

無補剛箱形断面柱の連成座屈強度に対する初期たわみ影響評価式の構築に向けた一検討

長崎大学大学院 学生会員○山下真史 長崎大学大学院 正 会 員 中村聖三
長崎大学大学院 正 会 員 奥松俊博 長崎大学大学院 正 会 員 西川貴文

1. はじめに

現在，連成座屈強度の算定法は積公式が採用されている．昨年，より精度の高い新たな算定法の提案を目指して，解析的な検討が行われた¹⁾．しかしそこでは，初期たわみの値として道路橋示方書(以下，道示)の製作誤差の許容値が採用されており，初期たわみが連成座屈強度に及ぼす影響は検討されていない．そこで著者らは過去の研究²⁾において，連成座屈強度に対する初期たわみの影響を定量的に明らかにした他，モデルごとに連成座屈強度に対する初期たわみの影響評価式を提案したが，全モデルに適用可能な評価式の構築には至らなかった．本研究では，その課題に対して追加の解析を実施し，新たな評価式の構築に向けた考察を行った．

2. 解析概要

解析対象は，軸方向圧縮力を受ける無補剛箱形断面柱とする．各構造モデルに対して初期たわみを変化させて弾塑性有限変位解析を行い，それぞれの最大耐力を求める．その結果を使用して，連成座屈強度に対する初期たわみの影響を評価する．解析には MSC.Marc を用いる．

2.1 モデル諸元と材料特性

解析モデルの断面は，板厚中心で $500 \times 500 \text{ mm}$ となる正方形である．幅厚比 R と細長比 λ に関しては，連成座屈の発生が想定される範囲に加えて，全モデルに適用が可能な提案式を検討するため，初期たわみの差の違いが現れにくいと考えられる範囲についても取り扱う．そのため，表-1 に示すように幅厚比と細長比を組み合わせたモデルに対して解析を行う．使用要素は 4 節点厚肉シェル要素(No.75)であり，モデル全体を約 25 mm の矩形に分割する．材料構成則については，降伏応力 $\sigma_y = 355 (\text{N/mm}^2)$ ，ひずみ硬化係数 $E/100$ のバイリニアモデルとする．なお，ポアソン比は 0.3 ，弾性係数は $E = 2.00 \times 10^5 (\text{N/mm}^2)$ とする．

2.2 境界条件

解析モデルの上下端に剛板を設置し，両端ヒンジの柱となるよう，各剛板の中央点に図-1 に示すような境界条件を与える．回転条件については，柱としての初期たわみ方向への回転のみ自由とする．並進については下端はすべてを拘束する．上端は軸方向移動のみを許容し，変位制御による単調載荷を行う．

2.3 初期不整

本研究では，初期不整として残留応力と初期たわみを考慮する．残留応力については，軸方向に一樣に生じているものとして，圧縮側は最大 $0.25\sigma_y$ として，断面内で自己平衡条件が成立するように各要素の残留応力値を決定した．図-2 に導入した残留応力分布および残留応力の導入値を示す．

また，初期たわみは，柱の全体モードと板パネルの局部モードを考慮する．これらの形状については，図-3 に示すように全体モードに関しては正弦波半波，局部モードに関しては，板のアスペクト比に応じて座屈強度が最小となる座屈半波数 m を導入する．解析を行う初期たわみ量は，道示および

表-1 解析モデルの検討ケース

	$\lambda=0.1$	$\lambda=1.0$	$\lambda=1.8$	$\lambda=2.1$
$R=0.1$	R01L01	R01L10	R01L18	R01L21
$R=0.5$	R05L01	R05L10	R05L18	R05L21
$R=0.9$	R09L01	R09L10	R09L18	R09L21
$R=1.5$	R15L01	R15L10	R15L18	R15L21
$R=2.1$	R21L01	R21L10	R21L18	R21L21

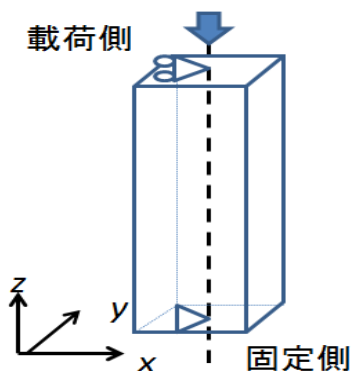


図-1 境界条件

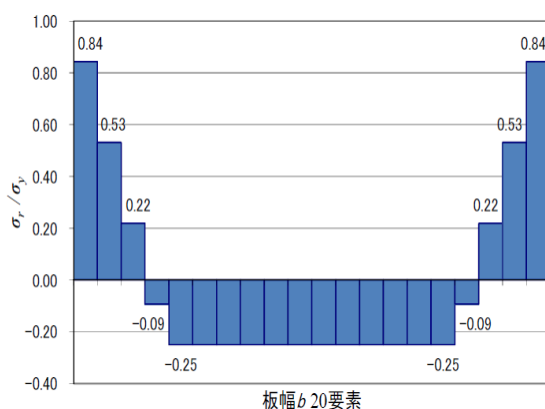


図-2 残留応力分布図

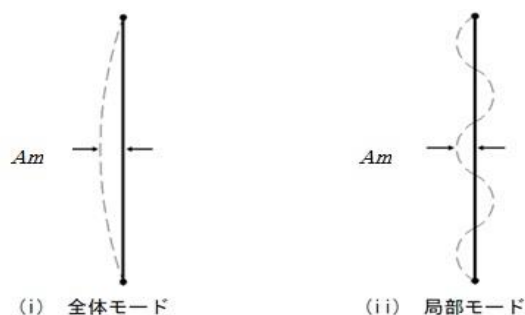


図-3 初期たわみモード

Eurocode 等の諸外国の基準における許容値、既往の研究で用いられた試験体の実測値を参考にして、柱については $l/500$, $l/1000$, $l/3000$ の 3 種類 (l は柱長), 板については $b/75$, $b/150$, $b/450$ の 3 種類 (b は板幅) を組み合わせて解析を行う。

3. 解析結果

3.1 初期たわみ影響係数

本研究は、連成座屈強度に対する初期たわみの影響を定量的に明らかにするものである。そのため、現行道示の許容値に対応する初期たわみ量の連成座屈強度を基準として、各初期たわみ量における連成座屈強度を無次元化する。この無次元化した値を本研究では初期たわみ影響係数と呼ぶ。

過去に行った研究²⁾では、解析結果より算定した初期たわみ影響係数をもとに複数の手法で定式化を試みた結果、式(1)を得た。

$$y = -a \times \ln(I_c \cdot I_p) + 1 \quad (1)$$

ここで、 y : 初期たわみ影響係数, I_c : (柱の初期たわみ量 $\times 1000$) / (柱長), I_p : (板の初期たわみ量 $\times 150$) / (板幅) である。

3.2 モデルごとの初期たわみの影響の把握

過去の研究において、幅厚比および細長比が小さい場合などに、式(1)では、精度の高い近似ができていない傾向が認められた。そこで本研究では、初期たわみの影響を受けにくいと考えられる座屈が生じにくいモデルおよびきわめて座屈が生じやすいモデルに対して、初期たわみの影響度の合いの把握を試みた。

3.2.1 初期たわみ影響係数に対する細長比の影響

柱の初期たわみ影響係数と細長比の関係を明らかにするため、幅厚比 $R=0.9$ で細長比の異なる 4 モデルにおいて、板の初期たわみ量が $b/150$ の場合に対して初期たわみ影響係数を算出した結果が図-4 である。座屈が生じにくい細長比 $\lambda=0.1$ のモデルでは、初期たわみ影響係数に対する初期たわみ量の影響が現れていない。それ以外の 3 モデルではプロットがおおむね重なっていることから、細長比が $\lambda=1.0 \sim 2.1$ の場合、初期たわみの影響がほぼ一定であると思われる。

3.2.2 初期たわみ影響係数に対する幅厚比の影響

板の初期たわみ影響係数と幅厚比の関係を明らかにするため、細長比 $\lambda=1.0$ で幅厚比の異なる 5 モデルにおいて、柱の初期たわみ量が $l/1000$ の場合に対して、初期たわみ影響係数を算出した結果が図-5 である。幅厚比 $R=0.1, 2.1$ のモデルは、初期たわみ量の影響がほとんど現れていない。また、幅厚比 $R=0.5, 1.5$ の場合は、初期たわみの影響が若干認められる程度である。このことから幅厚比が $R=0.1 \sim 0.5$ 付近では初期たわみの影響が現れにくく、 $R=0.9$ 前後ではいったん初期たわみの影響が表れやすくなるが、 $R=1.5 \sim 2.1$ では、再度初期たわみの影響が現れにくくなると言える。

4. 初期たわみ影響係数の定式化に関する考察

今回の結果に基づき、今後行う新規影響評価式の構築にあたっては、表-1 に示したモデルの他、解析結果の差が大きいモデル間を補間するため、細長比については $\lambda=0.1$ と 1.0 の間に $\lambda=0.5$ を、幅厚比については $R=0.5, 1.5$ と 0.9 の間にそれぞれ $R=0.7, 1.2$ を新たに追加、解析を実施する必要があると考える。また、定式化については、細長比が $\lambda=0.1$ 前後と幅厚比が $R=0.1 \sim 0.5$, $R=1.5 \sim 2.1$ の範囲では、初期たわみの影響がほぼ現れていないため、これらの細長比と幅厚比の場合は、初期たわみ影響係数の値が 1 となるような初期たわみ影響評価式の提案を行う。

5. まとめ

本研究では、解析モデルごとに初期たわみ影響係数の把握を行った他、新しい初期たわみの影響評価式の提案のために必要となる新規解析モデルの決定を行った。今後は、得られた解析結果と補完した解析結果をもとに、新規提案式の作成を行う。

【参考文献】

- 1) 鋼構造委員会：鋼橋の合理的な構造設計法に関する調査研究小委員会報告書，2015.3
- 2) 山下真史・中村聖三，奥松俊博，西川貴文：無補剛箱形断面柱の連成座屈強度に対する初期たわみの影響評価式の提案，九州橋梁・構造工学研究会シンポジウム，2015.12

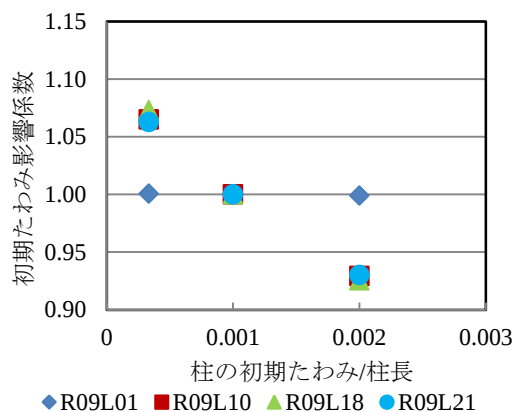


図-4 細長比による初期たわみ影響係数の違い ($R=0.9$)

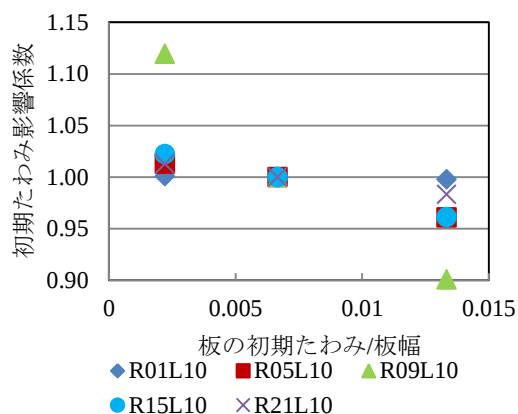


図-5 幅厚比による初期たわみ影響係数の違い ($\lambda=1.0$)