

止端処理を施した溶接継手の極低サイクル疲労強度推定手法に関する研究

名古屋大学大学院 学生会員 ○埴淵脩司

名古屋大学 正会員 館石和雄

東京工業大学 正会員 判治 剛

1. はじめに 著者らはこれまでに、TIG 処理とグラインダー処理の 2 つの止端処理方法に着目し、T 字溶接継手を対象とした、止端処理による溶接継手の極低サイクル疲労強度向上効果を実験的に明らかにした。そこで本研究では止端形状と疲労強度の関係を解析的に明らかにし、止端処理部の形状から溶接継手の極低サイクル疲労強度を簡易的に推定する手法について検討した。

2. 溶接継手の極低サイクル疲労強度 止端処理を施した溶接継手の疲労強度は、き裂発生点の局部ひずみを用いて整理することができ、その局部ひずみは、止端処理部に幾何学的な形状変化によるひずみ集中箇所が生じ、そこに発生する塑性変形の発達によって形成されるものと考えられる。そこで本研究では、次のような仮定をおく。幾何学的な形状変化により生じるひずみ集中の程度は、弾性計算から得られる局部ひずみと公称ひずみの比によって表せるものとし、その比を弾性ひずみ集中係数とする。また、ひずみ集中箇所における弾性解と弾塑性解の比を塑性ひずみ集中係数とし、止端処理部に生じる局部ひずみを両者の積を用いて次のように表現できるものと仮定した。

$$\varepsilon_l = K_e \cdot K_p \cdot \varepsilon_n \quad (K_e = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_n}, K_p = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_e}) \quad (1)$$

ここで、 K_e は弾性ひずみ集中係数、 K_p は弾性ひずみ集中係数、 ε_n は弾性解析において溶接部から十分に離れた位置のひずみ分布から処理部底位置へ外挿して求めたひずみの振幅（公称ひずみ振幅）、 ε_e は弾性解析から求めた止端処理部底におけるひずみ振幅（弾性ひずみ振幅）、 ε_l は弾塑性解析から求めた止端処理部底における弾塑性ひずみ振幅である。

3. 解析条件 図-1 に解析モデルおよび境界条件を示す。解析では図-2 に示す曲率半径、処理深さおよび板厚を変化させておこなった。解析ケースを表-1 に示す。また公称ひずみ振幅は、0.002 から 0.02 までとした。弾塑性解析における構成則はバイリニア型で二次勾配はヤング係数の 1/100、硬化則は移動硬化則を用いた。

4. 解析結果 切欠き部が存在する部材に曲げ変形が作用した際、弾性ひずみ集中係数は曲率半径、処理深さ、板厚を用いて整理できることが示されている¹⁾。そこでキーワード 極低サイクル疲労、溶接継手、止端処理

本研究では弾性ひずみ集中係数 K_e を、処理深さ d を板厚 t で除した値 d/t 、板厚 t を曲率半径 r で除した値 t/r を用いて表現した。解析結果を基に回帰分析を行い、次式に示すような弾性ひずみ集中係数 K_e と各パラメータの関係式を得た。

$$K_e = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_n} = 0.84 \cdot \left(\frac{d}{t}\right)^{0.20} \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{0.49} + 1 \quad (2)$$

図-3 に式(2)を用いて公称ひずみ振幅(ε_n)から推定した処理部の弾性ひずみ振幅(ε_e)と弾性有限要素解析より求めた弾性ひずみ振幅(ε_e)を比較した結果を示す。両者はよく一致しており、式(2)は十分な精度を有しているといえる。次に曲率半径、処理深さおよび板厚を様々に変化させたときの処理部のひずみ振幅の弾塑性解(ε_l)と弾性解(ε_e)の関係を図-4 に示す。板厚を変化させた際に両者の間に顕著な差が生じていることがわかる。そこで本研究では板厚ごとに解析結果を区分し、それぞれの板厚に

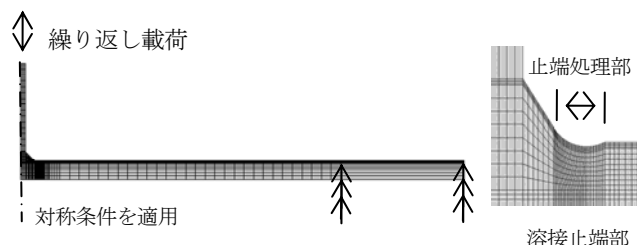


図-1 解析モデルおよび境界条件

表-1 解析ケース

曲率半径	処理深さ	主板厚
6-10mm	0.2-1.2mm	12-50mm

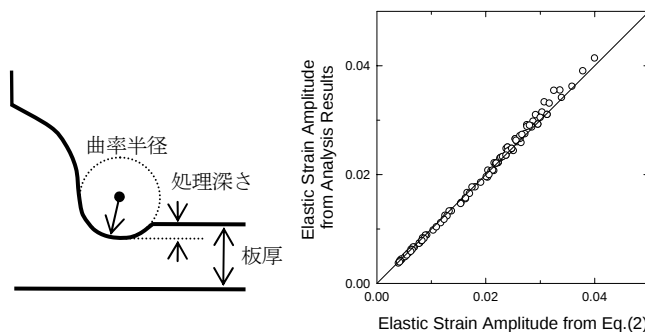


図-2 溶接止端形状

図-3 ε_e の推定値と解析値の比較

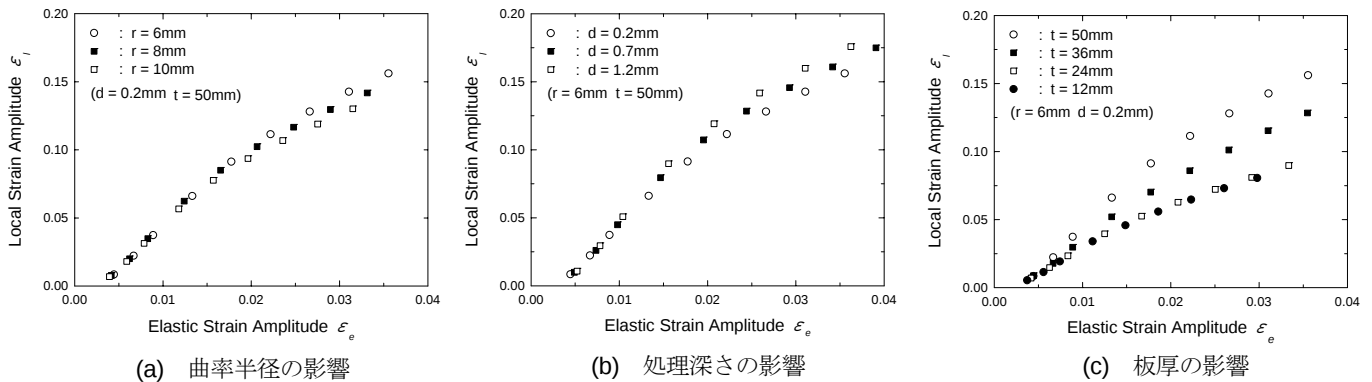


図-4 処理部のひずみ振幅における弾塑性解と弾性解の関係

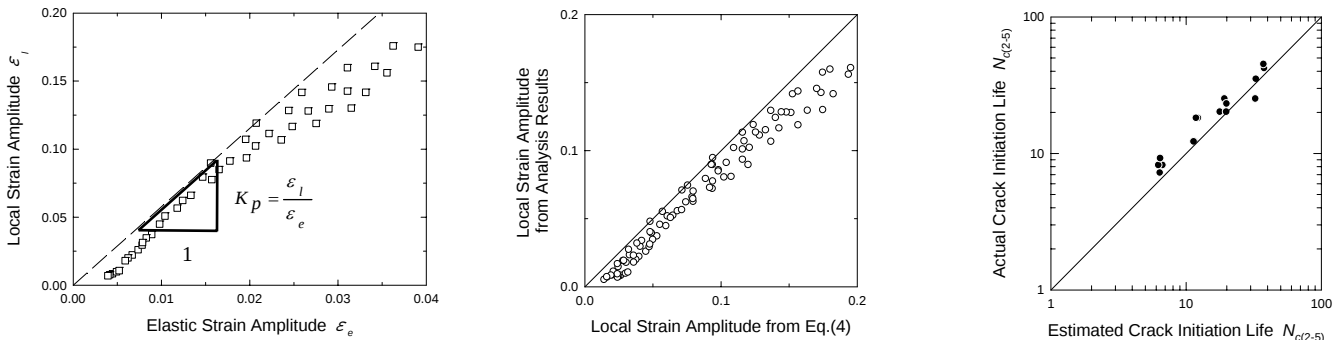
図-5 板厚 50mm の解析結果における K_p 図-6 ε_l の推定値と解析値の比較

図-7 疲労寿命の比較

において、図-5 に示すような両者の関係の上限を通る直線を決定し、その直線の傾きを K_p とした。得られた K_p と板厚の関係に基づき回帰分析を行い、次式に示す処理部のひずみ振幅の弾塑性解 (ε_l) と弾性解 (ε_e) の関係式を得た。

$$K_p = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_e} = 3.06 \times 10^{-4} t^{2.28} + 3.47 \quad (3)$$

ただし t は板厚 (mm) である。

以上の結果から、式(2)と式(3)を組み合わせることにより、処理部に生じる弾塑性ひずみ振幅と公称ひずみ振幅の関係式が次のように得られる。

$$\varepsilon_l = (3.06 \times 10^{-4} t^{2.28} + 3.47) \left\{ 0.84 \left(\frac{d}{t} \right)^{0.2} \left(\frac{t}{r} \right)^{0.49} + 1 \right\} \varepsilon_n \quad (4)$$

公称ひずみ振幅と式(4)より推定した処理部の弾塑性ひずみ振幅と、弾塑性有限要素解析から求めた値を比較した結果を図-6 に示す。図より、式(4)は全ての解析値に対して大きめの推定値を与える結果となっているが、両者の相関は高く、その有効性は十分といえる。

5. 過去の実験結果による検証 止端処理 (グラインダー処理) を施した溶接継手の極低サイクル疲労強度は、次式に示す局部ひずみ振幅と疲労寿命の関係式を用いて整理することができる²⁾。

$$\varepsilon \cdot N_c^k = C \quad (k = 0.587, C = 0.203) \quad (5)$$

ここで、 ε : き裂発生位置での局部ひずみ振幅、 N_c : き裂発生寿命、 k 、 C : 材料定数、である。式(5)に式(4)を代

入することにより、止端形状と公称ひずみ振幅から疲労寿命を推定できる。そこで過去に行われたグラインダー処理を施した T 字溶接継手の疲労試験結果²⁾を用いて上式を検証した。ただし T 字溶接継手の疲労試験結果は数 mm のき裂が発生した時の繰返し数を疲労寿命としているのに対し、式(5)はき裂長が 0.5mm の時の繰返し数を疲労寿命としている。この差を考慮するため、実験結果に基づき、次のように疲労寿命を修正して用いた。

$$\varepsilon \cdot \left(\frac{N_c}{2.23} \right)^k = C \quad (6)$$

式(4)と式(6)を用いて疲労寿命を算出し、試験結果と比較した。その結果を図-7 に示す。式(4)に代入する止端形状は実測値を用いた。図より推定値と実測値はよく一致しており、提案した関係式の妥当性を確認することができる。以上の結果から、止端形状と公称ひずみ振幅から止端処理を施した継手の疲労寿命を推定できることが示されたといえる。

参考文献

- 1) 西田正孝：応力集中，森北出版，1969。
- 2) Tateishi K. et al.: Improvement of extremely low cycle fatigue strength of welded joints by toe finishing, IIW XIII-2232-08. (2008)