

## 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改良

瀧上工業株式会社 正会員 山下真史  
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

昨年、土木学会にて連成座屈強度の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<sup>1)</sup>。しかし、この検討では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<sup>2)</sup>にて、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、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、追加の解析を実施し、連成座屈強度に対する初期たわみの影響の詳細な定量的把握および全モデルに適用可能な新たな評価式の構築を行った。

## 2. 解析概要

軸方向圧縮力を受ける無補剛箱形断面柱を解析対象とし、弾塑性有限変位解析を行う。モデルごとに初期たわみを変化させて、それぞれの最大耐力を求め、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、汎用有限要素解析ソフトウェア MSC.Marc を用いる。作成モデルおよびその連成座屈の例を図-1 に示す。

解析モデルの断面および使用要素、材料構成則、境界条件、初期たわみ量、残留応力等の条件およびその値は、文献<sup>2)</sup>と同様である。解析モデルは、換算細長比  $\lambda=0.1, 0.5, 1.0, 1.8, 2.1$  の5種類と換算幅厚比  $R=0.1, 0.5, 0.7, 0.9, 1.2, 1.5, 2.1$  の7種類を組み合わせたものとする。

## 3. 解析結果

## 3.1 初期たわみ影響係数

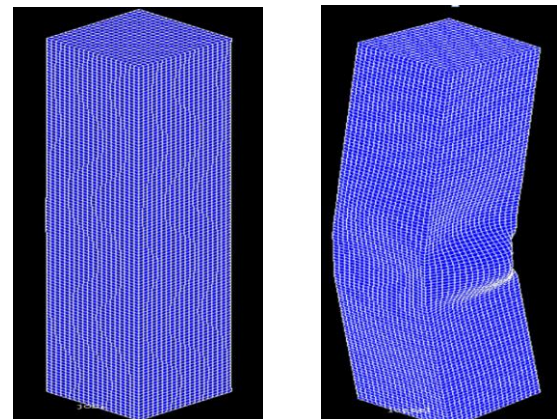
連成座屈強度に対する初期たわみの影響を定量的に表現するため、各初期たわみの組み合わせに対する最大耐力を道示の初期たわみの許容値である  $l/1000, b/150$  ( $l$ : 柱長,  $b$ : 板幅) の場合に得られた最大耐力で除して無次元化した量を、本研究では初期たわみ影響係数と定義する。

## 3.2 モデルごとの初期たわみの影響の把握

本研究では、板または柱の初期たわみ量の影響度を定量評価する指標として、板の初期たわみ量が  $b/150$  の場合の柱の初期たわみ量  $l/500, l/3000$  に対するそれぞれの初期たわみ影響係数の比  $A$ 、および柱の初期たわみ量が  $l/1000$  の場合の板の初期たわみ量  $b/75, b/450$  に対する初期たわみ影響係数の比  $B$  (図-2 の  $y_1/y_2$ ) に着目した。それらの近似式を  $\lambda$  および  $R$  ごとに变化する柱と板それぞれの初期たわみの影響関数として、式(1)と式(2)に示すように構築した。なお、近似式の構築にあたり、近似式の算出結果の確認のために追加解析を行った。

$$A = \begin{cases} -0.17\lambda^3 + 0.39\lambda^2 - 0.07\lambda + 1.004 & (0.1 \leq \lambda < 1.0) \\ 0.10\lambda^3 - 0.55\lambda^2 + 0.97\lambda + 0.631 & (1.0 \leq \lambda \leq 2.1) \end{cases} \quad (1)$$

$$B = \begin{cases} 0.47R^2 - 0.17R + 1.015 & (0.1 \leq R < 0.5) \\ -2.73R^3 + 5.90R^2 - 3.66R + 1.745 & (0.5 \leq R < 1.2) \\ -0.21R^3 + 1.20R^2 - 2.36R + 2.597 & (1.2 \leq R \leq 2.1) \end{cases} \quad (2)$$



(a) 解析モデル (b) 連成座屈状況

図-1 解析モデルおよび連成座屈状況の例

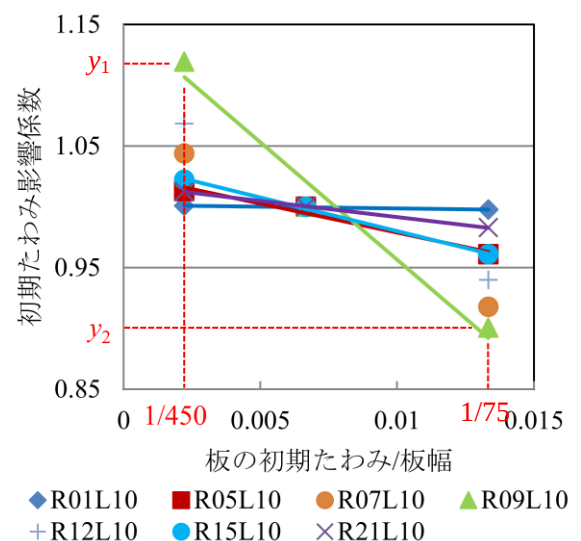


図-2 板の初期たわみ-初期たわみ影響係数

キーワード： 連成座屈，初期たわみ，無補剛箱形断面柱

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:095-819-2615

式(1)と式(2)から算出した初期たわみ影響係数の比と解析より得られたモデルごとの柱と板それぞれの初期たわみ影響係数の比を図-3に示す。近似式は、FEM解析結果を精度良く近似できていることがわかる。

#### 4. 新規評価式の定式化

図-3に示した初期たわみ影響係数の比は、それぞれ $\lambda$ 、 $R$ が初期たわみ影響係数に与える影響度を表すと考えられる。この影響度を反映させるため、本研究では式(3)に示すような初期たわみ影響係数の評価式を提案する。

$$y = \bar{C} \times (\ln(I_c^{A-1} \times I_p^{B-1})) + 1 \quad (3)$$

ここで、 $y$ ：初期たわみ影響係数、 $\bar{C}$ ：傾き関数、 $I_c$ ：(柱の初期たわみ量×1000)/(柱長)、 $I_p$ ：(板の初期たわみ量×150)/(板幅)である。傾き関数 $\bar{C}$ は、作成した式(4)より算出する。モデルごとに最小二乗法を用いて得た式(3)の $\bar{C}$ と式(4)の値を図-4に示すが、全体的な傾向は概ね再現できていると考えられる。

$$\bar{C} = sR^2 + tR + u \quad (4)$$

ここで、 $s = 0.41\lambda^2 - 1.37\lambda + 1.04$ 、 $t = -1.17\lambda^2 + 3.91\lambda - 2.95$ 、 $u = 0.80\lambda^2 - 2.55\lambda + 2.27$ である。

これらの近似式の算出値とFEM解析による値を比較して図-5に示す。 $R$ の値が小さい( $R=0.1, 0.5$ )場合、提案式の算出値が1.0以下ではFEM解析の値より小さく、1.0以上では大きい傾向にある。一方 $R$ の値が大きい( $R=1.2, 1.5$ )場合は、逆の傾向にある。しかし、式(3)の算出結果において誤差±10%の線に対して大きな乖離が見られるモデルは $R=0.1$ のみであり、概ね良好な結果が得られていると判断できる。また、式(3)と文献1)に示された連成座屈強度算出式より最大耐力を算出した結果とFEM解析値とのモデルごとの最大誤差を表-1に示す。最大誤差が大きく生じたモデルについてその原因を調べた所、両式ともに解析値との比較的大きな乖離が生じた結果、誤差が著しく増加していることを確認した。

#### 5. まとめ

本研究では、無補剛箱形断面材を対象に、過去の研究成果<sup>2)</sup>を踏まえた追加の解析を実施し、連成座屈強度に対する初期たわみの影響の詳細な定量的把握を行った。また、全モデルに適用可能な新たな評価式の構築を行い、その精度が概ね良好であることを確認した。今後の課題として、提案式の精度をさらに向上させるための評価式の再検討等が挙げられる。

#### <参考文献>

- 1) 土木学会鋼構造委員会：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) 山下ら：無補剛箱形断面材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
- 3) 山尾ら：溶接箱形断面材の連成座屈強度実験，土木学会論文報告集，第335号，pp.195～198，1983.7

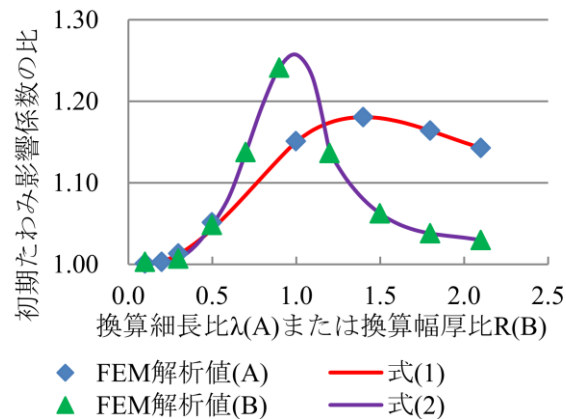


図-3 換算細長比( $R=0.9$ )または換算幅厚比( $\lambda=1.0$ )ごとの初期たわみ影響係数の比

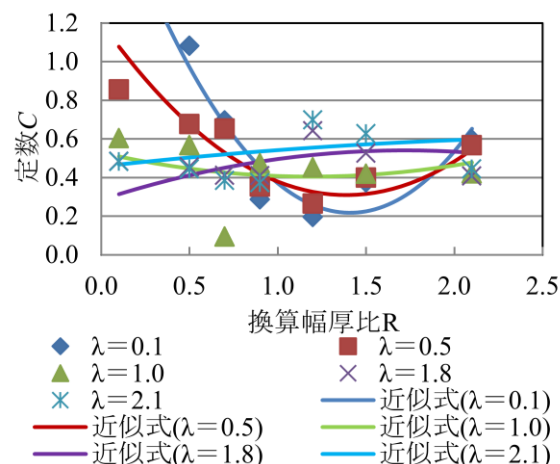


図-4 換算幅厚比ごとの初期たわみ影響係数の比

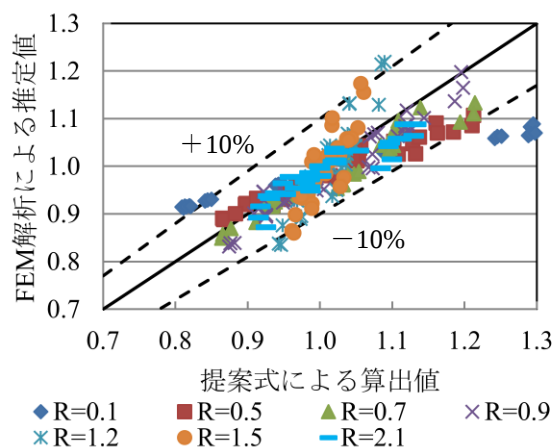


図-5 提案式による算出値と解析値の比較

表-1 最大耐力の最大誤差

|         | $\lambda=0.1$ | $\lambda=0.5$ | $\lambda=1.0$ | $\lambda=1.8$ |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $R=0.5$ | 7.0%          | 4.6%          | 10.9%         | 9.5%          |
| $R=0.7$ | 5.7%          | 6.2%          | 14.3%         | 12.0%         |
| $R=0.9$ | 10.4%         | 1.9%          | 13.3%         | 13.2%         |
| $R=1.2$ | 3.2%          | 3.3%          | 10.1%         | 18.5%         |
| $R=1.5$ | 19.1%         | 12.7%         | 10.4%         | 14.2%         |