

軸圧縮を受ける鋼製円形断面柱の耐荷力に対する初期たわみの影響

長崎県 非会員 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 学生会員 ○播本直哉
長崎大学大学院 正会員 西川貴文
長崎大学大学院 正会員 奥松俊博

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、その定量的な影響は明らかにされていなかった。そこで Chen ら¹⁾は箱形断面部材を対象に、高木らは 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。

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 (FE) 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、軸方向に一樣に生じているものとし、断面内で自己平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。

$$r(z) = R + K \sin \frac{m\pi z}{l}$$

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、道路橋示方書及び JIS G 3444 における許容値を参考とし、全体モードについては $l/500$ 、 $l/1000$ 、 $l/3000$ (l は柱長) 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。

2.2 モデル諸元と材料特性

解析モデルの断面は半径 $R = 508\text{mm}$ 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 45mm 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 $\sigma_y = 235(\text{N/mm}^2)$ 、ポアソン比 0.3、弾性係数 $E = 2.00 \times 10^5 (\text{N/mm}^2)$ 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。

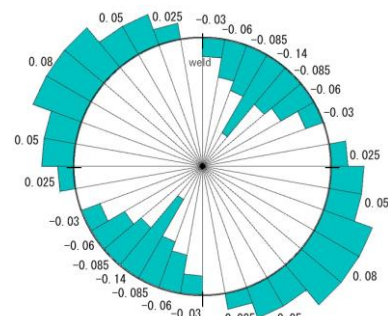


図 1 軸方向残留応力分布 (σ_r/σ_y)

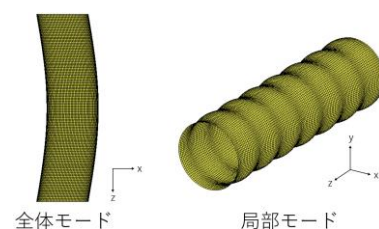


図 2 初期たわみイメージ図

表 1 解析モデル一覧

$R/t \backslash \lambda$	0.6	0.9	1.2
150	r15s6	r15s9	r15s12
100	r10s6	r10s9	r10s12
50	r05s6	r05s9	r05s12

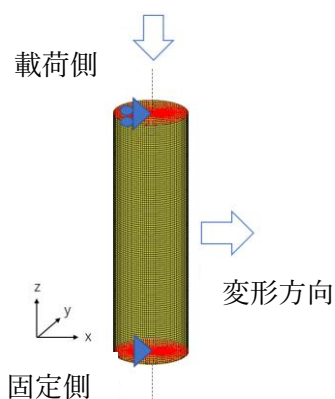


図 3 境界条件

キーワード 耐荷力, 鋼製円形断面柱, 初期たわみ, 非線形有限要素解析

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学大学院工学研究科 TEL 095-819-2613

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

本研究では、許容値に対応する初期たわみ量とした場合の耐荷力を基準として、各初期たわみ量における耐荷力を無次元化した値を「初期たわみ影響係数 (IDIC)」と呼ぶ．初期たわみの許容値は、全体モードについては $l/1000$ 、局部モードについては $t/100$ である．図 4 は r5s6 のモデルの IDIC に対する全体モードと局部モードの初期たわみの影響をそれぞれグラフ化したものである．どちらも初期たわみによる IDIC の変化は、おおむね直線で近似でき、各直線の傾きは近いものとなった．図 4(a) の全体モードの初期たわみと IDIC の関係を示すグラフの傾きは大きく、無補剛箱形断面柱と同程度の傾きであった．一方、図 4(b) の局部モードの初期たわみに関しては傾きが非常に小さく、他のモデルでも同程度の結果となった．実際に局部モードの初期たわみが一番大きい $t/50$ と一番小さい $t/200$ のモデルの IDIC を比べると、両者の比は最大で 101.1%であった．これより、鋼製円形断面柱において、局部モードの初期たわみによる IDIC の変化は無視できると判断できる．図 5 の局部座屈モードを見ると、設定した初期たわみと違う形状であった．これが局部モードの初期たわみの影響が非常に小さくなった要因と考えられる．

4. 無補剛箱形断面に対する IDIC 推定式の円形断面への適用性

局部モードの初期たわみが IDIC に及ぼす影響は無視でき、全体モードの影響は無補剛箱形断面と同程度であるという結果を受け、無補剛箱形断面を対象とする IDIC の推定式では、全体モードの影響のみを考慮すれば鋼製円形断面にも適用できるのではないかと考え、検証した．推定式から算出される IDIC と FE 解析結果の IDIC との比較を図 6 に示す．モデルの 8 割以上が誤差 $\pm 5\%$ の直線の間分布している．全モデルにおける誤差の平均値は 1.50% であり、無補剛箱形断面の誤差 1.51% と同程度である．したがって、無補剛箱形断面柱を対象とした推定式は、全体モードの影響のみを考慮することで、円形断面柱にも適用可能といえる．

5. まとめ

本研究では、鋼製円形断面柱を対象に、いくつかの初期たわみ量の組み合わせで FE 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した．さらに、無補剛箱形断面柱を対象とした推定式が全体モードの影響のみを考慮することで、円形断面柱にも適用できることを明らかにした．今回設定した局部モードの初期たわみの形状や断面寸法は 1 種類であり、径厚比と細長比の組合せも十分とは言えないため、今後さらに多くの組合せに対する検討が必要である．また、局部モードの初期たわみの影響がほぼ見られなかった原因も調査する必要がある．

参考文献

- 1) 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.

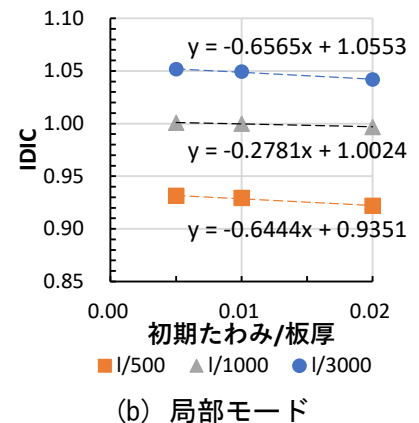
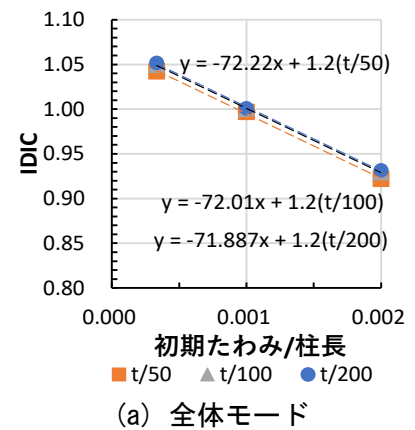


図 4 IDIC-初期たわみ関係 (モデル r5s6)

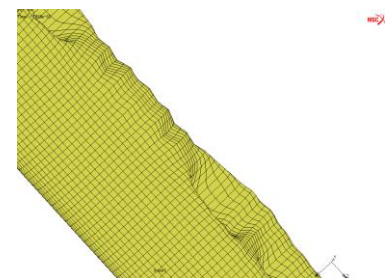


図 5 局部座屈モード (5 倍拡大)

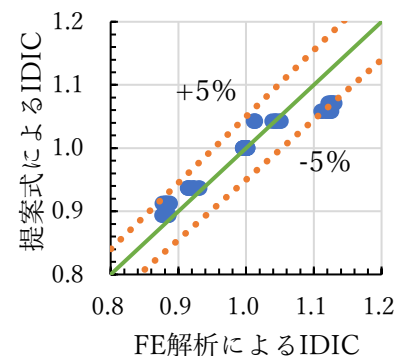


図 6 IDIC の比較