

名古屋大学大学院 学生員 ○田垣 徳幸

名古屋大学工学部 正 員 山田健太郎

名古屋大学工学部 正 員 菊池 洋一

1 まえがき

疲労寿命は、疲労き裂発生寿命と疲労き裂進展寿命とからなる。前者は、疲労寿命の10～30％と言われ、¹⁾²⁾疲労寿命の大半は、疲労き裂進展寿命によって占められる。今回、横リブ十字すみ肉溶接継手の溶接止端部に発生した表面き裂の進展挙動を、その初期段階から破断に至る過程について観察を行い、破壊力学的手法を用いて、その進展特性の解明を試みた。

2 疲労試験

① 試験片 試験材質・試験片寸法を、表1に示す。

② 試験方法 疲労試験のある時期に、浸透性の良い透乾性の塗料を塗布するとともに、一部の試験片において、その後、定期的に応力振幅を下げて、破面にビーチマークを残すように努めた。

③ 試験結果 塗料によるマーキングにより得られたき裂形状を図1に、ビーチマーク法により得られたき裂の変化特性を図2に示す。き裂形状は、そのほとんど

が半楕円形で、き裂の進展に伴い、変化していくのがわかる。その変化は、最終的に $a/b = 0.4 \sim 0.6$ に収束する傾向がうかがわれる。図中において、自動溶接は、半円形に近いき裂形状より発生し、右下りの傾向にあり、手溶接は、偏平なき裂形状より発生し、右上りの傾向にある。この傾向の相異が、溶接手法だけによるものかどうかは明らかではない。一般に、溶接止端部の形状を代表する P, θ の板幅方向の変動が考えられる。試験前に、シリコンゴムで溶接止端部の型をとり、き裂が発生したと考える箇所せ、板幅方向の P, θ を測定した。その結果を図3に示す。手溶接と自動溶接とを比較すると、 P, θ のばらつきは異なり、た傾向を示しているが、き裂発生予想箇所における P は、両者ともほぼ $0 \sim 0.5$ と、比較的小きな値である。

3 疲労き裂進展の破壊力学的考察

① 疲労き裂進展速度 破壊力学的手法を用いて疲労き裂進展過程を解明する際、き裂の進展速度が明らかにされなければならない。

疲労き裂進展速度 $\frac{da}{dN}$ は、き裂先端近傍の応力場の強さを代表する応力拡大係数 K 値とほぼ直線関係を示し、Paris 則 $\frac{da}{dN} = C(\sigma K)^m$ として

表1 試験片の種類

Series	Steel Grade	Plate Thickness	Plate Width	Number of Test Specimen	Note
X0, A0, A2	SM450	10	80	32	
B0, B2	SM50	10	80	22	
S0, S5, S8 T0, T5, T8	SM450	10	25	42	
N0	SM450	10	80	10	
N1, N2	SM450	10	25	20	Beach Mark
M1	SS41	10	25	10	
E3, E4, E6	SM50	10	25	12	Beach Mark

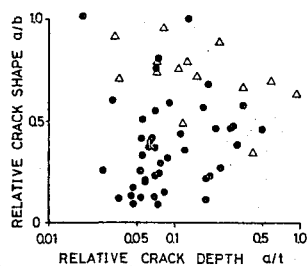


図1 き裂形状変化(Marking)

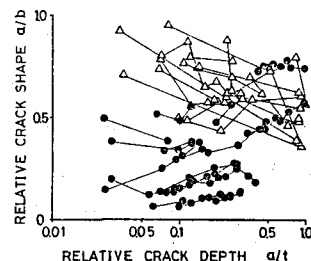


図2 き裂形状変化(Beach Mark)

一般に認められている。しかし、材料定数 C, m は測定者によって異なっている。今回、 K 値の明らかな CT 試験片を用いて、ASTM E647-78T に規定されている手法により、疲労き裂進展速度の測定を行った。その結果を図 4 に示す。データはばらつくものの Barsom・Maddox・Fisher の実験とはほぼ同一の結果を得た。以後の疲労き裂進展特性の解析には、実験の回帰式 $\frac{da}{dN} = 1.24 \times 10^{-10} (K)^3$ を用いた。

② 横リブ十字すみ肉溶接継手の応力拡大係数 横リブ十字すみ肉溶接継手の有限板厚の半楕円表面き裂の K 値は、山田によって求められた次式を用いた。

$$K_a (\theta = \frac{\pi}{2}) = \frac{1.0 + 0.12(1 - \frac{a}{b})}{E(k)} \sqrt{\frac{2t}{\pi a} \tan \frac{\pi a}{2t}} \sqrt{\pi a} F_{Ga}$$

$$K_b (\theta = 0) = \frac{1.12 + 0.08 \frac{a}{b}}{E(k)} \frac{a}{b} \sqrt{\pi b} F_{Gb}$$

$F_{Ga} \cdot F_{Gb}$: 形状補正係数

板幅方向の K 値は、疲労き裂進展速度が 3④ で求めた値と一致するように F_{Gb} の値を修正した。

4 表面き裂進展の計算機シミュレーション

3 において求めた疲労き裂進展速度と応力拡大係数を用いて、板厚方向、板幅方向の進展挙動を求め、き裂形状 a/b の変化特性を求めた。その結果を図 5 に示す。図 1・2 の疲労試験結果と比較的良好に説明でき、破壊力学の手法を用いて、十分シミュレーションを行うことができることがわかる。図 6 に、 $a_0 = 0.5 \text{ mm}$, $a_0/b_0 = 0.1$ の時のシミュレーションを破面に示す。

5 あとがき

ここで行ったシミュレーションは、横リブ十字すみ肉溶接継手の止端部に発生する表面き裂の場合だけである。他の構造部材に關しても K 値が明らかにされればシミュレーションは可能であろうと考えられる。初期き裂の発生形状は、以後の形状変化を決定する重要な因子であるにもかかわらず、明確な説明はなされていない。今回行ったシミュレーションは単一き裂だけで、複数き裂は考慮していない。現在なおこうした問題を残しており、今後の研究課題である。

(参考文献)

- 1) 張ほか：直線被害則による鋼部材片の疲れ寿命予測，土木学会論文集 1978-2
- 2) 山田ほか：破壊力学を用いた鋼構造物の疲労強度解析，第25回構造工学シンポジウム 1979-2-9

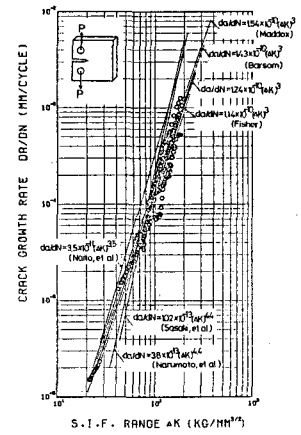


図3 疲労き裂進展速度

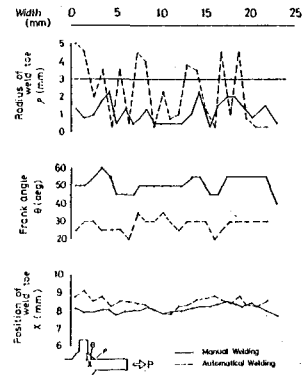


図4 溶接止端形状変化

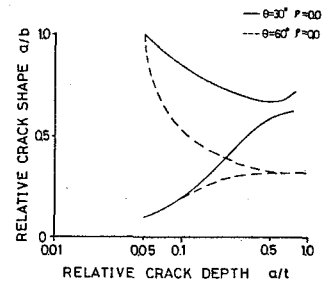


図5 形状変化の解析曲線

$\theta = 30^\circ$ $f = 0.0$ $a_0 = 0.5 \text{ mm}$ $a_0/b_0 = 0.1$

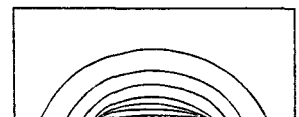


図6 き裂進展のシミュレーション