T字溶接継手に生じる疲労き裂の進展経路に関する検討

名古屋大学 学生会員 〇土屋 啓佑 正会員 舘石 和雄 正会員 判治 剛

1. はじめに

鋼橋に発生する疲労き裂は、同じような箇所から発生した 場合であっても、同じ進展経路をとるとは限らない.例えば デッキプレートとトラフリブ接合部からの疲労き裂を考えた 場合、接合部からき裂が発生した後、き裂がデッキプレート をほぼ垂直に進展するものもあれば、水平方向に徐々に向き を変えながら進展するものもある.このようなき裂進展経路 の相違は、き裂周辺の応力状態に影響を受けるためであると 考えられる.逆に、き裂進展経路を詳細に分析することによ り、き裂周辺の応力場を把握することができ、対象としたき 裂の今後の進展挙動の推定や、さらには最適な補修対策の策 定へとつながると予想される.本研究では溶接継手に生じた き裂の進展解析を行い、き裂進展経路の違いに影響を与える 要因について検討するとともに、溶接継手の疲労試験を行う ことにより解析結果を検証した.



2. 「字溶接継手のき裂進展解析

本研究では、T 字溶接継手のリブに引張と曲げを作用させてき裂進展解析を行った. 解析モデルは図-1 に示すような T

字溶接継手であり,要素には20節点ソリッド要素(奥行き方向は単位長さ)を用い, 溶接止端部に0.5mmの初期き裂を導入した.荷重は,き裂を入れる溶接止端部の 公称曲げ応力 σ_b が100MPaになるように,リブに引張と曲げを作用させた.主板 の片側に水平ばねを導入し,その剛性を変化させることにより主板内の膜応力の 大きさを調整できるようにした.また全節点のz軸方向の変位を拘束し,平面ひ ずみ状態とした.ヤング率を 2.0×10^5 MPa,ポアソン比を0.3とし,主板長 L を 100~400mm,板厚 t を 6~30mm と変化させて解析を行った.

3. 解析結果

図-2 に示すような溶接止端部の公称曲げ応力 σ_b , 平均せん断応力 τ , 主板内に2 次的に生じる膜応力 σ_m , リブの膜応力 σ_{rm} , リブの曲げ応力 σ_{rb} からなる4つのパ ラメータ, τ/σ_b , σ_m/σ_b , σ_{rm}/σ_b , σ_{rb}/σ_b がき裂進展経路に与える影響について着目 した¹⁾.

例として σ_{rb}/σ_b のみを変化させた場合のき裂進展経路を図-3 に示す.縦軸は着 目する溶接止端部からの鉛直方向の距離を、横軸は水平方向の距離をそれぞれ板 厚tで無次元化したものである.このグラフはき裂進展解析により最終的に得ら れたき裂の形状を示している.図-3から,き裂が板厚の約60%以上になると, σ_{rb}/σ_b の増加に伴いき裂がより水平方向に進展することがわかる.次に、き裂進展経路 を表す一つの指標としてき裂の初期角度0を図-4 に示すように定義し、初期角度 とパラメータの関係を分析した.その結果を図-5 に示す.図-5(a)~(d)は0と τ/σ_b , σ_m/σ_b , σ_{rb}/σ_b の関係をそれぞれ示している.図-5 からき裂の初期角度



図-3 σ_{rb}/σ_bの影響



図-4 初期角度0の定義

キーワード 疲労き裂,き裂進展経路,き裂進展解析,溶接継手

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科 TEL 052-789-4620

45

に影響を与えるパラメータは τ/σ_b と σ_{rm}/σ_b である ことがわかる.また両者を比較した場合, σ_{rm}/σ_b に比べ τ/σ_b の方がより相関が高いといえる.従っ て、今回用いたパラメータの中では、き裂の初期 角度に最も影響を与える因子は τ/σ_b であると考え られる.このことから、き裂の初期角度を測定す ることにより、き裂周辺の応力状態を表すパラメ ータの一つである τ/σ_b を推定できる可能性が示さ れたといえる.

4. き裂進展解析の実験的検証

き裂進展解析と同じ条件下でT字溶接継手の疲 労試験を行い,試験体のき裂進展経路と解析結果 を比較することにより,解析の妥当性を検証した.

試験体を図-6 に示す.表-1 に示すように,2種類の試験体を用いて疲労試験を行った.試験は写真-1 に示すように,試験体の端部を高力ボルトにより固定し,リブに一定の繰り返し荷重を与えるという方法で行った.周波数は5Hzとした.

5. 試験結果

結果の例として主板長 180mm の試験体のき裂 進展経路を図-7 に示す.座標系は図-3 と同様であ る.図中のプロットされた点は試験結果を,実線 は解析結果を示している.板厚の 60%程度までは 試験結果と解析結果は概ね一致しているが,き裂 が板厚の 60%を超えると両者は一致していない. 主板長 270mm の試験体に関しても同様な結果が 得られた.今回の試験では主板の下面からのき裂 の発生および進展により破断に至ったが,き裂進 展解析ではこのような主板の下面からのき裂発生 を再現できないため進展経路が異なったものと予 想される.この点に関しては今後より詳細に検討 する必要がある.実験より求められた初期角度0

解析結果 . 主板長180mm (degree) (degree) 主板長270mm 30 30 θ θ 15 0 0 $\overline{\sigma_m}/\sigma_b$ 0.04 0.06 0.10.2 0 $\tau/\sigma_{\rm h}$ (b) θとσ_m/σ_bの関係 (a) θとτ/σ_bの関係 45 44 (degree) (degree) 30 θ θ 15 0 0 $\frac{0.4}{\sigma_{rb}}/\sigma_b^0$ 0.4 0.8 0 0.8 $\sigma_{\rm rm}/\sigma_{\rm b}$ (d) $\theta \geq \sigma_{rb} / \sigma_b$ の関係 (c) $\theta \ \delta \sigma_{rm} / \sigma_b$ の関係

45

図-5 θとパラメータの関係

表-1 疲労試験の条件

L (mm)	t (mm)	τ/σ_b	σ_m / σ_b	σ_{rm}/σ_{b}	σ_{rb}/σ_{b}
180	12	0.045	0.021	0.11	0
270	22	0.049	0.020	0.22	0







図-6 試験体の寸法 (unit:mm)

0.2

 $\frac{0}{10}$

0.2

0.4

0.6

0.8

x / t 0.6 0.4

0.8

き裂入

• 試験結果

解析結果

図-7 試験体のき裂進展経路

とτ/σ_b との関係を図-5(a)に示す. 疲労試験結果が解析結果と同様な位置にプロットされていることがわかる.

以上の結果より,数少ないデータではあるが,き裂の初期角度と平均せん 断応力の関係を明らかにすることができた.

6. まとめ

T 字溶接継手のリブに引張と曲げを作用させた場合のき裂進展解析を行い, き裂の初期角度と平均せん断応力の関係を明らかにするとともに, T 字溶接 継手の疲労試験を行うことにより, 解析結果を検証した.

参考文献

1) 舘石, 判治: 溶接継手に生じた疲労き裂の進展経路に関する解析的検討, 鋼構造年次論文報告集, 第 15 巻, pp321-326, 2007