

## 図心位置に圧縮負荷を受けるステンレス鋼製形鋼柱の終局強度

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

ステンレス鋼は炭素鋼に比べて高い耐食性を有するため、長期間供用が求められる土木構造物に用いることで、従来の炭素鋼性構造物に比べて構造物のライフサイクルコストの低減が可能となる。しかし、ステンレス鋼製土木構造物の実現には、ステンレス鋼部材の強度特性を明らかにするとともに、設計法の確立が必要不可欠である。本研究では、橋梁二次部材に用いることを想定した山形、T形および溝形断面を有するステンレス鋼製柱に対し図心位置で圧縮負荷を与えた場合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（リン型）ステンレス鋼 SUS821L1 とする。表1は、これら対象鋼種の機械的性質を示す<sup>1),2)</sup>。ここで、表中の  $E$  はヤング係数を、 $\sigma_{0.2}$  は 0.2%耐力を、 $\nu$  はポアソン比を示す。また、図1に対象鋼種の応力ひずみ関係を示す。数値解析に用いる応力ひずみ関係には、2区間とした Ramberg-Osgood 曲線<sup>3)</sup>を用いる。

図2に本研究で対象とする山形、T形および溝形断面柱の形状および寸法を示す。断面形状は、板厚  $t$  を式(1)の幅厚比パラメータ  $R$  が 0.2 となるようにして決定する。ここで、式(1)中の  $b$  は板幅、 $k$  ( $=0.425$ 、ただし溝形のウェブのみ 4.0) は座屈係数を意味する。

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

また、柱長さ  $l$  は式(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。ここで、式(2)中の  $r$  は断面二次半径を意味する。

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

数値計算にて考慮する初期不整は、残留応力および初期たわみとする。残留応力は自己平衡を保つ矩形分布とし、引張側で  $\sigma_{0.2}$  および圧縮側で  $0.3 \sigma_{0.2}$  とする。初期たわみは、対象とする各柱モデルの固有値解析を行い、柱全体座屈となる 1 次モードを採用し、その最大たわみ値が  $l/1000$  となるようにして与える。数値計算モデルにおける載荷位置は図2に赤で示す図心位置とする。以上の数値計算は、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、汎用非線形有限要

表1 対象鋼種の機械的性質<sup>1),2)</sup>

鋼種	$E$ (GPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\nu$
SUS304	183	260	0.287
SUS821L1	203	486	0.226

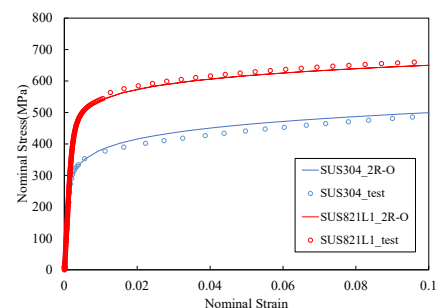
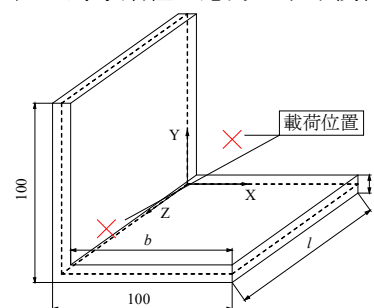
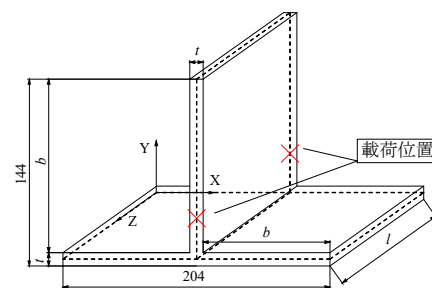


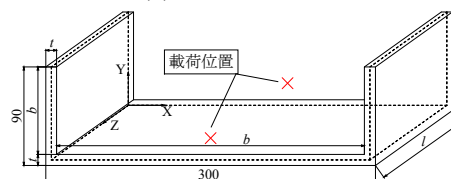
図1 対象鋼種の応力ひずみ関係<sup>3)</sup>



(a) 山形断面柱



(b) T形断面柱



(c) 溝形断面柱

図2 対象とする柱形状

キーワード SUS304, SUS821L1, 終局強度, 山形断面柱, T形断面柱, 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

素解析ソルバーMARC を用いて行う。

### 3. 数値計算結果

図3に数値計算により得られた対象形鋼の圧縮荷重と圧縮変位の関係を示す。なお、溝形断面柱の結果の詳細については、文献4)を参照されたい。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  $P_{0.2}$  で無次元化した値を、横軸は圧縮方向変位  $W$  を表2に示す強度クラスごとの割線勾配比<sup>5)</sup>による補正を行った0.2%耐力時の圧縮方向変位  $W_{0.2}$  で無次元化した値を表している。同図より、山形断面柱の終局強度時の圧縮方向変位は、 $\bar{\lambda}=1.4$  および  $2.0$  の場合に T 形断面柱の結果に比べて  $1.00$  から  $5.11$  倍程度となることがわかる。

図4に終局圧縮強度と細長比パラメータの関係を示す。同図の実線は道路橋示方書<sup>6)</sup>の耐荷力曲線を、破線はステンレス建築構造設計基準<sup>7)</sup>の耐荷力曲線を、一点鎖線はEurocode<sup>8)</sup>に規定されたステンレス鋼製柱の耐荷力曲線を表している。同図より、T形断面柱では $\bar{\lambda}=0.8$ 以下および SUS821L1 の $\bar{\lambda}=1.2$ 、溝形断面柱では $\bar{\lambda}=0.6$ 以下の場合に各種設計基準強度を上回ることがわかる。また、山形断面柱の終局圧縮強度は、SUS304 の $\bar{\lambda}=0.2$ および  $0.6$  の場合を除き、道路橋示方書の基準強度の  $0.99\sim 0.51$  倍程度となることがわかる。

### 4. おわりに

本研究の成果は以下の通りである。(1)山形断面柱の終局強度時の圧縮方向変位は、 $\bar{\lambda}=1.2\sim 2.0$  の場合に T 形、溝形断面柱の結果の  $1.00\sim 5.11$  倍程度となる。(2)T形および溝形断面柱の終局圧縮強度は、 $\bar{\lambda}$ が小さい場合に道路橋示方書の基準強度の  $1.01\sim 1.24$  倍程度となる。(3)山形断面柱の終局圧縮強度は、SUS304 の $\bar{\lambda}=0.2$  および  $0.6$  の場合を除き、道路橋示方書の基準強度の  $0.51\sim 0.99$  倍程度となる。

### 謝辞

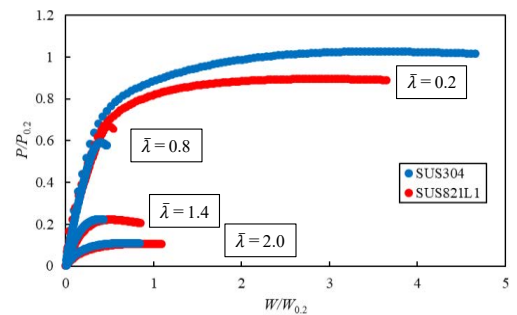
本研究は、土木研究所、日本鋼構造協会、日本橋梁建設協会、長岡技術科学大学、長岡工業高等専門学校、早稲田大学、本州四国連絡高速道路との共同研究「耐久性向上のための高性能鋼材の道路橋への適用に関する共同研究」にて実施したものです。関係の皆様深く感謝いたします。

### 参考文献

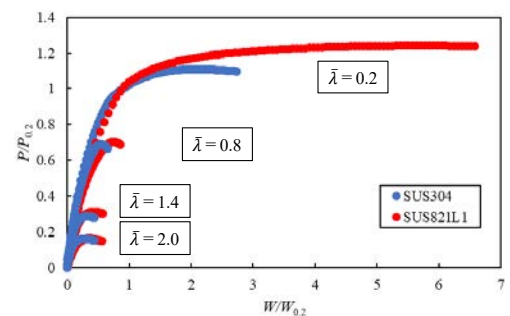
- 1)井崎茜, 宮寄靖大, 小野潔, 宮下剛: Cr-Ni系ステンレス鋼の材料特性および材料モデルの定式化, 鋼構造年次論文報告集, 第27巻, pp.1-9, 2019.
- 2)佐藤龍輝, 宮寄靖大, 志村保美: ステンレス鋼と炭素鋼を突き合わせ溶接した板部材の引張強度特性, 第37回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, I-314, 2019.
- 3)井崎茜, 宮寄靖大, 小野潔, 宮下剛: Cr-Ni系ステンレス鋼への2区間とした Ramberg-Osgood 曲線の適応性の検証, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, I-019, 2019.
- 4)井崎茜, 古川諒太, 宮寄靖大: SUS304 および SUS821L1 製溝形鋼柱の圧縮強度特性, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, I-151, 2021.
- 5)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.
- 6)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.
- 7)ステンレス建築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, ステンレス構造建築協会, 2001.
- 8)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.

表2 基準耐力時の割線勾配比<sup>5)</sup>

強度クラス	$E_{0.2}/E$ (%)
$\sigma_{0.2}=205\text{MPa}$	43.7
$\sigma_{0.2}=450\text{MPa}$	57.6



(a) 山形断面柱



(b) T形断面柱

図3 荷重変位関係

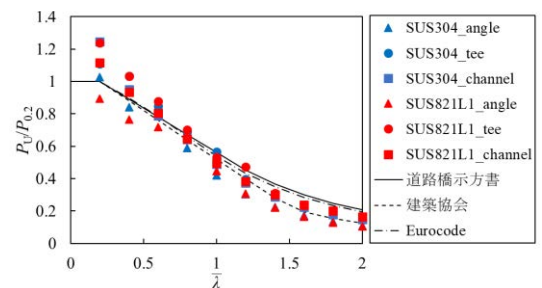


図4 ステンレス鋼製柱の終局圧縮強度