

鋼製 H 形断面柱の連成座屈強度に対する初期たわみの影響の定量的評価

長崎大学 学生会員 ○高木 洸祐  
 長崎大学大学院 正会員 奥松 俊博

長崎大学大学院 正会員 中村 聖三  
 長崎大学大学院 正会員 西川 貴文

1. はじめに

初期たわみが連成座屈強度に大きく影響を与えることはよく知られているが、初期たわみ量の影響に関する研究は十分に行われていない。また、道路橋示方書<sup>1)</sup>(以下、道示)では、初期たわみ量の許容値が規定されており、許容範囲内であれば連成座屈強度に及ぼす影響は無視される。そこで Chen ら<sup>2)</sup>は箱形断面部材を対象に、初期たわみが連成座屈強度に及ぼす影響を非線形有限要素解析により検討した。本研究では対象部材を鋼製 H 形断面とし、道路橋示方書の許容値を含むいくつかの初期たわみ量の組み合わせにより非線形有限要素解析を行い、連成座屈強度に対する初期たわみの定量的影響を明らかにする。

2. 解析概要

初期不整を考慮した軸方向圧縮力を受ける鋼製 H 形断面部材に対して弾塑性有限変位解析を行い、最大耐力を求める。解析には汎用有限要素解析ソフト MSC.Marc を用いる。

2.1. 初期不整

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、フランジとウェブにおいて、軸方向に一樣に生じているものとする。ここでは溶接 H 形断面を想定し、フランジの圧縮側は最大  $0.35\sigma_y$ 、ウェブの圧縮側は最大  $0.4\sigma_y$  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を決定した。図 1, 2 に導入した残留応力の分布を示す。

初期たわみについては、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、断面内の局部モードに関しては、ウェブは正弦波半波、フランジは線形とする。柱軸方向には、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 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)、板パネルについては、ウェブは  $h/250$  ( $h$  はウェブの板幅) に固定し、フランジは  $b/100, b/200, b/400$  の 3 種類 ( $b$  はフランジの板幅) を組み合わせて解析を行う。

2.2. モデル諸元と材料特性

解析モデルの断面は図 4 に示すように、フランジとウェブの板幅がともに 500mm である H 形断面である。幅厚比パラメータ  $R$  と細長比パラメータ  $\lambda$  に関しては、連成座屈の発生が想定される範囲に設定する。使用要素は 4 節点厚肉シェル要素(No.75)である。メッシュサイズ

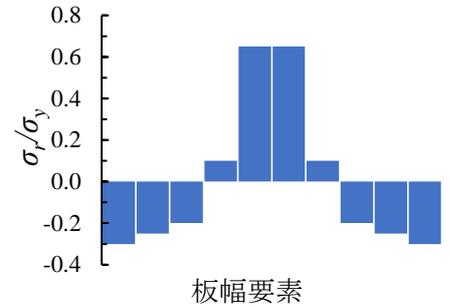


図 1 フランジ残留応力分布

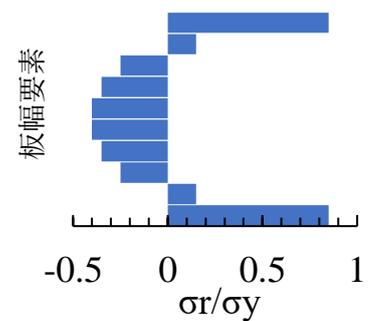


図 2 ウェブ残留応力分布

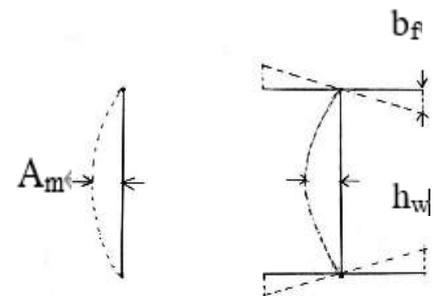


図 3 初期たわみモード

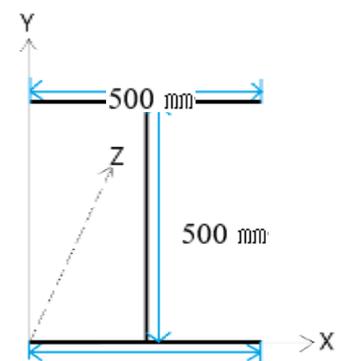


図 4 断面諸元

については、モデル全体で約 25mm とする。材料構成則については、降伏応力  $\sigma_y=355(N/mm^2)$ 、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  $E=2.00 \times 10^5(N/mm^2)$  とする。

2.3. 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 5 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をすべて拘束する。上端は軸方向移動のみを許容し、変位制御による単調荷重を行う。

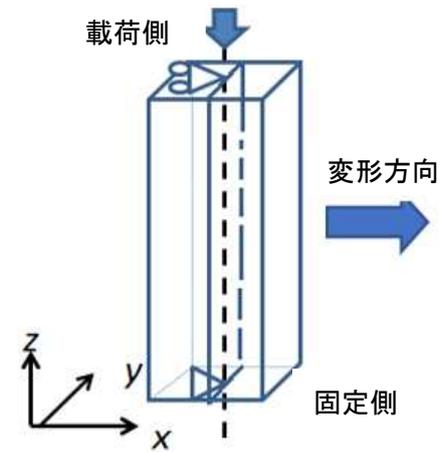


図 5 境界条件

3. 解析結果

本研究では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した値を「初期たわみ影響係数」と呼ぶ。道示による初期たわみの許容値は、柱については  $l/1000$ 、フランジについては  $b/200$ 、ウェブについては  $h/250$  である。

図 6, 7 は  $R=1.2, \lambda=1.2$  のモデルの初期たわみ影響係数に対する初期たわみの影響をウェブと柱に分けてグラフ化したものである。いずれも、初期たわみ量の増加に伴い、初期たわみ影響係数が減少している。また、ウェブの初期たわみおよび柱の初期たわみによる初期たわみ影響係数の変化は、おおむね直線で近似でき、それぞれのグラフ内の初期たわみ量別の直線の傾きは近いものとなっていることがわかる。柱の耐荷力は、柱の初期たわみが  $l/1000$  から  $l/500$  に増大すると 10.4%減少し、 $l/3000$  に減少すると 9.94%増大している。またウェブの初期たわみが  $h/250$  から  $h/125$  に増大すると約 1.15%減少し、 $h/500$  に減少すると約 0.71%増大している。決定係数  $R^2$  値については影響係数-柱の初期たわみ/柱長関係及び影響係数-ウェブの初期たわみ/ウェブ板幅関係のグラフでばらつきはあるが、そのほとんどが 0.99 前後となった。

4. まとめ

本文では  $R=1.2, \lambda=1.2$  のモデルの結果のみ示した。その他のモデルに関する解析結果と考察は当日発表する。なお今回の解析では、板パネルの初期たわみについては、ウェブの初期たわみだけ変化させ、フランジの初期たわみは固定した。今後はフランジとウェブの初期たわみを変化させて解析を行う。さらに、Chen らが箱形断面柱に対して提案した初期たわみ影響係数推定式の H 形断面柱への適用性を確認する予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2002.3
- 2) X. Chen et al. : Formulation of the quantitative influence of local and overall initial deflections on load-bearing capacity of unstiffened welded square box section columns under axial compression, Thin-Walled Structures, Vol. 147, 2020

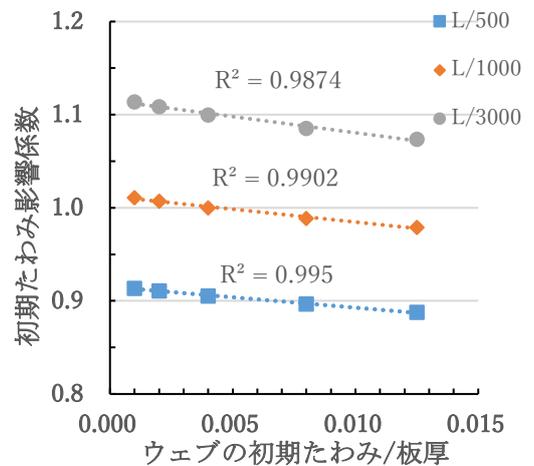


図 6 初期たわみ影響係数とウェブの初期たわみの関係 ( $R=1.2, \lambda=1.2$ )

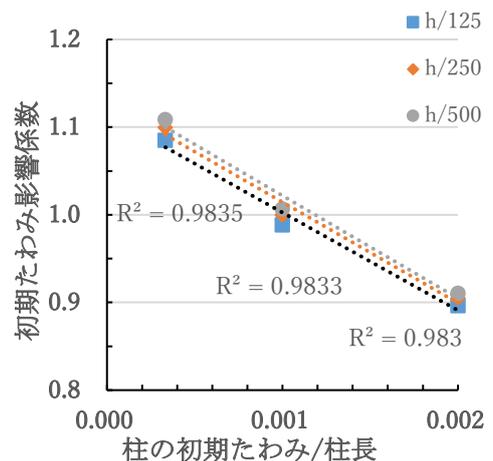


図 7 初期たわみ影響係数と柱の初期たわみの関係 ( $R=1.2, \lambda=1.2$ )