

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

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○井崎 茜, 正会員 宮寄 靖大
早稲田大学 正会員 小野 潔
長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛

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山形断面柱部材について、中心圧縮負荷または偏心圧縮負荷の2ケース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 SUS316, リーニ二相系ステンレス鋼 SUS323L および SUS821L1 の4鋼種とする。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, σ_F は基準耐力, ν はポアソン比を示す。また、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)による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山形断面柱の形状および寸法を示す。山形断面の寸法は、式(1)の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を SUS304 および SUS821L1 においては、0.2 から 2.0 まで 0.2 刻み, SUS316 および SUS323L においては、0.4 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($=\sqrt{I/A}$), I は断面2次モーメント, A は断面積を意味する。対象とする山形断面柱は、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、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、対象とする山形鋼を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、山形断面の重心位置(丸にバツの点)または山形断面の片側の偏心位置(四角にバツの点)の2パターンとする。

以上の数値計算は、複合非線形性を考慮した有限要素解析を用いた、汎用ソルバーMARCを用いる。

表1 対象ステンレス鋼の機械的性質^{1), 2)}

stainless steel type	E (GPa)	σ_F (MPa)	ν
SUS304	183	260	0.287
SUS316	201	265	0.274
SUS323L	207	535	0.203
SUS821L1	203	486	0.226

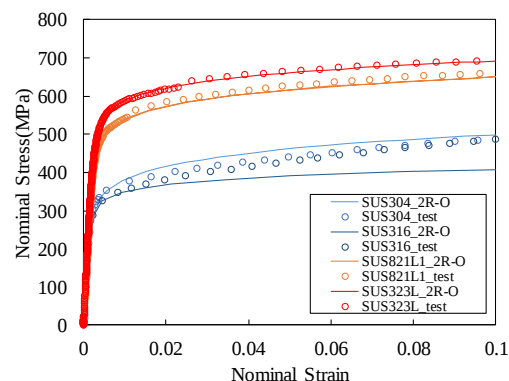
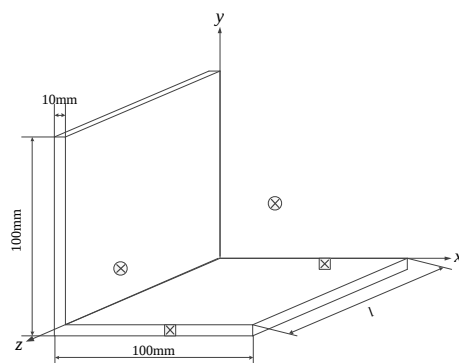
図1 数値計算に用いたステンレス鋼の
応力ひずみ関係³⁾

図2 対象とした山形断面柱

キーワード オーステナイト系ステンレス鋼 リーニ二相系ステンレス鋼 圧縮強度特性 等辺山形断面柱

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

3. 等辺山形断面柱の圧縮強度特性

図3は、(a)中心圧縮負荷および(b)偏心圧縮負荷の条件による荷重と変位の関係を示す。ここで、縦軸は数値計算により得られた荷重 P を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変位 W を山形断面柱の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、 $\bar{\lambda}$ が小さいとき、オーステナイト系ステンレス鋼およびリーン二相系ステンレス鋼の荷重変位関係の傾向が異なり、 $\bar{\lambda}$ が大きいとき、同様の傾向を示すことがわかる。

図4は、数値計算により得られた対象としたステンレス鋼製等辺山形断面柱の終局圧縮強度特性を示す。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、同図のプロットは数値計算結果を、点線はEuler曲線を、破線は道路橋示方書⁴⁾の耐力力曲線を、実線は道路橋示方書の偏心圧縮負荷の場合の耐力力曲線の一例を、一点鎖線はEurocode⁵⁾におけるステンレス鋼の耐力力曲線を表す。なお、凡例中の鋼種に続く記号は、ceが中心圧縮負荷条件を、ecが偏心圧縮負荷条件を意味する。同図より、本研究で対象とした中心圧縮負荷条件のステンレス鋼製山形断面柱の終局圧縮強度は、道路橋示方書の耐力力曲線と同様の結果を示すことがわかる。また、偏心圧縮負荷条件の結果についても、対象とした全てのステンレス鋼製等辺山形断面柱の終局圧縮強度は、道路橋示方書の偏心圧縮負荷の基準強度曲線と同様になることが確認できる。

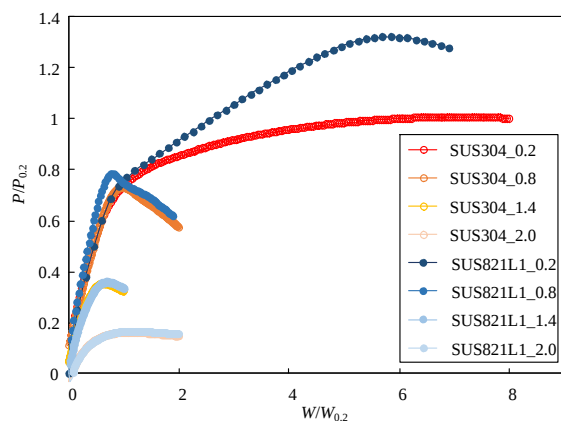
4. おわりに

本研究で得られた成果を以下にまとめる。(1)対象としたステンレス鋼製山形断面柱の終局圧縮強度は、中心圧縮負荷条件の場合、道路橋示方書の耐力力曲線と同様の傾向を示す。(2)対象としたステンレス鋼製山形断面柱の終局圧縮強度は、偏心圧縮負荷条件の場合についても、道路橋示方書の耐力力曲線と同様の傾向を示す。今後は、本解析結果と実験との比較および実験結果に基づく初期不整の導入等による耐力力照査法を明らかにしていく必要がある。

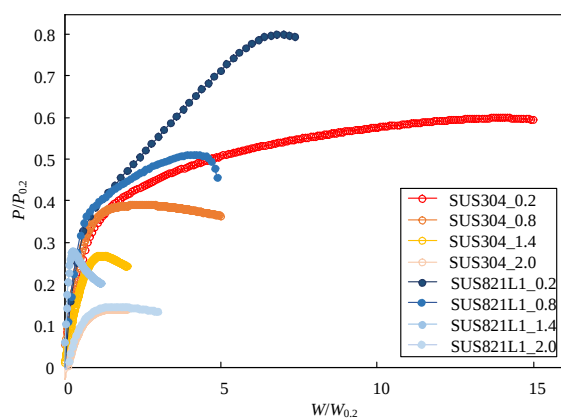
本研究は、平成31年度新潟県建設技術センター研究助成「腐食損傷部材への高耐久性材料活用による高機能鋼橋の設計法の提案に関する事業」により実施したものです。また、土木研究所との共同研究「耐久性向上のための高性能鋼材の道路橋への適用に関する共同研究」にて実施されたものです。ここに、記して謝意を表します。

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)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)European Committee for Standardization and CEN. -133Eurocode 3: -Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels. EN 1993-1-4. CEN, 2006.



(a) 中心圧縮負荷



(b) 偏心圧縮負荷

図3 荷重と変位の関係

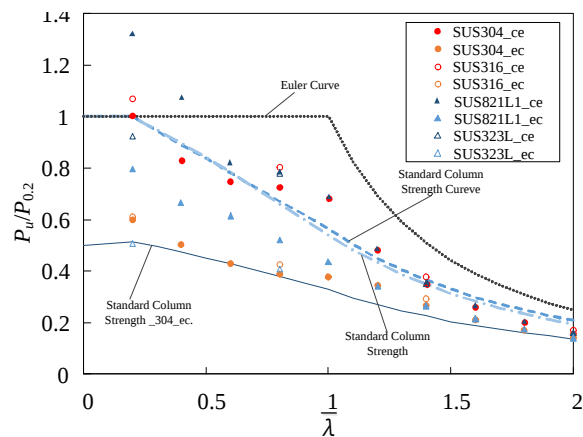


図4 耐力力曲線