

## Cr-Ni系ステンレス鋼製中空正方形断面柱の使用限界状態強度

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 宮崎 靖大

## 1. はじめに

現行の道路橋示方書<sup>1)</sup>(以下、道示)は、柱の全体座屈と柱断面を構成する板要素の局部座屈の連成座屈に対する強度評価として積公式を採用している。しかし、積公式を用いた炭素鋼製溶接箱形断面柱の強度評価は、板の幅厚比が大きい領域で過度な安全余裕を与えることを明らかにしている<sup>2)</sup>。また、著者ら<sup>3)</sup>は、ステンレス鋼で構成される柱部材においても同様の傾向となることを確認した。これは、板の耐荷力評価において、幅厚比の大きい領域では低い応力度で面外たわみや剛性の低下が生じやすいことに配慮して安全側に定めたことに依る<sup>1)</sup>。本研究では、Cr-Ni系ステンレス鋼製柱部材の変形性能に着目し、その使用限界状態強度について数値計算により明らかにし、炭素鋼製柱の結果と比較するとともに、使用限界状態強度に対する積公式の適用性を検証する。

## 2. 数値計算方法

## 2.1 対象材料

本研究で対象とするステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316 および二相系(リーン型)ステンレス鋼 SUS821L1 とする。また、これらステンレス鋼の比較用として、構造用炭素鋼 SM400 および SM570 を対象とする。表1は、材料試験<sup>4),5)</sup>により得られた対象材料の機械的性質を示す。同表中の記号は  $E$  がヤング係数を、 $\sigma_F$  が設計基準耐力(ステンレス鋼の場合 0.2%耐力, 炭素鋼の場合降伏応力)を、 $\sigma_{0.01}$  がステンレス鋼の 0.01%耐力を、 $\nu$  がポアソン比を意味する。図1は、数値計算に用いる応力塑性ひずみ関係を示す。なお、材料の塑性開始点は、ステンレス鋼の場合  $\sigma_{0.01}$ 、炭素鋼の場合降伏応力とした。

## 2.2 数値計算モデル

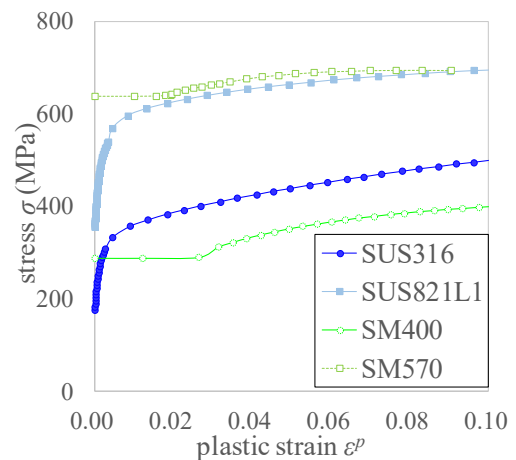
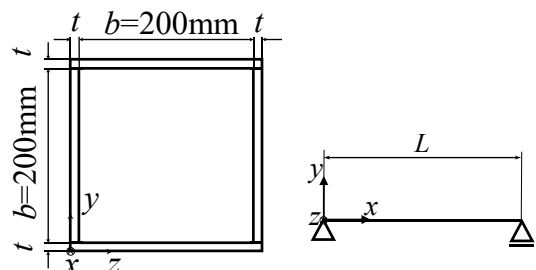
図2は、対象とする中空正方形断面柱の形状を示す。同図中の記号は、 $t$ 、 $b$  および  $L$  が柱断面を構成する板の板厚、板の支持間隔および柱長さを意味する。本研究では、 $b$  を 200mm とし、 $t$  を式(1a)で定義する幅厚比パラメータ  $R$  を 0.2~1.8 まで、 $L$  を式(1b)で定義する細長比パラメータ  $\bar{\lambda}$  を 0.2~0.6 まで、それぞれ 0.2 刻みで変化させて決定する。

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

ここで、 $k$  および  $r$  は板の座屈係数(=4)および断面2次半径である。また、数値計算で考慮する柱の初期不整および FEM 解析のモデル化方法は、文献3)を参照されたい。

表1 対象材料の機械的性質<sup>4),5)</sup>

Steel type	$E$ (GPa)	$\sigma_F$ (MPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	$\nu$
SUS316	198	302	175	0.306
SUS821L1	199	526	354	0.228
SM400	214	288	—	0.271
SM570	210	638	—	0.302

図1 対象材料の応力-塑性ひずみ関係<sup>4),5)</sup>

(a) 断面図 (b) 側面図

図2 中空正方形断面柱の形状

キーワード Cr-Ni系ステンレス鋼, 使用限界状態強度, 連成座屈, 積公式

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

### 3. 数値計算結果

図3は、数値計算により得られた圧縮方向荷重と図2に示した $y$ 軸方向の面外たわみの関係を示す。同図の縦軸は、数値計算で得られた圧縮荷重 $P$ を基準耐力時の荷重 $P_F$ で正規化した値を、横軸は柱の終局圧縮強度時に $y$ 軸方向の変形が一番大きく生じる節点の面外たわみ $V$ をその点における初期たわみ値 $V_0$ で正規化した値を意味する。なお、同図は、 $\bar{\lambda}=0.4$ の結果を示している。同図より、 $R=0.6$ のとき、ステンレス鋼製柱は炭素鋼柱に比べて、最大耐力後の強度低下が緩やかになることが確認できる。また、 $R$ が大きい領域では、対象とした全ての柱において、初期剛性が低下し早期に変形が生じることがわかる。

図4は、柱の使用限界状態強度と道示の積公式による強度評価値との比較を示す。同図の縦軸は、柱の使用限界状態強度 $(P_{SLS}/P_F)$ を道示の強度評価値 $(P_{cr}/P_F)_{JSHB}$ で正規化した値を意味する。ここで、本研究では、柱断面を構成する板の面外たわみが初期たわみの大きさに達した点を使用限界状態と定義した。同図より、本研究で対象としたステンレス鋼製柱の使用限界状態強度は、 $\bar{\lambda}=0.2$ のSUS821L1を除き、 $R$ が1.2以上の範囲で積公式による評価値を上回ることがわかる。また、SUS316とSUS821L1では全体的に異なる傾向を示すことがわかる。

### 4. おわりに

本研究で得られた成果は、つぎの通りである。(1)対象とした柱の圧縮荷重と面外たわみの関係は、 $R$ が小さい範囲でステンレス鋼と炭素鋼で異なる挙動を示す。(2)ステンレス鋼製柱の使用限界状態強度は、SUS316とSUS821L1において異なる傾向を示す。

本研究では、使用限界状態の判断基準として面外たわみを用い、その限界値に初期たわみ値を用いた。しかし、使用限界状態を規定する閾値については、今後さらに検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 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。
- 2) 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，2015.3。
- 3) 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。
- 4) 井崎茜，宮寄靖大，小野潔，宮下剛：Cr-Ni系ステンレス鋼の材料特性および材料モデルの定式化，鋼構造年次論文報告集，第27巻，pp.1-9，2019。
- 5) 宮寄靖大，佐藤龍輝，志村保美：ステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した板部材の引張強度特性，第37回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会，I-314，2019.11。

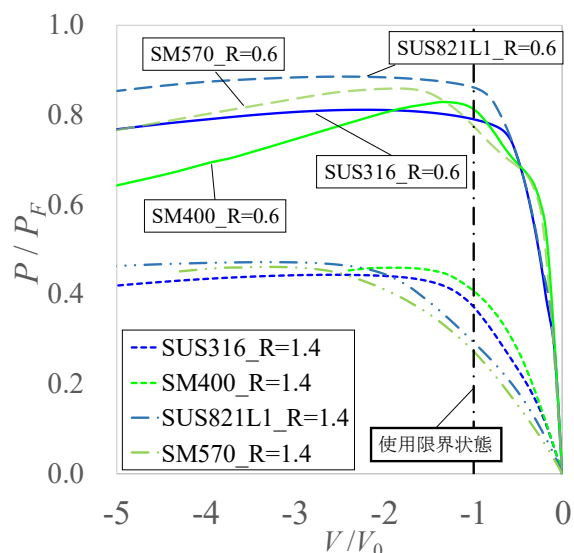
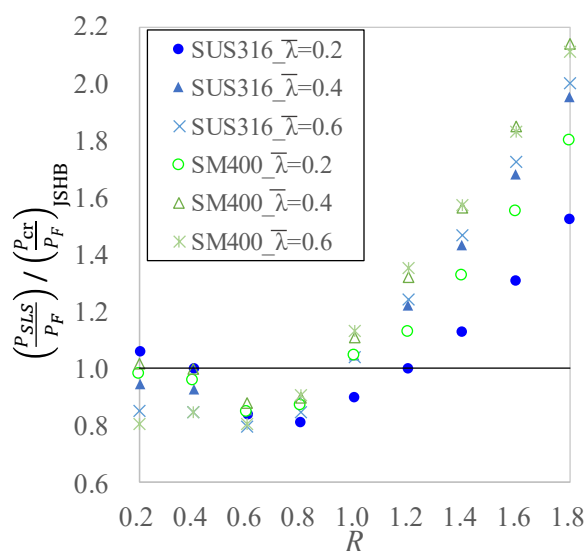
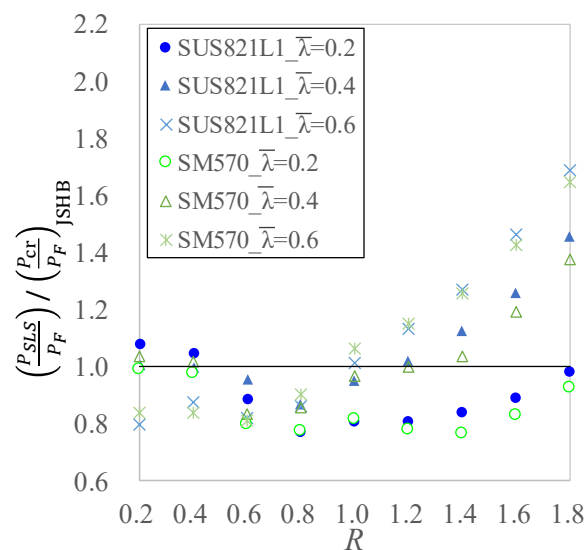


図3 圧縮方向荷重と面外たわみの関係 ( $\bar{\lambda}=0.4$ )



(a) SUS316 および SM400



(b) SUS821L1 および SM570

図4 使用限界状態強度と積公式による強度評価値の比較