

面内純曲げを受けるステンレス鋼周辺単純支持板の強度特性と変形特性

長岡工業高等専門学校 正会員 ○宮 靖大
 大阪大学大学院 正会員 奈良 敬

1. はじめに

ステンレス鋼は、土木構造物の維持管理性の観点から良好な材料である。しかし、ステンレス鋼の特徴を有効に活用した設計法が存在しない。

本研究は、土木鋼構造物の基本要素である板に着目し、周辺単純支持された面内純曲げを受けるステンレス鋼板の強度特性と変形特性を、数値計算¹⁾により明らかにする。ステンレス鋼の特徴を明確にするため、対象とするステンレス鋼とほぼ同じ降伏強度を有する炭素鋼と対比しながら行う。

2. 解析方法

対象とするステンレス鋼は、SUS304, SUS304N2, SUS410L, SUS329J3Lである。各ステンレス鋼に対応させる炭素鋼は、材料強度に着目し、SUS304およびSUS410LにSS400を、SUS304N2にSM490Yを、SUS329J3LにSM570を選定した。表1は、材料試験結果^{2,3)}によるこれら鋼種の機械的性質を示す。

数値計算に用いるステンレス鋼は、図1に示すように、0.01%耐力点を塑性開始点とした応力塑性ひずみ関係をマルチリニア近似で表す。同図には、炭素鋼の応力塑性ひずみ関係も示している。

図2は、面内純曲げを受ける周辺単純支持板を示す。数値計算では、初期不整として初期たわみ W_0 および残留応力を考慮する。初期たわみ形状は式(1)で、残留応力は圧縮応力 σ_{rc} を $-0.3\sigma_{0.2}$ (または $-0.3\sigma_y$)、引張り応力 σ_{rt} を $\sigma_{0.2}$ (または σ_y)として自己平衡を保つ矩形分布で与える。

$$W_0 = W_{0\max} \cos \frac{\pi X}{a} \sin \frac{\pi Y}{b} \quad (1)$$

ここで、 $W_{0\max}$ は初期たわみの最大値($=b/250$)、 a および b は板の非載荷辺長さおよび載荷辺長さを表す。板の形状は、式(2)の幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ が0.3から1.3まで0.2刻みで、板厚 t を変化させる。

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

ここで、 k は板の座屈係数($=23.9$)を表す。なお、炭素鋼では $\sigma_{0.2}$ を σ_y に置き換えて $\bar{\lambda}_p$ を算出する。解析モデルは、変形の対称性を考慮して $a/2$ 部分を対象とし、8節点シェル要素により離散化する。

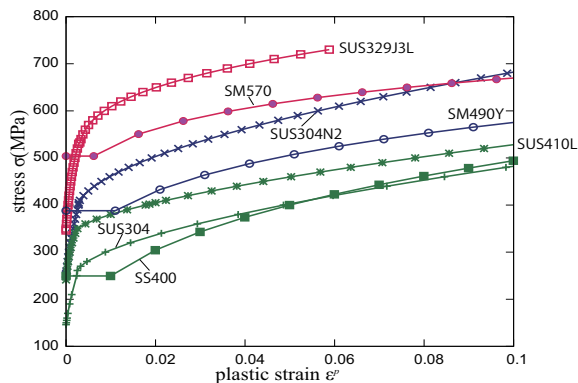


図1 ステンレス鋼の応力塑性ひずみ関係

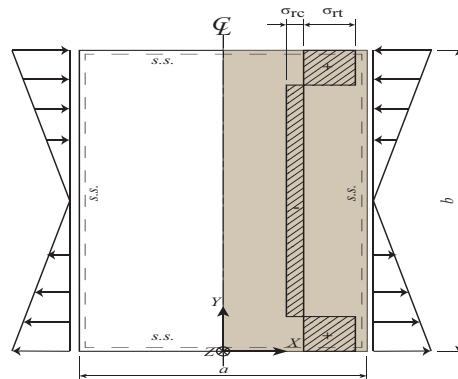


図2 面内純曲げを受ける板

キーワード ステンレス鋼, 周辺単純支持板, 面内純曲げ, 終局強度
 連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888 TEL 0258-34-9439

数値計算では、面内純曲げ条件を満たすため、 $X = a/2$ にて剛性が十分大きい2節点はり要素を設け、 $(X, Y) = (a/2, b/2)$ 点にて、 Z 軸まわりの強制回転角を漸増させた変位増分法を採用する。解析条件は、大変形大ひずみを考慮し、J2流れ則および等方硬化に従う材料として仮定する。

3. 終局強度特性

図3は、幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ が0.7の場合の曲げモーメントと回転角の関係を表す。縦軸は数値計算で得られた $(a/2, b/2)$ 点での曲げモーメント M を0.2%耐力または降伏応力に相当する曲げモーメント $M_{0.2}$ または M_y で無次元化し、横軸は導入した回転角 ϕ を0.2%耐力または降伏応力に相当する回転角 $\phi_{0.2}$ または ϕ_y で無次元化して表している。同図のステンレス鋼の終局曲げ強度は、炭素鋼に比べて約2から3%小さくなる。一方、終局強度時のステンレス鋼の回転角は、炭素鋼に比べて約13から35%大きくなる。紙面の都合上割愛するその他の $\bar{\lambda}_p$ の結果については、 $\bar{\lambda}_p = 0.3$ の場合を除いて同図とほぼ同様の傾向を示す。

図4は、 $\bar{\lambda}_p = 0.7$ の場合の曲げモーメントと面外たわみの関係を表す。縦軸は図3と同様で、横軸は解析モデルの $(a/4, 5b/6)$ 直近節点の Z 軸方向変位 $W + W_0$ を t で無次元化して表している。同図より、終局強度時の面外たわみは、ステンレス鋼で最大約 $0.61t$ 、炭素鋼で最大約 $0.45t$ であり、ステンレス鋼の面外たわみが炭素鋼に比べて大きくなることわかる。 $\bar{\lambda}_p = 0.3$ を除いたその他の $\bar{\lambda}_p$ についても、同図と同様の傾向を示す。

図5および図6は、ステンレス鋼板の終局強度および終局強度時の回転角と $\bar{\lambda}_p$ の関係を表している。両図中には、比較した炭素鋼板の結果も同様に示している。両図より、 $\bar{\lambda}_p = 0.3$ のステンレス鋼板は、炭素鋼板に比べて終局強度が約1から13%大きく、終局強度時の回転角が約5から17%小さくなることわかる。また、 $\bar{\lambda}_p \geq 0.5$ のステンレス鋼板の終局強度および終局強度時の回転角は、炭素鋼に比べて強度がほぼ同様の結果を示すものの、変形量は平均で約29%大きくなる。

以上の結果は、降伏応力まで初期剛性を保つ炭素鋼に比べて、ステンレス鋼はラウンドハウス型の応力ひずみ関係を示すことから、同等の強度点での変形が大きく現れることによる。

4. おわりに

本研究で得られた内容は、つぎの通りである。(1)面内純曲げを受けるステンレス鋼板と炭素鋼板の終局強度の比較は、幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の値により異なり、ステンレス鋼は炭素鋼に比べて最大で約1.1倍、最小で約0.9倍の終局強度となる。(2)ステンレス鋼板の終局強度時の面内回転角および面外たわみは、終局強度と同様に $\bar{\lambda}_p$ の値に依存し、 $\bar{\lambda}_p = 0.3$ の場合には最小で炭素鋼の約0.8倍および約0.7倍、その他の $\bar{\lambda}_p$ では最大で炭素鋼の約1.6倍および約1.7倍となる。

参考文献

- 1) MSC. Software Co.: Marc User's Guide, MSC. Software Corporation, 2010.
- 2) 奈良敬, 出口恭司, 小松定夫: ひずみ硬化を考慮した圧縮板の極限強度に関する研究, 構造工学論文集, Vol.33A, pp.141-150, 1987.
- 3) 例えば, 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.

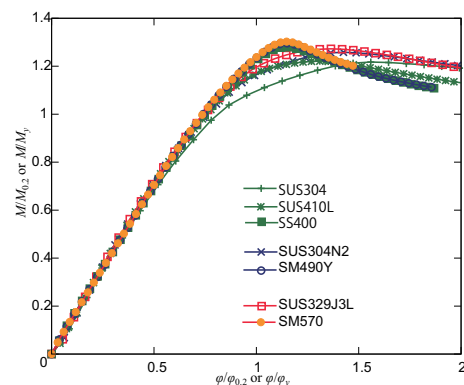


図3 曲げモーメントと回転角の関係 ($\bar{\lambda}_p = 0.7$)

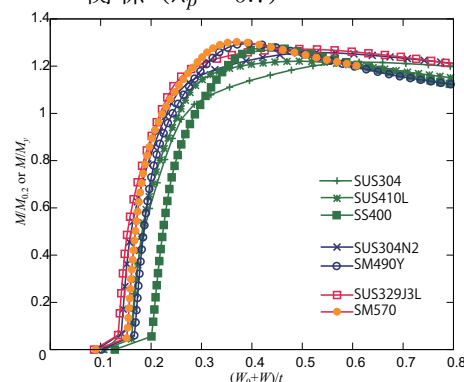


図4 曲げモーメントと面外たわみの関係 ($\bar{\lambda}_p = 0.7$)

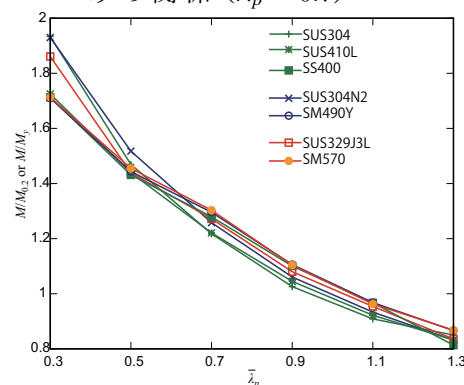


図5 終局曲げモーメントと幅厚比パラメータの関係

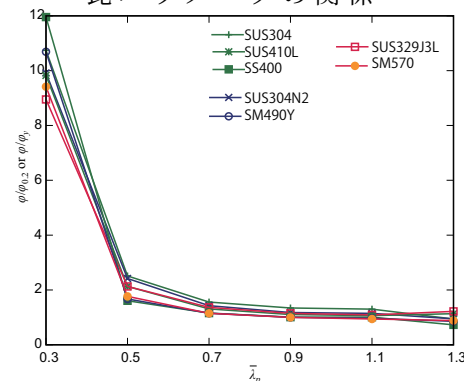


図6 終局時の回転角と幅厚比パラメータの関係