

840 時間,応力繰り返し数の双方を取り込んだアルミニウム合金の腐食ピット成長速度

Corrosion Pit Growth Behavior of Aluminum Alloy as functions of both Time and Number of Cycles

○学 野俣 新一郎 (富山大・院) 正 石原 外美 (富山大)
正 五嶋 孝仁 (富山大) 学 坂 晋二 (富山大)S. NOMATA, S. ISHIHARA, T. GOSHIMA and S. SAKA,
Toyama University, Gofuku 3190, Toyama, Japan

Key Words: Corrosion Fatigue, Corrosion Pit, Aluminum alloy, Time, Number of Cycles

1. 緒言

腐食環境のもとでは,大気中に比較して機械構造物の疲労強度が著しく低下し,疲労限度は一般には存在しない.これは,腐食疲労過程初期に腐食ピットが発生し,成長した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が生じるからである.従って腐食ピットの発生並びに成長特性を明らかにすることは,腐食環境のもとで稼働する機械,構造物の寿命予測を行う上で重要である.これまで腐食疲労過程のき裂の発生・成長挙動に関する研究は数多くなされてきたが,腐食ピットの発生・成長挙動に関する研究は十分なされていない.

本研究では,2024-T3材を供試材とし,3%NaCl溶液中に試験片を浸漬した場合と,流量140cc/minで腐食液を滴下させた場合それぞれのもとで腐食疲労実験を行った.腐食疲労過程の連続観察から,試験片表面,並びに深さ方向への腐食ピットの成長特性と,これに及ぼす負荷応力,繰り返し数の影響を明らかにした.

2. 試験片及び実験方法

2.1 試験片

本実験で用いた2024-T3材の化学成分は,機械的性質は,Table 1, Table2に表したとおりである.

Table 1 Chemical Component wt(%)

Cu	Mg	Mn	Zn	Fe	Al
4.25	1.32	0.56	0.25	0.12	Bal.

Table 2 Mechanical property

Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
295MPa	440MPa	15%

試験片は,長さ190mm,幅30mm,厚さ5mmの板状平滑試験片で,試験片中央部には,幅6mm,長さ10mmの平行部を設け,そこに発生する腐食ピットを観察した.試験片表面の連続観察を容易にするために,#2000のエメリー紙とダイヤモンドペーストを用いて表面を鏡面に仕上げた.なお,試験片縁での腐食ピット並びにき裂の発生を防止するため,試験片最小幅部をシリコン樹脂によって被覆した.

2.2 実験方法

用いた試験機は電気・油圧サーボ疲労試験機であり,応力繰り返し速度 $f=0\text{Hz}$, 3Hz , 5Hz , 7Hz , 10Hz ,正弦波のもとで両振り引張り圧縮疲労実験を行った.腐食液は純水を溶媒とする3%NaCl溶液であり,水温 25°C のもとで溶存酸素量が最大になるように,小型ポンプを用いて水中に空気をバブリングさせながら実験を行った.実験は $\sigma_a=0,20,35,50\text{MPa}$ の4種類の負荷応力で $R=-1$ の応力比のもとで行った.また,それぞれの負荷応力に対して,浸漬式と滴下式の実験を行った.滴下式における滴下流量は,140cc/minである.疲労過程の腐食ピットの発生,成長特性をレプリカ法を用いて調査した.

3. 実験結果

3.1 極値統計による腐食ピット成長特性の評価

試験片の観察面積を,一定の面積 1.2mm^2 に分割し,そこでの最大腐食ピット深さを調査した. Fig.1は,このようにして測定された最大ピット深さを極値確率紙上にプロットしたものである. Fig.1より最大腐食ピット深さは極値確率紙上で直線近似できることから,最大腐食ピット直径は二重指数分布に従うことがわかる.

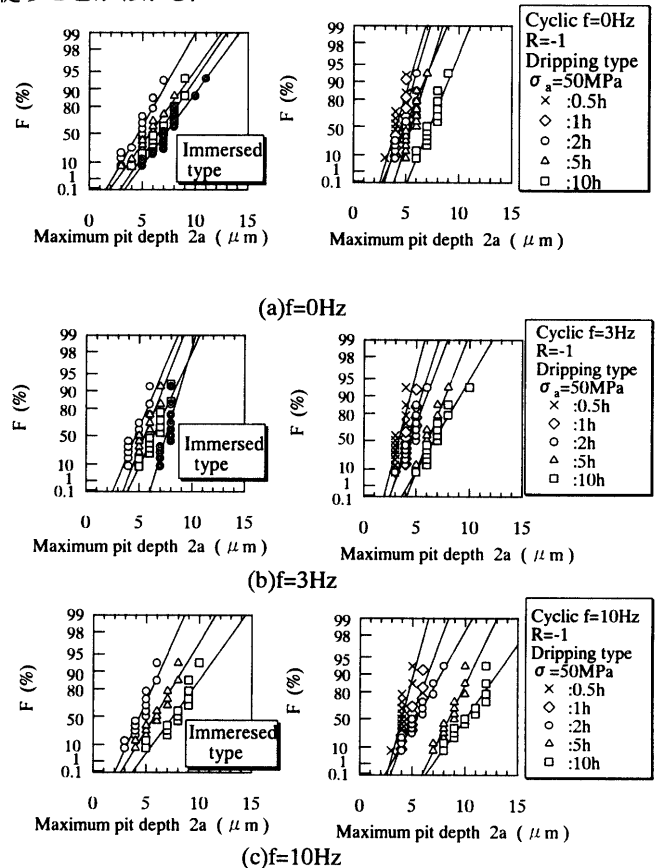


Fig.1 Maximum pit depth

Fig.1(a),(b)及び(c)はそれぞれ応力繰り返し速度 $f=0\text{Hz}$, $f=3\text{Hz}$, $f=10\text{Hz}$ に対する最大ピット深さの分布を示したものである.一定の負荷応力 $\sigma_a=50\text{MPa}$ のもとで,浸漬式と滴下式に対する結果を示している.これらの図より,時間 t の増加に伴い最大腐食ピット深さの成長が速くなる傾向が認められる.また,一定時間並びに負荷応力 σ_a のもとで,応力繰り返し速度 f の増加に伴い,ピット深さが増加していることが分かる.極値確率紙上で最大腐食ピット深さ分布は,直線で表せるので,同分布は次の2重指数分布で近似できる.

$$F(x)=\exp\{-\exp[-(x-\gamma)/\alpha]\} \quad (1)$$

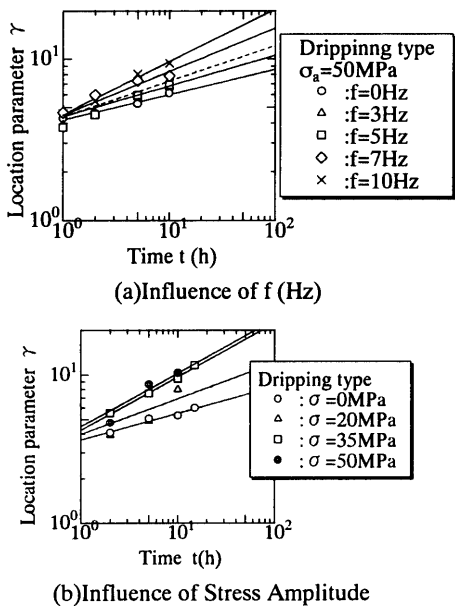


Fig.2 Time variation of Location parameter γ

ここで、 α 及び γ はそれぞれ形状母数並びに位置母数である。前者はデータのばらつきを表し、後者の位置母数は分布の代表値、すなわち最頻値を表している。以下では位置母数 γ の経時変化を検討する。Fig.2は、位置母数 γ と時間 t の関係を両対数グラフ上に示したものである。Fig.2(a)は繰返し速度 f の影響に対する結果を、同(b)は、応力振幅の影響に対する結果を示している。Fig.2より繰返し速度、負荷応力の増加により加速することがわかる。

3.3 腐食ピット深さ成長に及ぼす時間 t と応力繰返し数 N の影響

前節までの検討より、腐食ピット深さは時間のみならず応力繰返し速度 f の影響を受けることがわかった。そこで腐食ピット深さの成長速度に及ぼす時間 t と応力繰返し数 N の影響を定量的に検討する。

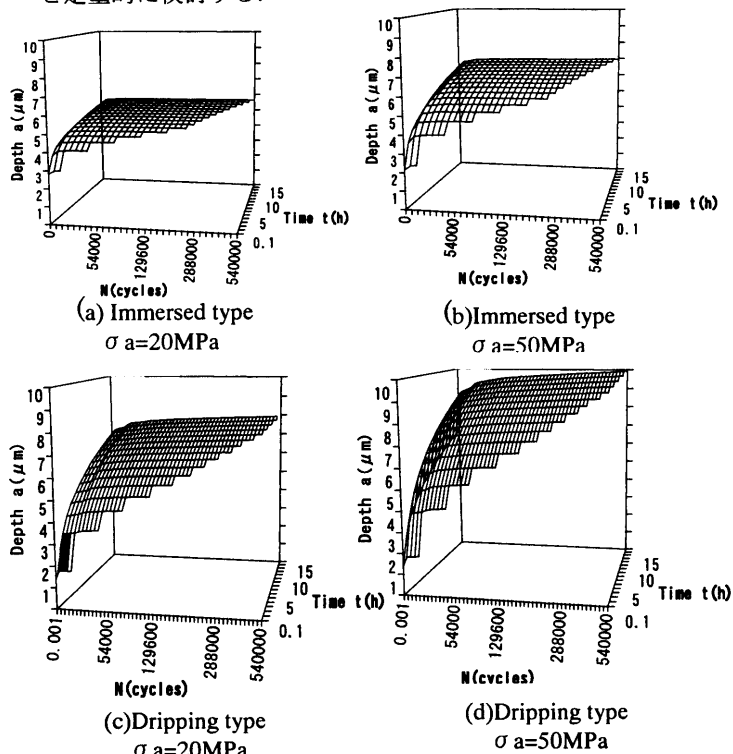


Fig.3 Relationship between time t and Cycle N for Pit depth a

$\sigma_a=20, 50\text{MPa}$ の負荷応力のもとで $f=0, 3, 5, 7, 10\text{Hz}$ の5種類の周波数のもとで実験を行い、得られた実験結果から、内挿法を用いて、ピット深さ a^* の変化を、応力繰返し数 N 並びに時間 t の関係として Fig.3 に示す。これらの変化を式(2)の形で近似した。ここで A, B, C は実験定数である。

$$a^* = At^B N^C \tag{2}$$

なお上式で $C=0$ とおくと、従来から用いられている腐食ピット成長則、

$$a = At^B \tag{3}$$

が得る。本実験で得られた、これらの定数値、 A, B, C を Table3 に示す。表よりわかるように、定数 A を除いて定数 B, C は応力振幅の増加に伴い増加する。

Table 3 Experimental constant A B C

Immersed type	A	B	C
$\sigma_a=0\text{MPa}$	3.20	0.11	0
$\sigma_a=20\text{MPa}$	3.83	0.12	0.005
$\sigma_a=50\text{MPa}$	3.62	0.204	0.007

Dripping type	A	B	C
$\sigma_a=0\text{MPa}$	3.63	0.17	0
$\sigma_a=20\text{MPa}$	2.95	0.277	0.018
$\sigma_a=50\text{MPa}$	3.24	0.312	0.020

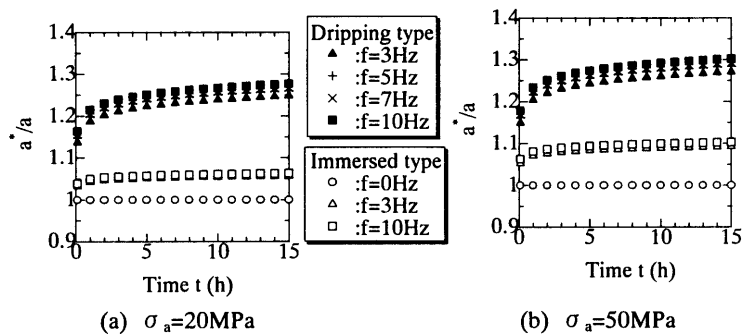


Fig.4 Relationship between cycle a^*/a and time t

次に本研究で提案する式 (2) の成長則と従来からの式 (3) の成長則が、どの程度の差異をもたらすかを検討した。Fig.4は式 (2) と (3) の比、 a^*/a と時間 t との関係を表示したものである。

Fig.4(a)より、もし応力繰返し数 N の影響を考慮しない場合、最大腐食ピット深さは、浸漬式では5~10%、滴下式では、約30%、過小評価することになる。

4 結言

- (1) 浸漬式、滴下式ともに、負荷応力の増加並びに、時間の経過に伴い腐食ピット深さも増加するが、滴下式の方が浸漬式より、ピット成長速度が早い。
- (2) 試験片深さ方向への成長特性は、負荷応力、時間、繰返し数に依存する。深さ a と時間 t 、並びに繰返し数 N の関係は $a = At^B N^C$ で近似できる。