

SUS316 製中空正方形断面柱の連成座屈強度特性

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、高耐食性を有することから、土木構造物に活用することで、ライフサイクルコストの低減および長寿命化が期待できる。本研究は、ステンレス鋼製土木構造物の強度評価法の確立に向け、SUS316 製柱部材を対象に、柱の全体座屈と板の局部座屈が相互に発現する連成座屈強度特性について数値計算により明らかにする。

2. 数値計算方法

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316 を対象とする。また、比較用として構造用炭素鋼 SM400 を用いる。表 1 は、既往の材料試験^{1) 2)}により得られた対象材料の機械的性質を示す。ここで、表中の記号は、 E がヤング係数を、 σ_F が基準耐力 (SUS316 の場合は 0.2% 耐力, SM400 の場合は降伏応力) を、 $\sigma_{0.01}$ がステンレス鋼における 0.01% 耐力を、 ν がポアソン比を意味する。また、図 1 は、数値計算に用いる応力塑性ひずみ関係を示す。SUS316 の応力ひずみ関係は、炭素鋼にみられる明確な降伏点を有さないラウンドハウス型を示すため、塑性開始点を $\sigma_{0.01}$ とした。

図 2 は、本研究で対象とする中空正方形断面柱を示す。同図中の t が板厚、 b が柱の断面幅、 L が柱長さを意味する。本研究では、 b を 200mm とし、 L および t を式(1)、式(2)で定義される細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ および幅厚比パラメータ R を 0.2 から 1.2 までそれぞれ 0.2 刻みで変化させ決定する。

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_F L}{E r}} \tag{1}$$

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_F}{E} \frac{12(1 - \nu^2)}{\pi^2 k}} \tag{2}$$

ここで、 r は断面 2 次半径、 k は板の座屈係数 (=4) である。

数値計算では初期不整として、初期たわみおよび残留応力を考慮する。まず、初期たわみは、柱全体および断面を構成する板のたわみを考慮し、柱全体に対してたわみの最大値を $L/1000$ とした sin 半波形で、板に対してたわみの最大値を $b/150$ とした sin 半波が板の縦横比 1 で生じるようにして与える。つぎに、残留応力は、圧縮残留応力の大きさを $-0.3\sigma_F$ 、引張残留応力の大きさを σ_F とした自己平衡を保つ矩形分布で与える。以上の数値計算は、対象とする柱を、8 節点アイソパラメトリックシェル要素を用いて有限要素離散

化を行い、汎用非線形有限解析ソルバ MARC を用いて行う。

3. 数値計算結果

図 3 は、数値計算により得られた荷重と変位の関係を示す。ここで、同図の縦軸は数値計算により得られた圧縮荷重 P をそれぞれの柱の 0.2% 耐力時の荷重 $P_{0.2}$ で無次元化した値を、横軸は数値計算で与えた圧縮荷重 U をそれぞれの柱の 0.2% 耐力時の変位 $U_{0.2}$ で無次元化した値を示す。同図より、 $\bar{\lambda}$ の増

表 1 対象材料の機械的性質^{1) 2)}

鋼種	E (GPa)	σ_F (MPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	ν
SUS316	198	302	175	0.306
SM400	214	288	—	0.271

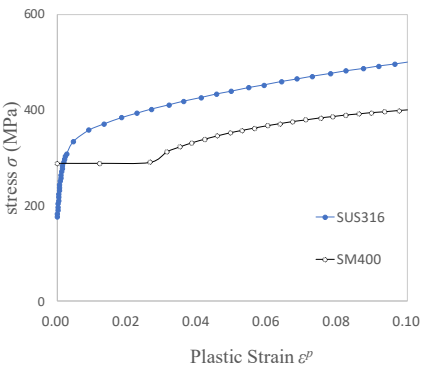


図 1 応力塑性ひずみ関係

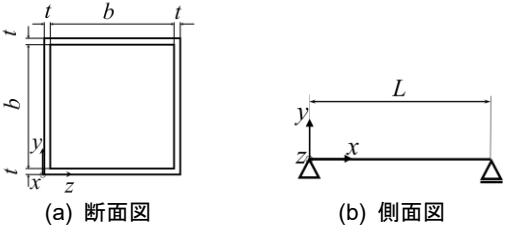


図 2 中空正方形断面柱

キーワード 連成座屈，終局圧縮強度，SUS316
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

大に伴い、最大耐力後の急激な強度低下が見られる。また、 R の増大に伴い、板厚の減少による初期剛性の低下により、初期勾配が小さくなることを確認できる。

図4は、終局圧縮強度時における柱断面を構成する各板の変位を調べ、座屈挙動の判定を行った結果を示す。座屈挙動の判定は、上下のフランジが異なる方向に変位している場合は局部座屈、上下のフランジが同一方向に同じ大きさで変位している場合は全体座屈、上下のフランジが同一方向かつ大きさにばらつきが生じている場合は連成座屈が発現しているとした。同図より、細長比パラメータと幅厚比パラメータが同程度またはともに大きい領域で連成座屈挙動が確認できた。また、紙面の都合上割愛する SM400 の場合についても、ほぼ同様の傾向を示した。

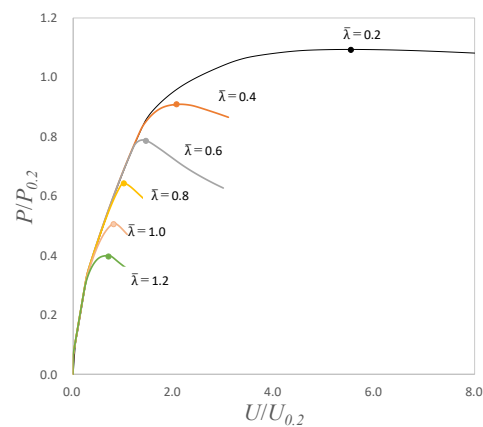
図5は、図4にて、連成座屈挙動とした柱の終局圧縮強度と道路橋示方書³⁾で規定される炭素鋼製溶接箱形断面柱の耐力評価値との比較を示す。ここで、同図の縦軸は、数値計算により得られた終局圧縮強度 σ_u を道路橋示方書の連成座屈強度 σ_{u-JSHB} で無次元化した値を示す。同図より、対象とした SUS316 製中空正方形断面柱の終局圧縮強度は、幅厚比パラメータが 0.6, 0.8 の場合に、SM400 は、幅厚比パラメータが 0.4, 0.6, 0.8 の場合に道路橋示方書の耐力を下回ることがわかる。また、 R の増大に伴い、SUS316, SM400 ともに道路橋示方書の耐力を大きく上回ることが確認できる。本研究で対象とした SUS316 と SM400 の結果を比較すると、 R が 0.4 の範囲での SUS316 の終局圧縮強度は SM400 の約 1.1 倍であり、優れた耐力特性を示すことが確認できる。一方、 R が 0.6 以上の範囲では、SUS316 の耐力は SM400 に比べて平均で約 0.9 倍となる。

4. おわりに

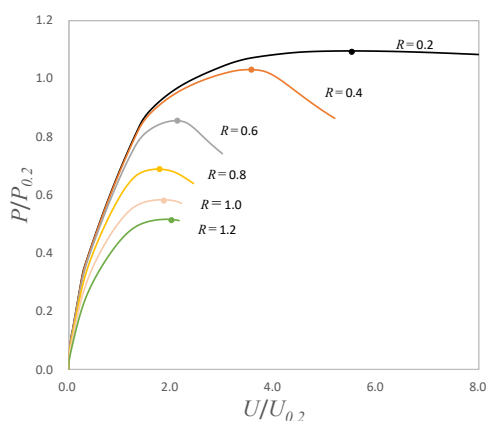
本研究で得られた成果を以下にまとめる。(1) 本研究で対象とした柱は、細長比パラメータと幅厚比パラメータがともに大きい領域で連成座屈挙動が発現し、この領域での道路橋示方書の耐力評価値は過度な安全余裕度を与える。(2) SUS316 製中空正方形断面柱の連成座屈強度は、幅厚比パラメータが 0.6, 0.8 の場合に、道路橋示方書で規定される炭素鋼製溶接箱形断面柱耐力を下回る。(3) SUS316 製中空正方形断面柱の終局圧縮強度は、SM400 製の結果に比べて、 R が 0.6 以上の範囲で平均約 0.9 倍となる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.



(a) $R=0.2$



(b) $\bar{\lambda}=0.2$

図3 SUS316 の荷重－変位関係

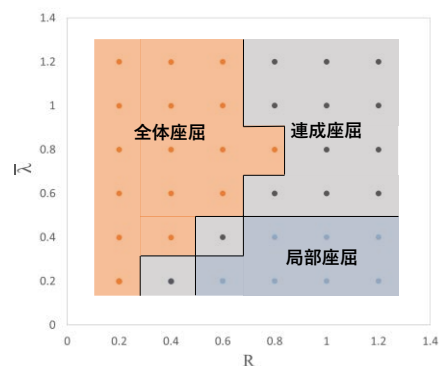


図4 SUS316 の終局強度時の座屈挙動

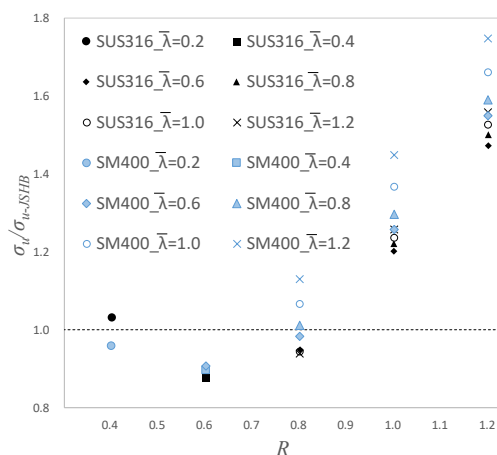


図5 終局圧縮強度と道示³⁾の連成座屈強度の比較