

T 型溶接継手の延性破壊のシミュレーション手法に関する一検討

名城大学大学院

学生会員 ○猪飼 豊樹

名城大学

フェロー

葛 漢彬

1. 序論

1995 年に起きた兵庫県南部地震において溶接構造物や橋梁にて脆性的な破壊が確認された。被害原因の調査により、過大な塑性ひずみが生じたことで延性き裂が発生し、き裂発生箇所を起点として脆性的な破壊が生じていたことが明らかとなった。延性き裂発生により引き起こされる脆性的な破壊は鋼構造の重要な破壊現象の一つであり、溶接鋼構造物の脆性的な破壊を防止するためには、延性き裂発生メカニズムの解明は重要である。そこで本研究では既往の研究¹⁾を踏まえて、レ型開先 T 型溶接継手の繰返し曲げ実験の数値解析を行い、解析手法の妥当性を示すことを目的としている。

2. 解析概要

本解析では解析プログラム ABAQUS6.13 を使用し、文献 1)の母材に切り欠きを設けたレ型開先 T 型溶接継手(No.5 R1.0-NWB-I-Base)をソリッド要素でモデル化する。ただし、解析時間短縮のため半断面でモデル化している。試験体は板厚 16mm の鋼板 SM490YA より幅 100mm で切り出しているため、平面ひずみを確保できると考えられる。そのためメッシュ分割については図-1 に示しているように、き裂発生および進展する箇所は細かく分割し、幅方向は平面ひずみと考えられるため幅 50mm を 20 分割としている。

構成則には、母材部および溶接部には引張実験より算出した真応力-真ひずみ関係を用い、引張強度以降は PLT 法²⁾を用いて応力を評価している。詳しくは文献 2) を参照されたい。硬化指数 n は 0.35 としている。

本研究で用いる延性破壊モデルは、Rice と Tracey のボイド成長モデルをベースとしている²⁾。損傷指数 D を微小増分で表すと、 dD は式(1)で表される。

$$dD = \frac{d\varepsilon_{eq}^p}{\varepsilon_f^p(T)} = \frac{d\varepsilon_{eq}^p}{\chi \cdot e^{\frac{3}{2}T}} \quad (1)$$

ここで、 $d\varepsilon_{eq}^p$ は相当塑性ひずみの増分、 $\varepsilon_f^p(T)$ は破壊ひずみである。微小増分内の応力三軸度 T が一定と仮定しているため、延性破壊パラメータ χ を定義することで破壊ひずみが算定される。母材には $\chi=2.55$ ²⁾、溶接部には $\chi=2.45$ を与えている。異なる応力三軸度下で $D=1$ に達した時、要素が削除されると定義している。しかし、繰返し载荷の場合はき裂発生と同時にまたは直後に破断ではなく、き裂が進展し破断に至るため、グリフィス理論に基づいたパラメータを導入することで実験のき裂進展を模擬している。

载荷方法は文献 1)の実験と同様である。

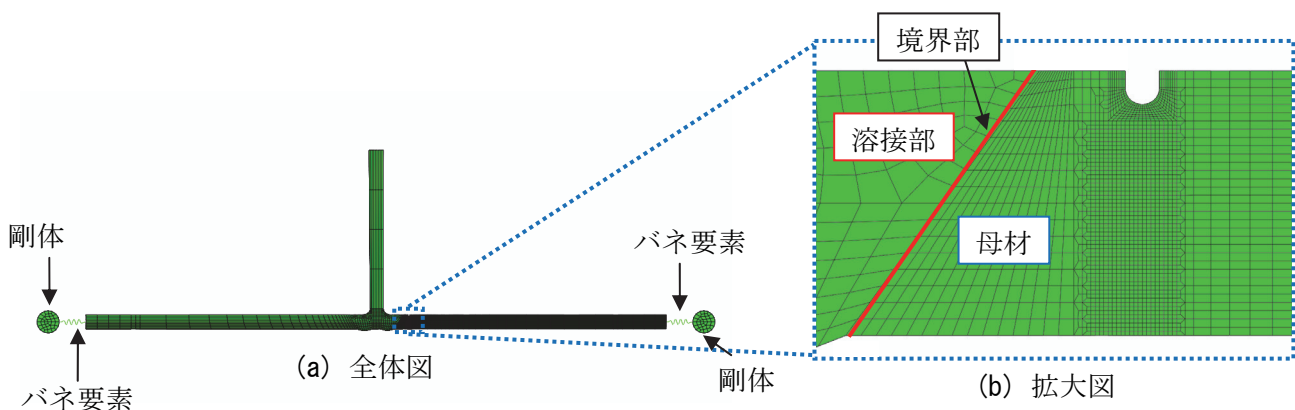


図-1 解析モデル(R1.0-NWB-I-Base)

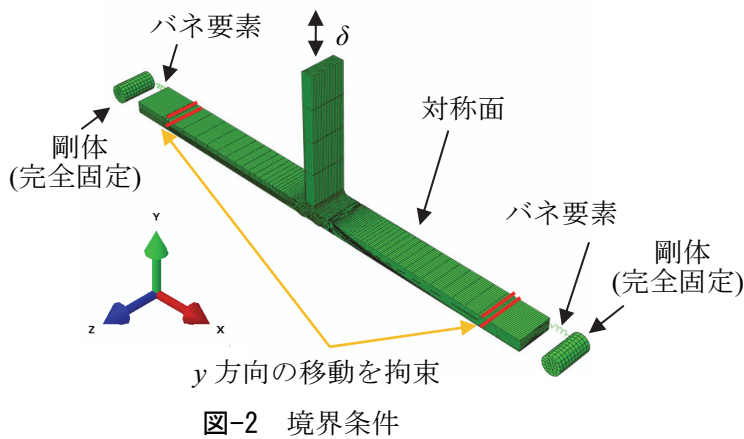


図-2 境界条件

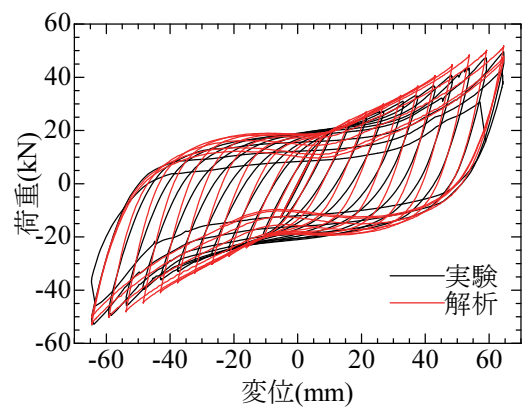


図-3 実験と解析の荷重-変位曲線の比較

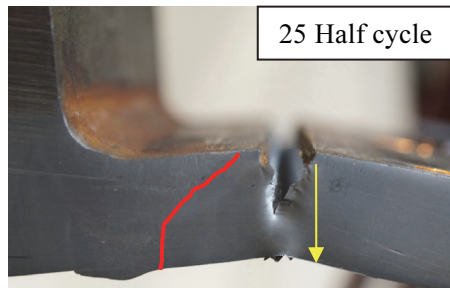


図-4 実験のき裂進展

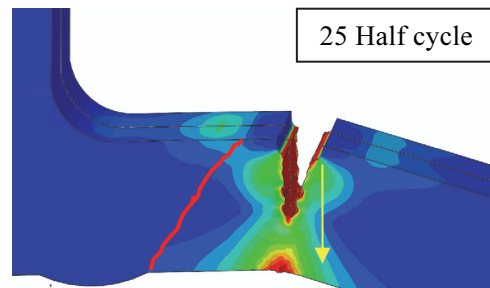


図-5 解析のき裂進展

3. 境界条件

実験では試験装置の左右に治具を設置し、ローラーで試験体を挟み込み、繰り返し載荷試験を行っている。詳しくは文献 1)を参考にされたい。解析では図-2 に示すように、実験でローラーが接触している箇所にローラーの境界条件を与え、先端に強制変位を与えることで実験を模擬している。解析では半断面でモデル化しているため、対称面の境界条件を与えている。また、実験の支持条件はピン支持であるが、解析では解析モデルの両端に剛体を作成し、解析モデルと剛体との間をバネ要素で結ぶことで実験の境界条件を模擬している。このバネは、大変形領域においてローラーの境界条件を与えている箇所が水平移動しないように拘束するための役割である。バネ定数 k は、実験結果より算定した $k=1375\text{N/mm}$ を与えている。このバネ定数 k は実験条件により変動する値であるため、注意する必要がある。剛体には完全固定の境界条件を与えている。

4. 解析結果

R1.0-NWB-I-Base の解析結果と実験結果の荷重-変位曲線を図-3 に示す。図-3 より、解析結果は実験の荷重を若干高めに評価しているものの、実験結果の荷重-変位曲線を比較的精度良く模擬できている。

実験のき裂進展の様子(25 Half cycle 時)と解析のき裂進展の様子(25 Half cycle 時)を図-4, 図-5 にそれぞれ示す。図-4 と図-5 を比較すると、解析のき裂進展は実験と同様に、ノッチ底部より発生し、鉛直真下に向かっていることが確認できる。このことから、本解析は実験を比較的精度良く模擬できていると言える。

5. 結論

今回は文献 1)の母材部に切り欠きを有する試験体の模擬解析を行った。実験結果と解析結果の比較より、解析結果は実験の荷重を若干高めに評価したものの、荷重-変位関係およびき裂の進展経路は実験と概ね同様となっていることから、本解析手法の妥当性を示すことができた。

参考文献

- 1) 加藤友哉, 猪飼豊樹, 山口雄涼, 賈良玖, 葛漢彬: T 型溶接継手の延性き裂発生メカニズムの解明に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.72, No.4, pp.I_634-I_645, 2016.
- 2) 猪飼豊樹, 賈良玖, 葛漢彬: 鋼材の延性破壊パラメータの決定およびメッシュ依存性に関する解析的研究, 土木学会全国大会平成 28 年度研究発表会, I-284, pp.567-568, 2016.