

低応力三軸度下における高強度鋼材 SBHS500 の延性破壊に関する解析的検討

名城大学 正会員 ○劉 巖 名城大学大学院 学生会員 池田 修斗
 名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. はじめに

鋼構造物の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、鋼構造物の脆性的な破壊を防止するためには、延性き裂発生とその後の進展のメカニズムの解明は重要である。筆者らは以前より、普通鋼SM490を用いて、引張力を受ける場合、試験片破壊箇所 の角度により異なる引張応力とせん断応力の組み合わせによる複合応力状態下での破壊が生じる試験片を考案し、実験的および解析的検討を行うことで、新たな延性破壊条件 (N-VGモデル) を構築した¹⁾。また、破壊軌跡をさらに精度良く模擬するためにはいくつかのパラメータ (応力三軸度, Lode角および相当塑性ひずみ) が必要であり、文献²⁾ では、応力三軸度に加えLode角パラメータの影響を含んだ非対称3D破壊モデルを提案し、実験結果と既往の解析手法の結果との比較により、非対称3D破壊モデルの適用性を検証した。

一方、近年高強度鋼材を利用した鋼橋が増えてきているが、高強度鋼材の地震時破壊特性に関する研究がほとんどされていない。そこで、本研究では、高強度鋼材SBHS500材を対象として既往の延性破壊条件 (N-VGモデル) を改良した延性破壊条件 (改良N-VGモデル) を構築し、その精度検証を行う。

2. 解析概要

図-1に示すように、本検討を用いる試験片は文献¹⁾と同じであり、破壊箇所 の角度により異なる垂直応力とせん断応力が生じることで、せん断応力と引張応力が同時に作用するせん断試験片である。解析は初期変形の影響を考慮せず、汎用 FEM 解析ソフトウェア Abaqus を用いた。载荷方法は片側固定とし、もう片側に強制変位を与えている。構成則は材料試験の結果より得られた公称応力-公称ひずみ関係を換算した真応力-真塑性ひずみ関係に加え、ネッキング後の領域において PLT 法を用いている。

3. 延性破壊条件および解析結果

本研究では図-2に示す既往の延性破壊条件 (N-VGモデル) をもとに新しい延性破壊条件を構築する。既往の延性破壊条件 (N-VGモデル) の算定式を式(1)に示す。

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

ここで、 α は延性破壊パラメータ、 β は低応力範囲 ($0 \leq \eta \leq 1/3$) における延性破壊パラメータである。SM490材の場合、 $\alpha=2.4$ 、 $\beta=0.9$ であり、SM490材以外の鋼材に対しては、再同定が必要である。

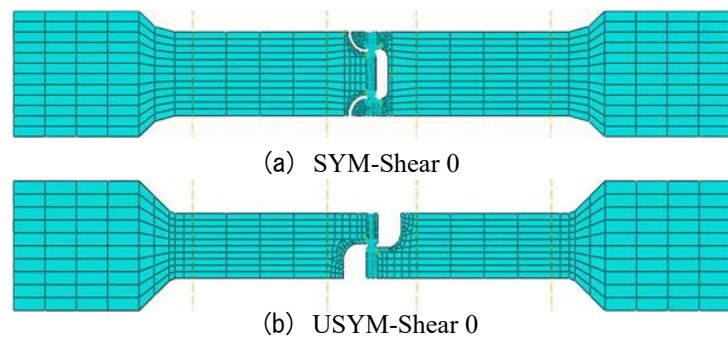


図1 解析モデル

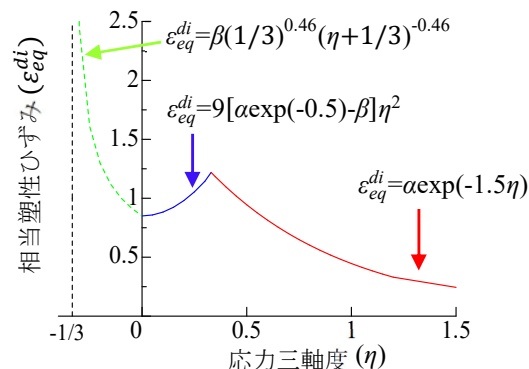


図2 既往の延性破壊条件 (N-VGモデル)

キーワード 延性破壊モデル, 高強度鋼材, SBHS500, 低応力三軸度, 相当塑性ひずみ

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

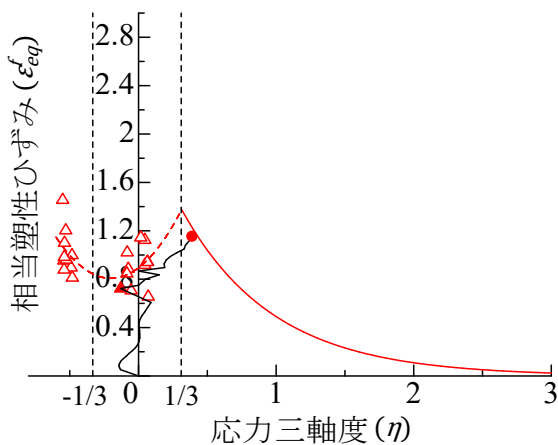


図-3 応力三軸度-相当塑性ひずみ関係

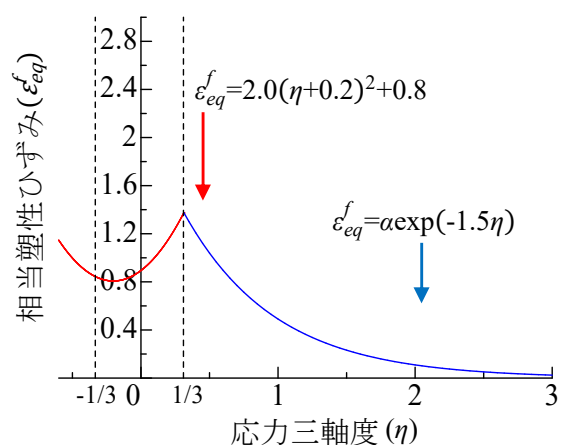


図-4 改良した延性破壊条件

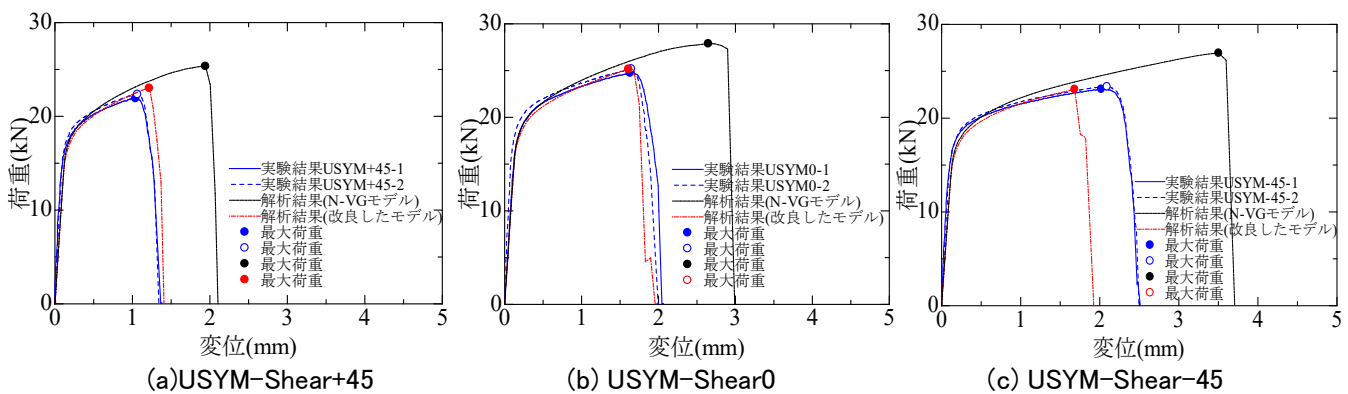


図-5 荷重-変位曲線

既往の延性破壊条件 (N-VG モデル) を用いて解析を行った結果, 全ての試験片 (全 14 種類の角度) の内, 計 12 種類の試験片が大きめに (相対誤差が 2.4~81.1%程度危険側に) 評価した. このことから, 高強度鋼材には適用できないと考え, 新しく延性破壊条件を構築する必要がある. そこで, 図-3 に示すように, 非破壊解析において実験結果の最大荷重時に対応する点を選択し, 応力三軸度-相当塑性ひずみ関係に導入し二次の近似曲線を与える. 図-4 に改良した延性破壊条件を示し, その算定式が式(2)に示されている.

$$\varepsilon_{eq}^f(\eta) = \begin{cases} a(\eta+0.2)^2 + b & (-0.6 \leq \eta \leq 1/3) \\ a \exp(-1.5\eta) & (\eta \geq 1/3) \end{cases} \quad (2)$$

ここで, 非破壊解析よりパラメータ a を 2.0, b を 0.8 と決定し, 材料試験より a を 2.4 と同定した.

図-5 に相対誤差が大きい USYM-Shear 試験片を例として, N-VG モデルを用いた解析結果と実験結果を比較すると, 誤差が大きく異なっている. これに対し, 改良した延性破壊条件を用いたすべての解析では, 最大荷重および最大荷重時変位は実験結果との誤差が 10%以内に収まっている. このことから, 既往の延性破壊条件 (N-VG モデル) に比べ, 改良した延性破壊条件が総じて良いシミュレーションできることが分かる.

4. おわりに

既往の延性破壊条件 (N-VG モデル) の適用性を調べ, 改良した延性破壊条件の妥当性を検証した. 高強度鋼材 SBHS500 に対して既往の延性破壊条件 (N-VG モデル) に比べ, 改良した延性破壊条件が良い精度で安全に評価できた. また, 既往の延性破壊条件 (N-VG モデル) に 3 つの式が必要であるが, 改良した延性破壊条件において 2 つの式から構成されるため, パラメータの決定が効率的であることから精度向上が図れた.

参考文献

- 1) 劉巖, 葛漢彬, 康瀾: 低応力三軸度下における鋼材の延性破壊条件の提案に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.75, No.4, pp. I_333-I_344, 2019.
- 2) 劉巖, 葛漢彬, 吉田聡一郎: Lode 角の影響を考慮した構造用鋼の延性破壊モデルの構築に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.76, No.4, pp. I_351-I_362, 2020.