

# 強軸回りに曲げ負荷を受けるステンレス鋼製 I 形断面梁の強度特性

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

ステンレス鋼は、従来の炭素鋼に比べて優れた耐食性を有する。そのため、ステンレス鋼の土木構造物への活用により、構造物の高耐久化およびライフサイクルコストの低減が期待される。本研究では、ステンレス鋼製 I 形断面梁が強軸方向純曲げ負荷を受ける際の強度特性を数値計算<sup>1)</sup>により明らかにする。

## 2. 数値計算法

本研究で対象とするステンレス鋼は、オーステナイト系 SUS304、汎用二相系 SUS329J4L およびリン二相系 SUS323L である。表 1 は、これら材料の機械的性質を示す<sup>2),3)</sup>。なお、同表中には、比較用鋼種として、炭素鋼 SM400 および SM570 の機械的性質を記している。表中の記号は、 $E$  がヤング係数、 $\sigma_y$  が降伏応力、 $\sigma_{0.2}$  が 0.2%耐力、 $\sigma_{0.01}$  が 0.01%耐力、 $\nu$  がポアソン比を意味している。また、図 1 は、これら材料の応力ひずみ関係を示す<sup>2),3)</sup>。同図より、ステンレス鋼の応力ひずみ関係は、明確な降伏棚を示さないラウンドハウス型を示すことがわかる。

図 2 は、対象とする I 形断面梁を示す。この梁の寸法は、フランジ幅  $b$  を 100 mm、腹板高さ  $h$  を 200 mm とし、式(1)に示す細長比パラメータ $\bar{\lambda}_b$ および式(2)に示す幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ により、部材長  $L$  および断面を構成する各板厚を決定する。

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

$$\bar{\lambda}_p = \left( \frac{h}{t_w} \text{ or } \frac{b}{2t_f} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{0.2} 12 (1-\nu^2)}{E \pi^2 k}} \quad (2)$$

ここで、 $r$  は断面二次半径、 $k$  は座屈係数（腹板で 4、フランジで 0.425）を意味する。なお、 $\bar{\lambda}_b$  は 0.1 から 1.9 まで 0.2 刻みで変化させて部材長  $L$  を、 $\bar{\lambda}_p$  は断面を構成する板の局部座屈を防ぐため 0.5 とし各板厚を、それぞれ決定する。

I 形断面梁に与える初期不整は、初期たわみおよび残留応力とする。まず、初期たわみは、最大値が  $L/1000$  となる sin 半波形を図 2 に示す  $Z$  軸方向（弱軸回り）に与える。つぎに、残留応力は、図 2 に示すように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。以上の数値計算モデルは、8 節

表 1 対象材料の機械的性質<sup>2),3)</sup>

鋼種	$E$ (GPa)	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	$\nu$
SUS304	157	—	261	146	0.30
SUS329J4L	191	—	525	319	0.20
SUS323L	207	—	556	396	0.22
SM400	200	249	—	—	0.30
SM570	206	506	—	—	0.30

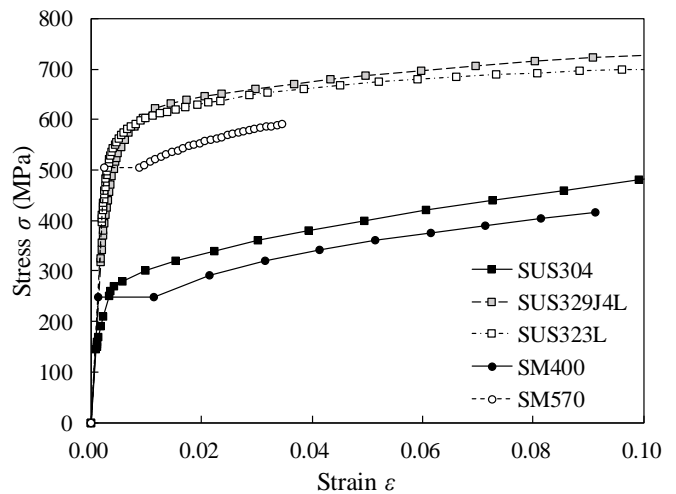


図 1 対象材料の応力ひずみ関係<sup>2),3)</sup>

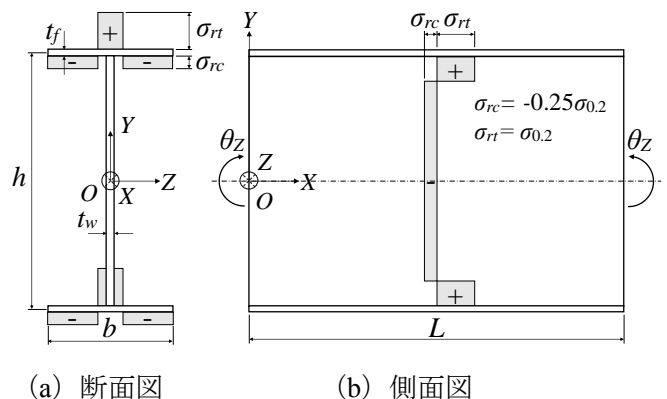


図 2 I 形断面梁

点アイソパラメトリックシェル要素を用いて、有限要素離散化を行う。そして、同モデルに与える純曲げ負荷は、I形断面梁両端部に剛性が十分に大きい2節点梁要素を設け、中立軸上の節点にて、Z軸回りの強制回転角  $\theta_z$  により与える。以上の数値計算は、汎用非線形有限要素解析プログラム MARC<sup>1)</sup>を用いる。

### 3. 数値計算結果

図3は、 $\bar{\lambda}_b=0.5$  および  $1.5$  のI形断面梁の曲げモーメントと回転角の関係を示す。同図の縦軸は数値計算で得られた曲げモーメント  $M$  を降伏曲げモーメント  $M_y$  で無次元化した値を、横軸は数値計算で与えたZ軸回りの回転角  $\theta_z$  を降伏回転角  $\theta_{zy}$  で無次元化した値を表す。同図より、ステンレス鋼製I形断面梁の曲げモーメントと回転角の関係は、初期勾配から緩やかに勾配が減少し、最大曲げモーメントに達することがわかる。これは、ステンレス鋼の変形の増大とともに応力上昇を生じる材料特性によるものである。一方、 $\bar{\lambda}_b=1.5$  の炭素鋼製I形断面梁の結果は、初期勾配から変化が見られずに最大曲げモーメントとなることが確認できる。

図4は、I形断面梁の終局曲げモーメントと細長比パラメータの関係を示す。同図の縦軸は、数値計算で得られた終局曲げモーメント  $M_u$  を降伏曲げモーメント  $M_y$  で無次元化した値を意味する。なお、同図中には比較のため、道路橋示方書<sup>4)</sup>の耐荷力曲線を記している。同図より、 $\bar{\lambda}_b=0.7$  以上のステンレス鋼製I形断面梁の終局曲げ強度は、同程度の材料強度を有する炭素鋼製I形断面梁の結果に比べて最大約22%小さくなることがわかる。これは、ステンレス鋼が早期に塑性化し、剛性低下が進行することで曲げに対する抵抗を損失するためである。そして、ステンレス鋼製I形断面梁の終局曲げ強度と道路橋示方書<sup>4)</sup>の耐荷力曲線を比較してみると、ステンレス鋼製I形断面梁の結果は、耐荷力曲線の103%以上となり、安全側の結果となることがわかる。

4. おわりに

本研究では、強軸方向に曲げ負荷を受けるステンレス鋼製I形断面梁の強度特性を数値計算により明らかにした。これにより、ステンレス鋼製I形断面梁の終局曲げ強度は、炭素鋼製I形断面梁を対象とした耐荷力曲線により安全側に評価できることがわかった。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。

### 参考文献

1) MSC. Software Co.: Marc User's Guide, MSC. Software Corporation, 2014.  
 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.

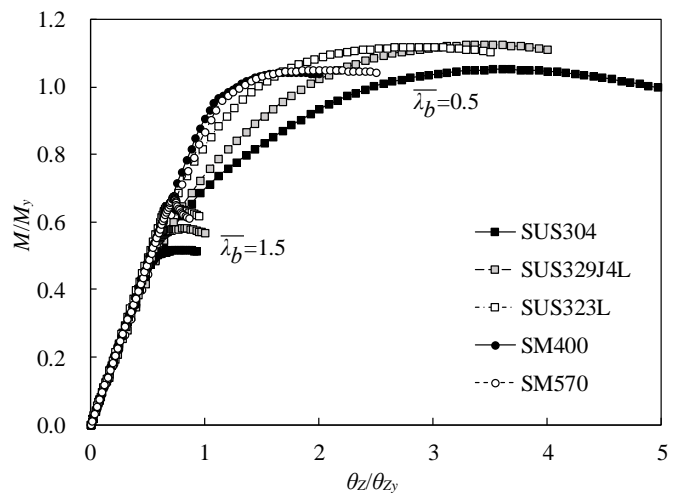


図3 曲げモーメントと回転角の関係

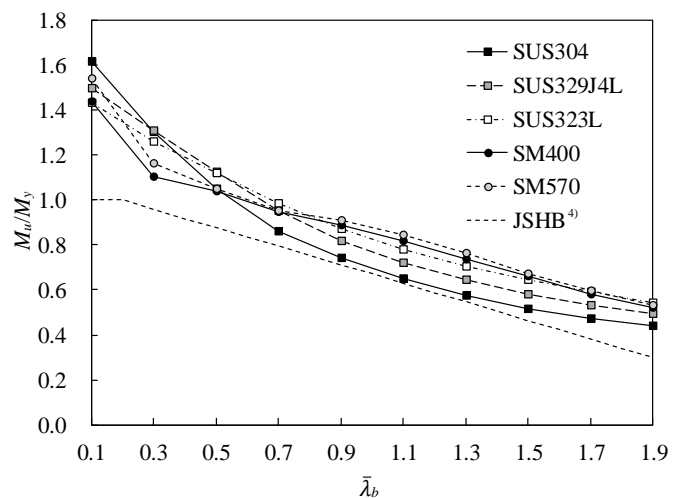


図4 終局曲げ強度と細長比パラメータの関係