

オーステナイト系およびリーン二相系ステンレス鋼製 T 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 ○井崎 茜
 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、構造用炭素鋼に比べて高耐食性を示す。そのため、長期的な供用が必然である土木構造物にステンレス鋼を用いることで、従来の炭素鋼製構造物に比べてライフサイクルコストの低減が可能となる。このようなステンレス鋼製土木構造物の実現には、部材強度を明確にした上での設計法の確立が必要不可欠である。本研究では、橋梁の二次部材に使用することを想定したステンレス鋼製 T 形断面柱部材について、ガセット接合部からの負荷を考慮した偏心圧縮条件での強度特性を数値計算により明らかにする。

2. 数値計算モデル

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 SUS304 およびリーン二相系ステンレス鋼 SUS821L1 とする。表 1 は、これら材料の機械的性質を示す^{1),2)}。ここで、表中の E はヤング係数、 $\sigma_{0.2}$ は 0.2% 耐力、 ν はポアソン比を示す。図 1 は、数値計算に用いる対象材料の応力ひずみ関係を示す。ここで、応力ひずみ関係は、文献 3) に由来する 2 区間とした Ramberg-Osgood 曲線を用いる。

図 2 は、本研究で対象とする T 形断面柱の形状を示す。T 形断面柱は、式(1)に示す細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を 0.2 から 2.0 まで 0.2 刻みで変化させて、柱長さ l を決定する。

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_{0.2}}{E}} \frac{l}{r} \quad (1)$$

ここで、式中の r は断面二次半径を意味する。数値計算では、初期不整として残留応力および初期たわみを考慮する。まず、残留応力は、図 3 に示す自己平衡を保つ矩形分布とし、その大きさを圧縮側で $0.3\sigma_{0.2}$ 、引張側で $\sigma_{0.2}$ として与える。つぎに、初期たわみは、対象とする T 形鋼を 8 節点アイソパラメトリックシェル要素による有限要素離散化を行い、この数値計算モデルに対する固有値解析を実施し、柱の全体座屈モードとなる 1 次モードを採用するとともに、柱の側方たわみの最大値が $l/1000$ となるようにして与える。そして、数値計算モデルにおける力学的境界条件は、図 2 に示す偏心位置とする。以上の数値計算は、汎用非線形有限要素解析ソルバ MARC を用いる。

3. 数値計算結果

図 4 は、数値計算で得られた T 形断面柱の圧縮荷重と圧縮変位の関係を示す。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 を柱断面全体の 0.2% 耐力時の荷重 $P_{0.2}$ で正規化した値を、横軸は数値計算で与えた圧縮変位 W を柱の 0.2% 耐力時の変位 $W_{0.2}$ で正規化した値を表している。同図より、SUS304 および

表 1 対象ステンレス鋼の機械的性質^{1),2)}

鋼種	E (GPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	ν
SUS304	183	268	0.280
SUS821L1	203	495	0.221

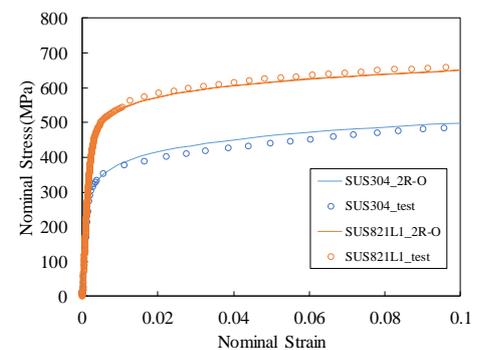


図 1 応力ひずみ関係³⁾

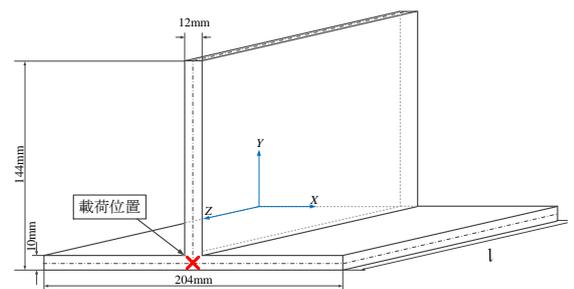


図 2 モデル形状

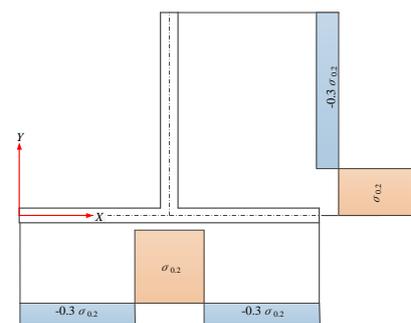


図 3 残留応力分布

SUS821L1 で、荷重と変位の関係の傾向に差異はみられない。また、 $\bar{\lambda}$ が 0.2 の場合、SUS821L1 の終局圧縮強度時の変位は SUS304 に比べて小さくなるのがわかる。

図 5 は、終局強度時の圧縮変位と細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ の関係を示す。ここで、同図の縦軸は、終局強度時の圧縮変位 W_U を 0.2% 耐力時の変位 $W_{0.2}$ で正規化した値を意味する。また、同図のプロットは、丸が T 形断面柱を、四角が山形断面柱⁴⁾の数値計算結果を表している。同図より、T 形断面柱の終局強度時の変位は山形断面柱の結果と比べて、 $\bar{\lambda}=0.2$ から 0.6 の範囲において、SUS304 で 0.42 倍、SUS821L1 で 0.52 倍程度となることがわかる。また、 $\bar{\lambda}=0.8$ より大きい範囲では断面形状に関わらずほぼ同様の傾向を示すことが確認できる。

図 6 は、数値解析により得られた対象としたステンレス鋼製 T 形断面柱および山形断面柱⁴⁾の終局圧縮強度と細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ の関係を表す。同図の縦軸は終局圧縮強度 P_u を 0.2% 耐力時の強度 $P_{0.2}$ で正規化した値を意味する。また、同図の破線は道路橋示方書⁵⁾の耐荷力曲線を、実線および一点鎖線は SUS304 および SUS821L1 の材料特性値を代入した道路橋示方書の偏心圧縮負荷の場合の耐荷力曲線を表している。同図より、T 形断面柱の終局圧縮強度は $\bar{\lambda}=0.2$ から 0.8 の範囲で山形断面柱より大きく、 $\bar{\lambda}=1.0$ から 1.6 の範囲で山形断面柱より小さくなり、T 形断面柱と山形断面柱の耐荷力の傾向が異なることがわかる。また、山形断面柱および T 形断面柱の終局強度は道路橋示方書における偏心圧縮負荷条件での基準曲線に比べて同程度以上となることが確認できる。

4. おわりに

本研究で得られた成果を以下にまとめる。(1) 対象とした SUS304 および SUS821L1 製 T 形断面柱の荷重と変位の関係は、ほぼ同様の傾向を示す。(2) SUS304 および SUS821L1 製 T 形断面柱の終局強度時の圧縮変位は、山形断面柱の結果に比べて最大 57% 小さくなる。(3) 対象としたステンレス鋼製 T 形断面柱と山形断面柱の終局圧縮強度の傾向は異なる。

謝辞

本研究は、平成 31 年度新潟県建設技術センター研究助成「腐食損傷部材への高耐久性材料活用による高機能鋼橋の設計法の提案に関する事業」により実施したものです。また、土木研究所、日本鋼構造協会、日本橋梁建設協会、長岡技術科学大学、長岡工業高等専門学校、早稲田大学、本州四国連絡高速道路との共同研究「耐久性向上のための高性能鋼材の道路橋への適用に関する共同研究」にて実施したものです。関係の皆様深く感謝いたします。

参考文献

1)井崎茜, 宮寄靖大, 佐藤信輔, 小野潔, 宮下剛: 板材および山形鋼から採取したステンレス鋼の材料特性, 平成 30 年度土木学会全国大会第 73 回年次学術講演会, I-571, 2018. 2)井崎茜, 宮寄靖大, 宮下剛, 小野潔: 板材および山形鋼より採取した Cr-Ni 系ステンレス鋼の材料特性, 第 36 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, pp.30-31, 2018. 3)井崎茜, 宮寄靖大, 小野潔, 宮下剛: Cr-Ni 系ステンレス鋼への 2 区間とした Ramberg-Osgood 曲線の適応性の検証, 令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, I-019, 2019. 4) 井崎茜, 宮寄靖大, 小野潔, 宮下剛: オーステナイト系およびリーニ二相系ステンレス鋼製等辺山形断面柱の圧縮強度特性, 令和元年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, I-121, 2020. 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.

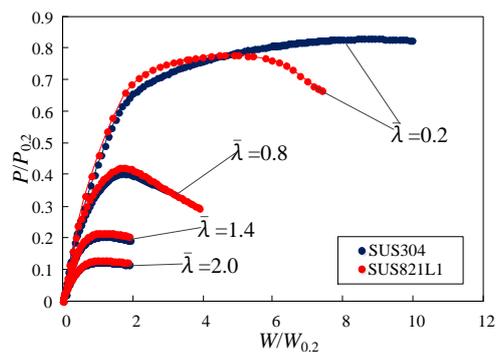


図 4 荷重—変位関係

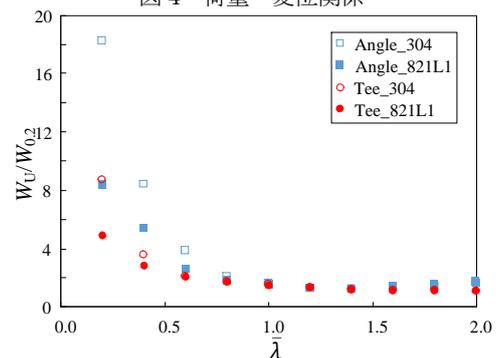


図 5 最大荷重時の変位⁴⁾

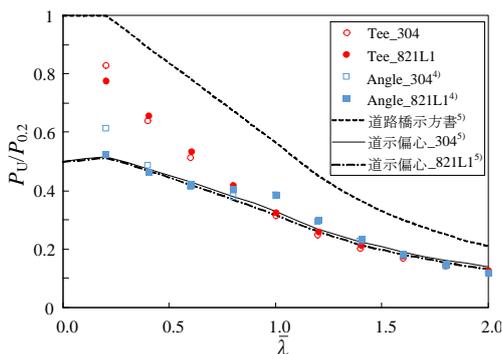


図 6 終局圧縮強度と細長比パラメータの関係