

# 鋼製円形断面柱の耐荷力に対する初期たわみの影響に関する定量的評価

長崎大学 学生会員 古川采奈 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

初期たわみが座屈を生じる部材の耐荷力に大きく影響を与えることはよく知られているが、その定量的な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耐荷力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、高木ら<sup>3)</sup>はH形断面部材を対象に、初期たわみが耐荷力に及ぼす影響を弾塑性有限変位解析により検討した。本研究では対象部材を鋼製円形断面とし、道示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弾塑性有限変位解析を行い、耐荷力に対する初期たわみの定量的影響を明らかにする。

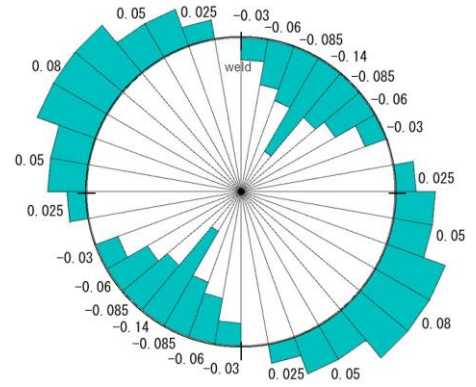


図1 軸方向残留応力分布(σ<sub>r</sub>/σ<sub>y</sub>)

## 2. 解析概要

軸方向圧縮力を受ける初期不整を有する電縫鋼管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

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、寺崎ら<sup>4)</sup>の研究をもとに軸方向に一樣に生じているものとする。各要素の残留応力は、圧縮側は最大 0.14σ<sub>y</sub> として、断面内で自己均衡条件が成立するように決定した。図1に導入した残留応力分布の値を示す。

初期たわみについては、図2に示すような柱の全体モードと円筒の局部モードを考慮する。これらの形状については、全体モードは正弦波半波であり、局部モードは次式に示すように半径が軸方向に正弦波で変化している。

$$r + K \times \sin \left[ \frac{m \times \pi \times z}{l} \right]$$

ここで、Kは初期たわみ量、lは柱長、rは半径、mは鋼管の径厚比に応じて定まる座屈強度が最小となる座屈半波数である。

解析を行う初期たわみ量Kは、道示及び JIS G 3444 における許容値を参考にして、全体モードについてはl/500、l/1000、l/3000の3種類、局部モードについてはt/50、t/100、t/200の3種類(tは板厚)を組み合わせる解析を行う。

### 2.2 モデル諸元と材料特性

解析モデルの断面は半径 508mm の円形である。径厚比 R/t と細長比パラメータ λ に関しては、表1に示すように連成座屈の発

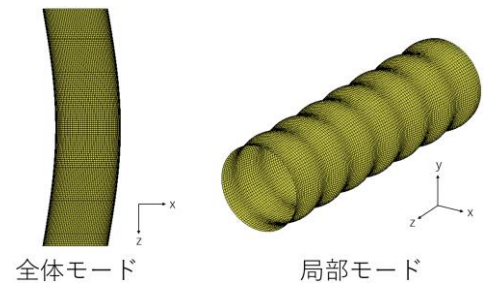


図2 初期たわみのイメージ図

表1 解析モデルの検討ケース

	λ=0.9	λ=1.2	λ=1.5	λ=2.0
R/t=50	t10s9	t10s12	t10s15	t10s20
R/t=53.48	t9s9	t9s12	t9s15	t9s20
R/t=64.30	t7s9	t7s12	t7s15	t7s20
R/t=100	t5s9	t5s12	t5s15	t5s20
R/t=150	t3s9	t3s12	t3s15	t3s20

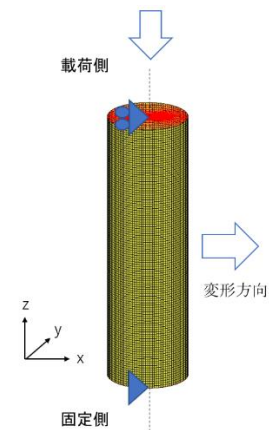


図3 境界条件

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である。メッシュ分割は、モデル全体で約30mmの正方形としている。材料の応力-ひずみ関係はひずみ硬化係数 $E/100$ のバイリニア型とし、降伏応力 $\sigma_y=235(N/mm^2)$ 、ポアソン比0.3、弾性係数 $E=2.00 \times 10^5(N/mm^2)$ と設定する。

### 2.3 境界条件

解析モデルの上下端では、円周上にあるすべての節点と中央点に設置した節点を剛体連結する。両端ヒンジの柱となるよう、各中央点に図3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載荷を行う。

### 3. 解析結果

ここでは一例として、t7s15のモデルについて解析結果を示す。

図4は局部モードの初期たわみを $t/50$ に固定し、全体モードの初期たわみを変化させた時の荷重-軸方向変位関係を示している。最大耐力を越えると急激に荷重が降下し、その最大耐力は初期たわみが大きくなるにつれて減少することが分かる。

図5は最大耐力と局部モードあるいは全体モードの初期たわみ量との関係をグラフ化したものである。縦軸は降伏荷重で、横軸は板厚あるいは柱長で無次元化している。初期たわみ量の増加に伴い、最大耐力は減少していることが分かる。また、局部モードの初期たわみおよび全体モードの初期たわみによる最大耐力の変化は、おおむね直線で近似することができ、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た。また、二つのグラフを比べると直線の傾きの平均は、局部モードの初期たわみに対して0.62、全体モードの初期たわみに対して11.78と後者が2倍程度になっており、全体モードの初期たわみの影響が局部モードの初期たわみの影響よりも大きいことが分かる。

### 4. まとめ

本文では、モデルt7s15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。今回は、径厚比 $R/t$ と細長比パラメータ $\lambda$ の値を連成座屈がより発生しやすい範囲に設定した。今後は局部モードと全体モードの初期たわみを変化させて解析を進め、円形断面柱の耐荷力に対する初期たわみの影響を定量的に明らかにしていく予定である。

### 参考文献

- 1) 道路橋示方書(II鋼橋・鋼部材編)・同解説, 2007.
- 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, Article 106539, 2020.
- 3) 高木洗祐ら: 中心軸圧縮を受ける溶接H形断面柱の耐荷力に対する初期たわみの影響, 鋼構造年次論運報告集, 第30巻, pp.854-859, 2022.
- 4) 寺崎俊夫ら: 円柱・円筒の溶接残留応力分布について, 溶接学会論文集, 第1巻第2号, pp.153-158, 1983.

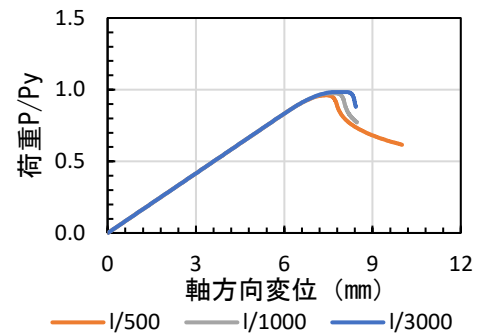
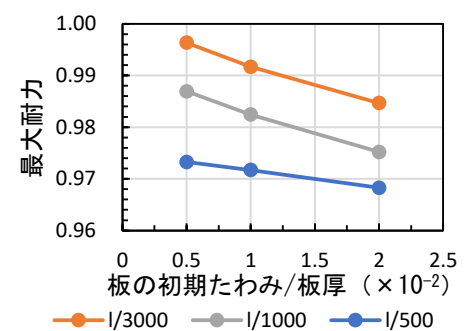
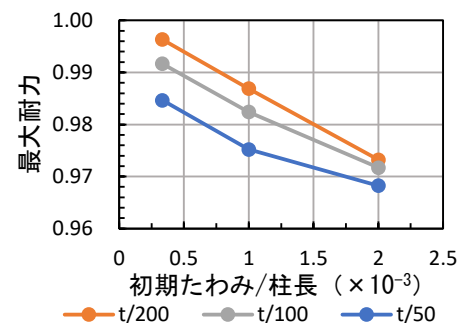


図4 荷重-変位曲線

※局部モードの初期たわみ  $t/50$   
(モデル t7s15)



(a) 局部モード



(b) 全体モード

図5 最大耐力-初期たわみ関係  
(モデル t7s15)