

SUS304 および SUS821L1 製溝形鋼柱の圧縮強度特性

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 学生会員 ○古川 諒太
 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有する。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、橋梁二次部材に使用することを想定したステンレス鋼製溝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を受ける際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 および二相系（リーン型）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溝形断面柱の形状および寸法を示す。溝形断面の寸法は、腹板の板幅を 300mm、フランジの板幅を 90mm とする。板厚は、式(1)の幅厚比パラメータ R を 0.2 として決定する。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_{0.2}}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{k\pi^2}} \quad (1)$$

ここで、式中の t は板厚、 b は板幅を意味する。偏心圧縮負荷条件の断面は、採用実績データより腹板板厚を 9mm、フランジ板厚を 13mm とする。なお、柱長さ l については、両負荷条件ともに、式(2)の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を 0.2 から 2.0 まで 0.2 刻みで変化させて決定する。

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_{0.2}}{E} \frac{l}{r}} \quad (2)$$

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。対象とする溝形断面柱は、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、対象とする溝形断面柱を 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

表 1 対象ステンレス鋼の機械的性質^{1), 2)}

stainless steel type	E (GPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	ν
SUS304	183	260	0.287
SUS821L1	203	486	0.226

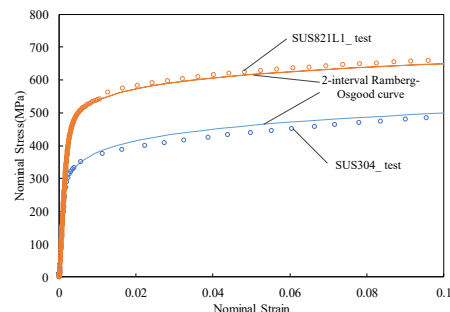


図 1 ステンレス鋼の応力ひずみ関係³⁾

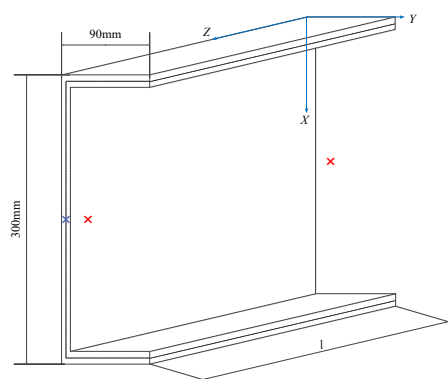


図 2 対象とした溝形断面柱

キーワード SUS304 SUS821L1 圧縮強度特性 溝形断面柱

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

示す溝形断面の重心位置(赤)または溝形断面の腹板中央の偏心位置(青)の 2 パターンとする。以上の数値計算は、汎用非線形有限要素解析ソルバー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対象としたステンレス鋼製溝形断面柱の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 を表 2 に示す既往の研究⁴⁾で得られた割線勾配の比により補正を行った $W_{0.2}$ で正規化した値を表している。同図より、偏心圧縮負荷条件の結果は、中心圧縮負荷条件の結果に比べ、 $\bar{\lambda} = 0.2$ の場合、圧縮方向変位が SUS304 で 0.38 倍、SUS821L1 で 0.19 倍程度となることがわかる。

図 4 は、SUS304 および SUS821L1 製溝形断面柱の終局圧縮強度と細長比パラメータの関係を示す。ここで、同図の縦軸は終局圧縮荷重 P_U を 0.2%耐力時の荷重 $P_{0.2}$ 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、一点鎖線は Eurocode⁶⁾に規定されたステンレス鋼の基準曲線を、実線は 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、中心圧縮負荷条件で $\bar{\lambda} = 0.2$ から $\bar{\lambda} = 0.6$ 、偏心圧縮負荷条件で $\bar{\lambda} = 0.2$ から $\bar{\lambda} = 0.8$ の範囲で道路橋示方書の基準強度を上回ることがわかる。

4. おわりに

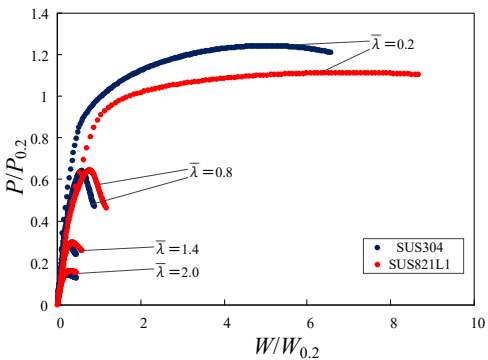
本研究で得られた成果を以下にまとめる。(1) 偏心圧縮負荷を受けるステンレス鋼製溝形断面柱の終局圧縮強度時の圧縮変位は、中心圧縮負荷条件の結果に比べ、 $\bar{\lambda} = 0.2$ の場合、圧縮方向変位が SUS304 で 0.38 倍、SUS821L1 で 0.19 倍程度となる。(2)ステンレス鋼製溝形断面柱の中心および偏心の両負荷条件において、 $\bar{\lambda}$ が小さい場合、道路橋示方書の基準耐荷力を上回る。

謝辞

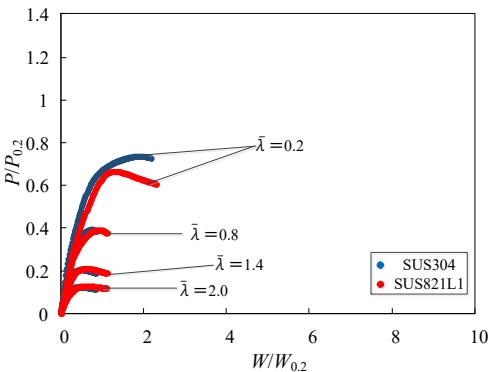
本研究は、平成 31 年度新潟県建設技術センター研究助成「腐食損傷部材への高耐久性材料活用による高機能鋼橋の設計法の提案に関する事業」により実施したものです。また、土木研究所、日本鋼構造協会、日本橋梁建設協会、長岡技術科学大学、長岡工業高等専門学校、早稲田大学、本州四国連絡高速道路との共同研究「耐久性向上のための高性能鋼材の道路橋への適用に関する共同研究」にて実施したものです。関係の皆様深く感謝いたします。

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)佐藤信輔:速度依存性を考慮したステンレス鋼の材料特性および単軸漸増負荷下における材料モデルの提案, 環境都市工学専攻特別研究論文, 長岡工業高等専門学校, 2017. 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, 2017.6)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) 中心圧縮負荷条件



(b) 偏心圧縮負荷条件

図 3 荷重と変位の関係

表 2 基準耐力時の割線勾配比⁴⁾

strength class	$E_{0.2}/E(\%)$
$\sigma_{0.2}=205\text{MPa}$	43.7
$\sigma_{0.2}=450\text{MPa}$	57.7

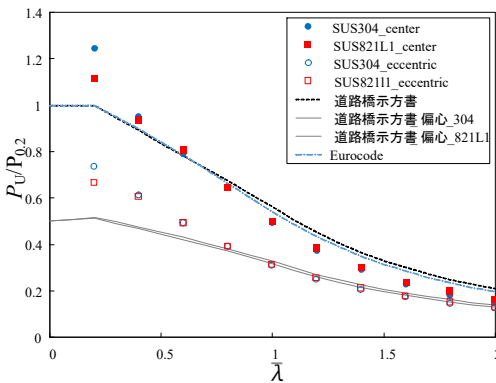


図 4 耐荷力曲線