

弾性解析による溶接止端部の弾塑性ひずみ振幅の簡易推定

名古屋大学 学生会員 ○西島 千絵 名古屋大学 正会員 判治 剛
 名古屋大学 フェロー会員 舘石 和雄 名古屋大学 正会員 清水 優

1. 研究の目的

溶接継手の低サイクル疲労強度は、き裂発生点である溶接止端部の弾塑性ひずみ振幅（以下、局部ひずみ振幅）に支配される。著者らはこれまでに、簡易な低サイクル疲労照査法の確立のための足掛かりとして、局部ひずみ振幅を簡易に推定する手法について検討している。本研究では、本来は詳細な要素分割を有する弾塑性解析により求める溶接止端部の局部ひずみ振幅を弾性解析から推定することを試みる。

2. 解析モデル

鋼橋の代表的な溶接継手として十字継手を対象に、寸法を様々に変化させて有限要素解析を行った。図-1 に解析モデルを示す。解析には汎用有限要素解析コード Abaqus 6.14 を用いた。対称性を考慮した 1/4 モデルとし、要素には 4 節点低減積分平面ひずみ要素を用いた。解析ケースを表-1 に示す。解析では主板厚 t_m ・リブ厚 t_r ・溶接サイズ h_w を変

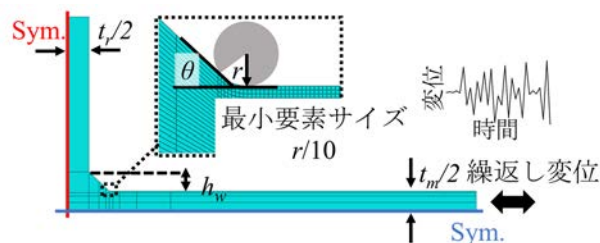


図-1 解析モデル

表-1 解析ケース

解析 シリーズ	主板厚 t_m (mm)	リブ厚 t_r (mm)	溶接サイズ h_w (mm)
CJ-1(6 ケース)	12-75		6-37.5
CJ-2(6 ケース)	12-75	24	10
CJ-3(5 ケース)	24	12-75	10
CJ-4(3 ケース)	24	24	6-14

降伏応力：235 N/mm²，弾性係数 E ：2.0×10⁵ N/mm²

ポアソン比：0.3

材料構成則：2 次勾配 $E/100$ パイリニア型，移動硬化則

化させた。主板長は、主板端部において応力集中の影響がなくなるまで十分に長くした。溶接止端形状は止端角 45°，止端半径 0.1 mm とし、溶接金属部や熱影響部は区別せず全体を均一な材料でモデル化した。後述のように、溶接止端部の局部ひずみは弾塑性解析により求め、それと関連付ける公称ひずみは弾性解析により求めた。弾塑性解析における材料モデルは表-1 中に示すとおりである。

3. 公称ひずみ振幅－局部ひずみ振幅関係

本研究では、弾性解析から求める公称ひずみ振幅から弾塑性解析による局部ひずみ振幅を推定することを試みた。両者の関係式を構築する流れを図-2 に示す。まず、対象とした十字継手に対して、主板端部にランダムな繰返し変位を与えることにより、弾性解析と弾塑性解析を実施する。このとき、両解析のモデルは材料の非線形の考慮の有無を除き同一である。公称ひずみは溶接止端部から十分に離れた位置のひずみとし、局部ひずみは溶接止端部近傍で最もひずみ集中が大きくなる節点の止端に沿った接線方向のひずみとした。得られた公称ひずみと局部ひずみの履歴から、レインフロー法により公称ひずみ振幅 $\Delta\epsilon_n$ と局部ひずみ振幅 $\Delta\epsilon_l$ を抽出し、対応する各振幅の関係をとると、一組の弾性・弾塑性解析につき図

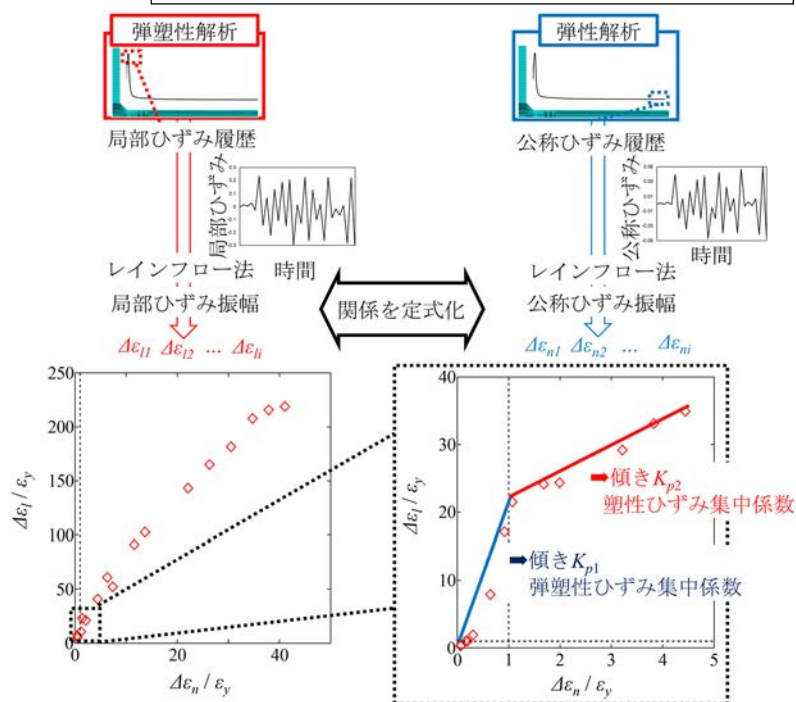


図-2 推定式構築のコンセプト

キーワード 低サイクル疲労，溶接継手，局部ひずみ振幅，公称ひずみ振幅，弾性解析，弾塑性解析

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL052-789-4618

-2 の下段にあるグラフが一つ得られる．この関係は、図-3 に示す塑性域の広がりに伴い、横軸 $\Delta\epsilon_n/\epsilon_y=1$ を境に勾配が大きく変化する．そこで、この関係を図-2 に示すように 2 本の直線でモデル化し、各直線の傾きを求めることにより、式(1)によって弾性解析による公称ひずみ振幅 $\Delta\epsilon_n$ から局部ひずみ振幅 $\Delta\epsilon_l$ を推定することとした．ここで、 $\Delta\epsilon_n/\epsilon_y < 1$ となる領域の直線の傾きを弾塑性ひずみ集中係数 K_{p1} 、それ以上の領域の傾きを塑性ひずみ集中計数 K_{p2} と呼ぶ．

4. 局部ひずみ振幅の推定式の構築

式(1)中の K_{p1} 、 K_{p2} を簡易に求めるために、弾性解析から得られる指標を用いて推定式を構築した．まず、 K_{p1} は溶接止端部に局所的に塑性域が広がっている状態（図-3 左側）を表す指標であると考え、溶接止端部の応力集中係数 K_e と相関が高いと考えた．また、 K_{p2} は溶接止端断面の板厚方向全体にわたって塑性域が広がっている状態（図-3 右側）を表す指標であり、応力集中係数 K_e のような板表面における値だけではなく、板厚方向の弾性ひずみ分布にも着目する必要があると考え、図-4 に示す新たなパラメータ α を定義した．図の横軸は、板厚方向の各位置における長手方向の弾性ひずみ ϵ を止端断面の公称ひずみにより除したものである．詳細は省略するが、 α は、 ϵ が公称ひずみ以下となる領域において、公称ひずみとの差が最大となる点のひずみから公称ひずみ分布に沿って主板表面まで外挿した値とした． K_{p1} と K_e の関係を図-5 に、 K_{p2} と K_e 、 α の関係を図-6 に示す．いずれの関係においてもよい相関がみられ、これらの結果を基に、回帰分析により式(2)および式(3)に示す推定式を得た．

5. 局部ひずみ振幅の推定

前章で求めた K_{p1} と K_{p2} の推定式を用いて式(1)より公称ひずみ振幅から局部ひずみ振幅を推定し、弾塑性解析によって求めたそれと比較した．その結果を図-7 に示す．図より解析値と推定値の差はおおむね $\pm 10\%$ 程度であることがわかる．なお、局部ひずみ振幅が小さくなると推定値が解析値よりも 20% を超えて大きくなる結果もみられるが、これは、 $\Delta\epsilon_n/\epsilon_y < 1$ の領域では、下に凸の曲線で得られる公称ひずみと局部ひずみの関係を直線で近似したためであり、その K_{p1} の定義上、安全側の予測を与える結果になっている．

6. まとめ

本研究では、弾性解析による公称ひずみ振幅から溶接止端部の局部ひずみ振幅を推定する手法の構築し、それにより、弾性解析の結果のみから、比較的よい精度で局部ひずみ振幅を推定できることを示した．

謝辞

本研究の一部は 2022 年度「鋼構造研究・教育助成事業(代表:判治剛)」によるものである．ここに記して深謝します．

参考文献 1) 判治ら：土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会，I-73，2022

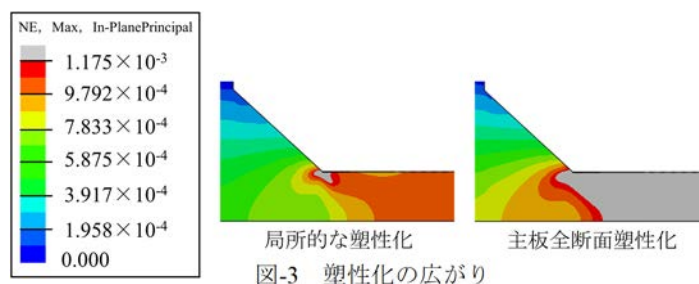


図-3 塑性化の広がり

$$\Delta\epsilon_l = \begin{cases} K_{p1} \cdot \Delta\epsilon_n & \text{if } 0 \leq \Delta\epsilon_n < \epsilon_y \\ K_{p2} \cdot (\Delta\epsilon_n - \epsilon_y) + K_{p1} \cdot \epsilon_y & \text{if } \epsilon_y \leq \Delta\epsilon_n \end{cases} \quad (1)$$

$$K_{p1} = 2.00(K_e - 1)^{1.70} + 1 \quad (2)$$

$$K_{p2} = \left\{ \frac{1.47}{1 + 3.62 \times 10^{36} \times \exp(-97.319\alpha)} + 1 \right\} \cdot (K_e - 1) + 1 \quad (3)$$

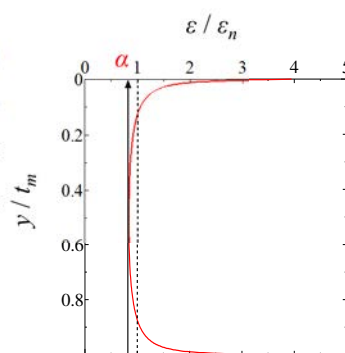


図-4 パラメータ α

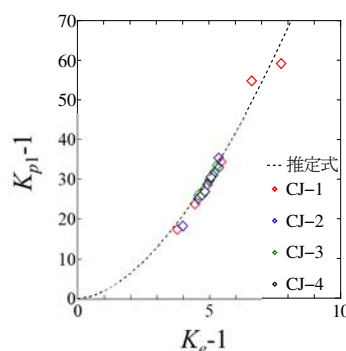


図-5 K_{p1} と K_e の関係

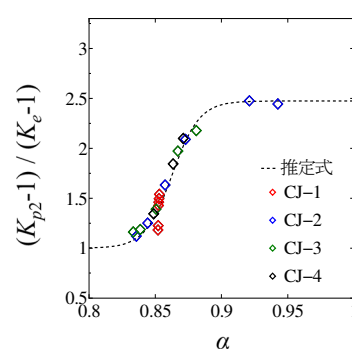


図-6 K_{p2} と K_e 、 α の関係

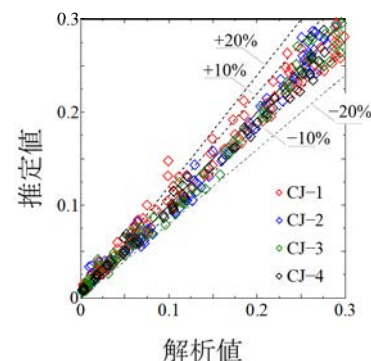


図-7 局部ひずみ振幅の解析値と推定値の比較