

ステンレス鋼板の終局強度に着目した設計基準強度の提案について

大阪大学 正会員 ○三好 崇夫 大阪大学 学生会員 森 省吾
大阪大学 齊藤 舞 大阪大学 正会員 奈良 敬

1. 目的

今後建設される鋼橋は維持管理費を削減し、超長寿命かつミニマムメンテナンス化を図ることが求められる。その手段の一つとして、特に腐食環境が厳しく、維持管理の困難な部材へ耐食性に優れたステンレス鋼を適用することが考えられる。ステンレス鋼のうち、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 と SUS304N2 は、最も構造用途に適するとされている。しかし、我が国では、それらを橋梁部材に適用するための設計基準類は整備されていない。設計基準類の整備に際しては、炭素鋼に対する耐荷力曲線の適用が考えられるが、ステンレス鋼の応力 - ひずみ関係はラウンドハウス型であるため、その適用性や炭素鋼の降伏点に相当する設計基準強度の設定には終局強度面から検討が必要である。そこで、本研究では、ステンレス鋼 SUS304 および SUS304N2 と、炭素鋼として SM400 および SM490Y を対象に、それらを用いた周辺単純支持板の圧縮強度を数値計算により求めた。そして、炭素鋼の場合の圧縮強度を参考に、設計基準強度を変化させたステンレス鋼の圧縮強度を比較して、圧縮板の耐荷力曲線の適用性を検討し、ステンレス鋼の設計基準強度について提案する。

2. 数値計算に用いた応力 - ひずみ曲線

数値計算に用いた各鋼材の応力 - ひずみ曲線を比較して図 - 1 に示す。SUS304 と SUS304N2 は、材料試験結果を精度良く表現できる、複合 Ramberg-Osgood 曲線¹⁾でモデル化した。一方、SM400 と SM490Y は、ひずみ硬化を考慮した B-n 曲線²⁾でモデル化し、ひずみ硬化領域に関しては、10% のひずみまでを 9 区間の多直線で近似した。

3. 解析モデルと数値計算例

周辺単純支持一様圧縮板の解析モデルは、図 - 2 に示すように、8 節点シェル要素を用いて対称性を考慮した 1/4 モデルとした。また、初期たわみは図中に記されるように与え、残留応力は無視した。なお、図 - 2 の U 、 V と W はそれぞれ X 、 Y と Z 軸方向の変位、および R_x と R_y はそれぞれ X と Y 軸まわりの回転変位を表す。数値計算では、アスペクト比を 1.0 に固定し、式(1)で表される幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ を 0.2 ~ 2.0 まで 0.1 刻みで

変化させたケースを設定した。また、ステンレス鋼の設計基準強度 σ_F を比例限界 σ_p (0.01%耐力)、0.1%耐力 $\sigma_{0.1}$ および 0.2% 耐力 $\sigma_{0.2}$ と変化させた数値計算も行った。これらの設計基準強度の相違は式(1)を用いて幅厚比パラメータに換算して考慮した。各鋼材の基準強度と弾性係数を表 - 1 に示す。

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

ここに、 E : 弾性係数、 ν : ポアソン比 (=0.3)、および k : 座屈係数 (=4.0) である。

4. 解析結果と考察

(1) 平均応力 - 平均ひずみ関係

幅厚比パラメータ 0.7 の平均応力 - 平均ひずみ関係について、

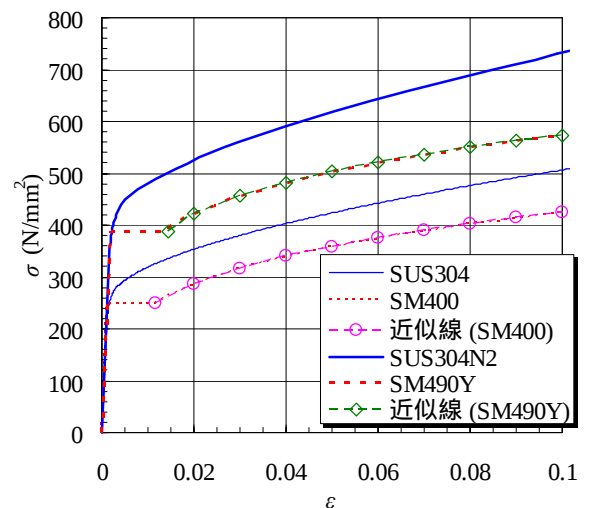


図 - 1 数値計算に用いた応力 - ひずみ曲線

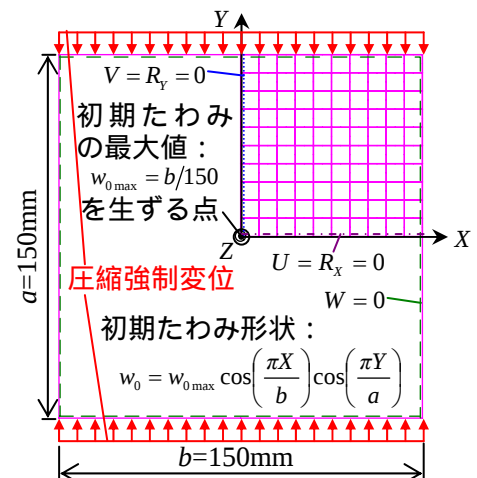


図 - 2 周辺単純支持板の解析モデル

キーワード：オーステナイト系ステンレス鋼、設計基準強度、耐荷力曲線

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL：06-6879-7599

表 - 1 各鋼材の設計基準強度

鋼種	弾性係数 E (N/mm ²)	設計基準強度 σ_F (N/mm ²)			
		降伏応力	比例限界	0.1%耐力	0.2%耐力
SUS304	194000		214	270	284
SM400	200000	249			
SUS304N2	203000		361	419	440
SM490Y	200000	388			

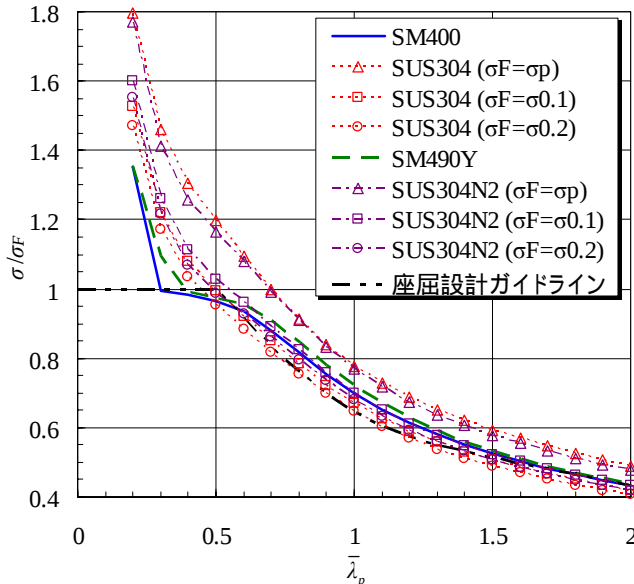
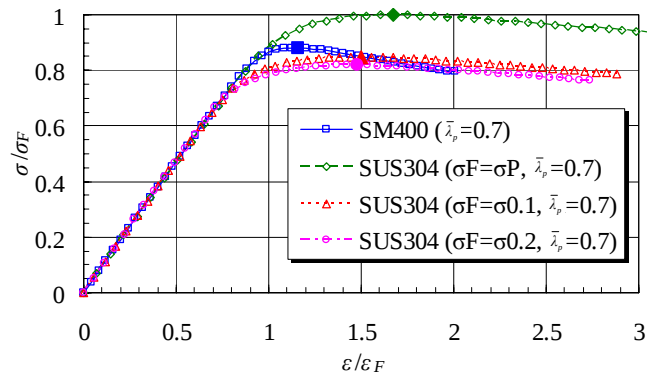
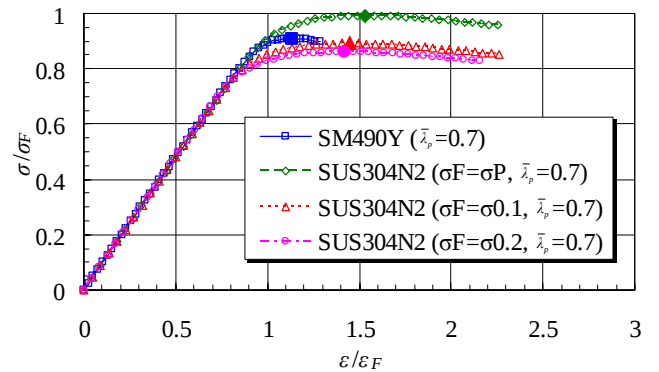


図 - 4 終局強度と幅厚比パラメータの関係



(a) SUS304 と SM400



(b) SUS304N2 と SM490Y

図 - 3 平均応力 - 平均ひずみ関係

SUS304 と SM400, および SUS304N2 と SM490Y とを比較してそれぞれ図 - 3(a)と(b)に示す. なお, 平均応力は載荷辺の反力 P を断面積 bt と基準強度 σ_F で除したものと, 平均ひずみは圧縮強制変位 δ を板の長さ a と設計基準強度時ひずみ $\varepsilon_F (= \sigma_F / E)$ で除したものと定義する. また, 図 - 3 において, 黒塗りのマークはピーク荷重点, 即ち終局強度点を示す. 図 - 3(a)より, SUS304 の終局強度は, SM400 と比較すると, σ_F を σ_P に設定すると大きくなり, σ_F を $\sigma_{0.1}$, $\sigma_{0.2}$ と設定するにつれて小さく低下していくことが分かる. この傾向は, 図 - 3(b)より, SUS304N2 と SM490Y に関しても同じである. さらに, σ_F に関わらず, ステンレス鋼の終局強度点での平均ひずみは炭素鋼よりも大きく, 炭素鋼に比して大きな変形を伴って終局状態に至るため, ステンレス鋼を用いた圧縮板は靱性に優れた構造要素であることが分かる.

(2) 終局強度と幅厚比パラメータの関係

炭素鋼と設計基準強度 σ_F を変化したステンレス鋼について, 終局強度 σ/σ_F と幅厚比パラメータ λ_p の関係を図 - 4 に示す. なお, 図中には, 炭素鋼に対して提案されている座屈設計ガイドラインの耐力力曲線³⁾も示している. 図 - 4 より, ステンレス鋼の σ_F を σ_P に設定すると, λ_p が 0.2 ~ 2.0 の範囲に対する終局強度を最も高く評価することが分かる. 本研究では, ステンレス鋼および炭素鋼とも残留応力を無視したため, 必ずしも下限値相当の終局強度が評価できていない. しかし, 座屈設計ガイドラインの耐力力曲線は残留応力が考慮されている. したがって, 座屈設計ガイドラインの耐力力曲線をステンレス鋼に適用するためには, 終局強度が炭素鋼と最も良く適合する, ステンレス鋼の σ_F を $\sigma_{0.1}$, あるいは大きな差のない結果を示す $\sigma_{0.2}$ に設定することが推奨される.

5. まとめ

本研究で周辺単純支持一様圧縮板を対象として検討した範囲では, 炭素鋼に対して提案されている耐力力曲線をオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 と SUS304N2 に適用するためには, それらの設計基準強度は 0.1% あるいは 0.2% 耐力に設定することが推奨される. また, これらのステンレス鋼を用いた圧縮板は, 炭素鋼に比べて終局状態に至るまでの靱性にも優れていることが明らかとなった.

【参考文献】 1) 森 省吾, 宮寄靖大, 三好崇夫, 奈良 敬: ステンレス鋼 (SUS304, SUS304N2) を用いた周辺単純支持板の圧縮強度について, 平成 19 年度土木学会全国大会 第 62 回年次学術講演会概要集, 2007. (投稿中) 2) 奈良 敬, 近藤真司: ハイブリッド圧縮補剛板の極限強度と変形性能, 鋼構造年次論文報告集, 第 6 巻, pp.327-334, 1998. 3) 土木学会鋼構造委員会: 鋼構造シリーズ 2 座屈設計ガイドライン, 土木学会, 1987.