繰り返し軸力と曲げを受ける鋼部材に対する延性破壊モデルの妥当性に関する検討

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
同済大学		賈 良玖				

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. 脆性的な 破壊が鋳造の厚肉鋼材などの母材で破断したケースも見られたことから, 局部座屈の生じにくい厚肉鋼材に潜 在する一般的な問題であることが実証された. 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, 脆性的な破壊を防止するためには, 延性き裂発生と進展のメカニズムの解明は 重要である. そこで, 本研究では, 繰り返し軸力と曲げを受ける鋼部材の実験¹⁾の数値解析を行うことで, 提 案している延性破壊モデル²⁾の妥当性の検討を目的としている.

2. 解析概要

本解析は解析ソフト ABAQUS 6.13 を用いて行う.解析モデルはソリッド要素を使用し、1 次の低減積分要素(C3D8R)を用いた.構成則には材料試験の結果より算出した真応カー真ひずみ関係に混合硬化則を適用している.境界条件とメッシュ分割を図-1 に示す.境界条件は実験¹⁾と同様であり、固定端は完全固定、移動端は載荷方向以外を拘束するようにしている.また、ノッチ底部は先端半径が精度良く模擬できる要素サイズになるようにメッシュ分割を行っている.ただし、試験体寸法は文献 1)を参考にされたい.

3. 解析モデル

本解析では3段階2パラメータ延性破壊モデル²⁾を用いている.延性破壊モデルは図-2に示すように弾性 域、塑性域、軟化域の3つの段階、また、塑性域で導入される塑性変形パラメータ D_{ini} と軟化域で導入される 損傷パラメータ D_{prop} の2つのパラメータで構成されている.延性破壊モデルの詳細は文献2)を参考にされた い.本解析では延性に優れた鋼材の破断までを模擬する破壊解析を行うことから、要素サイズの相違が解析結 果に多大な影響を及ぼすことが知られている.すなわち、各試験体の最小の要素サイズに適した損傷進展エネ ルギー G_f を使用する必要がある.ここで、損傷進展エネルギー G_f とは式(1)で表される損傷パラメータ D_{prop} の 算出時に必要なパラメータであり、要素が削除されるまでに必要な相当塑性ひずみ量(ϵ'_{ar})を決定する重要 なパラメータである.

$$D_{prop} = \frac{u_{eq}}{u_{eq}^f} = \frac{L_e \times \varepsilon_{eq}}{2 \times G_f / \sigma_{ini}}$$
(1)



ここで、 L_e は要素の特性長さ(ソリッド要素の場合は体積の立方根)、 ε_{eq} は軟化域に移行してからの相当塑性

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

-747-



ひずみ、 G_f は損傷進展エネルギー、 σ_{ini} は D_{ini} が1に達した時のvon-Mises 応力である.また、本解析ではメッシュ分割が解析結果に及ぼす影響を大幅に軽減するために、損傷進展エネルギー G_f を実験結果と非破壊解析との比較により算出する手法を用いている.

4. 解析結果

UN-R10-5D, VN-R0.25-5D について解析結果を示す.本研究は一定振幅繰り返し載荷であるため,荷重一変 位履歴曲線では精度の良い比較が難しい.そのため,引張側の Half cycle ごとの最大荷重を繋いだ包絡線を図 -3 に示す.ここで,き裂発生は,解析では最小の要素(Uノッチ:0.2×0.2×0.2,Vノッチ:0.02×0.02×0.2) が削除された時,実験では解析での最小要素サイズと同等のき裂幅が確認された時と定義している.図-3 に 示されるように,UN-R10-5D の解析結果は実験結果より安全側に評価しており,VN-R0.25-5D の解析結果は 実験結果を精度よく模擬できている.UN-R10-5D において,実験結果では53Half cycle でき裂発生を確認して も荷重低下は見られないが,解析結果では初めての要素削除を確認してからの荷重低下が著しく,実験結果よ りも早い荷重低下が確認できた.続いて,き裂進展状況を図-4 に示す(括弧内はき裂進展長さを示している). 図-4 から UN-R10-5D において,解析結果は実験結果より早くき裂進展しているが,VN-R0.25-5D において は精度よく模擬できている.しかしながら,実験結果は切り欠き底部から斜め方向への進展しているのに対し, 解析結果は切り欠き底部から垂直方向への進展が見られ,き裂進展方向に異なりがあることが分かった.

5. 結論

本研究では、繰り返し軸力と曲げを受ける鋼部材を対象に延性破壊シミュレーションを行った.実験結果と 解析結果の比較より、切り欠き先端半径の大きなU型試験体は正確に模擬できなかったものの、荷重低下率、 き裂進展状況はともに安全側に評価し、切り欠き先端半径の小さなV型試験体は精度良く実験を模擬した. 以上より延性破壊モデルが繰り返し軸力と曲げを受ける鋼部材に対しても高い適用性があることが確認できた.

参考文献:1)吉田聡一郎,加藤悦哉,葛漢彬,賈良玖:繰り返し軸力と曲げを受ける鋼部材の超低サイクル疲労実 験,土木学会中部支部平成29年度研究発表会,I-012, pp.23-24, 2018.2)加藤友哉,康瀾,葛漢彬:溶接継手の破 壊メカニズムの解明に関する基礎的研究,土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.71, No.4, pp.I_363-I_375, 2015.