

ステンレス鋼および炭素鋼製中空正方形断面柱の連成座屈強度評価法

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○中村 健人
長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大

1. はじめに

柱部材の全体座屈と柱断面を構成する板部材の局部座屈が相互に起こる連成座屈は、幾何学的非線形性が顕著に現れる複雑な現象である。著者ら¹⁾²⁾は、高耐食性を有するステンレス鋼を土木鋼構造物に活用するため、ステンレス鋼製柱部材を対象とした強度特性の把握とそれに基づく強度評価法の提案を行ってきた。本研究は、ステンレス鋼および炭素鋼製柱部材の連成座屈強度評価法の検討を行う。

2. 数値計算方法

本研究で対象とする鋼種は、Cr-Ni 系ステンレス鋼 (SUS316, SUS304N2, SUS821L1 および SUS329J4L) および炭素鋼 (SM400 および SM570) とする。図1は、対象とする中空正方形断面柱の形状を示す。本研究では、柱の断面幅 b を 200mm とし、柱長さ L および板厚 t を式(1)の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ および式(2)の幅厚比パラメータ R を 0.2 から 1.8 までそれぞれ 0.2 刻みで変化させることで決定する。

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_F}{E}} \frac{L}{r} \quad (1) \quad , \quad R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_F}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (2)$$

数値計算における、対象材料の機械的性質、応力ひずみ関係、初期不整および要素分割法については、文献 1) および 2) を参照されたい。

3. ステンレス鋼および炭素鋼製中空正方形断面柱の連成座屈強度評価法

式(3)から式(5)は、数値計算結果を基に提案するステンレス鋼および炭素鋼製中空正方形断面柱の連成座屈強度評価法を示す。

$$\left(\frac{\sigma_U}{\sigma_F}\right)_{\text{pre}} = \gamma \cdot \chi \cdot \frac{\sigma_{\text{crg}}}{\sigma_F} \quad (3)$$

$$\gamma = \left(\frac{a}{R}\right)^b \quad (4)$$

$$\chi = c\bar{\lambda} + d \quad (5)$$

ここで、 $(\sigma_U/\sigma_F)_{\text{pre}}$ は基準強度で無次元化した連成座屈強度評価値、 $(\sigma_{\text{crg}}/\sigma_F)$ は基準強度で無次元化した全体座屈強度評価値を意味する。表1は、式(4)および式(5)に用いる係数を示す。同表中の値は、ステンレス鋼および炭素鋼全体では数値計算結果の下限値を補完するように、オーステナイト系および二相系ステンレス鋼では、数値計算結果との誤差の2乗の和が最小となるよう決定

表1 式(4)および式(5)に用いる係数

	a	b	c	d
All stainless steel (safety side)	0.400	0.523	0.201	0.880
Austenitic stainless steel	0.577	0.686	0.292	0.838
Duplex stainless steel	0.630	0.725	0.193	0.953
Carbon steel (safety side)	0.380	0.543	0.143	0.849

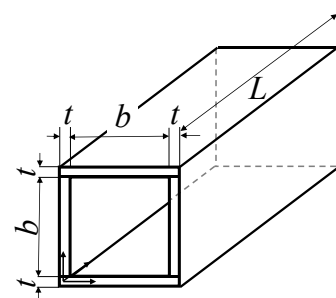


図1 中空正方形断面柱の形状

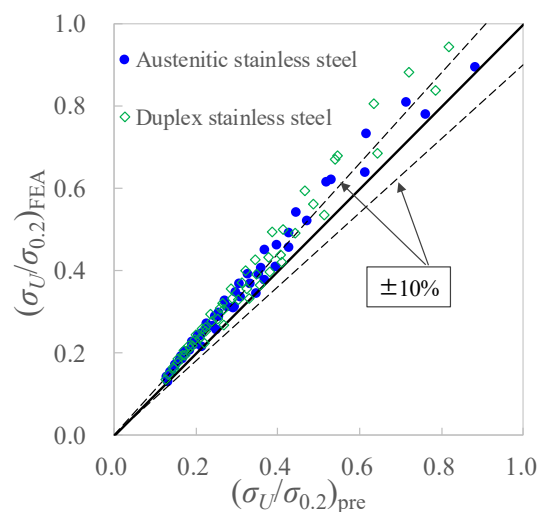


図2 ステンレス鋼製柱の連成座屈強度と提案式(3)の比較 (ステンレス鋼全体の係数を使用)

キーワード 連成座屈、終局圧縮強度、ステンレス鋼、炭素鋼

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 長岡工業高等専門学校 TEL 0258-34-9439

した。

図2から図4は、数値計算により得られたステンレス鋼製中空正方形断面柱の連成座屈強度 $(\sigma_U/\sigma_{0.2})_{FEA}$ と連成座屈強度評価式(3)による強度評価値 $(\sigma_U/\sigma_{0.2})_{pre}$ との比較を示す。なお、ステンレス鋼の全体座屈強度評価値 (σ_{cr}/σ_F) として、鋼・合成構造標準示方書⁴⁾の耐荷力式を用いる。この耐荷力式に用いる係数は、全体座屈を示すステンレス鋼製柱の終局圧縮強度²⁾を補完するように設定した。また、ステンレス鋼の基準強度として0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ を用いる。図2より、ステンレス鋼製柱の連成座屈による終局圧縮強度は、式(3)による評価値の100～128%となる。また、図3および図4より、オーステナイト系および二相系ステンレス鋼製柱の連成座屈による終局圧縮強度は式(3)による連成座屈強度評価値は、95～105%および92～111%となる。

図5は、数値計算により得られた炭素鋼製中空正方形断面柱の連成座屈強度 $(\sigma_U/\sigma)_{FEA}$ と式(3)による連成座屈強度評価 $(\sigma_U/\sigma)_{pre}$ との比較を示す。なお、炭素鋼の全体座屈強度評価値 (σ_{cr}/σ_F) は、道路橋示方書⁵⁾の耐荷力式を用いる。また、炭素鋼の基準強度として降伏応力 σ を用いる。同図より、炭素鋼製柱の連成座屈による終局圧縮強度は、式(6)による評価値の100～131%となる。

4. おわりに

本研究では、得られた成果を以下に示す。

- (1) 提案式(3)から式(5)を用いることでステンレス鋼製中空正方形断面柱の連成座屈強度を合理的および安全に評価できることを明らかにした。
- (2) 提案式(3)から式(5)を用いることで炭素鋼製中空正方形断面柱の連成座屈強度を合理的かつ安全に評価できることを明らかにした。

参考文献

- 1) 中村健人，宮寄靖大：Cr-Ni系ステンレス鋼製中空正方形断面柱の座屈挙動，鋼構造年次論文報告集 第29巻，pp.9-16, 2021。
- 2) 中村健人，宮寄靖大：Cr-Ni系ステンレス鋼製中空正方形断面柱の全体座屈強度評価法，鋼構造年次論文報告集 第30巻，pp.810-817, 2022。
- 3) 土木学会：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。
- 4) 土木学会鋼構造委員会：鋼・合成構造標準示方書〔設計編〕（2022年制定），2022。
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II 鋼橋・鋼部材

編，日本道路協会，2017。

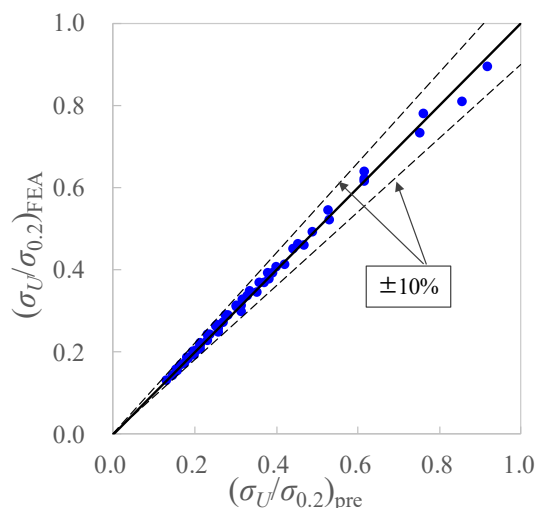


図3 オーステナイト系ステンレス鋼製柱の連成座屈強度と提案式(3)の比較（オーステナイト系ステンレス鋼の係数を使用）

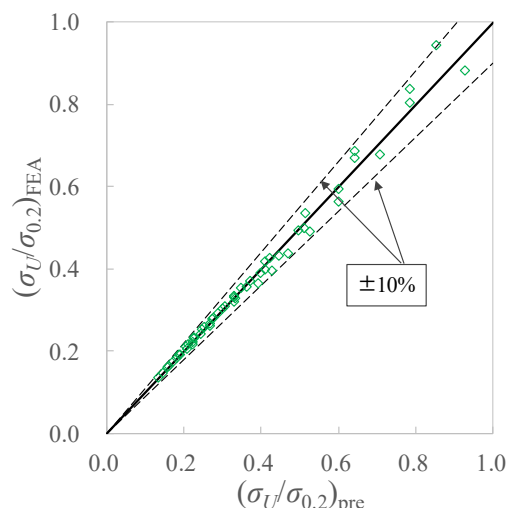


図4 二相系ステンレス鋼製柱の連成座屈強度と提案式(3)の比較（二相系ステンレス鋼の係数を使用）

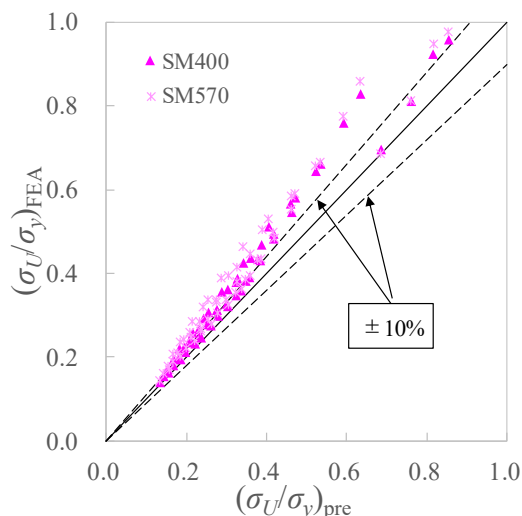


図5 炭素鋼製柱の連成座屈強度と提案式(3)の比較（炭素鋼の係数を使用）