

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の一般性に関する一検討

名城大学大学院 学生会員 ○吉田 聡一郎

名城大学 フェロー 葛 漢彬

名城大学大学院 正会員 藤江 渉

1. 緒言

1995 年の兵庫県南部地震において多くの溶接鋼構造物や橋梁にて脆性的な破壊が確認された．この脆性的な破壊を防ぐためには延性き裂発生・進展および破断までを予測することのできる解析手法の確立が重要である．藤江らは延性破壊シミュレーションを実施する際に用いられる 3 段階 2 パラメータ延性破壊モデル¹⁾の軟化域に導入される損傷進展エネルギー G_f ²⁾の簡易推定法を提案している³⁾．そこで，本研究では提案された簡易推定法の一般性を検証するため，簡易推定法の構築に使用した試験体（T 型溶接継手）と「载荷パターン」，「荷重条件」，「試験体形状」および「溶接の有無」などが異なる試験体に対して簡易推定法を用いた延性破壊シミュレーションを実施し，解析結果と実験結果を比較する．また，解析結果と実験結果の比較から，簡易推定法の適用可能な範囲を明らかにし，簡易推定法のさらなる精度向上につなげる．

2. 解析モデルと簡易推定法

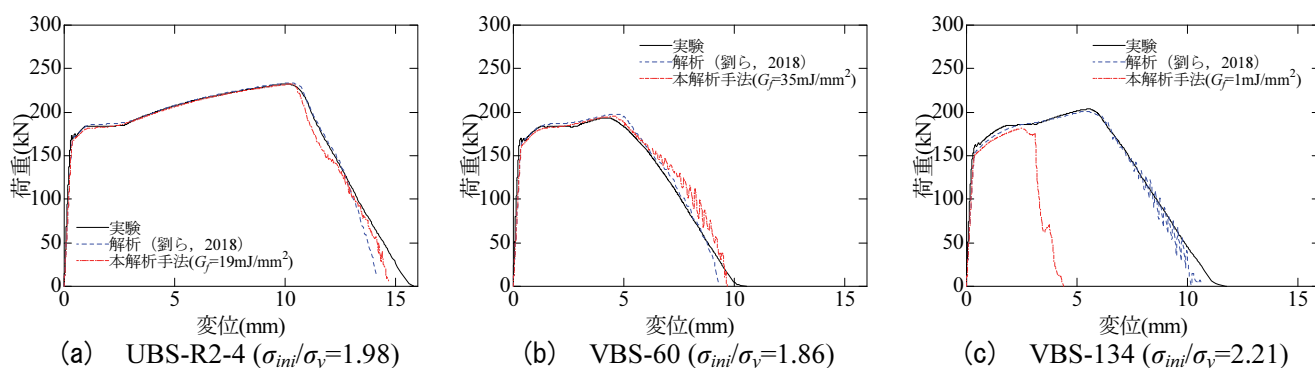
本解析では解析ソフト ABAQUS 6.13 を使用し，3 段階 2 パラメータ延性破壊モデル¹⁾を用いている．延性破壊モデルは弾性域，塑性域，軟化域の 3 段階，また，塑性域で導入される損傷開始パラメータ D_{ini} と軟化域で導入される損傷進展パラメータ D_{prop} の 2 パラメータで構成されている．詳しくは文献 1), 2)などを参考にされたい．

既往の研究³⁾で提案されている簡易推定法は，任意のメッシュ分割で解析モデルを作成して非破壊解析を行い，要素特性長さ L_e および損傷開始応力 σ_{ini} を求め，式(1)より Coarse mesh の非破壊解析によって求めた要素破壊時の相当塑性ひずみ $\Delta\varepsilon_{eq}^f$ を算出する．そして，式(2)より任意の要素サイズにおける損傷進展エネルギー G_f を求める²⁾．

$$\Delta\varepsilon_{eq}^f = 171990 \exp\left(-7.395 \frac{\sigma_{ini,c}}{\sigma_y}\right) \cdot \frac{L_{e0}}{L_{e,c}} \quad (1)$$

$$G_f = \frac{\sigma_{ini} \cdot \Delta\varepsilon_{eq}^f \cdot L_e}{2} \quad (2)$$

ここで， $\sigma_{ini,c}$ ， $L_{e,c}$ はそれぞれ Coarse mesh における損傷開始応力と要素特性長さ， $L_{e,0}$ は要素特性長さの無次元化量， σ_y は単調引張試験から得られた降伏応力である．



図－1 BS 試験体の荷重－変位履歴曲線

キーワード 損傷進展エネルギー，簡易推定法，延性破壊シミュレーション

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

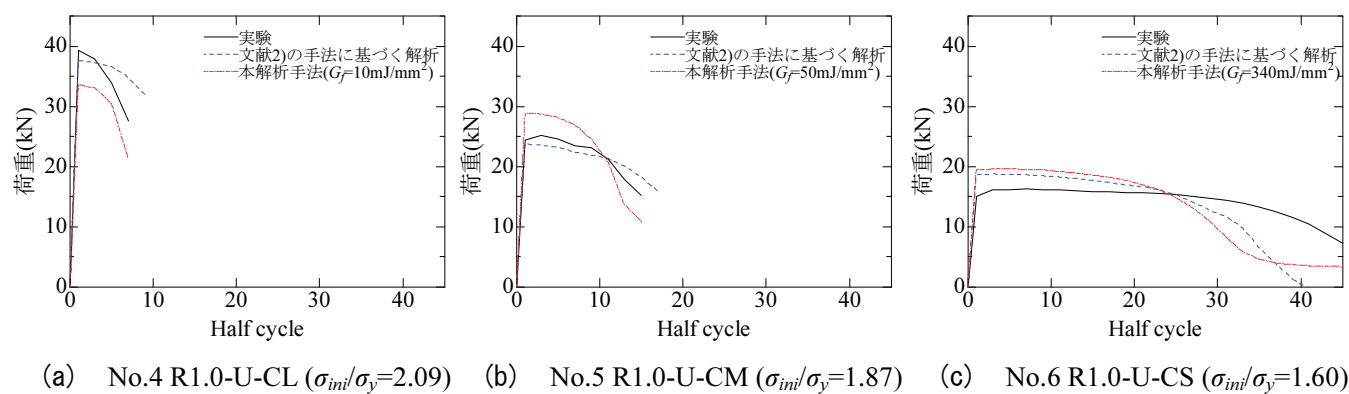


図-2 三点曲げ試験体の包絡線

3. 解析概要

本研究は損傷進展エネルギー G_f の簡易推定法の一般性の検証のため、2シリーズの試験体について解析を行った。1シリーズ目はV型、U型の2種類の切り欠き形状を有するBS試験体⁴⁾、2シリーズ目はT型溶接継手と「载荷パターン」と「荷重条件」は類似するが、「試験体形状」と「溶接の有無」が異なる三点曲げ試験体⁵⁾である。紙面の都合上、試験体の寸法や载荷パターンなどの詳細は文献4)、5)をそれぞれ参照されたい。

4. 解析結果

BS試験体の荷重-変位履歴曲線、また、三点曲げ試験体の包絡線をそれぞれ図-1、図-2に示す。紙面の都合上、UBS試験体はUBS-R2-4、VBS試験体はVBS-60とVBS-134、三点曲げ試験体については一定振幅载荷(No.4~No.6)の解析結果を記載している。本研究の目的である適用範囲を検討するため、損傷開始応力 σ_{ini} と降伏応力 σ_y の比(σ_{ini}/σ_y)をパラメータとし、簡易推定法の適用可能範囲を明らかにする。また、両図に示している旧解析結果は延性破壊シミュレーションを行う際、実験結果を必要としている解析手法であり、延性破壊を予測する一般的な解析手法とは言いがたい。対して、本解析手法は非破壊解析のみで損傷進展エネルギー G_f を定めることができるため、延性破壊を予測することが可能である。

図-1よりUBS-R2-4は高精度で実験を模擬できているといえる。また、VBS試験体において、VBS-60は精度よく実験を模擬できているが、VBS-134は実験結果より早く荷重低下し破断に至っている。さらに、 σ_{ini}/σ_y の値に着目すると、UBS-R2-4やVBS-60に対してVBS-134は $\sigma_{ini}/\sigma_y=2.21$ と大きな値であることが分かる。図-2より本解析手法は実験結果と解析結果の最大荷重の誤差がNo.4は-15%程度、No.5は+15%程度、No.6は+20%程度であった。旧解析手法と比較すると解析精度が低下しているが、旧解析手法は実験結果を必要とするのに対して、本解析手法は実験結果を必要としない解析手法であり、延性破壊を予測することが可能となるため、以上の誤差は許容範囲内であると考えている。

5. 結言

- 1) BS試験体の結果より、切り欠き半径や切り欠き角度が大きくなるにつれて、実験結果と解析結果の誤差が大きくなり、簡易推定法は更なる検討が必要であることが確認できた。
- 2) 三点曲げ試験体の結果より、簡易推定法を用いた本解析手法は一定振幅载荷における振幅量の変化に対する影響は小さく、20%程度の誤差の範囲内で実験を模擬することができた。

参考文献：1) 加藤友哉，康瀾，葛漢彬：土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.71，No.4，pp.I_363-I_375，2015。2) 猪飼豊樹，葛漢彬：構造工学論文集，Vol.64A，pp.194-207，2018。3) 藤江渉，吉田聡一郎，猪飼豊樹，葛漢彬：土木学会論文集A2（応用力学），Vol.74，No.2，pp.I_591-I_602，2018。4) 劉巖，葛漢彬，康瀾：土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.74，No.4，pp.I_546-I_557，2018。5) 吉田聡一郎，猪飼豊樹，半谷尚士，葛漢彬：土木学会第72回年次学術講演会，I-111，pp.221-222，2017。