

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

名城大学大学院 学生会員 ○猪飼 豊樹
 名城大学総合研究所 賈 良玖
 名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 緒言

1995年に発生した兵庫県南部地震において多くの溶接構造物や橋梁にて脆性的な破壊が生じた。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¹⁾。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物の重要な破壊現象の一つであるため、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。近年では数値シミュレーションにより延性き裂発生メカニズムの解明が行われている。FEMを用いた破壊解析等ではメッシュ分割は重要であり、正しくメッシュ分割しないと間違った結果を求めてしまうことがある。そこで本研究では、延性破壊現象をシミュレーションするために提案された延性破壊パラメータ χ がメッシュ分割の異なりによって及ぼされる影響について検討する。

2. 解析概要

本研究ではABAQUSを用いて数値解析を行う。実験結果と比較を行うため、解析モデルは板厚に実測寸法を与え、幅は板厚と比べ結果に大きな影響を与えないため、設計寸法でモデル化している。引張実験より得られた材料特性を表-1に示し、解析には引張実験結果より算出した真応力-真ひずみ関係を用いる。解析モデルの一例として材料試験片CPN-Base-1の解析モデルを図-1に示す。また本研究ではネッキング後の実験の挙動を模擬するために、ネッキング以降の硬化率が指数則に従うPLT法を用いてネッキング後の応力を評価している。詳しくは文献2)を参照されたい。

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。

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

ここで、 $d\varepsilon_{eq}^p$ は相当塑性ひずみの増分、 ε_f^p 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。異なる応力三軸度下で D が1に達した時、破壊すると定義している。

3. メッシュ分割

試験片の正面図を図-1(a)に、検証を行ったメッシュ分割の拡大図を図-1(b)~(e)に示す。

検証を行ったメッシュ分割を以下に示す。

- 1) 最小の要素が一辺2mmの立方体(図-1(b))
- 2) 一辺2mmの立方体を基準として、長さの最小寸法を4mm(標点間距離200mmを30分割, 図-1(c))

表-1 材料特性

鋼種	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	降伏応力 (MPa)
SM490YA	201	0.29	368

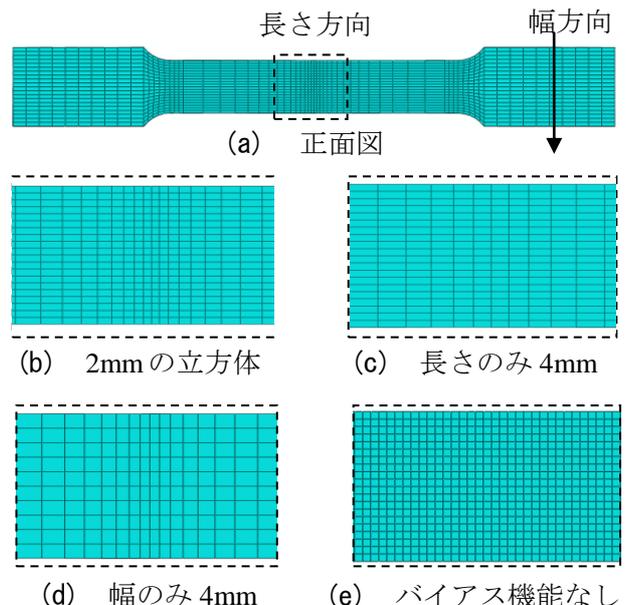


図-1 CPN-Base-1 解析モデル

キーワード 延性き裂, メッシュ依存性, ネッキング現象, 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

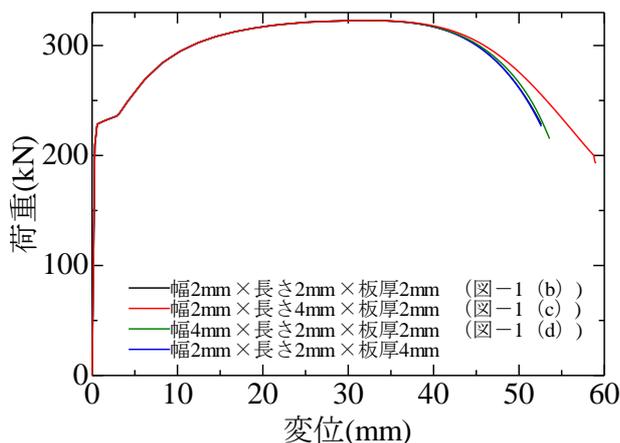


図-2 メッシュ分割の異なりによる比較

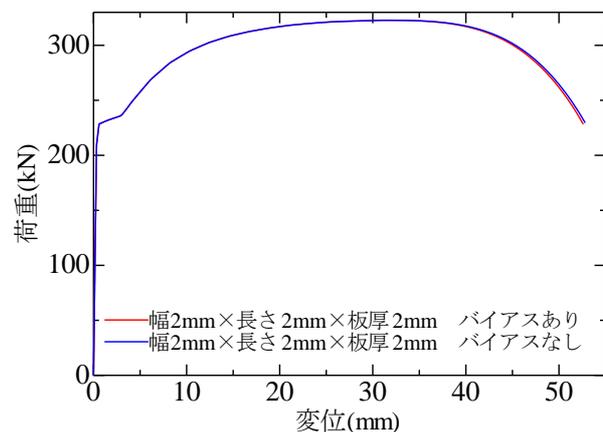


図-3 バイアス機能の有無による比較

3) 一辺 2mm の立方体を基準として、幅を 4mm(幅 40mm を 10 分割, 図-1(d))

4) 一辺 2mm の立方体を基準として、板厚を 4mm(板厚 16mm を 4 分割)

以上 4 ケースを用いてメッシュ依存性を検証した. 4 ケースとも試験片の中央が密となるようにバイアス機能を用いて標点間距離 200mm を 30 分割している. しかしバイアス機能を用いると, 試験片中央の分割は密となるが, それ以外の箇所は粗くなってしまふ. そこで, 図-1(b)の要素でバイアス機能を使用せず標点間距離を 100 分割した解析モデル(図-1(e))を作成し, バイアス機能の有無による比較を行う. 解析には既往の研究²⁾で決定した値を平均して延性破壊パラメータ $\chi=2.45$, ネッキング評価法の硬化指数 $n=0.85$ を用いて, メッシュ依存性を検証する.

4. 解析結果

図-2 にメッシュ分割の異なりによる荷重-変位曲線を, 図-3 にバイアス機能の有無による荷重-変位曲線を示す. 図-2 より, 板厚方向のみ 4mm の場合は, 要素が一辺 2mm の立方体の解析結果と概ね同じグラフを描いており, 破断時の荷重や変位に差がほとんど見られない. 幅方向のみ 4mm の場合は, 一辺 2mm の立方体の解析結果と比較すると, 破断時の荷重が下回っていることから χ に影響を及ぼす. 対して長さ方向の最小寸法が 4mm の解析結果は, 他の解析結果と比較すると破断時の荷重, 変位およびネッキング後のグラフの形が大きく異なっている. これは, 長さ方向の最小要素が 4mm の場合, ネッキング現象を精度よく模擬出来なくなるため異なっていると考えられる. また, 図-3 よりバイアス機能の有無による違いは見られず, ネッキング後のグラフが概ね一致しているため, バイアス機能を用いて標点間距離を 30 分割すれば χ に及ぼす影響は小さい.

5. 結言

解析結果より, 延性破壊パラメータ χ はメッシュ分割の影響を大きく受けることが分かった. 今回行った検証では板厚方向のみ 4mm の場合, 一辺 2mm の立方体の解析結果と比較すると破断時の荷重には違いが見られないため解析時間の短縮を図ることができる. 幅方向のみ 4mm の場合, 一辺 2mm の立方体の解析結果と比較すると, 4mm の方が破断時の荷重が下回っているため, 幅方向は 2mm となるように分割する必要がある. 長さ方向の最小要素が 4mm の場合, ネッキング現象を精度良く模擬することが出来なくなり, 誤った解析結果を求めてしまうため, メッシュ分割は細心の注意を払う必要がある. バイアス機能の有無による荷重-変位曲線を比較すると, ネッキング後のグラフが概ね一致していることから, バイアス機能を使用して 30 分割すれば解析時間短縮に繋がるだけでなく, 比較的精度のよい解析結果を求めることが可能である.

参考文献

- 1) 岡下勝彦, 大南亮一, 道場康二, 山本晃久, 富松実, 丹治康行, 三木千壽: 兵庫県南部地震による神戸港港湾幹線道路 P75 橋脚隅角部におけるき裂損傷の原因調査・検討, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.243-261, 1998.
- 2) 加藤友哉, 賈 良玖, 葛 漢彬: 解析条件の異なりが延性破壊パラメータ χ に及ぼす影響の検討, 土木学会全国大会平成 27 年度研究発表会, I-546, pp.1091-1092, 2015.