

低応力三軸度における鋼材の延性破壊性状に関する解析的研究

名城大学大学院 学生会員 ○劉 巖 名城大学
名城大学 厚地 政哉 名城大学

秋田 智史
フェロー 葛 漢彬

1. はじめに

これまでの鋼構造分野における研究では、垂直応力（引張応力）が支配する状況での破壊試験や、せん断座屈に関する研究は行われているものの、せん断応力と引張応力が同時に作用する状況、すなわち低応力三軸度（ $0 \leq \eta \leq 1/3$ ）で発生する延性破壊性状に関するメカニズムの解明は進んでいないのが現状である。Rice と Tracey によるボイド成長モデル（VG モデル）を用いた解析では、低応力三軸度下における破壊状況を精度良く模擬出来ない問題点がある。そのため、低応力三軸度下でも精度よく評価することが可能な新しい延性破壊モデルを構築する必要がある。本検討は新しい延性破壊条件および新しい延性破壊パラメータを構築し、それらの検証を行う。

2. 解析概要

本検討では文献 1) の 3 本の供試体の模擬解析を行う。解析には ABAQUS を使用し、ソリッド要素でモデル化する。図-1 は本研究で用いた解析モデルである。要素タイプは 6 面体の 1 次低減積分要素(C3D8R)を用いている。メッシュサイズは図-1 において、幅方向（赤線方向）は 0.2mm、最短方向（黄線方向）は 0.1mm、板厚方向を 8 分割としており（サイズは 1.5mm）、これら以外の部分は解析時間短縮のため粗い要素で分割した。構成則は材料試験より得られた真応力-真塑性ひずみ関係と MWA 法（加重平均法）を用いて作成した。ここで、ネッキング後の重み係数 $w=440$ としている。

3. 延性破壊モデル

延性破壊条件については文献 2) を参考に、図-2 に示される新しい延性破壊条件(N-VG モデル)を考案した。N-VG モデルは VG モデルの延性破壊パラメータ α と新しい延性破壊パラメータ β によって以下の 3 式で表される簡易的延性破壊条件である。

$$\begin{aligned}\varepsilon_{eq}^{di} &= \beta(1/3)^{0.46}(\eta + 1/3)^{-0.46} & -1/3 \leq \eta \leq 0 \\ \varepsilon_{eq}^{di} &= 9[\alpha \exp(-0.5) - \beta]\eta^2 + \beta & 0 \leq \eta \leq 1/3 \\ \varepsilon_{eq}^{di} &= \alpha \exp(-1.5\eta) & 1/3 \leq \eta\end{aligned}$$

ここで、 ε_{eq}^{di} は材料が損傷し始めるときの相当塑性ひずみ、 η は応力三軸度である。

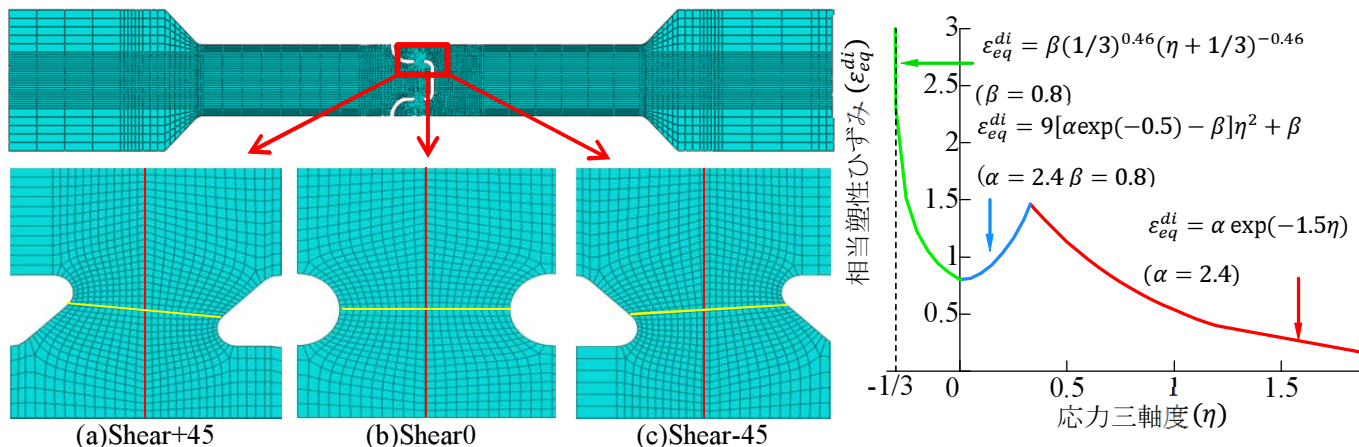


図-1 解析モデル

図-2 新しい延性破壊条件(N-VG モデル)

キーワード 延性破壊, 延性破壊モデル, 低応力三軸度, 模擬解析

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

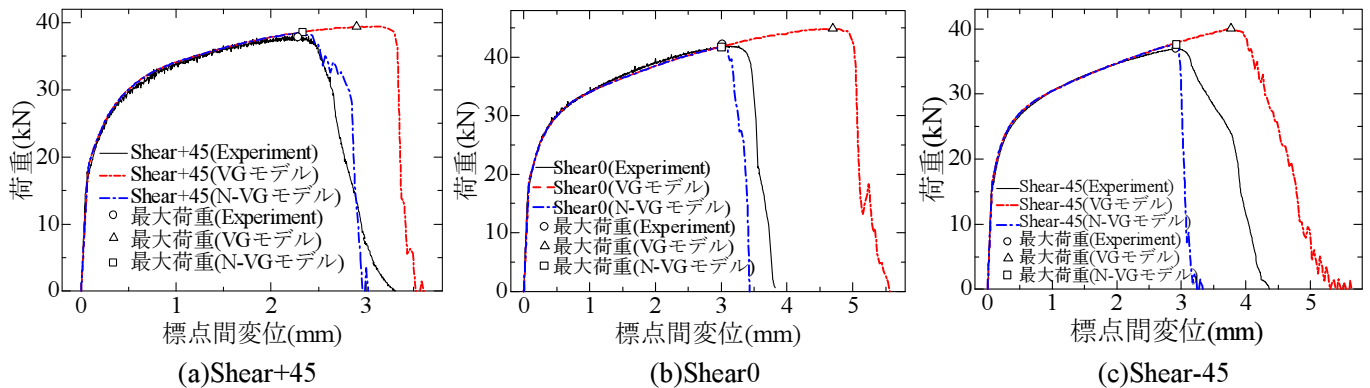


図-3 荷重－変位関係

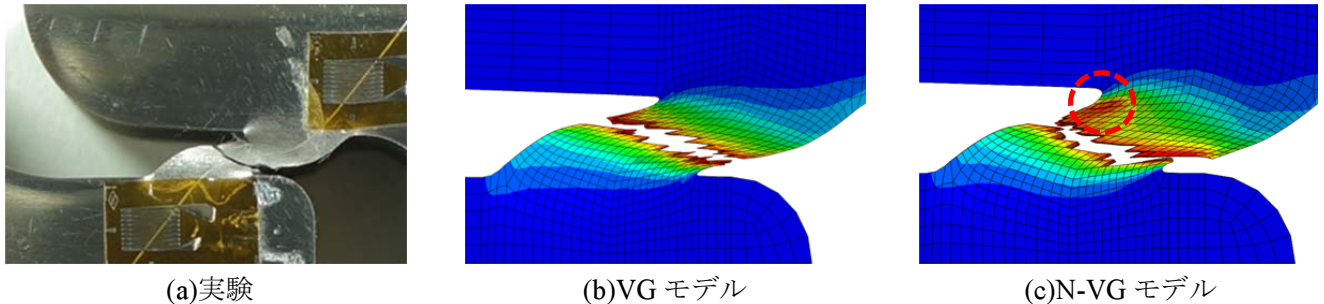


図-4 実験と解析の破断形状比較(Shear+45)

延性破壊パラメータ α については、材料試験のき裂発生箇所における応力三軸度と相当塑性ひずみを次式に代入して、延性破壊パラメータ $\alpha=2.4$ と決定している。

$$\alpha = \int_0^{\varepsilon_{eq}^{di}} \frac{d\varepsilon_{eq}}{\exp(-1.5\eta)}$$

新しい延性破壊パラメータ β については、実験のき裂発生を確認できないが、最大荷重時変位の 95% に達した際の、ひずみ集中箇所で低応力三軸度付近の要素から ε_{eq} と η を抽出する。試行錯誤的解析を行い、 $\varepsilon_{eq} - \eta$ 関係から各 Shear 試験の解析結果へ延性破壊条件が与える影響の兼ね合いを考慮して新しい延性破壊パラメータ $\beta=0.8$ と決定した。

4. 解析結果

各供試体の荷重－変位関係を図-3 に示す。VG モデルを用いた解析結果と実験結果を比較すると、最大荷重、最大荷重時変位および破断変位は異なっている。N-VG モデルを用いた解析では、実験結果より早く破断変位に達しているが、最大荷重および最大荷重時変位が実験結果との誤差は 3.0% 以内に収まっている。

Shear+45 供試体の実験と解析の破壊形状を一例として図-4 に示す。N-VG モデルを用いた解析では赤丸で示した箇所において要素失効が見られ、実験でも同じ箇所に小さなき裂が確認できているが、VG モデルを用いた解析では小さなき裂は見られない。

5. おわりに

既往の延性破壊条件 (VG モデル) を用いて、低応力三軸度 ($0 \leq \eta \leq 1/3$) 範囲の破壊挙動および荷重－変位関係を精度良く評価することができないことを確認した。そこで新しい延性破壊条件 (N-VG モデル) の構築と、延性破壊パラメータ β の定義をした。本研究では、新しい延性破壊条件を構築したが、Shear-45 供試体の予測の精度には改善の余地がある。今後これらの低応力三軸度に関して更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 厚地 政哉, 劉 廠, 秋田 智史, 葛 漢彬: 低応力三軸度における鋼材の延性破壊性状に関する実験的研究, 土木学会中部支部平成 28 年度研究発表会, I-28, pp.55-56, 2017 年 3 月。
- 2) Yingbin Bao and Tomasz Wierzbicki: On fracture locus in the equivalent strain and stress triaxiality space, International Journal of Mechanical Sciences, Vol.46, pp.81-98, 2004.