

## 鋼圧縮部材の終局ひずみを求めるための基礎的検討

熊本大学大学院 学生会員 ○宮本 勇紀 熊本大学大学院 学生会員 Lilya Susanti  
 熊本大学大学院 正会員 葛西 昭 熊本大学大学院 学生会員 河岡 英明

## 1. 緒言

土木鋼構造物に関する最新の耐震設計は文献 1) にまとめられている。この文献で特筆する点は、ひずみ照査法である。ひずみ照査法は、局部座屈が考慮されていない動的解析を実施し、別途定められた局部座屈が考慮されている終局ひずみによって、耐震性能を満足するかどうかを確認する方法である。本研究は、この終局ひずみに着目するものである。1995 年兵庫県南部地震以降、性能照査型設計法の確立を念頭に研究が盛んとなり、数多くの繰り返し載荷実験や数値解析から経験式が導かれ、ひずみ照査法に用いる終局ひずみも算定されている。終局ひずみは、鋼製橋脚を対象として求められており、鋼トラス橋、鋼アーチ橋、鋼斜張橋などの複雑な構造形式についてはこれらの設計限界値を準用する点について、精度検証に課題がある。例えば、純圧縮を受ける無補剛部材セグメントの終局ひずみ推定式は以下で表される。

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{0.07}{(R-0.2)^{2.53}} + 1.85 \leq 20.0 \quad (0.2 \leq R \leq 0.7) \quad (1)$$

ここで、 $\varepsilon_u$  は終局ひずみ、 $\varepsilon_y$  は材料の降伏ひずみ、 $R$  は幅厚比パラメータである。式(1)は板の数値解析より算出されており、部材細長比の影響が考慮できていない。鋼トラス橋における上弦材などへの適用では、はたしてこの式で十分な判断が可能か疑問を感じざるを得ない。

そこで、鋼アーチ橋のアーチリブや、鋼トラス橋の上弦材のように鋼製橋脚と異なる断面力を受ける構造部材を対象として、複合非線形骨組解析によって強度及び変形能を求めることを目的としている。数値解析を実施するにあたって、部材の限界性能を的確に見定めるため、局部座屈を考慮した解析を実施した。また、終局ひずみの定義にあたっては、実務設計に照らし合わせ、ファイバー要素を用いることを前提とした終局ひずみの定義を試みる。なお、軸圧縮力を受ける鋼長柱の全体座屈は、初期たわみ、残留応力、荷重の偏心などの初期不整の影響を受けるため、これらの影響を考慮し、鋼部材の変形能に及ぼす影響も確認する。

## 2. 数値解析モデル

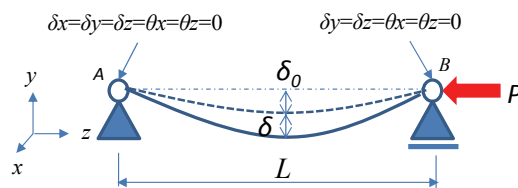
基礎的検討として、無補剛断面を有する部材を対象とした。構造諸元は表 1 のとおりである。構成則はバイリニア型(2次勾配を  $E/100$ )とした。対象とした構造の境界条件は、図 1 に示すように両端単純支持を想定している。有効座屈長係数が 1 となる基礎的な問題を対象とした。初期不整としては、初期たわみと残留応力の双方を考慮する。特に初期たわみについては通常、検討する部材長の 1/1000 を基本として、1/500、1/1500 も検討した。残留応力は、断面角部に引張残留応力が発生することを想定し、母材中央部は圧縮残留応力として降伏応力の 25% を導入した。

## 3. 終局ひずみ算出方法

終局ひずみを求めるにあたっての算出手順を図 2 に示す。まず、局部座屈を考慮する解析を行う。そこから荷重-変位関係を出し、最大荷重の

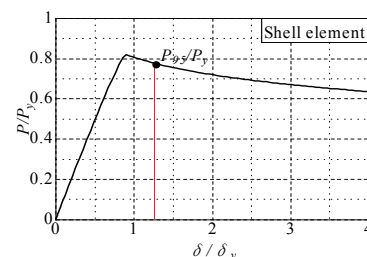
表 1 材料定数

| 鋼種                    | SM490 |
|-----------------------|-------|
| 幅厚比パラメータ $R$          | 0.5   |
| 弾性係数 $E$ (GPa)        | 200   |
| 降伏応力 $\sigma_y$ (MPa) | 315   |
| ポアソン比 $\nu$           | 0.3   |

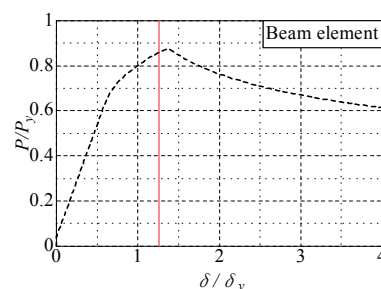


$L$  : 部材長  $\delta_0$  初期たわみ  $\delta$  : 横たわみ

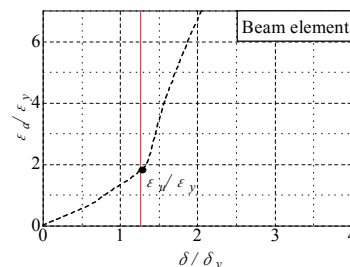
図 1 解析対象概念図および境界条件



(a) 荷重と変位の関係



(b) 荷重と変位の関係



(c) 平均ひずみと変位の関係

図-2 限界ひずみ算出手順

キーワード 終局ひずみ、幅厚比パラメータ、細長比パラメータ、初期たわみ、残留応力

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 TEL 096-342-3579

95%における軸方向の変位を求める．次に局部座屈を考慮しない解析から荷重-変位関係及び部材損傷セグメント(CMS)における平均ひずみと変位関係を求め，先ほど求めた変位における平均ひずみ  $\varepsilon_a$  を終局ひずみ  $\varepsilon_u$  と定義している．

#### 4. 終局ひずみと幅厚比パラメータ

終局ひずみと幅厚比パラメータ  $R$  の関係を図3に示す． $\lambda$  が 0.2 のグラフは， $R$  が増加するにつれて，終局ひずみが反比例的に減少している．一方， $\lambda$  が 0.5 では  $R$  に対する敏感度が小さい．

この二つの結果から  $\lambda$  が 0.5 の結果と設計限界値と比較すると  $R$  が 0.2 から 0.5 の範囲において終局ひずみは設計限界値よりも危険側で設計してしまうことになる．一方，細長比パラメータが 0.2 の場合は  $R$  が 0.2 から 0.7 の範囲において設計限界値よりも安全側に設計している．そのため設計限界値を大きくすることでより経済的な設計をすることができると考えられる．

以上のことから設計ひずみ限界値は  $R$  のみによって定められているが  $\lambda$  を無視して考えられず，幅厚比パラメータと細長比パラメータの双方を考慮して限界値を決定する必要がある．

#### 5. 終局ひずみと最適要素数

図4-(a)に各細長比パラメータにおける終局ひずみと部材損傷セグメントの要素数との関係を示した．ここでは初期たわみが 1/1000 の場合を示している．この結果からひずみを精度高く算出するために必要な有効破壊長の最適要素数を検討していく．すべてのパラメータにおいて要素数を増加させるにつれて終局ひずみはある値に収束していく． $\lambda$  が比較的大きい部材に関しては，終局ひずみの値が要素数に依らずほぼ一定である．よって要素数が 1 の場合であっても終局ひずみを十分精度よく算出できるといえる．ただし， $\lambda=0.2$  などの細長比パラメータが小さい部材に関しては要素数が小さい時に終局ひずみを低く見積もりかねないためこれらのパラメータにおいては再度検討が必要であると考えられる．

また，図4-(b)は初期たわみが部材長の 1/500, 1/1000, 1/1500 の場合の終局ひずみと要素数との関係を示している．図から初期たわみが大きいほど要素数によってひずみ限界値が大きく変化しており，要素数を必要とする．

#### 6. 結論

本研究では軸圧縮を受ける部材に初期不整として初期たわみと，断面に残留応力を導入して，部材座屈のみを考慮することを目的としたはり要素と局部座屈も考慮することを目的としたシェル要素を用いてモデルを構築し，パラメトリックに解析を行った．そこから，細長比，幅厚比の各パラメータと限界ひずみの関係を明らかにし，軸圧縮を受ける部材の終局ひずみの算定について検討した．

細長比パラメータと終局ひずみの関係は細長比パラメータが小さいほど終局ひずみは大きくなるため，設計限界値をより厳しい条件に設定することができる．細長比パラメータが大きくなると，設計限界値の方が終局ひずみを過大評価してしまっている．また，終局ひずみを用いて耐震性能を評価するためには，幅厚比パラメータだけでなく，細長比パラメータも考慮した推定式の提案が必要である．

#### 参考文献

- 1) 宇佐美勉著，日本鋼構造委員会：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，技報堂出版，pp.42, 54, 2006.
- 2) 小野梁，松村政秀，徳永宗正，三好崇夫，西村宜男：複合非線形骨組解析による鋼長柱の全体座屈評価に関する検討，鋼構造年次論文報告集，第16巻，2008.
- 3) Abaqus Analysis User's Manual Version 6.11 : SIMULIA, DASSAULT SYSTEMS, 2011.

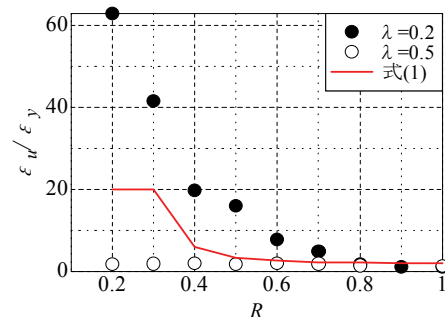
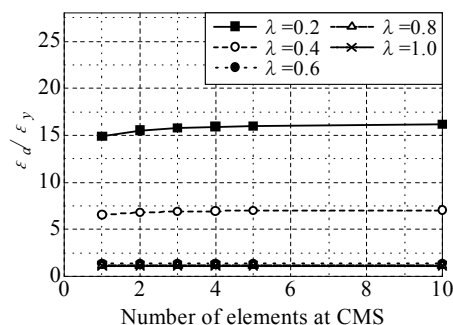
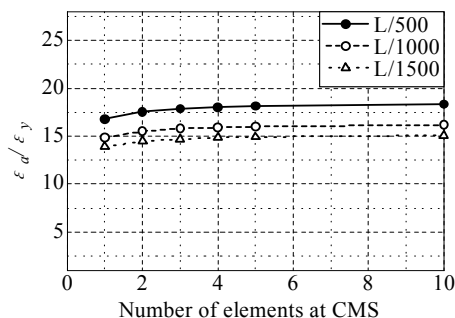


図-3 限界ひずみと幅厚比パラメータの関係



(a) 細長比パラメータの違いによる影響



(b) 初期たわみの違いによる影響

図-4 限界ひずみと要素数の関係