

I - A245

疲労亀裂の進展に伴う残留応力の再分布挙動に関する研究

○東京工業大学 学生員 木本和志

東京工業大学 正会員 穴見健吾

1.はじめに

鋼橋等で近年盛んに用いられる溶接継ぎ手の疲労強度を正確に評価するためには、溶接残留応力の疲労亀裂の進展に与える影響を正しく評価する必要がある。溶接残留応力は一般に複雑な分布をし、亀裂発生以前の分布状態の評価についてすら困難な面が多く、亀裂の進展後の分布にまで言及した研究は少ない。そこで、本研究では亀裂の進展にともない残留応力がいかに再分布するかを明らかにすることを目的として行った。ここでは、薄板に導入した貫通亀裂、厚板に導入した表面亀裂を対象として検討を行った。貫通亀裂を対象とした実験はバンドソーを用いて人工的に作成したスリットを亀裂と見立て sawcut による方法と、実際に疲労試験を行う2通りの方法で行った。

2.薄板を用いた sawcut による亀裂進展シミュレーション

a) 実験的検討

実験に用いた試験体の諸元を Fig. 1 に示す。試験体は中央に一本の溶接ビードを有する、たて突き合わせ溶接継ぎ手とし、亀裂は y 軸に直角に入った亀裂が x 軸に沿って伝播する場合を対象としている。以下、応力成分としては亀裂面に直角な成分の σ_y を対象とし、分布はリガメント上の応力分布を取り上げる。残留応力の測定は切

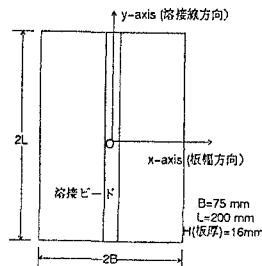


Fig.1 実験モデルの諸元

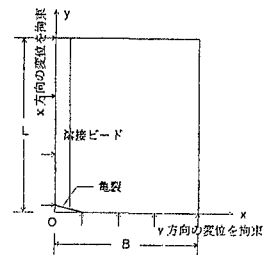


Fig.2 解析モデル

断法により、各亀裂長からの解放ひずみの値によりその亀裂長での残留応力分布を求めた。Fig. 2 に初期および再分布後の残留応力分布を示す。亀裂先端が初期に圧縮の残留応力が作用していた領域にまで達した後も、亀裂先端には常に高い引っ張りの残留応力が作用している。

b) 解析的検討

解析モデルは試験体の対象性を考慮して Fig. 6 に示す 1/4 モデルを用いた。残留応力の解析には汎用

有限要素法ソフト sysweld を用い、熱弾塑性クリープ解析を行うことにより求めた。亀裂進展後の残留応力は x 軸上（リガメント上）の変位の拘束を解放して、弾塑性解析を行うことによって求めた。解析結果を Fig. 7 に示す。初期圧縮残留応力場に亀裂が進展した後も亀裂先端には引っ張りの残留応力が働いており、sawcut と一致した傾向を示している。

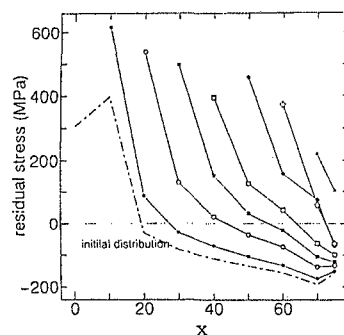


Fig.3 実験結果

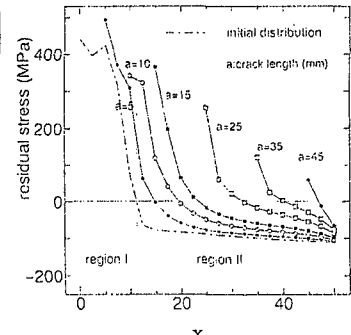


Fig.4 解析結果

キーワード 溶接残留応力 再分布 疲労亀裂 sawcut

〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1

3. 疲労き裂の進展に伴う残留応力の再分布

疲労試験は動的載荷能力 $\pm 300\text{kN}$ の電気油圧式疲労試験機を用い、荷重範囲を一定に保って行った。亀裂長が目標に達したと判断した時点で試験機から試験体を取り外し、sawcut 同様切断法によって残留応力の測定を行った。Fig. 3～5に各亀裂長さによる再分布後の残留応力分布を示す。亀裂長がごく短いうち(亀裂長/板幅 $=0.13$)は亀裂先端には高い引っ張りの残留応力が作用するが、亀裂長が長くなるにつれその大きさが緩和され、亀裂長/板幅 $=0.43$ ではほとんど引っ張りの残留応力は働いていない。

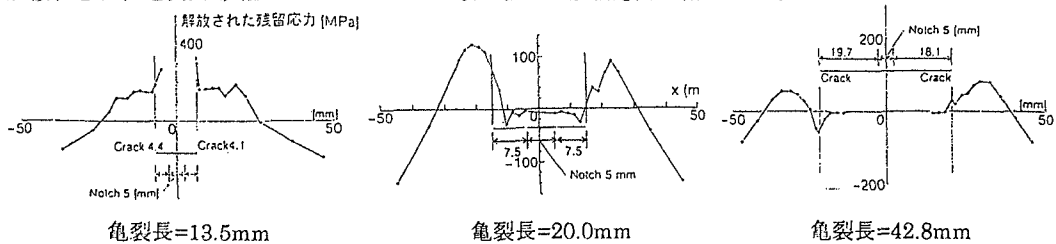


Fig.5 疲労試験の結果

4. 厚板を用いた亀裂進展シミュレーション

実験方法

表面亀裂では、き裂前縁にその残留応力分布を求めることは実験的にも解析的にも困難である。そこで、本研究では除荷時にも疲労き裂先端が開閉しないときには、き裂先端には引っ張りの残留応力が、除荷時に閉口するときは圧縮もしくは0の残留応力が作用するとして、き裂の開閉口挙動からき裂先端での残留応力について検討した。き裂の開閉口の状態は超音波探傷試験により、荷重レベルに対して変化する疲労き裂先端からの端部エコーの変化を記録することによって推定した。

実験結果

実験結果を Fig.8 に示す。溶接なし試験体では除荷時に相対エコー高さは明瞭な低下し、き裂が開閉することを示している。一方、溶接あり試験体で亀裂長が短いうちの実験結果では、荷重の変化に対してエコー高さはほとんど変化せず、き裂が除荷時にも閉口しないことを示している。溶接あり試験体で、き裂長が比較的に長くなると荷重に対する相対エコー高さの変化の挙動は溶接なし試験体のそれに類似しており、き裂が除荷時に閉口することを示している。

以上の結果を言い換えると、溶接あり試験体の亀裂が短い時は亀裂先端に引っ張りの残留応力が働くが、溶接なし試験体、および溶接あり試験体で亀裂の長いときには、き裂先端に残留応力は発生しないということになる。

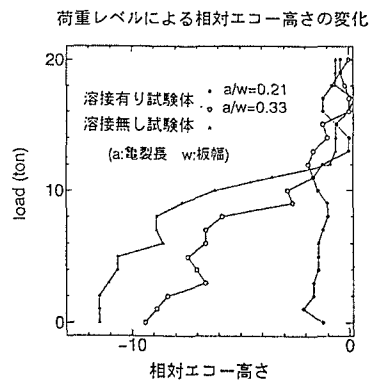


Fig.6

5. まとめ

sawcut ではき裂先端には、先端が初期圧縮残留応力場に入った後も常に引っ張りの残留応力が発生するが、疲労試験では、繰り返し載荷の影響のために、亀裂長が長くなるにつれて疲労き裂先端の引っ張り残留応力は緩和されていく。疲労試験の結果は貫通き裂、表面き裂ともに上記の結果が当てはまる。

参考文献

Chitoshi MIKI: Influence of Residual Welding Stress on Fatigue Crack Growth Rate, PROC. OF JSCE No.330, February 1983