

繰り返し曲げを受ける溶接継手の延性破壊解析におけるメッシュ分割による影響の改善法

名城大学大学院 学生会員 ○田口 実季
 名城大学大学院 正会員 藤江 渉
 名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 緒言

1995 年兵庫県南部地震において、鋼製橋脚の基部や隅角部などのひずみ集中部に低サイクルおよび極低サイクル疲労により生じた脆性的な破壊が確認された。脆性的な破壊は、延性き裂発生および進展後に起こることが分かっているため、延性き裂進展を解析的に予測可能とすることは重要である。そこで、繰り返し曲げを受ける T 型溶接継手を対象に、3 段階 2 パラメータ延性破壊モデルを用いた延性破壊解析が行われ、損傷進展エネルギー G_f の簡易推定法が提案されている¹⁾。しかし、メッシュサイズが大きくなるほど解析精度が低下することが分かっている²⁾。0.5mm 角以下のメッシュにおいては破壊解析の妥当性が示されているが¹⁾、本研究では、解析時間の短縮化を図り実用性を向上させるため、特に 1mm 角メッシュにおける破壊解析の精度改善方法を提案する。

2. 解析モデル

解析対象は、繰り返し曲げを受ける T 型溶接継手の溶接部の仕上げやノッチのない、as-weld の試験体 No.2¹⁾とし、図-1 に解析モデルを示す。ソリッド要素を用いて解析を行い、半断面モデルに対称条件を与え、試験体頂部には $1\delta_y$ ずつ漸増変位を与え $12\delta_y$ 以降は定振幅とした。図-2 に板厚方向 (Y 軸方向) のメッシュサイズを示す。溶接止端部近傍の母材のメッシュサイズは、板厚方向に 0.5mm 角と 1mm 角とした。鋼種は SM490YA 材であり、構成則は材料試験を基にした真応力-真ひずみ関係に移動硬化則を適用した。

3. 損傷開始パラメータの補正法

3 段階 2 パラメータ延性破壊モデルの塑性域で導入される損傷開始パラメータ D_{ini} を以下に示す。

$$dD_{ini} = \frac{d\varepsilon_{eq}}{\chi_{cr} \cdot e^{-\frac{3}{2}T}} \quad (T \geq -\frac{1}{3}) \quad , \quad 0 \quad (T < -\frac{1}{3}) \quad (1)$$

ここで、 $d\varepsilon_{eq}$ は相当塑性ひずみの増分、 χ_{cr} は延性破壊パラメータ (母材部 : 2.55, 溶接部 : 2.45)¹⁾、 T は応力三軸度である。図-3 に D_{ini} の履歴を示す。同図より、メッシュサイズの違いが D_{ini} の履歴に影響を及ぼしていることが分かる。0.5mm 角については実験との比較から破壊解析の妥当性が示されており¹⁾、1mm 角によって、実験結果と検証している 0.5mm 角と同等の解析精度を得るため、次式のように、損傷開始パラメータ補正係数 α_{ini} により D_{ini} を補正する。

$$dD'_{ini} = \frac{d\varepsilon_{eq}}{\alpha_{ini} \cdot \chi_{cr} \cdot e^{-\frac{3}{2}T}} \quad (2)$$

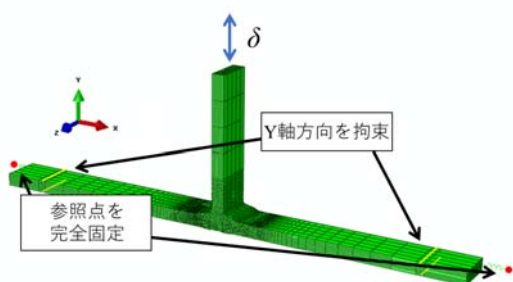
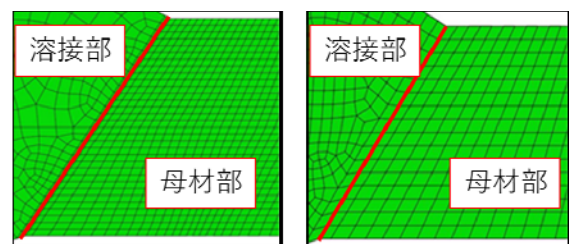


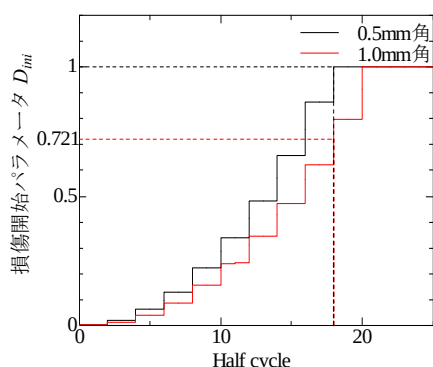
図-1 解析モデル全体



(a) 0.5mm 角

(b) 1mm 角

図-2 板厚方向 (Y 軸方向) の異なるメッシュサイズ

図-3 D_{ini} の履歴 (0.5mm 角および 1mm 角)表-1 D_{ini} 補正前後の $D_{ini}=1$ 時点
および $D_{prop}=1$ 時点の比較

メッシュサイズ	$D_{ini}=1$ 時 Half Cycle	$D_{prop}=1$ 時 Half Cycle
0.5mm	19	23
D_{ini} 補正前 1mm	21	27
D_{ini} 補正後 1mm	19	25

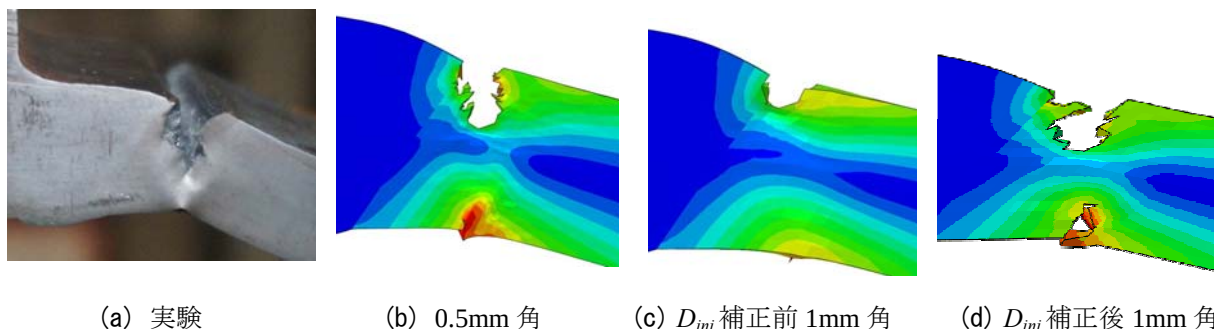


図-4 35 Half Cycle 時の破壊状況の比較 (試験体側面図)

ここで、 α_{ini} は 0.5mm 角で $D_{ini}=1$ に達した時点の 1mm 角の D_{ini} である。このケースでは、図-3 より $\alpha_{ini}=0.721$ となる。 α_{ini} は 0.5mm 角と 1mm 角の非破壊解析結果の比較から求めることが可能である。解析対象ごとに α_{ini} を求めればよく、汎用性がある手法と考えられる。

4. 解析結果

表-1 に D_{ini} 補正前後の比較を示す。同表に示す D_{prop} は損傷進展パラメータであり、 $D_{prop}=1$ に達すると要素が削除され延性き裂発生を模擬する¹⁾。 D_{ini} 補正後 1mm 角の $D_{prop}=1$ 時は 0.5mm 角と比較すると 2 Half Cycle 遅れているが、 D_{ini} 補正前

と比べると改善している。また、図-4 に 35 Half Cycle 時の破壊状況の比較を示す。同図より、 D_{ini} 補正後 1mm 角のき裂進展性状は、実験および 0.5mm 角と概ね整合していると考えられる。図-5 に荷重包絡線の比較を示す。最大荷重後の荷重低下域において、1mm 角の D_{ini} 補正前は、0.5mm 角よりも荷重を過大に評価している。一方、1mm 角の D_{ini} 補正後は、0.5mm 角と比較すると荷重低下域において荷重を若干小さめに評価しているが、その差は 35 Half Cycle において-13%程度であり、妥当な評価であると考えられる。

5. 結論

本研究では、繰り返し曲げを受ける T 型溶接継手を対象に、メッシュサイズによる影響の改善法について検討した。その結果、1mm 角においては D_{ini} を α_{ini} によって補正することで、0.5mm 角と概ね同等の解析精度が得られることを示した。今後は単柱式橋脚の実験供試体など、構造レベルへの適用が可能か検討する必要があるだろう。

参考文献：1) 藤江ら：繰り返し荷重を受ける溶接継手の延性破壊解析における損傷進展エネルギーの簡易算出法，土木学会論文集 A2，Vol.74，No.2，pp.I-591_I-602，2018。2) 藤江ら：鋼材の延性破壊解析における損傷進展エネルギーの簡易推定法のメッシュ分割の影響，土木学会第 75 回年次学術講演会概要集，I-273。

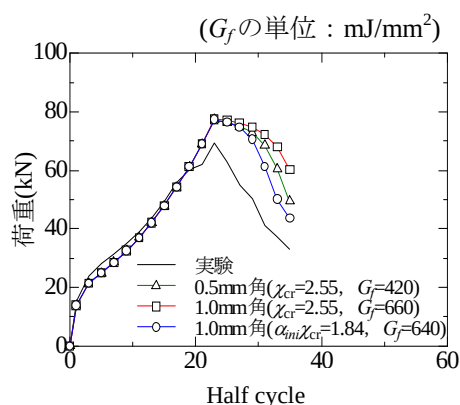


図-5 荷重包絡線の比較