

## 炭素鋼 S 45 C 焼なまし材の腐食ピットの 発生・成長挙動に及ぼす流速および応力振幅の影響\*

石原 外美<sup>\*1</sup>, 塩沢 和章<sup>\*1</sup>  
宮尾 嘉寿<sup>\*1</sup>, 井上 正人<sup>\*2</sup>

### Effects of Fluid Flow Rate and Stress Amplitude on the Initiation and Growth Behavior of Corrosion Pits on an Annealed Carbon Steel

Sotomi ISHIHARA, Kazuaki SHIOZAWA,  
Kazyu MIYAO and Masato INOUE

In order to clarify the effects of the fluid flow rate and stress amplitude on the the initiation and growth behavior of corrosion pits, round, smooth specimens were rotated with various speeds in sodium chloride aqueous solution. The results are summarized as follows: [1] The pit growth behaviors were prescribed by Eq. (1), regardless of fluid flow rates and stress amplitudes. [2] The pit initiation time decreases with increase of the fluid flow rate and stress amplitude. [3] For small pits whose sizes are about 0.03 mm, the pit growth rates increase with the fluid flow rate, while the growth rates for pits above 0.08 mm are independent of the fluid flow rate and smaller than those of 0.03 mm. The pit growth rate in the case of 100 MPa is 5~10 times larger than those of nonstressing.

**Key Words:** Corrosion Fatigue, Corrosion Pit, Pit Initiation, Pit Growth, Carbon Steel, Fluid Flow Rate, Stress Amplitude

#### 1. 緒 言

腐食疲労では、寿命の初期に腐食ピットが発生、成長し、これらのピットからき裂が発生、進展することによって試験片の最終破壊を生じることが知られている。したがって、腐食疲労では負荷される応力振幅がかなり小さくても腐食ピットからき裂が発生、進展することから、最終的に疲労限度が消失する。

したがって、腐食ピットの発生・成長特性を明らかにすることは腐食疲労機構を明確にするために欠くことのできない重要な研究であると考えられる。しかしながら、腐食疲労に関するこれまでの多くの研究はき裂の発生・進展挙動に注目して行われてきた<sup>(1)~(6)</sup>。腐食ピットに関する研究は、近年注目され二、三の研究結果<sup>(7)~(9)</sup>が報告されているが、その一般的特性、例えば腐食ピット発生・成長特性に応力振幅依存性があるか否か、また、その流速依存性に関しては十分明確になってはいないと思われる。

本研究では、炭素鋼 S 45 C 焼なまし材を用いて 3% 食塩水中にて腐食実験を行い、腐食ピットの発

生・成長特性を詳細に調査し、その場合の流速の影響ならびに応力振幅の影響を明らかにすることを目的とした。

#### 2. 試験片および実験方法

**2.1 試験片** 用いた試験片素材は市販の機械構造用炭素鋼 S 45 C であり、その化学成分および熱処理後の機械的性質をそれぞれ表 1 および表 2 に示す。試験片は、素材を 1173 K で 1 h の焼なましを行った後、図 1 の試験片形状まで機械加工し、エメリー紙で # 2000 まで試験片表面を研磨後、923 K で 1 h の真空焼なましを行った。その後電解研磨により試験片表面を約 20 μm 除去後実験に供した。

**2.2 実験方法** 実験はすべて試験片が腐食液中

表 1 供試材の化学成分 (wt %)

C	Mn	Si	P	S
0.46	0.81	0.23	0.022	0.018

表 2 供試材の機械的性質

Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
317	624	48.7

\* 原稿受付 平成 3 年 1 月 7 日。

<sup>\*1</sup> 正員、富山大学工学部 (〒930 富山市五福 3190)。

<sup>\*2</sup> 准員、日本電装(株) (〒448 刈谷市昭和町 1-1)。

で浸漬状態にあるようにして行った。用いた腐食液は、液温 298 K ± 0.5 K 一定に制御された 6 L の 3% 食塩水であり、定量ポンプにより試験部と腐食槽の間を循環させた。実験中、合成樹脂製ポンプにより水中に空気を送り、水溶液中の溶存酸素量が常に飽和している条件で実験を行った。なお腐食液は 1 日ごとに新しい液と交換している。

腐食ピットの発生、成長挙動に及ぼす腐食液の流速の影響は、インバータにより試験片を回転させるモータの回転速度を  $f=0, 200, 2000$  rpm の 3 種類に変化させることにより調査した。この場合、試験片表面上の腐食液の流速  $v$  は、 $r$  を試験片半径として  $v=(2\pi rf)/60$  で与えられ、それぞれ  $v=0, 126, 1257$  mm/s となる。

腐食挙動はばらつきが大きいことが予想されたため、同一実験条件で、3 本の試験片を用いて 8 個の腐食ピットの発生・成長挙動を調査した。腐食ピットの連続観察は主としてレプリカ法によって行った。予備

実験によりレプリカ採取のピット発生・成長挙動に及ぼす影響を検討し、その影響が小さくなるようレプリカ採取時期、回数を工夫した。なお、腐食生成物等のスケールの発生がレプリカによる測定に影響を与えないように適宜ブランクレプリカを採取した。互いに直交する 2 方向の腐食ピットの表面長さの変化を、光学顕微鏡に取付けた読取り測微計により約 100~200 倍で測定した。また、腐食ピット深さは合焦点法により測定を行った。図 2 は腐食ピットの測定箇所を示したものである。応力の負荷実験は、容量 98 N·m の小野式回転曲げ疲労試験機を用いて行った。

### 3. 実験結果

**3.1 腐食ピット発生・成長挙動** 腐食疲労過程の試験片表面の連続観察を行い、腐食ピットの発生、成長挙動を調査した。図 3 に、一例として  $\sigma=100$  MPa で、試験片の回転速度  $f=2000$  rpm におけるピットの成長挙動を示す。これらの写真より、時間の進行とともに腐食ピット寸法は徐々に増加し、また形状そのものもいくぶん変化することがわかる。またピットのいくつかは一定時間後その成長を停止した。

図 4 は、腐食ピットの試験片表面における長さ  $2c$  とピット深さ  $d_p$  の時間 (h) の経過に伴う変化を両対数グラフ上に示したもので、一例として  $\sigma=0$  MPa、繰返し速度  $f=0$  rpm および 2000 rpm の結果を示したものである。図よりわかるように、ピットの大きさ  $2c$ 、 $d_p$  と時間  $t$  の間には両対数グラフ上でほぼ直線関係が存在し、次式が成立する。

$$2c = (2c)_0 (t/t_{ic})^{A_c}$$

$$d_p = d_0 (t/t_{ip})^{A_p}$$

..... (1)

ここで、 $t_{ic}$  および  $t_{ip}$  はそれぞれ  $2c=(2c)_0$ 、 $d_p=d_0$  なる寸法を有する腐食ピットの発生時間である。また、 $A_c$  および  $A_p$  は定数である。この関係は、応力を負荷した場合にも共通して成立した。

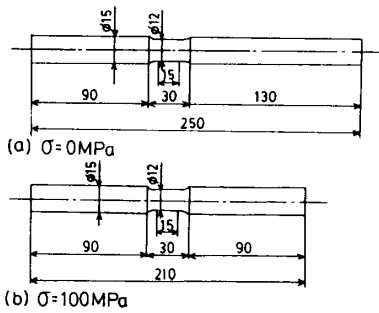


図 1 試験片形状および寸法

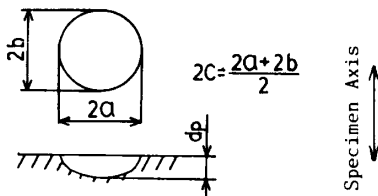


図 2 腐食ピットの測定箇所

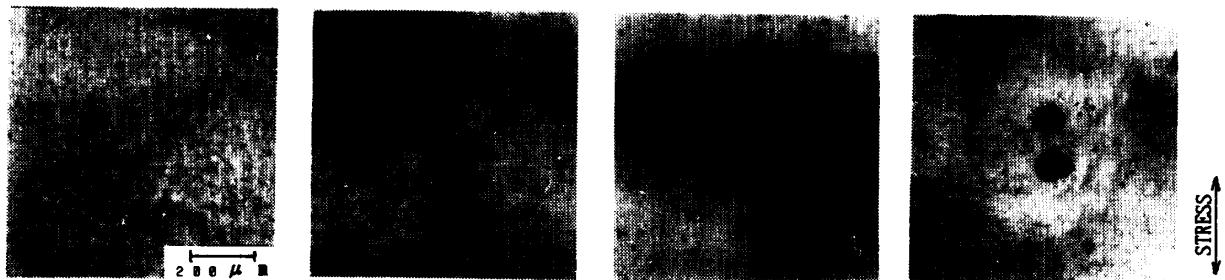


図 3 腐食ピットの成長挙動 ( $\sigma=100$  MPa,  $f=2000$  rpm)

式(1)の腐食ピットの成長則は、これまでに多くの材料で成立する<sup>(7)(8)</sup>ことが報告されているが、腐食液の流速が変化しても、腐食ピットの成長則は式(1)で表現できることがわかる。

3.2 腐食ピット発生時間  $t_i$ ,  $t_p$  および定数  $A_i$  および  $A_p$  の確率分布 図4の腐食ピット成長挙動を、

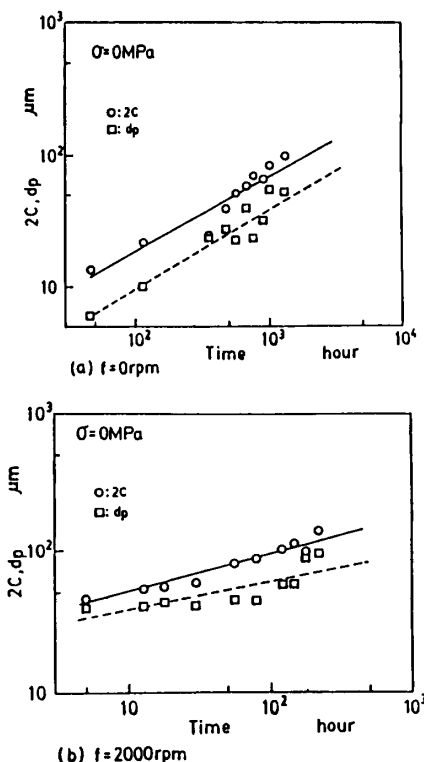


図4 腐食ピットの成長挙動 ( $\sigma=0$  MPa)

式(1)で近似することにより、腐食ピット発生時間  $t_{ic}$  および  $t_{ip}$  および定数  $A_c$  および  $A_p$  が決定できる。ここでは、腐食ピット発生時間  $t_{ic}$  および  $t_{ip}$  を、 $d_0$  および  $(2c)_0$  が  $30 \mu\text{m}$  の時点と定義した。

一例として同一条件で観察された8個の腐食ピットの成長挙動から得られた  $t_{ic}$  の分布をワイブル確率紙上にプロットした結果を図5に示す。まず(a)図の無負荷時の結果より、腐食液の流速の増加に伴って  $t_{ic}$  は減少することがわかる。このような傾向は(b)図の応力を負荷した場合の実験でも認められる。図中の破線および一点鎖線で示される無負荷の実験と比較して、応力負荷により  $t_{ic}$  はさらに減少することがわかる。以上の結果は  $t_{ip}$  についても共通して観察された。

図6は  $A_c$  の確率分布をワイブル確率紙上にプロットした結果である。(a)図の  $\sigma=0$  MPa では、腐食液の流速の増加に伴って  $A_c$  が小さくなる傾向が認められる。しかしながら、(b)図の  $\sigma=100$  MPa では、そのような傾向は明確に現れていない。図中の破線および一点鎖線は  $\sigma=0$  MPa における結果を示したものであるが、応力の存在によって  $A_c$  値は若干大きくなる傾向が認められる。図は省くが、以上の  $A_c$  に関する実験傾向は  $A_p$  についても共通して観察された。

3.3 腐食ピット形状 図7に腐食ピットの深さ  $d_p$  と表面長さの半長  $c$  の比  $d_p/c$  の  $2c$  に伴う変化を示す。図中には  $\sigma=0$  MPa と  $\sigma=100$  MPa の実験結果、さらには2種類の試験片回転速度  $f=0$  rpm, 2000 rpm の実験結果が併せてプロットしてある。図より、

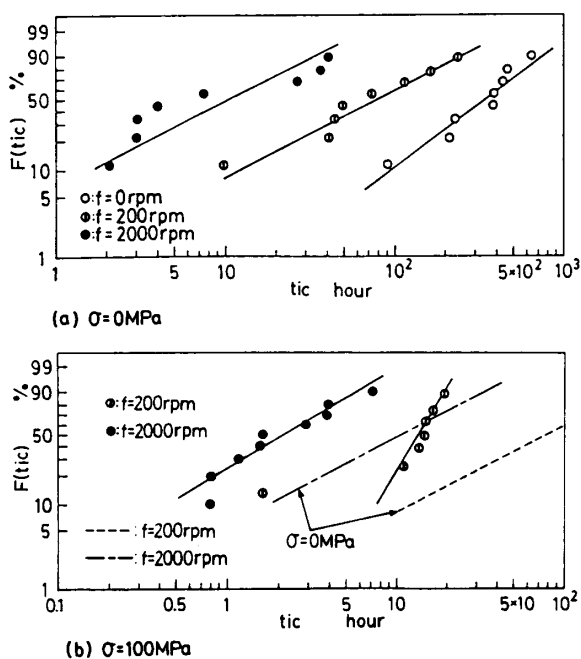


図5 腐食ピット発生時間  $t_{ic}$  の確率分布

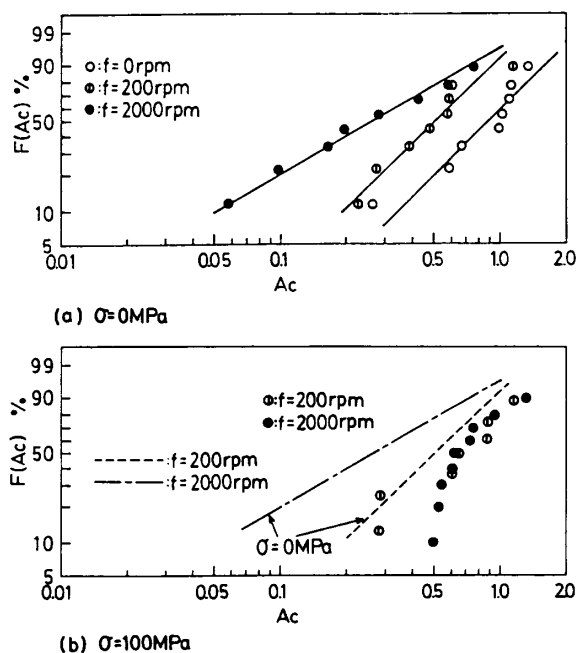


図6  $A_c$  の確率分布

$d_p/c-2c$  関係には  $f=0$  rpm, 2000 rpm の試験片回転速度による有意差が認められないことから、ピット形状には腐食液の流速の影響が現れないことがわかる。また、応力振幅 0 MPa と 100 MPa における  $d_p/c-2c$  関係を比較すると、両者には明確な差異は認められず、ピット形状には応力振幅依存性が存在しないことがわかる。

次に、 $d_p/c$  の  $2c$  依存性についてみる。 $2c$  がほぼ 100  $\mu\text{m}$  以下の微小ピットでは、アスペクト比  $d_p/c$  は 1 以上の値をとり、半球よりは深さ方向に深いピット形態をとることがわかる。しかし、 $2c$  が約 100  $\mu\text{m}$  以上では、 $d_p/c$  はほぼ 1 に漸近し半球上のピット形態をとることがわかる。

増田ら<sup>(10)</sup> は 3% 食塩水中における SUS 403 鋼の腐食ピットの形状を調査し、 $2c$  が 100  $\mu\text{m}$  以上では  $d_p/c$  はほぼ 1 であることを報告しており、本研究結果と一致している。

4. 考 察

4.1 腐食ピットの発生時間に及ぼす流速ならびに応力振幅の影響 図5の腐食ピット発生時間  $t_{ic}$  の分布、また図は割愛したが  $t_{ip}$  の分布形より、これらの各値の確率分布の代表値として、累積確率 50% における値  $t_{ic50}$  および  $t_{ip50}$  を求め、その流速および応力振幅依存性を検討した。結果を図8に示す。横軸には、流速零の結果もプロットするために  $v+1$  をとっている。

図中\*印の付してある実験点は  $t_{ip50}$  に対応している。図よりわかるように、 $t_{ic50}$  と  $t_{ip50}$  には明確な差異は認められないことから、以後両者を区別せずまとめて  $t_{i50}$  と呼ぶことにする。

図8よりわかるように、 $\sigma=0$  MPa の無負荷時では、

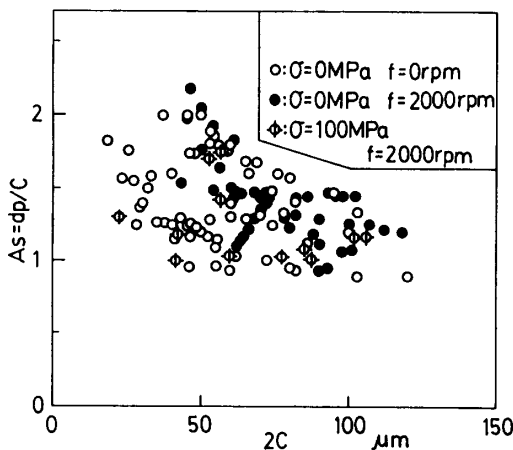


図7 腐食ピットの形状比  $d_p/c$  と  $2c$  の関係

$t_{i50}$  と流速 ( $v+1$ ) の間には両対数グラフ上で右下がりの直線関係にあることから、本実験範囲で次式の関係がある。

$$t_{i50} = B(v+1)^{-c} \dots\dots\dots (2)$$

式(2)中の  $B$  および  $c$  の値は図中に示すとおりである。

水溶液中の腐食反応として、酸素消費形腐食と水素発生形腐食が存在し、本実験の食塩水等の中性腐食環境では酸素消費形の腐食が生じることが知られている<sup>(11)</sup>。この場合の腐食反応に及ぼす流速の影響として以下のことが考えられる。すなわち回転する試験片表面には付着して動かない水の薄層が存在し、この厚さが流速の増加によって薄くなり、薄層を通して行われる酸素の拡散が容易になることが<sup>(12)</sup> 予想される。したがって、流速の増加に伴う腐食ピット発生時間の減少は、上記拡散による腐食部への溶存酸素の供給促進によって腐食反応が活発になり、腐食ピット形成が促進されたためと考えられる。

増田ら<sup>(10)</sup> は SUS 403 鋼を用いて 3% 食塩水中にて片持回転曲げ実験を行い、応力繰返し速度 30 Hz のピット発生が 0.03~3 Hz におけるよりも早まることを報告しており、本実験の傾向と対応する結果を得ている。

次に、無負荷時と応力負荷時の結果を比較する。中流速域 126 mm/s において、 $\sigma=100$  MPa の腐食ピット発生時間は無負荷時のその約 1/7 程度に、また高流速域 1257 mm/s では、 $\sigma=100$  MPa の腐食ピット発生時間は無負荷時のその約 1/10 程度に減少していることから、応力負荷により腐食ピット発生時間が早まることがわかる。

これまでに腐食反応に及ぼす応力の影響として、次の事柄が明らかとなっている。すなわち、金属が繰返し応力を受けると局部的に塑性変形を生じる。Gough と Sopwith<sup>(13)</sup> は腐食がこのようなすべり運動中のす

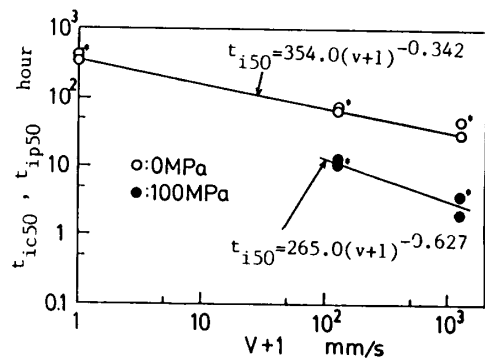


図8 腐食ピット発生時間の流速および応力振幅依存性

べり帯上に優先的に作用することを報告している。したがって、応力作用下では、すべり部が核となって腐食反応が活発となり無負荷時に比較して腐食ピット生成が早まることが期待される。さらに、水溶液中の腐食反応では溶解面で皮膜が生成し、腐食ピットの不動態化が生じることが知られている。この場合の応力の影響として、すべり変形により保護皮膜の強度を弱体化させたり、破壊させたりすることにより、腐食反応を活発化および継続させることが考えられる。

**4.2 腐食ピット成長則における定数値  $A_c$  に及ぼす流速および応力振幅の影響** 本実験では、無負荷時において、累積確率が 50% における  $A_c$  値は  $f=0$  rpm では 0.9,  $f=200$  rpm では 0.5,  $f=2000$  rpm では 0.27 と流速の増加に伴って徐々に減少した。

近藤<sup>(14)</sup> はイオン交換水中にて軸荷重をうける低合金鋼 2.5 NiCrMoV の、ピット寸法が 200  $\mu\text{m}$  以上の領域における腐食ピット成長則を調査し、式(1)の  $A_c$  値が 0.33 になることを報告している。増田ら<sup>(10)</sup> は 3% 食塩水中における SUS 403 鋼の腐食ピット成長則を調査し、ピット寸法が 100  $\mu\text{m}$  から 2000  $\mu\text{m}$  の範

囲で式(1)の  $A_c$  値が 0.63 になることを報告している。箕島らは高強度 SCM 435 H 低合金鋼の引張り・ねじり組合せ応力下の腐食ピット成長曲線を調査し、35  $\mu\text{m}$  以下のピットの成長に対して  $A_c$  値が 0.37 になることを報告している<sup>(15)</sup>。このように式(1)の  $A_c$  値は研究者によってまちまちであることがわかる。

近藤は腐食電流一定条件下で、半球ピットの体積変化率が一定かつピット密度が一定の仮定のもとでは、 $A_c=0.33$  が得られることを報告している<sup>(14)</sup>。一方 Engell<sup>(16)</sup> は、一定電位において腐食電流が時間とともに変化しかつピット数が時間に比例して増加する場合には、ピット形状が半球でピット内の電流密度が一定の仮定のもとで、 $A_c=1.3$  が得られることを報告している。

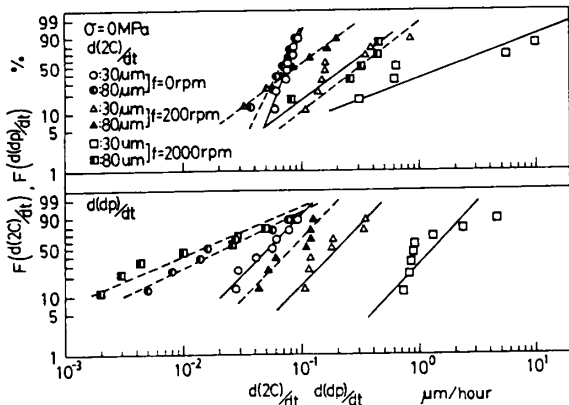
本ピット観察時間内において、流速零の  $f=0$  rpm では、時間の進行に伴いピット数は徐々に増加する傾向が認められたが、流速の増加とともにピット数はかなり初期に飽和し、以後ピット数は大きく変化せず一定となる傾向が観察された。以上の実験事実と Engellらのモデルを考慮すれば、 $A_c$  値に及ぼす流速の影響として以下の解釈が可能である。

すなわち、静止および低流速実験におけるピット測定時間域は、ピット形成が徐々に進行しているから、腐食電流が時間の進行に伴い変化する領域にある。したがって  $A_c$  値は 1 前後の値をとると考えられる。一方、高流速実験におけるピット測定時間域は、腐食ピット形成が早期に終了し、ピット数が変化せず、腐食電流は時間によらず一定の領域にある。そのため、 $A_c$  値は 0.33 に近い値になるものと考えられる。

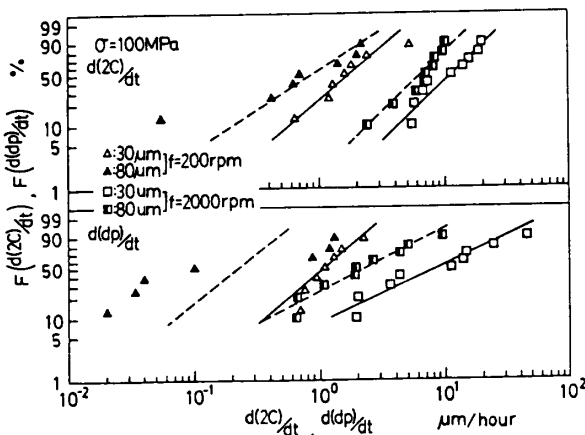
次に応力負荷による  $A_c$  値の変化を考察する。図 6 (b) に示すように、応力負荷により  $A_c$  値は無負荷時のそれよりも増加する傾向が認められる。これは応力負荷により、試験片中の腐食に対する活性点数が増加することによって腐食電流  $i$  の時間  $t$  に伴う変化 ( $i=kt^b$ , ただし  $k, b$ : 定数) が無負荷時に比較して大きくなる (主として指数  $b$  の増加) ためと考えられる。遠藤・駒井ら<sup>(20)</sup> は負荷応力の増加によって腐食疲労過程における電流密度の増加することならびに電位がより負の方向に変化することを観察しているが、これは以上の推論を裏付けるものである。

**4.3 腐食ピットの成長速度に及ぼす流速ならびに応力振幅の影響** 式(1)を時間  $t$  で微分することによって、腐食ピット成長速度は次式で求められる。

$$\begin{aligned} d(2c)/dt &= (2c)_0 \cdot A_c \cdot t^{(A_c-1)} / t_{ic}^{A_c} \\ d(dp)/dt &= d_0 \cdot A_p \cdot t^{(A_p-1)} / t_{ip}^{A_p} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$



(a)  $\sigma=0$  MPa



(b)  $\sigma=100$  MPa

図 9 腐食ピット成長速度の確率分布

式(3)を用いて、 $2c$  および  $d_p$  が  $30\ \mu\text{m}$  と  $80\ \mu\text{m}$  におけるピット成長速度を計算しその分布形を調査した。結果を図9に示す。これらの図より腐食ピット成長速度の代表値として分布形の累積確率50%の値をとり、試験片表面の流速  $v$  (mm/s) による変化を両対数グラフ上に示したものを図10に示す。ただし、横軸には  $(v+10)$  をとっている。

(a) 図の  $\sigma=0\ \text{MPa}$  におけるピット寸法が  $30\ \mu\text{m}$  では、ピット成長速度は流速の増加に伴い増加し、顕著な流速依存性が認められる。一方、ピット寸法が  $80\ \mu\text{m}$  では、流速の増加に伴うピット成長速度の増加は少なく、流速依存性は小さくなる傾向が認められる。また、ピット成長速度に及ぼすピット寸法の影響として、ピット寸法  $80\ \mu\text{m}$  の成長速度は概して  $30\ \mu\text{m}$  のそれに比較して小さく、ピット寸法の増加とともに成長速度が低下する傾向がみられる。このようなピット成長速度に及ぼす流速依存性および寸法依存性は、式(1)の定数  $A_c$  および  $A_p$  値が1以下で、かつ流速の増加に伴い小さくなる事実と対応するものと考えられる。すなわち、 $A_c$  および  $A_p$  値が1以下で、その値が小さくなるほど、ピット寸法の微小領域での成長の加速と、ピット寸法の大きな領域での成長の減速を生じる。

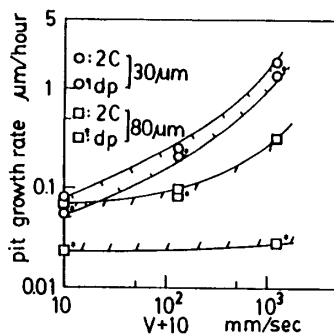
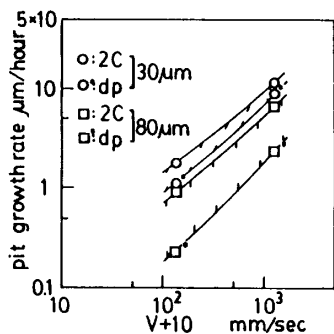
(a)  $\sigma=0\ \text{MPa}$ (b)  $\sigma=100\ \text{MPa}$ 

図10 腐食ピットの成長速度に及ぼす流速ならびに応力振幅の影響

次に、試験片表面のピット成長速度とピット底の成長速度を比較すると、ピット寸法が  $30\ \mu\text{m}$  ではいくぶん前者が後者よりも大きいけれども両者の差異は顕著ではない。ところがピット寸法が  $80\ \mu\text{m}$  では、ピット底の成長速度は表面のそれよりも低下する傾向が認められる。これは腐食ピット寸法の増加に伴い、ピット形状が偏平化することを意味し、図7においてピット寸法  $2c$  の増加に伴い、アスペクト比が低下している結果と符合する。

以上の  $\sigma=0\ \text{MPa}$  における実験傾向は (b) 図の  $\sigma=100\ \text{MPa}$  の結果でも同様に認められる。しかし、 $\sigma=100\ \text{MPa}$  では、 $\sigma=0\ \text{MPa}$  に比較してピット成長速度は約5~10倍大きくなる傾向が見られる。このようなピット成長速度に及ぼす応力振幅の影響は野口ら<sup>(19)</sup>も示唆している。

Sato<sup>(17)</sup>は無負荷時の腐食ピットの初期成長過程で、流速の効果は大きな影響をもつが、臨界値以上の腐食ピット成長過程では流速の影響が現れにくいことを報告している。この原因として、ある臨界寸法以上の腐食ピットの成長過程では溶解面で皮膜が生成し、腐食ピットの不働態化が生じるためとしている。また、溶解面が硫化鉄の皮膜で覆われているという仮定のもとで行われた Harb による腐食ピット成長に対する有限要素解析<sup>(18)</sup>に依れば、腐食ピットの初期成長過程では流速の影響は大きいけれども、ペクレイ数 (=  $u_0 r_0 / D$ ,  $u_0$ : 流速,  $r_0$ : ピット開口径,  $D$ : 拡散係数) が10以上の大きな腐食ピットでは、腐食溶解速度は流速によって大きく変化しないことが示されている。

以上のことから、本実験の無負荷時の腐食ピット成長速度に及ぼす流速の影響は、次のプロセスを経て生じたものと考えられる。すなわち、初期の腐食ピット成長過程では、流速の増加によって、ピット外部の沖合いの流れは腐食ピット内部まで入り込みやすくなり、溶存酸素の拡散促進を通じて腐食ピット成長速度は大きくなるが、ピット寸法の増加につれて、腐食溶解面での皮膜の生成が生じはじめ、腐食溶解速度(腐食ピット成長速度)に流速の影響が現れにくくなる。また、このような皮膜の生成は、腐食ピット表面よりは流れの入りにくい腐食ピット内部で起こりやすくなるため、腐食ピット寸法増加に伴い、深さ方向へのピット成長速度は表面のそれよりも徐々に低下すると考えられる。

応力が負荷される場合は、上述の腐食機構に加えて、前節で述べたメカノケミカルなアノード溶解機構、さらには応力による皮膜の破壊が相乗するため、無負荷時に比較して腐食ピット成長速度が増加すると考えら

れる。

なお、本実験のピット成長速度の流速依存性にはピット内生成物に作用する遠心力の効果も現れると考えられるが、以下の理由でその影響は少ないと考えられる。すなわち、遠心力によりピット成長を阻害する腐食生成物が除去されると仮定すると、遠心力の大きい高流速域におけるピット成長速度は低流速域のそれに比較して増加し、ピット成長速度の流速依存性は顕著となる。一方、この遠心力は腐食環境中で浸漬時間の長い  $80\ \mu\text{m}$  のピットで大きくなるはずである。したがって  $80\ \mu\text{m}$  のピットでは  $30\ \mu\text{m}$  のピットに比較してピット成長速度の流速依存性が顕著となる。しかし、これは実験傾向とは異なるから、遠心力の実験結果に与える影響は大きいものではないと思われる。

## 5. 結 言

炭素鋼 S 45 C 焼なまし材を用いて 3% 食塩水中にて腐食実験を行い、腐食ピットの発生・成長特性を詳細に調査し、その場合の流速の影響ならびに応力振幅の影響を調査し、以下の結論を得た。

(1) 腐食ピットの成長挙動は、流速の有無、応力振幅の有無によらず式(1)で表現できる。

(2) 腐食ピット発生時間は流速の増加とともに減少し、その流速依存性は式(2)で表される。また、 $\sigma=100\ \text{MPa}$  では  $\sigma=0\ \text{MPa}$  の場合に比較して腐食ピット発生時間は減少する。式(1)中の定数  $A_c$  は腐食液の流速の増加に伴って小さく、また応力負荷によって大きくなる傾向が認められた。

(3) 腐食ピットの表面半長  $c$  とピット深さ  $d_p$  の比  $d_p/c$  と  $2c$  の関係には、腐食液の流速および応力の有無による影響が顕著に認められない。 $2c$  がほぼ  $100\ \mu\text{m}$  以下の微小ピットでは、アスペクト比  $d_p/c$  は 1 以上の値をとり半球よりは深さ方向に深いピット形態をとるが、 $2c$  が約  $100\ \mu\text{m}$  以上では  $d_p/c$  はほぼ 1 に漸近し、半球状のピット形態をとる。

(4) 無負荷時において、寸法  $30\ \mu\text{m}$  の微小領域に

おける腐食ピット成長速度は、流速が増すにつれ増加し顕著な流速依存性を示した。一方、寸法  $80\ \mu\text{m}$  の大きな寸法域の腐食ピット成長速度は、流速の増加によって大きな変化を示さず、流速の影響が現れにくくなる傾向が認められた。また、ピット寸法  $80\ \mu\text{m}$  の成長速度は  $30\ \mu\text{m}$  のそれに比較して小さく、ピット寸法の増加とともに成長速度は低下する。また、 $\sigma=100\ \text{MPa}$  では、 $\sigma=0\ \text{MPa}$  に比較してピット成長速度は約 5~10 倍大きくなる傾向が見られる。

(5) 腐食ピット発生、成長挙動に及ぼす流速ならびに応力振幅依存性は、腐食液中の化学種の輸送過程とそれに伴うメカノケミカルな機構を含めたアノード溶解反応、さらには皮膜の析出過程を考慮して説明される。

最後に本研究の遂行にご協力いただいた当時富山大学生、小塚務君に謝意を表する。

## 文 献

- (1) 石原・ほか 2 名, 材料, 31(1982), 390.
- (2) 石原・ほか 2 名, 材料, 32(1983), 1390.
- (3) 戸梶・ほか 3 名, 文献(1)の 1024 ページ.
- (4) 戸梶・ほか 3 名, 材料, 33(1984), 331.
- (5) 北川・中曾根, 文献(4)の 14 ページ.
- (6) 北川・ほか 2 名, 機論, 51-464, A(1985), 1026.
- (7) 河合・笠井, 機論, 51-461, A(1985), 23.
- (8) KONDO, Y. and Endo, T., "Current Reserch in Fatigue Cracks", *MRSI*, (1985), 255.
- (9) 駒井・ほか 2 名, 材料, 36(1987), 141.
- (10) 増田・ほか 3 名, 機論, 52-480, A(1986), 1764.
- (11) 日本材料学会編, DECHEMA による腐食防食教程, (1972), 32, 日本材料学会.
- (12) 日本化学会編, 腐食と防食, (1977), 84.
- (13) Gough, H. J. and Sopwith, D. G., *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, 135(1932), 392.
- (14) 近藤, 機論, 53-495, A(1987), 1983.
- (15) 箕島・ほか 2 名, 機論, 55-519, A(1989), 1487.
- (16) Szklarska, Z., *corrosion*, 27-6(1971), 223.
- (17) Sato, N., ほか 3 名, *NACE-3*, Houston, (1974), 447.
- (18) Harb, J. N. and Alkire, R. C., *Corr. Sci.*, 29-1(1989), 31.
- (19) 野口・ほか 2 名, 機論, 55-511, A(1989), 386.
- (20) 遠藤・駒井, 材料, 17-172(1968), 40.