

荷重伝達型十字すみ肉溶接継手のルート部から発生する疲労亀裂の進展性状

法政大学 学生員 貝沼 重信
 法政大学 正員 森 猛
 三井造船株式会社 川嶋 克昌

1. はじめに 荷重伝達型十字すみ肉溶接継手がルート破壊する場合の疲労強度については不明な点が多い。これは、溶接形状や熱履歴に起因して溶接ルート部の応力の流れや溶接残留応力が複雑になっているため、疲労亀裂進展性状が明かにされていないことに原因があると考えられる。本研究では、溶接部の溶接残留応力を測定するとともに、モデル試験体の疲労亀裂進展試験を行い、疲労亀裂の進展性状について検討した。

2. 試験体 試験には図1に示す2種類(A, B)の試験体を用いた。A試験体は両面に深さ5mmの開先加工をしている。供試鋼材はSM490A(降伏点356MPa, 引張強さ530MPa, 伸び27%)である。溶接はCO₂半自動によって下向きで行った。心線の径は1.2mm、溶接電流は280A、電圧は32~35V、速度は19~38cm/minとした。

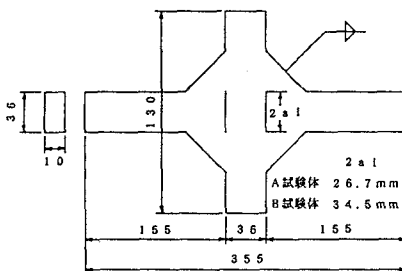


図1. 試験体の形状・寸法

3. 溶接残留応力 溶接残留応力の測定は試験体の表裏面に1軸および3軸ゲージを貼付して、切断法によって行った。なお、未溶着部が開いた状態での残留応力を調べるため、そこをのこ引きしルート部を開口させた状態においても残留応力を測定した。図2に溶接残留応力の測定結果を示す。のこ引きする前には試験体の未溶着部に圧縮残留応力が存在しており、のこ引きを施すとルート部先端近傍が圧縮残留応力場となる傾向が認められる。

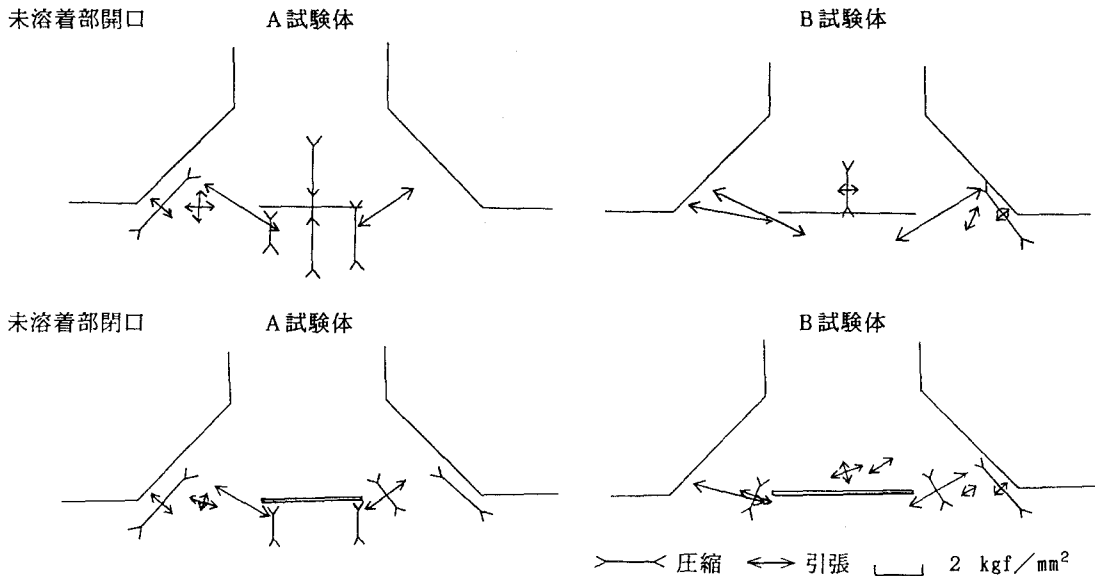


図2. 溶接残留応力の測定結果

4. 疲労亀裂進展試験 疲労試験には、動的能力±10tonの電気油圧サーボ式材料試験機を用いた。荷重波形は正弦波、繰り返し速度は10Hzである。圧縮残留応力が疲労亀裂進展速に及ぼす影響を調べる目的で、繰り返し荷重の上限荷重 ($P_{max}=6tf$) または下限荷重 ($P_{min}=0.1tf$) を一定とした状態で、一定振幅応力拡大係数範囲 (ΔK -constant) 試験を行った。応力拡大係数範囲は有限要素解析結果を用いてエネルギー法により算定した。 ΔK -constant試験における応力拡大係数の制御は、亀裂が0.5mm程度進展するごとに荷重を階段状に減少させることによって行った。また、疲労亀裂の開閉口挙動を調べるために、未溶着部中央にクリゲージを取り付け、荷重と開口変位の関係を調べた。

ΔK -constant試験より得られた亀裂進展速度と亀裂長さの関係を図3に示す。上限荷重一定試験では亀裂がある程度進むと進展速度がほぼ一定となっている。一方、下限荷重一定試験での進展速度は亀裂が長くなるにしたがって高くなっており、また上限荷重一定の場合よりもかなり低くなっている。とくに亀裂が短い場合にその差が顕著である。

開口比と亀裂長さとの関係を図4に示す。上限荷重一定試験では、亀裂長さが主板の厚さ T_p (36mm)より長くなると開口比は常に1となり亀裂の開口は見られない。そのために進展速度がほぼ一定になったものと考えられる。下限荷重一定試験での開口比は亀裂が短い間で低く、疲労亀裂の進展にしたがって徐々に高くなっていく。これは図3の亀裂進展速度の傾向と一致している。図5に有効応力拡大係数と亀裂進展速度について示す。ここで得られた亀裂進展速度は、図中に点線で示す日本鋼構造協会疲労設計指針(案)での平均設計曲線($da/dN-\Delta K$ 関係)とほぼ一致している。

5. まとめ

- (1) 荷重伝達型十字すみ肉溶接継手のルート部先端から発生する疲労亀裂は引張荷重方向とほぼ垂直に進展する。有限要素解析結果からもモードI成分(開口型)の応力拡大係数が卓越していることが確かめられた。
- (2) 未溶着部には圧縮残留応力が存在するため、特に亀裂が短い間の疲労亀裂進展速度は減速する。
- (3) 実際の構造物では設計時に想定できない拘束による応力が発生するため、圧縮残留応力の効果が期待できない場合もあるため、設計許容応力範囲は亀裂の閉口が生じないような条件で行った疲労試験の結果に基づいて設定すべきである。

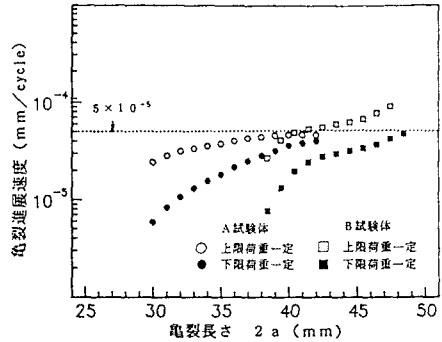


図3. 疲労亀裂進展速度

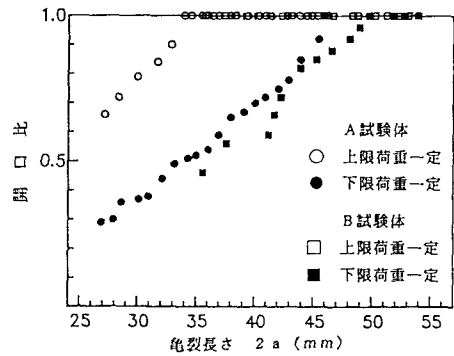


図4. 開口比と亀裂長さの関係

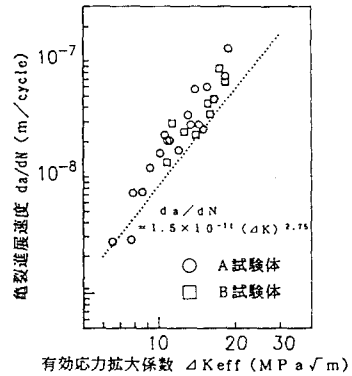


図5. $da/dN-\Delta K_{eff}$ の関係