

I-130 溶接継手における腐食疲労亀裂の発生と進展

群馬大学 学生会員 新井 弘
 群馬大学 正 会員 坂野昌弘
 足利工業大学 正 会員 西村俊夫

1. はじめに

腐食環境下では、鋼材の疲労強度が低下することが知られている。橋梁の疲労破壊は溶接部を起点として発生する場合が多いが、実際に橋梁部材に生じるような低繰返し応力域における溶接継手の腐食疲労強度を扱った研究は少なく、特に疲労亀裂の発生に関するデータはほとんどみられない。本研究ではガセット継手を対象として腐食環境下で疲労試験を行い、低応力域における疲労亀裂の発生進展挙動および疲労強度の低下性状について検討し、さらに破壊力学の手法を用いた疲労寿命予測を行い実験結果と比較した。

2. 疲労試験方法

試験体は図-1に示すウェブガセットタイプの継手試験体で、供試鋼材はSM41Bである。疲労試験は最小応力を9.8MPaとした引張片振応力により、空気中および25℃の3%食塩水を注ぎかけた状態でを行った。応力繰返し速度は、腐食環境下では実際の活荷重の載荷速度を考慮して100cpmとし、空気中では試験の効率化をはかるため900cpmとした。また、本研究では、溶接止端部における亀裂発生・進展の検知および亀裂寸法の計測のために交流ポテンシャル法を用いた。

3. 疲労試験結果と考察

(1) 疲労亀裂の発生挙動

疲労亀裂は、回し溶接部止端から発生し、半楕円形状を保って進展した。交流ポテンシャル法を適用した結果、深さ0.3~0.5mmの微小な亀裂発生を検知することができた。ここでは亀裂深さが0.3~0.5mmになるまでの繰返し数を N_c と定義する。腐食環境下では、亀裂は写真-1に示すように止端部に沿って応力集中部に形成された腐食ピットの底から発生し、応力と直角方向に進展した。亀裂の発生源となったピットの深さは0.3~1.08mm、応力方向の幅は0.7~0.8mmであった。これらの腐食ピット深さ D と応力範囲 S_r との関係を図-2に示す。腐食ピットからの亀裂の発生条件は、腐食ピットを初期亀裂とみなして計算した応力拡大係数 ΔK により表わすことができる。

(2) 疲労亀裂進展速度

疲労亀裂に対する応力拡大係数 ΔK は(1)式によって求めた。

$$\Delta K = F_e \cdot F_s \cdot F_t \cdot F_g \cdot S_r \cdot \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

F_e, F_s, F_t はそれぞれ亀裂形状、表面亀裂、有限の板

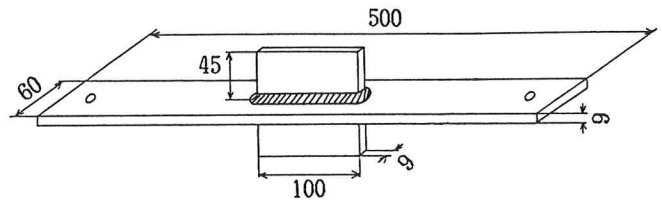


図-1 試験体の形状と寸法(単位:mm)

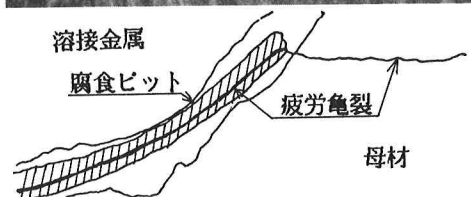
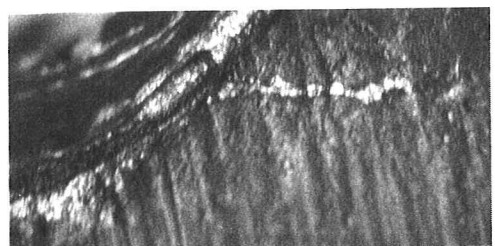


写真-1 腐食ピットからの疲労亀裂の発生

厚に対する補正係数で、 $F_e=1/\sqrt{1+1.464(a/b)^{1.65}}$ 、 $F_s=1+0.12(1-a/b)$ 、 $F_t=(1-0.025\lambda^2+0.06\lambda^4)\sqrt{\sec(\pi\lambda/2)}$ 、 $\lambda=a/T$ である。Fgは応力集中に対する補正係数で3次元FEM解析により亀裂のない場合の応力分布を計算し、亀裂がある場合との重ね合わせにより求めた。 ΔK と疲労試験により求められた進展速度との関係を図-3に示す。 ΔK が小さいところでは、空气中に比べ腐食環境下の疲労亀裂進展速度が若干大きくなっている。これらの亀裂進展速度は三木ら⁴⁾が空气中で求めた非調質鋼に対する da/dN - ΔK 関係によく一致している。

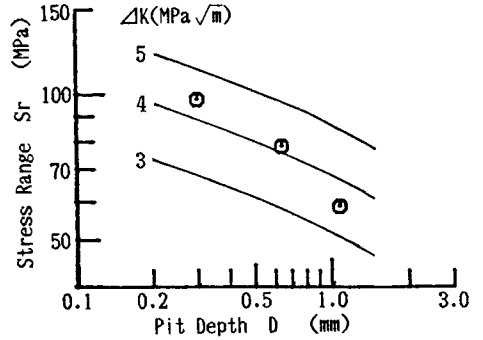


図-2 応力範囲と腐食ピット深さの関係

(3) 応力範囲と疲労寿命の関係

各試験体の応力範囲 S_r と亀裂発生寿命 N_c 、および破断寿命 N_f との関係を図-4に示す。空气中疲労では、 $S_r < 90\text{MPa}$ で亀裂が生じなくなり疲労限が存在する。それに対し、腐食疲労では、 S_r が60MPa程度でも寿命の早い時期に亀裂を生じ疲労破壊を起しており、本研究の範囲では疲労限の存在は認められない。

(4) 疲労寿命予測

腐食疲労寿命の大半が亀裂進展寿命で占められることから、破壊力学の手法による疲労寿命予測を行った。 da/dN - ΔK 関係は三木らが求めたものを用いた。初期亀裂は図-2に示した結果から、 $\Delta K=4\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ となるように仮定した。最終亀裂寸法は破断面の観察から板厚の80%とした。図-4に示すとおり、 da/dN - ΔK 関係の $+2\sigma$ 線を用いた場合には試験体の破断寿命に対し十分に安全側の寿命予測となる。

参考文献

- 1) MIKI et al: Fatigue Crack Growth Rates in Structural Steels, Proc. of JSCE, June 1982

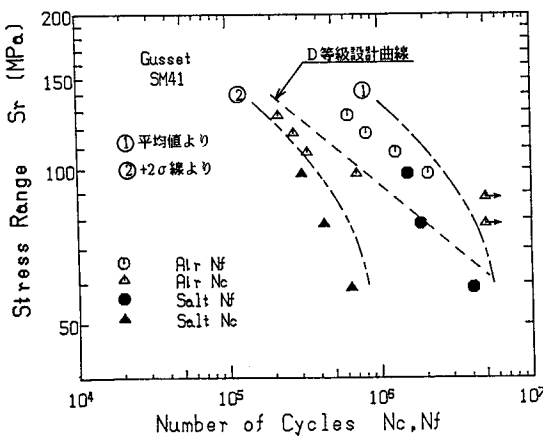


図-4 S-N関係

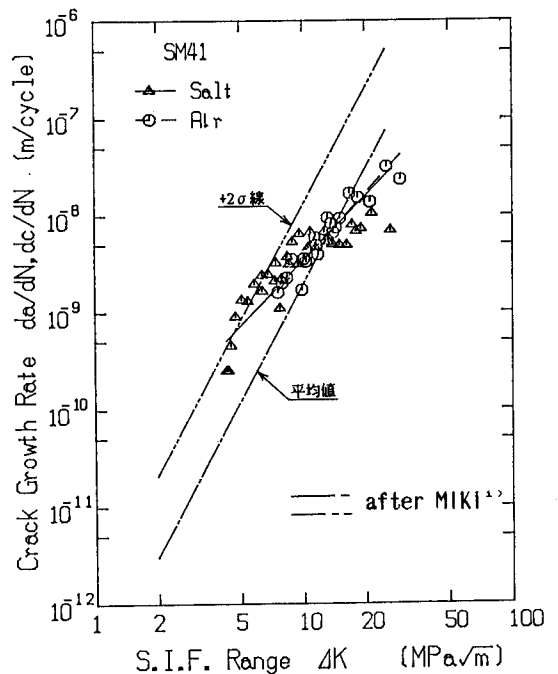


図-3 亀裂進展速度と ΔK の関係