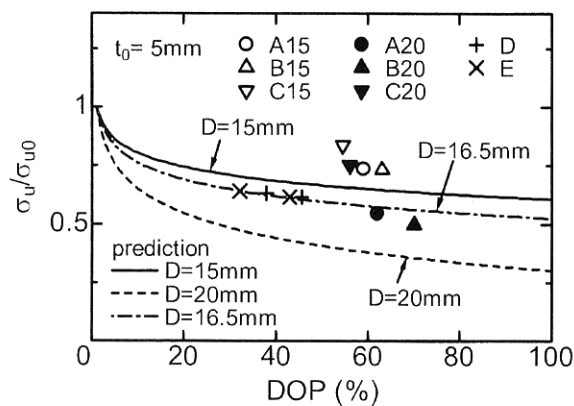


Fig. 11 Relationship between nominal tensile strength and DOP in wide tensile test specimens ($t_0=5\text{mm}$)

いためと考えられる。

Fig.12 に、公称引張強度と荷重軸に垂直な最小断面における平均衰耗量の関係を示す。図中の破線は、荷重軸に垂直な最小断面積 A_{min} の模擬腐食ピットを設ける前の断面積 A_0 に対する比 A_{min}/A_0 の値をプロットした。破線の下側に位置する実験データがあるが、これは、[荷重軸に垂直な最小断面積 A_{min}] × [材料の引張強さ σ_{u0}] で最大荷重を予測すると危険側となることを意味する。この原因は、前述のように、荷重軸に垂直な最小断面で破断が生じず、大きなピットで発生したき裂が合体して破断に至る場合があるためである。

4.6 破断伸びに及ぼす腐食ピットの影響

幅広試験片を用いた引張試験で得られた標点間の破断伸びとピット面積率の関係を Fig.13 に示す。この図か

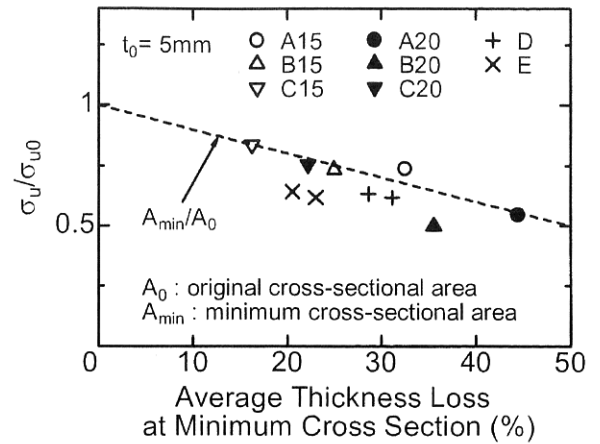


Fig. 12 Relationship between nominal tensile strength and average thickness loss at minimum cross section

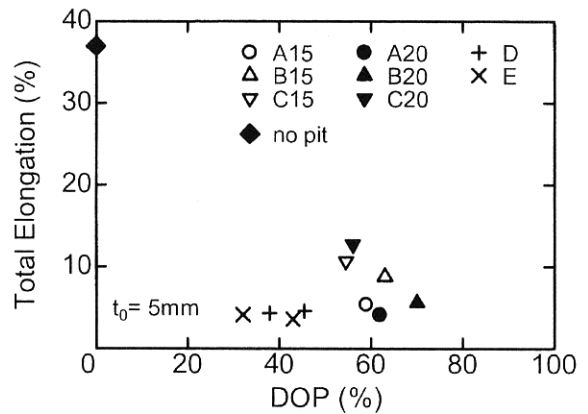


Fig. 13 Relationship between total elongation and DOP in wide tensile test specimens

ら、3種類の直径のピットが混在するピット分布 Type D、E の場合、特に標点間の破断伸びが小さくなっていることが分かる。また、ピット分布 Type C よりも、Type A 及び B の方が、標点間の破断伸びが小さい傾向があることが分かる。これは、Type C では、両面の同じ位置にピットが存在しないので、ひずみ集中が小さいが、Type A 及び B では両面の同じ位置にピットが存在するので、その位置でのひずみ集中が大きく全体としての変形量は小さくなるためと考えられる。

5. 幅広試験片の引張強度評価

本章では、前章で説明した模擬腐食ピットを設けた幅広試験片を用いた引張試験結果及び過去に実施した幅広試験片を用いた引張試験結果を、第3章で提案した評価式により評価した結果について述べる。

Fig.11 の前章で説明した幅広試験片を用いた引張試験結果に、腐食ピットが発生している部材の引張強度評価式を合わせてプロットした。この図において、白抜きシンボル (○△▽、実験結果) と実線 (評価式) の比較、黒塗りシンボル (●▲▼、実験結果) と破線 (評価式)

の比較から分かるように、ピット直径が一定の場合には、実験データが評価式のラインの上側にきており、本評価式により安全側の評価が可能である。

異なる直径のピットが混在する場合 (×+)、その平均直径はいずれの試験片でもその平均直径は約 15mm である。その実験データは、評価式で直径 D=15mm とした場合のライン (実線) よりもわずかに下側にきており、異なる直径のピットが混在する場合の平均直径を用いた本評価式による評価は若干危険側となることが分かる。この場合、ピット直径の最大値は 20mm であるが、評価式で直径 D=20mm とした場合のライン (破線) の上側にきており、ピット直径を最大値で評価すると安全側の評価となることが分かる。また、式(2)中のピット直径 D を異なる直径のピットが混在する場合のピットの等価直径 D_e と置き換えて変形した下式から計算されるピットの等価直径 D_e は、約 16.5mm である。

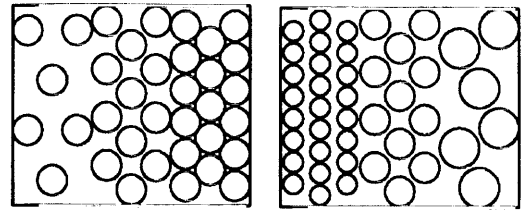
$$D_e = t_0 \sqrt{\frac{\sigma_{n0} - \sigma_u}{A\sigma_{u0} \ln(DOP)}} \quad \text{for } DOP > 1 \quad (5)$$

これは、最大ピット直径 (20mm) の約 83% に対応する。Fig.11 中に D=16.5mm とした場合の評価式のラインを示すが、異なる直径のピットが混在する場合 (×+) のデータと良く一致している。

さらに、過去に実施した模擬腐食ピット (直径 20, 30 あるいは 40mm, 直径:深さ=8:1) を設けた幅広試験片 (板厚 10mm, 幅 240mm, G.L.: 400mm) を用いた引張試験結果に上記の評価式の適用を試みる。実験結果の詳細については、文献[2],[4]を参照されたい。Fig.14 に試験片の幅 240mm×長さ 200mm の領域に設けた模擬腐食ピットの分布例を示す。また、Fig.15 に、公称引張強度とピット面積率の関係を示す。この図には、引張強度評価式による公称引張強度の予測結果を合わせてプロットしてある。この図において、黒塗りシンボル (●、実験結果) と実線 (評価式) の比較から分かるように、ピット直径が一定の場合には実験データが評価式の上側にきており、本評価式により安全側の評価が可能である。

異なる直径のピットが混在する場合 (○)、その平均直径はいずれの試験片でもその平均直径は約 25.6mm である。その実験データは、評価式で直径 D=25.6mm とした場合のライン (破線) よりも下側にきており、平均直径を用いた本評価式による評価は危険側となることが分かる。また、この場合、ピット直径の最大値は 40mm であるが、評価式で直径 D=40mm とした場合のライン (一点鎖線) の上側にきており、ピット直径を最大値で評価すると安全側の評価となることが分かる。なお、この場合、式(5)から計算されるピットの等価直径は 30~32mm である。これは、最大ピット直径 (40mm) の 75~80% に対応する。

以上のことから、小型引張試験片を用いた引張試験結



(a) D=30mm (b) D=20, 30, 40mm

Fig. 14 Examples of pit distribution in wide tensile test specimens ($t_0=10\text{mm}$)

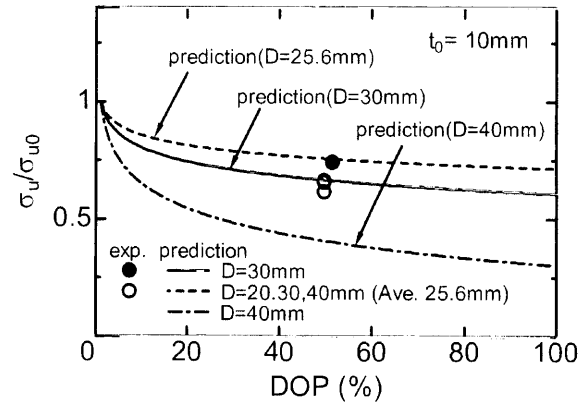


Fig. 15 Relationship between nominal tensile strength and DOP in wide tensile test specimens ($t_0=10\text{mm}$)

果をもとに提案した腐食ピットが発生している部材の引張強度評価式によって、幅広試験片の引張強度も安全側の評価が可能であることが分かった。実際の部材では、異なる直径のピットがランダムに分布すると考えられる。そのような場合に、本評価式を適用するには、評価式中の D の値 (ピット直径) をどうとればよいか、今後、さらに検討していく必要がある。

6. 結 言

本研究は、石炭と鉄鉱石を運搬するばら積み貨物船の円錐形の腐食ピットが発生している構造部材の局部強度の評価法確立を目的として実施している。本報では、円錐形の模擬腐食ピットを設けた小型試験片を用いた引張試験結果に基づき、式(2)で表される引張強度評価式を提案した。本評価式は、検査の際の利便性を考慮し、引張強度をピット面積率、ピット直径及び部材の腐食前の板厚の関数で表したものである。

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_{n0}} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } DOP \leq 1 \\ 1.0 - A \left(\frac{D}{t_0} \right)^2 \ln(DOP) & \text{for } DOP > 1 \end{cases} \quad (2)$$

本評価式により、模擬腐食ピットを設けた小型引張試験片を用いた引張試験結果における公称引張強度を良い精度で予測可能である。また、ピット直径が一定の場

合には、倉内肋骨ウェブと同様な幅厚比を有する幅広試験片の引張強度についても、本評価式によって、安全側の評価が可能である。

なお、本評価式は、模擬腐食ピットを規則的に分布させた小型試験片を用いた引張試験結果に基づいたものである。実部材においては、異なる直径の腐食ピットがランダムに分布する。このことを考えると、実際の腐食ピットの発生状況と残存強度の関係を考慮した合理的な切替え基準検討のための基礎データとするには、実部材のように異なる直径のピットがランダムに分布する場合に、評価式中の D (ピット直径) の値をどうとればよいか、今後、さらに検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 藤久保昌彦：最終強度に関する研究動向，TECHNO MARINE 日本造船学会誌，第882号(2004)，pp.743-746
- 2) T. Nakai, H. Matsushita, N. Yamamoto and H. Arai : Effect of pitting corrosion on local strength of hold frames of bulk carriers (1st report), Marine Structures, 17(2004), pp.403-432
- 3) 松下久雄，中井達郎，山本規雄，荒井宏範：船体構造部材の静的強度に及ぼす腐食の影響（第1報）－実部材での腐食ピット影響調査－，日本造船学会論文集，第192号(2002)，pp.357-365
- 4) 中井達郎，松下久雄，山本規雄，荒井宏範：船体構造部材の静的強度に及ぼす腐食の影響（第2報）－人工ピット材を用いた強度調査－，日本造船学会論文集，第195号(2004)，pp.221-231
- 5) T. Nakai, H. Matsushita and N. Yamamoto : Pitting corrosion and its influence on local strength of hull structural members, Proceedings of 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, ASME, OMAE2005-67025 (2005)
- 6) T. Nakai, H. Matsushita and N. Yamamoto : Effect of pitting corrosion on local strength of hold frames of bulk carriers (2nd report) -Lateral-distortional buckling and local face buckling, Marine Structures, 17(2004), pp.612-641
- 7) 中井達郎，松下久雄，山本規雄：船体構造部材の静的強度に及ぼす腐食の影響（第3報）－模擬腐食ピットを有する構造モデルを用いた4点曲げ試験－，日本造船学会論文集，第195号(2004)，pp.233-242
- 8) 中井達郎，松下久雄，山本規雄：船体構造部材の静的強度に及ぼす腐食の影響（第4報）－横倒れ座屈強度に及ぼす腐食ピットの影響－，日本造船学会論文集，第196号(2004)，pp.151-159
- 9) 中井達郎，松下久雄，山本規雄：船体構造部材の静的強度に及ぼす腐食の影響（第5報）－局部座屈強度に及ぼす腐食ピットの影響－，日本造船学会論文集，第196号(2004)，pp.161-168
- 10) 中井達郎，松下久雄，山本規雄：船体構造部材の静的強度に及ぼす腐食の影響（第6報）－ウェブのせん断強度に及ぼす腐食ピットの影響－，日本船舶海洋工学会論文集，第1号(2005)，pp.159-167
- 11) 中井達郎，松下久雄，山本規雄：船体構造部材の静的強度に及ぼす腐食の影響（第7報）－圧縮最終強度，せん断最終強度に及ぼす腐食ピットの影響－，日本船舶海洋工学会論文集，第1号(2005)，pp.169-179
- 12) T. Nakai, H. Matsushita and N. Yamamoto : Effect of pitting corrosion on ultimate strength of steel plates subjected to in-plane compression and bending, Journal of Marine Science and Technology, accepted for publication
- 13) IACS, Unified Requirements S-31, Rev.2, 2004
- 14) J. K. Paik, J. M. Lee and M. J. Ko : Ultimate compressive strength of plate elements with pit corrosion wastage, Journal of Engineering for the Maritime Environment, 217, M4(2004), pp.185-200
- 15) J. K. Paik, J. M. Lee and M. J. Ko : Ultimate shear strength of plate elements with pit corrosion wastage, Thin-Walled Structures, 42 (2004), pp.1161-1176
- 16) 角洋（研究代表者），腐食鋼板の表面形状と応力・強度・変形能の関係に関する研究（研究課題番号14350519），科学研究費補助金（基盤研究(B)(2)）研究成果報告書，(2005)