

I - A197

腐食環境における鋼材の疲労亀裂の進展性状

足利工業大学 学会員 諸橋知行
正会員 阿部英彦

1. はじめに

特に安全を要する構造物では検査により検出できない様な微細な欠陥は存在することを前提として、そこから疲労亀裂が発生し、許容できる大きさに成長するまでの期間を寿命と見なしている。本州四国連絡橋やJRの鉄道橋の設計においても、この考えを採用し始めている。腐食環境は疲労亀裂を促進するが、それに関するデータが充分でないので、腐食環境下での疲労亀裂進展性状に関する研究を深める必要がある。そこで本研究では次項の様な事項を扱った。①基本として実験により種々の環境下におけるS-N線図を求めて比較する。②疲労に対する環境の影響を疲労亀裂発生期間と疲労亀裂成長期間に分けて調べる。③各環境別のパリソ²⁾の疲労亀裂進展関係式を導くため、応力拡大係数の変動量(ΔK)と疲労亀裂進展速度(da/dN)との関係を調べる。

2. 実験方法

まず、大気、真水、塩水の環境下で、SS400、SM400B、SGD400の鋼材に対して、一定振幅荷重による疲労試験を行い、各々のS-N線図を作成した。試験体の形状は図-1に示す通りで、腐食範囲と亀裂発生箇所を限定するために中央に円孔を設けた。腐食環境のために、試験体にプラスチックの器を取り付け、円孔の下縁部に真水または3%塩水を1分間に10mlの割合で滴下した。標準の繰返し速度は16Hzとしたが、繰返し速度による影響を把握するために一部の試験体に対してはその半分の8Hzとした。次にSS400を用いて疲労亀裂の進展状況を拡大鏡により詳細に観察した。この場合、進展観測用の亀裂(本亀裂)の起点とするために、予め円孔部に一定振幅の低荷重の繰返しにより1.0mm以下の疲労亀裂(予備亀裂)を入れた。予備亀裂は充分小さいので亀裂発生と見なし、これを観測の初期値とした。実験には1981年のASTMの方式を参照した。

実験には1981年のASTMの方式を参照した。

3. 実験結果

図-2に各条件下のS-N線図を示す。静的破断強度の高いものは全般的に疲労強度も高く、大気、真水、塩水の順に疲労強度は低下する。環境の影響は高応力変動量では小さいが、低応力変動量では、より顕著に現れる。また、塩水における繰返し速度の影響を調べたが、低応力の領域では、16Hzの場合に比べて8Hzの場合に強度低下が見られる。

亀裂の進展性状を調べる試験では、先ず低荷重で1mm程度の予備亀裂を発生させ、その後、所定の大きさの応力で繰返し、亀裂の進展性状を観察するが、図-3

キーワード：実験、疲労、鋼材、腐食、耐久性

連絡先：(住所)〒326 足利市大前町268-1 (TEL)0284-62-0625 (FAX)0284-64-1061

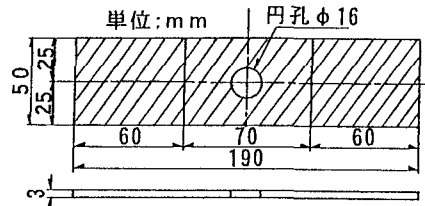


図-1 試験体の形状および寸法

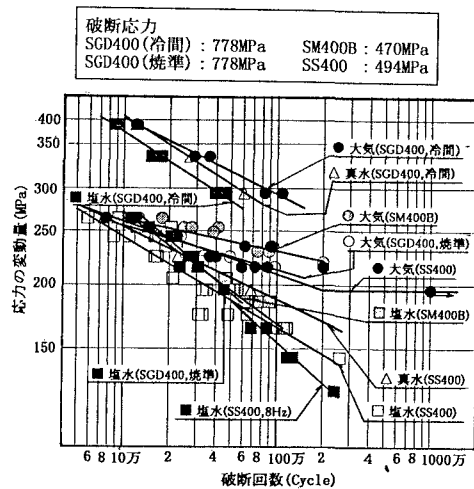


図-2 S-N線図

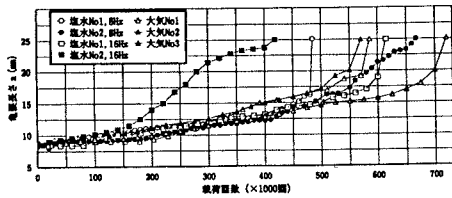


図-3 亀裂長さaと載荷回数の関係

に示す様に、等しい応力下でも腐食環境下の方が大気中より進展が速い事が判る。これは、疲労亀裂成長過程でも腐食環境下では亀裂先端に腐食作用が働くためと考えられる。実験の結果を図-4の様に、応力拡大係数の変動量 ΔK の対数値と荷重の単位繰返し数当たりの疲労亀裂進展長さ da/dN の対数値との関係で表すと、右上がりの曲線となる。大気中に比べて塩水の場合は、やはり値が大きくなった。また、繰返し速度16 Hzと8 Hzで比較すると、8 Hzの方が da/dN が大きくなるが、これは腐食作用の影響と考えられる。

4. 疲労寿命の試算例

実験で得られた塩水16Hzの場合の定数Cおよびmを用い、図-5に示す様なアンダーカットを持つ突合せ溶接部が塩水環境下でどの程度の疲労寿命をもつか試算した。なお、計算方法は鋼構造物疲労設計指針に従った。板厚16mmで両面に深さ0.5mmのアンダーカット、即ち、 $a_0=0.5\text{mm}$ 、総断面に基づく公称応力の変動範囲 $\Delta\sigma=120\text{MPa}$ であると仮定する。繰返し計算ステップ数は500回、亀裂増分量を $\Delta a=(8-0.5)/500=0.015\text{mm}$ とした。表-1には各ステップ長を亀裂が進行する回数とその計算過程を100ステップ目毎に示す。これより、破断回数は 1.518×10^6 と推算される。図-6はこの結果を既発表の同類の大気中におけるデータと比較したものである。ここに塩水中の平均線は大気中の資料の平均線を図-2の大気中と塩水中の比率に基づいて低減したものである。これを見ると、今回の推算値は妥当な値であると判断される。

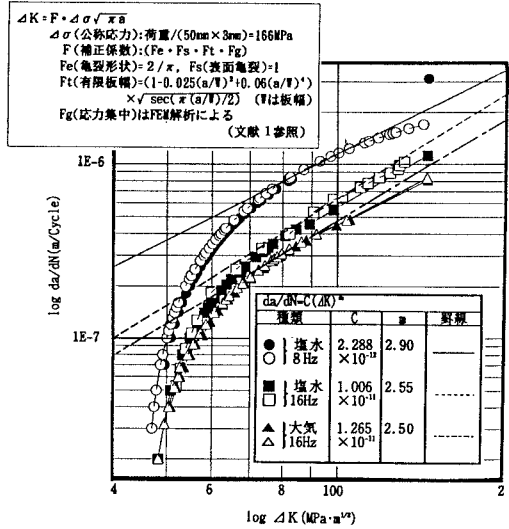


図-4 亀裂進展図

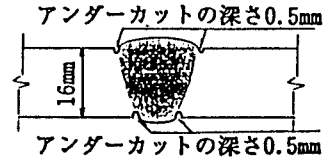


図-5 試算に用いた溶接継手部の断面形状

表-1 疲労亀裂曲線の計算仮定

(1) ステップ (i)	(2) $\Sigma \Delta a$ (mm)	(3) a_i (mm)	(4) ΔK ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)	(5) $C(\Delta K)^m$ (m/Cycle)	(6) ΣN_i (Cycle)
1	0.015	0.515	5.418	7.480×10^{-1}	
51	0.765	1.265	8.759	2.546×10^{-9}	3.205×10^5
101	1.515	2.015	11.669	5.291×10^{-9}	6.069×10^5
151	2.265	2.765	14.649	9.450×10^{-9}	8.466×10^5
201	3.015	3.515	17.888	1.573×10^{-8}	1.038×10^6
251	3.765	4.265	21.526	2.522×10^{-8}	1.188×10^6
301	4.515	5.015	25.728	3.973×10^{-8}	1.301×10^6
351	5.265	5.765	30.718	6.244×10^{-8}	1.386×10^6
401	6.015	6.515	36.802	9.898×10^{-8}	1.446×10^6
451	6.765	7.265	44.381	1.592×10^{-7}	1.489×10^6
500	7.500	8.000	53.755	2.601×10^{-7}	1.518×10^6

(注) 3欄: $a_i = a_0 (=0.5\text{mm}) + \Sigma \Delta a_i$, 6欄: $\Sigma N_i = \Delta a_i / (C(\Delta K)^m)$

$\Delta K = F \cdot \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$ σ : 総断面積に基づく平均応力,
F: 補正係数であり、 $a/T \leq 0.6$ (Tは板厚)で仕上げなしの突合せ溶接でアンダーカットのある場合、下式によって良い。
 $F = 1.12 - 0.231(a/T) + 10.55(a/T)^2 - 21.72(a/T)^3 + 30.39(a/T)^4$

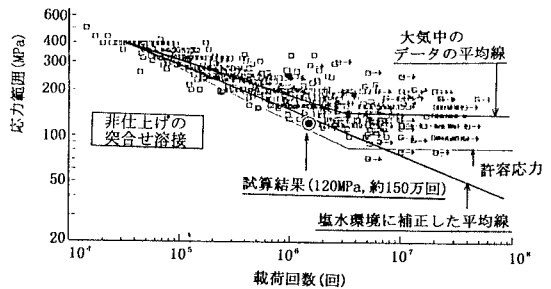


図-6 既発表の同類のデータと比較