

部材両端をステンレス鋼とした鋼製 H 形断面柱の圧縮強度特性

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○堀澤 英太郎

長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大

1. はじめに

高耐食性材料であるステンレス鋼は、炭素鋼に比べて高価なため、これにより構造物の高耐久化を図る場合、初期費用の増大が懸念される。このような長期間供用された鋼橋の劣化要因の一つは腐食であり、桁端部やトラス格点部で多く発生している。このような腐食環境の厳しい箇所をステンレス鋼、その他を炭素鋼とした断面構成や部材配置が有効であると考え、そこで本研究では、部材両端をステンレス鋼、その他を炭素鋼とした H 形断面柱の圧縮強度特性を数値計算¹⁾により明らかにする。

2. 数値計算法

本研究で対象とする材料は、炭素鋼 SM400 および SM570、ステンレス鋼 SUS304, SUS329J4L および SUS323L である。表 1 は、対象材料の機械的性質^{2),3)}を示す。同表中の記号は、 E がヤング係数を、 σ_y が炭素鋼における降伏応力を、 $\sigma_{0.2}$ および $\sigma_{0.01}$ がステンレス鋼における 0.2%耐力および 0.01%耐力を、 ν がポアソン比をそれぞれ意味する。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^{2),3)}。数値計算では、塑性開始点を炭素鋼で降伏応力、ステンレス鋼で 0.01%耐力とする応力塑性ひずみ関係を使用する。図 2 は、対象とする H 形断面柱を示す。柱の部材長 L 、フランジおよび腹板の板厚 t_f および t_w は、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 $\bar{\lambda}_p$ により決定する。

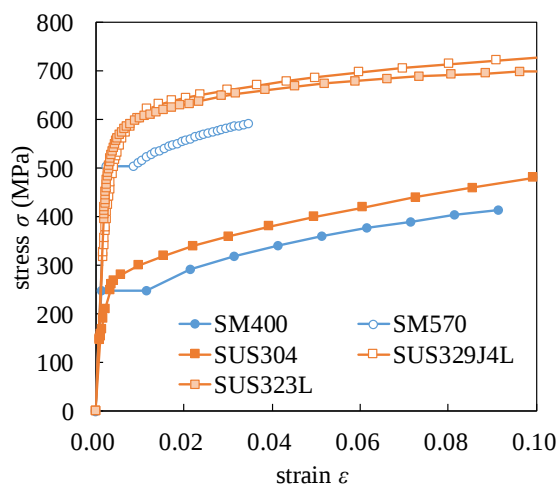
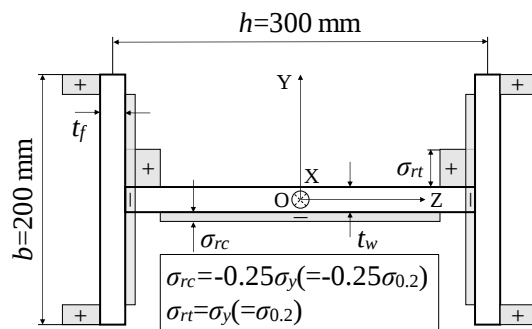
$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_F L}{E r}} \quad (1)$$

$$\bar{\lambda}_p = \left(\frac{b}{2t_f} \text{ or } \frac{h}{t_w} \right) \sqrt{\frac{\sigma_F}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (2)$$

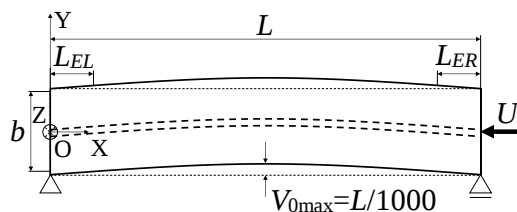
ここで、 σ_F は設計基準強度（炭素鋼では σ_y 、ステンレス鋼では $\sigma_{0.2}$ ）、 r は断面 2 次半径、 k は座屈係数（腹板： $=4$ 、フランジ： $=0.425$ ）である。なお、 $\bar{\lambda}$ は 0.1 から 1.9 まで 0.2 刻みで変化させて部材長 L を決定し、 $\bar{\lambda}_p$ は局部座屈を防ぐため、0.3 として板厚 t_f および t_w を決定する。また、初期不整は初期たわみおよび残留応力を考慮する。初期たわみは、柱全体モードの $\sin$ 半波形を Y 軸方向（弱軸回り）に与える。つぎに、残留応力は自己平衡を保つ矩形分布とし、同図中に示す大きさで与える。そして、柱の境界条件は両端単純支持とし、 X 軸方向に強制変位 U を与える。

表 1 対象材料の機械的性質^{2),3)}

鋼種	E (GPa)	σ_y (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	ν
SM400	200	249	-	-	0.30
SM570	206	504	-	-	0.30
SUS304	157	-	261	146	0.30
SUS329J4L	191	-	525	319	0.20
SUS323L	207	-	556	396	0.22

図 1 対象材料の応力ひずみ関係^{2),3)}

(a) 断面図



(b) 側面図

図 2 H 形断面柱

キーワード ステンレス鋼, H 形断面柱, ハイブリッド部材, 終局圧縮強度

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

また、H 形断面柱の有限要素離散化には 8 節点アイソパラメトリックシェル要素を用いる。これらの数値計算は、汎用非線形有限要素解析プログラム MARC¹⁾を使用する。

表 2 は、本研究で対象とする H 形断面柱を構成する材料の組み合わせを示す。同表中のモデル名は、柱中央部材および柱両端部材の順に、柱を構成する材料を表している。ここで、部材両端をステンレス鋼としたハイブリッド柱は、柱全体長さ L に対する両端部の長さ ($L_{EL}+L_{ER}$) の比を 0.1 から 0.5 まで 0.1 刻みで変化させる。

3. 数値計算結果

図 3 は、柱の終局圧縮強度と細長比パラメータの関係を示す。なお、紙面の都合上 SM400 と SUS304 の組み合わせの結果のみを記載している。同図の縦軸は、数値計算で得られた柱の終局圧縮荷重 P_u を設計基準強度時の荷重 P_F で無次元化した値である。同図より、 $\bar{\lambda}=0.1$ を除くハイブリッド柱の終局圧縮強度は、柱全体に対するステンレス鋼の割合の増大に伴い小さくなり、SM400 のみの柱の約 87% となることがわかる。これは、ステンレス鋼が早期に塑性化し、剛性の低下により変形が増大するためである。一方、柱全体に対する SUS304 の割合が 30% 以下の全てのハイブリッド柱の終局圧縮強度は、SM400 のみの柱の 95% 以上となることを確認できる。

図 4 は、柱全体に対するステンレス鋼の割合が 50% のハイブリッド柱の終局圧縮強度および既往の耐荷力曲線^{4),5)}を示す。同図より、対象としたいずれの鋼種のハイブリッド柱の終局圧縮強度は、既往の耐荷力曲線よりも安全側となることがわかる。また、 $\bar{\lambda}=0.1$ を除く SM40-304-0.5 の終局圧縮強度は、道路橋示方書の耐荷力曲線の平均で 107% となる。

4. おわりに

本研究では、部材両端をステンレス鋼とした H 形断面柱の圧縮強度特性を数値計算により明らかにした。これにより、対象とした柱全体に対するステンレス鋼の割合が 50% 以下のハイブリッド柱の終局圧縮強度は、既存の設計基準類の耐荷力評価にて、安全側となることを確認できた。最後に、本研究は平成 29 年度ユニオンツール育英奨学会研究助成により実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

1) MSC. Software Co.: Marc User's Guide, MSC. Software Corporation, 2017. 2) 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) 佐藤信輔, 宮寄靖大: 静的引張試験による二相系ステンレス鋼の材料特性, 鋼構造年次論文報告集, 第 24 巻, pp.297-304, 2016. 4) 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. 5) ステンレス構造設計基準作成委員会: ステンレス建築構造設計基準・同解説 (第 2 版), ステンレス構造建築協会, 1995.

表 2 材料の組み合わせ

モデル名	柱中央の材料	柱両端の材料	ステンレス鋼の割合
SM40-304-0.1,0.2,0.3,0.4,0.5	SM400	SUS304	0.1~0.5 (0.1 刻み)
SM57-J4L-0.1,0.2,0.3,0.4,0.5	SM570	SUS329J4L	
SM57-323-0.1,0.2,0.3,0.4,0.5	SM570	SUS323L	
SM40	SM400		-
SM57	SM570		
304	SUS304		
J4L	SUS329J4L		
323	SUS323L		

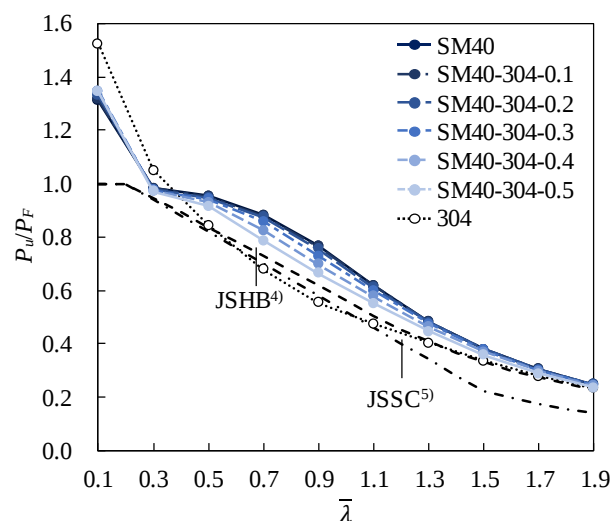


図 3 終局圧縮強度と細長比パラメータの関係

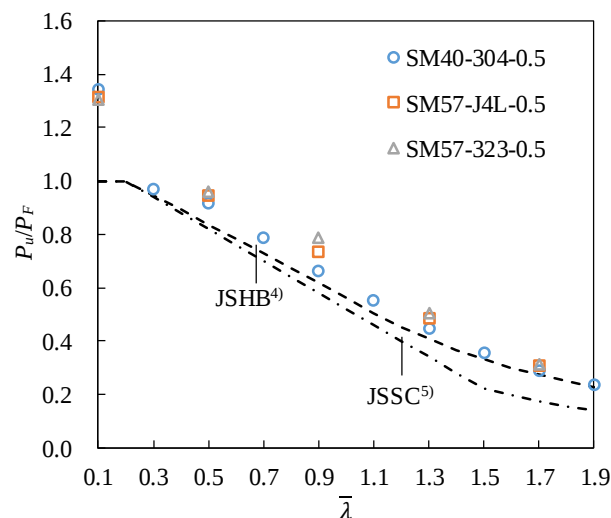


図 4 既往の耐荷力曲線との比較