

鋼圧縮部材の座屈耐荷力と限界ひずみ

○ 熊本大学 学生員 河岡 英明
 熊本大学 正会員 葛西 昭
 熊本大学 非会員 Lilya Susanti

1. 緒言

土木鋼構造物が有する耐震性能については、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、数多くの繰り返し载荷実験や数値解析から経験式が導かれ、その式から得られた設計限界値が開発されている。これらの設計限界値は、鋼製橋脚を対象とした実験的・数値解析の結果から求められたものである。研究の初期段階としては、最も地震時の影響を受ける鋼製橋脚から実施した点は評価できるものの、鋼トラス橋、鋼アーチ橋、鋼斜張橋等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、精度検証に課題が残されている。例えば、鋼橋の耐震・制振設計ガイドライン(以下ガイドラインと称す)によると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。

$$\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} = \frac{0.07}{(R_f - 0.2)^{2.53}} + 1.85 \leq 20.0 \quad (0.2 \leq R_f \leq 0.7) \quad (1)$$

式(1)はフランジの幅厚比パラメータ R_f から終局ひずみを推定しているが、そもそも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は、軸圧縮挙動する部材であり、同式を利用することにいささかの疑問が生じる。

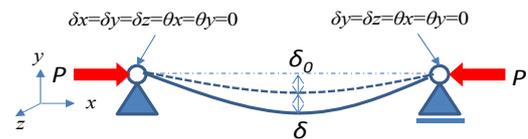
そこで、本研究では、鋼アーチ橋のアーチリブや、鋼トラス橋の上弦材のように鋼製橋脚と異なる断面力を受ける構造部材を対象として、複合非線形骨組解析によって強度及び変形能を求めることを目的としている。なお、数値解析を実施するにあたって、部材の限界性能を的確に見定めるため、局部座屈を考慮した解析を実施することとしている。また、限界ひずみを定義するにあたっては、現状の実務設計に照らし合わせ、ファイバー要素を用いることを前提とした限界ひずみの定義を試みる。なお、軸圧縮力を受ける鋼長柱の全体座屈は、初期たわみ、残留応力、荷重の偏心などの初期不整の影響を受けることが知られており、本研究では数値解析に初期たわみ、残留応力の影響を考慮し、それらが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に示すとおりである。細長比パラメータの違いが座屈強度に及ぼす影響も検討を行った。構成則はバイリニア型(2次勾配を $E/100$)としている。対

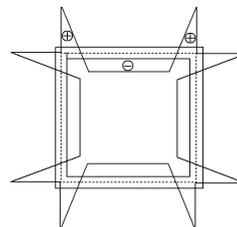
表1 構造諸元

鋼種	SM490
$B(\text{mm})$	300
$D(\text{mm})$	276
$t(\text{mm})$	12
断面積 $A(\text{mm}^2)$	13824
幅厚比パラメータ R	0.5
弾性係数 $E(\text{GPa})$	200
降伏応力 $\sigma_y(\text{MPa})$	315
推定終局ひずみ (ϵ_u/ϵ_y)	3.322



L : 部材長 δ_0 : 初期たわみ δ : 横たわみ

図1 境界条件



最大引張残留応力: $\sigma_{rt} = +1.0\sigma_y$
 最大圧縮残留応力: $\sigma_{rc} = -0.25\sigma_y$

図2 解析に導入した残留応力

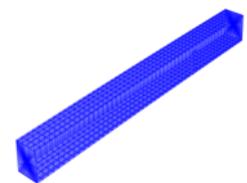


図3 数値解析モデル

象とした構造の境界条件としては、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。残留応力は図2に示すように、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。図3はシェル要素の解析モデルの概念図である。

3. 解析結果と考察

対象部材に対して軸圧縮解析を実施すると、座屈強度が得られる。この座屈強度と細長比パラメータとの関係を

図4に示した。図4(a)はファイバー要素による数値解析結果、図4(b)はシェル要素による数値解析結果である。また、参考までに道路橋示方書に記載されている基準強度式の曲線も示した。

図4(a)と(b)を比較するとシェル要素の強度がファイバー要素の強度よりわずかに低い。また、初期たわみ1/500の結果と2002年の基準強度式の曲線と相関が強く、初期たわみ1/1000の結果は2012年の曲線と相関が強い。部材初期たわみをおおよそ、1/1000を保持できるのであれば2012年道路橋示方書に記載されている曲線は数値解析の観点からも精度が高いと言える。ただし、本検討では幅厚比パラメータが0.5と比較的厚肉の場合のみで、図4(b)に示すように局部座屈によってファイバー要素の強度よりも実際は低い。従ってより精度を求めるにあたっては、幅厚比パラメータを変えた解析が必要である。

本研究における限界ひずみは、部材中央から断面幅の長さを上下にとり(有効破壊長2B)、その領域の平均ひずみを限界ひずみとし、ガイドラインの推定値と比較した $\lambda=0.5$, $\lambda=1.0$ の結果をそれぞれ表2と表3に示す。有効破壊長の分割数によってひずみに差が生じるため、断面幅Bを1~10分割まで変えて解析を行った。

表2と表3より分割数を増加させるとひずみはある値に収束していき、分割数によるひずみの差はほとんど見られないことがわかった。細長比パラメータが変わると限界ひずみの差が大きくなるため、設計限界値には細長比パラメータを無視して決定することはできない。また、ひずみを降伏ひずみで除すると表2のとき、ガイドラインの限界ひずみより大きいひずみが生じたことがわかった。このことから現在ガイドラインで示されている限界値には余裕があり、精度の高く限界値を推定するためには細長比パラメータが小さい領域で幅厚比パラメータのパラメトリック解析が必要とされる。

4. 結論

本論文では軸圧縮力を受ける部材に着目し、初期たわみと残留応力を考慮した複合非線形骨組解析を行い、ファイバー要素とシェル要素を用いた場合の耐荷力曲線、限界ひずみを得た。その結果、強度においては道路橋示方書に記載されている式とほぼ同等である。しかし、より精度を求めるには幅厚比パラメータにも注目した解析が必要である。また限界ひずみについては細長比パラメータが小さいと限界ひずみは大きくなり、ガイドラインで示されている限界値には余裕がある。さらに、精度の高い限界値を推定するには幅厚比パラメータを考慮して解析を行う必要があることが示唆された。

5. 参考文献

1)小野梁, 松村政秀, 徳永宗正, 三好崇夫, 西村宣男: 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

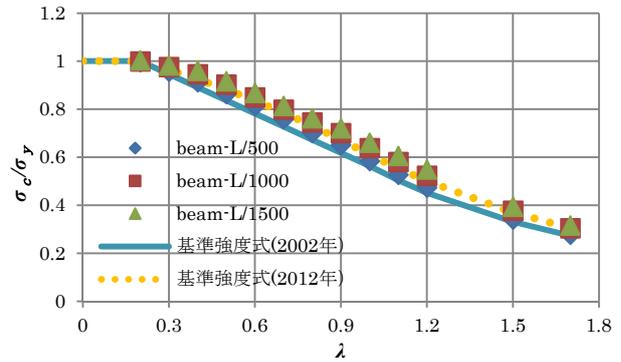


図4 (a) ファイバー要素解析結果

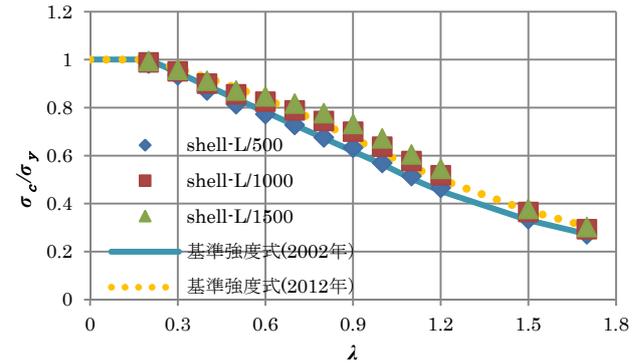


図4 (b) シェル要素解析結果

表2 λ=0.5 分割数と限界ひずみ

分割数(n)	限界ひずみ(ε _{a(n)})	$\frac{\epsilon_{a(n)} \cdot \epsilon_{a(10)}}{\epsilon_{a(10)}}$	ε _a /ε _y
1	-0.005421718	99.93	3.44
2	-0.005612863	99.96	3.56
3	-0.005691675	99.97	3.61
4	-0.005734661	99.98	3.64
5	-0.005761595	99.99	3.65
10	-0.005818432	100	3.69

表3 λ=1.0 分割数と限界ひずみ

分割数(n)	限界ひずみ(ε _{a(n)})	$\frac{\epsilon_{a(n)} \cdot \epsilon_{a(10)}}{\epsilon_{a(10)}}$	ε _a /ε _y
1	-0.001991775	99.99	1.264
2	-0.001999507	100	1.269
3	-0.001999737	100	1.269
4	-0.001999819	100	1.269
5	-0.001999855	100	1.269
10	-0.001999901	100	1.269

る検討, 鋼構造年次論文報告集, 第16巻, 2008.
 2)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.
 3)Abaqus Analysis User's Manual Version 6.11 : SIMULIA, DASSAULT SYSTEMS, 2011.
 4)日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 2002.3.
 5)日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 2012.