

Cr-Ni系ステンレス鋼製中空正方形断面柱の局部座屈強度評価法

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

ステンレス鋼は、従来の鋼材に比べて高耐食性を有するため、土木構造物に活用することで、構造物の高耐久化が期待できる。本研究は、ステンレス鋼の部材レベルでの強度特性を明確にすることを目的として、局部座屈が発現する中空正方形断面柱の強度特性を数値計算により明らかにする。また、数値計算により得られた結果を基に、ステンレス鋼製中空正方形断面柱の局部座屈に対する強度評価法を終局限界および使用限界の観点から提案する。

2. 数値計算方法

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, SUS304N2 および二相系ステンレス鋼 SUS821L1, SUS329J4L である。また、比較用として、構造用炭素鋼 SM400 および SM570 を対象とする。図1は、材料試験により得られた対象材料の応力-ひずみ関係を示す。同図より、ステンレス鋼は、降伏棚を有さないラウンドハウス型の応力-ひずみ関係を示すことが確認できる。数値計算では、図1に基づく応力-塑性ひずみ関係を用いる。

図2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(1a)の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ および式(1b)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。

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

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

3. 数値計算結果

以下では、座屈挙動の判別方法¹⁾に従い、局部座屈挙動を示した柱 ($\bar{\lambda}=0.2$, $R=0.6\sim 1.8$ および $\bar{\lambda}=0.4$, $R=0.6\sim 1.8$) の結果について述べる。

3.1 荷重と面外たわみの関係

図3は、対象とした柱部材の軸方向荷重と柱断面を構成する板の面外たわみの関係を示す。同図の縦軸は数値計算により得られた圧縮応力 σ を設計基準耐力 σ_F で正規化した値を、横軸は柱断面を構成する板の面外たわみをその点における初期たわみ値で正規化した値を示す。同図より、 R が大きくなるに伴い、初期剛性が低下し、早期に板の局所的な変形が進行することがわかる。また、ステンレス鋼の系の違いによる結果についてみると、 $R=0.6$ のオーステナイト系は最大耐力後の荷重の低下が緩やかとなり、二

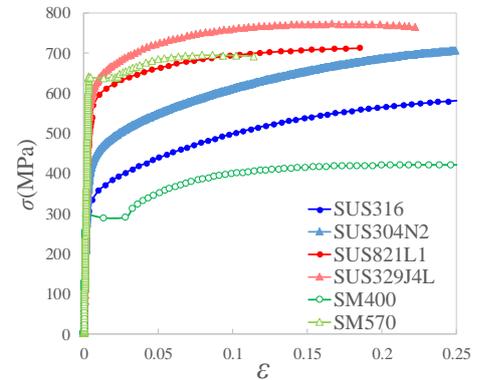


図1 対象材料の応力-ひずみ関係

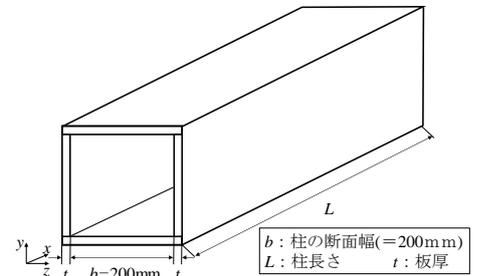
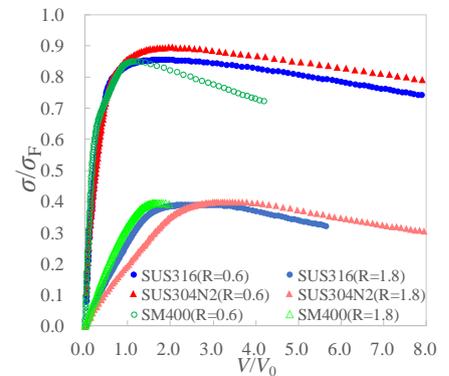
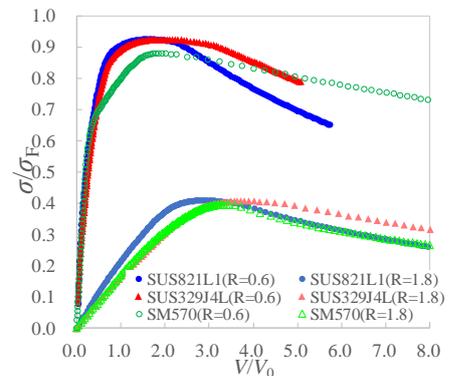


図2 中空正方形断面柱の形状



(a)オーステナイト系ステンレス鋼および

SM400



(b)二相系ステンレス鋼および SM570

図3 圧縮荷重と面外たわみの関係

相系は最大耐力後の荷重の低下が明確に現れることが確認できる。

3.2 局部座屈強度特性

図4は、局部座屈が発生する柱の終局圧縮強度と R の関係を示す。同図の縦軸は、柱の最大耐力 σ_{ULS} を基準耐力 σ_F で正規化した値を示す。また、同図中には比較のため、道路橋示方書²⁾で規定される炭素鋼製無補剛板の耐荷力曲線および文献3)によるステンレス鋼板の耐荷力曲線を実線および点線で示している。同図より、 R が1.0以上のステンレス鋼製の局部座屈強度は、道路橋示方書の耐荷力曲線に比べて、1.08~2.31倍となり過度な安全余裕度を有していることがわかる。また、文献3)の耐荷力曲線は、局部座屈が生じるステンレス鋼製柱に関する結果の0.93~1.06倍となる。なお、一部の数値計算結果が文献3)の耐荷力曲線を下回る原因として、連成座屈による強度低下が考えられるため、柱および板の座屈の連成問題については今後より詳細に検討する必要がある。

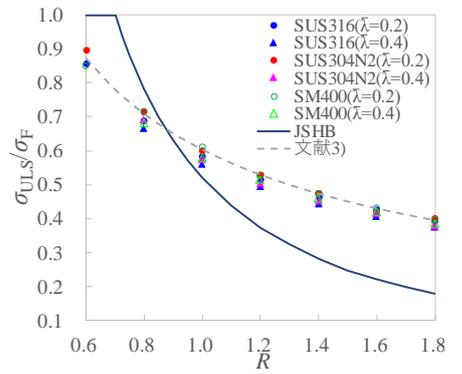
図5は、局部座屈が発生する柱の使用限界強度と R の関係を示す。同図の縦軸は、柱の使用限界時の応力 σ_{SLS} を基準耐力 σ_F で正規化した値を示す。ここで、図中には、図4と同様に既往の耐荷力曲線を示している。なお、本研究では、柱断面を構成する板の面外たわみが初期たわみ値を超えた状態を使用限界と定義する。図5(a)より、SUS316製柱の使用限界強度は、 R が1.2以上の範囲で、道路橋示方書の耐荷力曲線の1.00~1.81倍になる。また、SUS304N2製柱の使用限界強度は、 $\bar{\lambda}$ が0.4かつ R が1.4以上の範囲で、道路橋示方書の強度評価値に対して安全側になるものの、概ね道路橋示方書の耐荷力曲線を下回ることが確認できる。さらに、図5(b)より、 $\bar{\lambda}$ が0.2の二相系ステンレス鋼製柱の使用限界強度は、道路橋示方書の耐荷力曲線を平均で約17%下回る。そして、 $\bar{\lambda}$ が0.4の二相系ステンレス鋼製の使用限界強度は、 R が1.2以下の範囲では、 $\bar{\lambda}$ が0.2の結果と同様に道路橋示方書の耐荷力曲線を下回る傾向を示すものの、 R が1.4以上の範囲では、道路橋示方書の耐荷力曲線を平均で約13%上回る。

4. おわりに

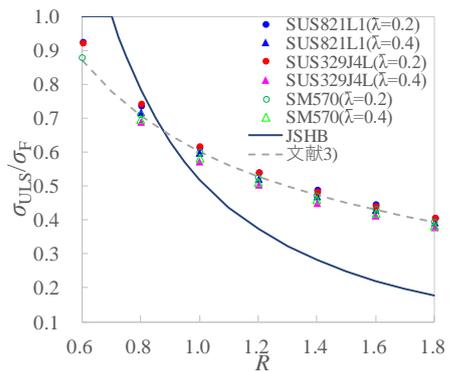
本研究で得られた成果は次の通りである。(1) 文献3)の耐荷力曲線を用いることで、局部座屈が発現するステンレス鋼製柱の終局圧縮強度を十分な精度で評価することができる。(2) 対象としたステンレス鋼製柱の使用限界強度は、オーステナイト系および二相系で異なる傾向を示すことを明らかにした。

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) 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.
- 3) 宮寄靖大, 奈良敬: 無補剛ステンレス鋼圧縮板の座屈照査法, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.122-134, 2010.3.

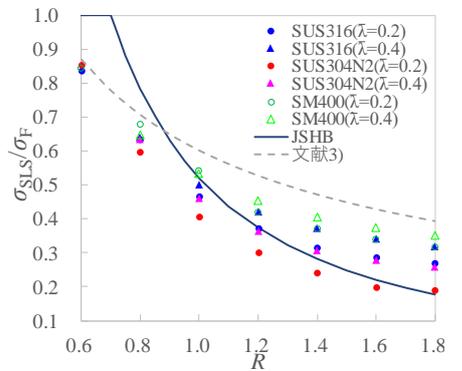


(a)オーステナイト系ステンレス鋼およびSM400

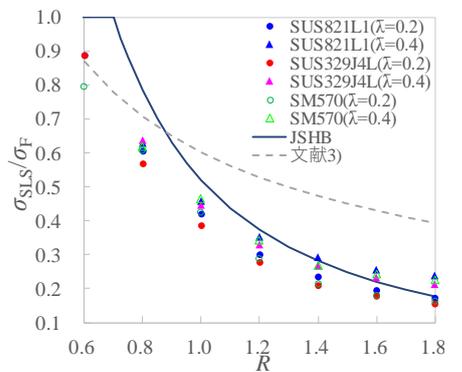


(b)二相系ステンレス鋼およびSM570

図4 終局圧縮強度と R の関係



(a)オーステナイト系ステンレス鋼およびSM400



(b)二相系ステンレス鋼およびSM570

図5 使用限界強度と R の関係