

## 縦リブ溶接継手の極低サイクル疲労試験と疲労強度予測のための簡易解析法

名古屋大学 正会員 ○判治 剛 名古屋大学 正会員 館石 和雄

**1. はじめに** 著者らはこれまでに T 字溶接継手の極低サイクル疲労に関する一連の研究を行ってきており、T 字継手の極低サイクル疲労強度は、き裂発生点の局部ひずみと著者らが求めた疲労強度曲線を比較することで評価できることを明らかにした<sup>1)</sup>。また、1mm 程度の比較的粗い要素分割を用いた有限要素解析結果により局部ひずみを推定する手法を提案した<sup>2)</sup>。本研究では縦リブ溶接継手を対象とし、T 字継手の場合と同様の検討を行った。まず極低サイクル疲労試験を行い、疲労強度を実験的に明らかにし、局部ひずみによる疲労強度の評価を試みた。さらに、T 字溶接継手に対して開発した簡易解析法の縦リブ溶接継手への適用性を検討した。

**2. 極低サイクル疲労試験** 試験体は図-1 に示すとおりであり、主板厚 10mm と 19mm の 2 体を用いた。試験状況を図-2 に示す。試験体の端部をボルトにより固定し、リブを上下させることで試験体に繰り返し変形を与えた。試験は一定変位振幅で行い、設定変位は $\pm 12\text{mm}$ とした。

**3. 疲労試験結果** き裂発生状況を図-3 に、破面を図-4 に示す。き裂はまわし溶接止端部から複数発生し、それらが結合しながら止端部に沿って進んだ後、母材へと進展して破断に至った。主板厚 10mm の試験体では 2.25 回で、19mm の試験体では 1.25 回で数 mm 程度のき裂の発生を最初に確認したため、このときの繰り返し数を疲労寿命とした。

**4. 局部ひずみによる極低サイクル疲労強度評価** 試験体の止端形状を忠実に表現したモデル（以下、詳細モデル）により局部ひずみを算出し、得られた局部ひずみを基に試験体の疲労強度評価を行った。解析モデルを図-5 に示す。止端形状の計測結果を参考にして、止端半径は 0.304mm、止端角は 54.5 度とした。境界条件は試験と同様とし、荷重はリブに変位制御で载荷した。降伏強度は 400MPa とし、構成則はバイリニア型とした。硬化則には移動硬化則を用いた。解析から求めた局部ひずみと疲労試験により得られた疲労寿命の関係を過去に求めた疲労強度曲線と比較した結果を図-6 に示す。き裂発生点である溶接金属部の強度曲線と比較すると、試験結果はやや上側に位置している。この理由として、強度曲線では 0.5mm のき裂を発見したときの繰り返し数を疲労寿命としていること、止端半径には計測値の最小値を設定したため局部ひずみを大きめに推定していることが考えられる。以上の点を考慮すると、試験結果は溶接金属部の強度曲線と比較的よく一致していると考えられ、詳細モデルから求めた局部ひずみによる疲労強度評価法は縦リブ溶接継手にも適用可能であるといえる。

**5. 疲労強度予測のための簡易解析法** T 字溶接継手に対して開発した疲労強度予測のための簡易解

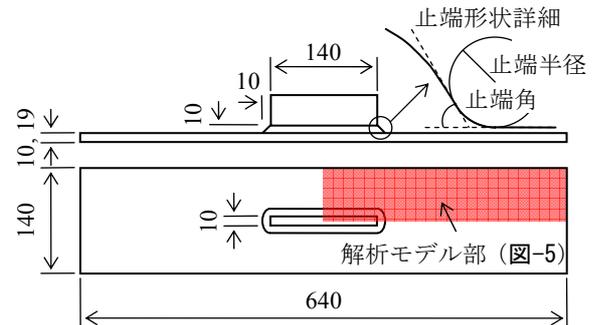


図-1 縦リブ溶接継手試験体

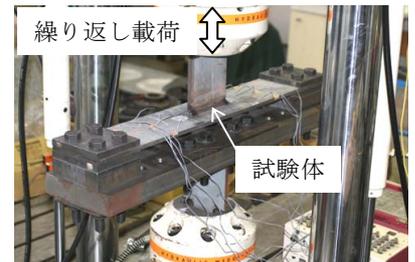


図-2 試験状況

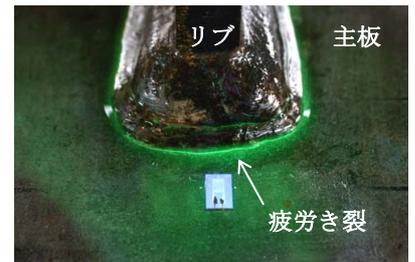


図-3 き裂発生状況 (主板厚 19mm)

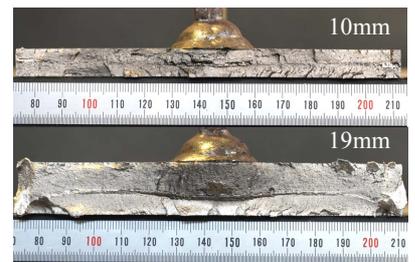


図-4 破面

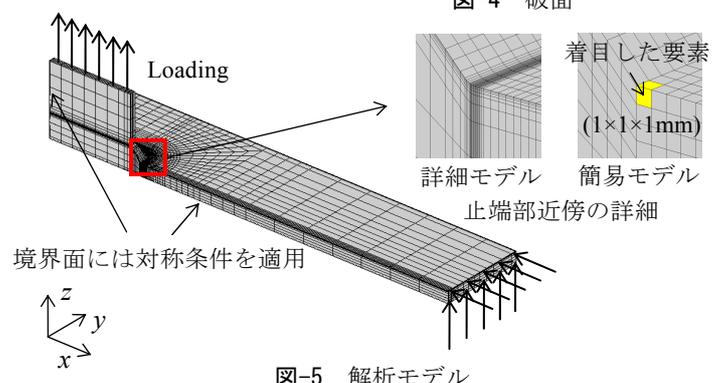


図-5 解析モデル

キーワード 極低サイクル疲労, 縦リブ溶接継手, 局部ひずみ, き裂発生寿命, 弾塑性有限要素解析

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学エコトピア科学研究所 TEL052-789-4620

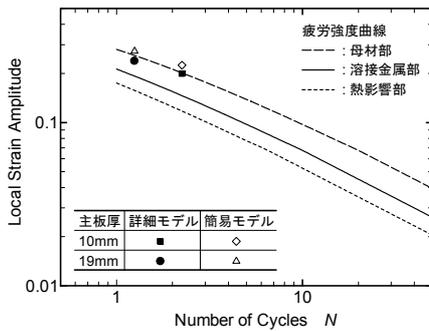


図-6 疲労試験結果

Case	止端半径 (mm)	主板厚 (mm)	リブ長 (mm)
1	0.2	12	100
2	0.5	12	100
3	1	12	100
4	2	12	100
5	1	24	100
6	1	36	100
7	1	12	200
8	1	12	400

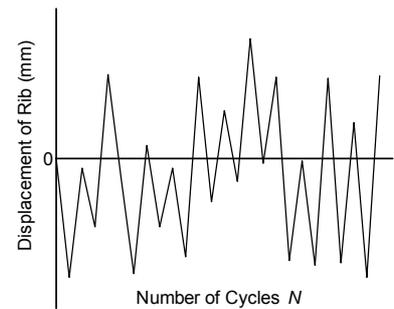


図-7 载荷パターン例

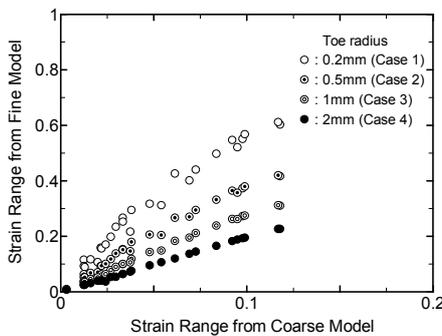
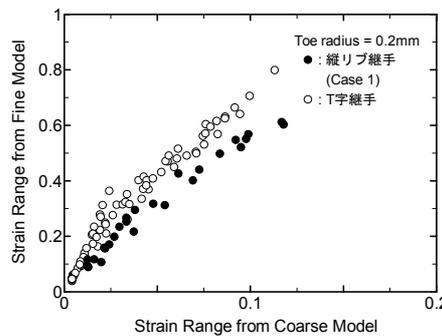
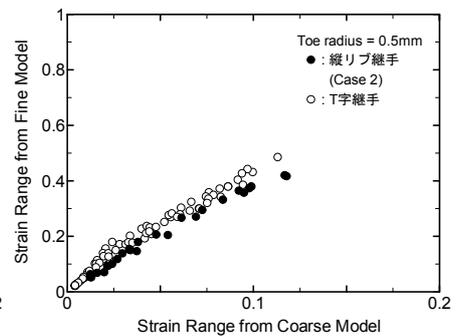


図-8 止端半径の影響



(a) 止端半径 0.2mm



(b) 止端半径 0.5mm

図-9 T字溶接継手との比較

析法は、図-5に示すように止端部に1mmという比較的大きな要素を配置したモデル(以下、簡易モデル)による解析から詳細モデルの局部ひずみを推定するというものである。本解析法の縦リブ溶接継手への適用を試みた。まず、詳細モデルと簡易モデルによるひずみを比較し、両者の関係に支配的な影響を与えるパラメータを検討した。解析には図-5に示すモデルを用いた。着目したパラメータはT字継手を参考にして、止端半径、主板厚、リブ長とした。解析ケースを表-1にまとめる。全ケースに対して簡易モデルも製作した。図-7に示す载荷パターンをリブに与え、詳細モデルでは局部ひずみの履歴から、簡易モデルでは図-5中に示した止端部に配置した要素のひずみの履歴からレインフロー法によりひずみ範囲を算出し、両者を比較した。その結果の例を図-8に示す。これは止端半径を変化させたとき(Case1~4)の結果である。図より、止端半径の大きさにより両者の関係に顕著な違いがみられる。なお、主板厚とリブ長の影響はほとんどみられなかった。この結果より、縦リブ溶接継手に対しても、T字溶接継手において提案した止端半径のみをパラメータとした、簡易モデルから局部ひずみを推定するための関係式を適用できると考えられる。そこで、縦リブ継手において得られた関係とT字継手におけるそれ<sup>2)</sup>を比較した。その結果の例を図-9に示す。止端半径が0.2mmとかなり小さいときには縦リブ継手の関係はT字継手のやや下側に位置しているが、その差は小さく、0.5mmではほとんど一致している。これは継手形状の影響が解析モデルに含まれているためである。よって、若干大きめに局部ひずみを評価することにはなるが、縦リブ溶接継手にもT字溶接継手に対して求めた関係式を適用できるといえる。

**6. 簡易解析法の適用性の検討** 試験体を簡易モデルによりモデル化してひずみ範囲を求め、計測した止端半径とT字溶接継手に対して提案した関係式<sup>2)</sup>を用いて局部ひずみを推定した。局部ひずみと疲労試験結果の関係を図-6中に併記した。簡易モデルにより疲労強度を評価した場合、詳細モデルを用いた場合に比べてやや安全側の疲労強度評価となっているとはいえ、本簡易解析法は縦リブ溶接継手にも十分有効であるといえる。

**7. まとめ** 本研究では縦リブ溶接継手を対象とし、極低サイクル疲労試験により疲労強度を実験的に明らかにした。さらに、溶接部を忠実に再現した解析モデルから求めた局部ひずみにより疲労強度が評価できること、T字溶接継手に対して提案した簡易解析法は縦リブ溶接継手にも十分な精度で適用できることを明らかにした。なお、設計段階にて用いられるような公称ひずみから局部ひずみを推定する際には、T字溶接継手とは別に縦リブ溶接継手に対する局部ひずみ推定法を新たに構築する必要がある、今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 判治ら, 局所的なひずみを基準とした溶接継手の極低サイクル疲労強度評価, 土木学会論文集, No.808/I-74, pp.137-145, 2006.
- 2) Tateishi, K. et. al.: A new local strain based approach to low cycle fatigue assessment of welded joint, 鋼構造論文集, Vol.13, No.52, pp.73-81, 2006.