

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

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○森 省吾 大阪大学大学院工学研究科 学生員 宮崎 靖大
大阪大学大学院工学研究科 正会員 三好 崇夫 大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

1. はじめに

炭素鋼構造物の長寿命化には、防食性能を維持することが重要なため、定期的な再塗装や長期安定な防食方法が必要である。しかし、今後、橋梁をはじめとする多くの鋼構造物の老朽化が進み、既設炭素鋼構造物の維持管理が深刻な問題となる。このような状況において、長寿命かつメンテナンスの省力化が期待できる、耐食性に優れたステンレス鋼の活用が考えられる。国内では、ステンレス鋼は腐食環境の厳しい水門構造物等への使用実績がある。しかし、ステンレス鋼を用いた土木構造物を対象とした設計基準は整備されていない。ステンレス鋼の応力 - ひずみ関係は炭素鋼と異なるラウンドハウス型を示すため、炭素鋼構造物の設計基準の準用は不明である。そこで、設計基準の整備に必要なステンレス鋼板の圧縮強度特性を有限要素解析によって把握することを目的として、応力 - ひずみ関係が圧縮強度特性に与える影響について検討したので結果を報告する。なお、ここでは、ステンレス鋼のうち、構造材料としての使用実績のある SUS304 と SUS304N2 を対象とする。

2. ステンレス鋼の構成式

まず、ステンレス鋼の応力 - ひずみ関係を精度良く表す構成式が必要である。引張試験により、降伏点のない金属材料の代表的な構成式である Ramberg-Osgood 曲線に基づき式(1)を提案した。この式は、比例限界までを線形弾性体、0.2%耐力で 2 つの Ramberg-Osgood 曲線が滑らかに連続するように表現したもので、複合 Ramberg-Osgood 曲線と称する。図 - 1 はその概略図を示している。

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{\sigma}{E} & (0 \leq \sigma < \sigma_p) \\ \frac{\sigma}{E} + 0.002 \frac{\sigma^n - \sigma_p^n}{\sigma_{0.2}^n - \sigma_p^n} & (\sigma_p \leq \sigma < \sigma_{0.2}) \\ \frac{\sigma}{E} + \frac{0.002n\sigma_{0.2}^{n-1}}{\sigma_{0.2}^n - \sigma_p^n} \sigma + \varepsilon_{0.2} - \frac{\sigma_{0.2}}{E_{0.2}} + \left(\varepsilon_{10} - \varepsilon_{0.2} - \frac{\sigma_{10} - \sigma_{0.2}}{E_{0.2}} \right) \left(\frac{\sigma - \sigma_{0.2}}{\sigma_{10} - \sigma_{0.2}} \right)^m & (\sigma_{0.2} \leq \sigma) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 E : 弾性係数、 σ_p : 比例限界、 $\sigma_{0.2}$ と $\varepsilon_{0.2}$: それぞれ 0.2% 耐力と 0.2% 耐力時ひずみ、 n と m : それぞれ第 1 と第 2 の曲線の硬化パラメータ、 $E_{0.2}$: 0.2% 耐力時の接線弾性係数、および σ_{10} と ε_{10} : それぞれ 10% ひずみ時の応力と 10% ひずみを表す。

図 - 2 には、式(1)に示す複合 Ramberg-Osgood 曲線と、SUS304 と SUS304N2 の引張試験結果を示した。提案した構成式(1)は試験結果を精度良く表すことが分かる。したがって、式(1)を用いた数値計算結果を基準として、応力 - ひずみ関係のモデル化が圧縮強度に与える影響を検討するために、図 - 3 に示すように設定された 3 つの構成式を用いた結果と比較することにする。

3. 解析モデルと数値計算例

数値計算は、ステンレス鋼板の基本的な圧縮強度特性を把握するた

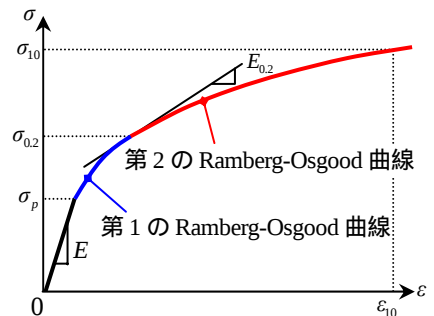


図-1 複合 Ramberg-Osgood 曲線の概略図

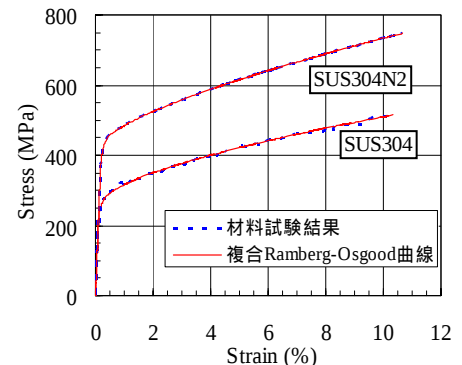


図-2 鋼材の応力 - ひずみ関係

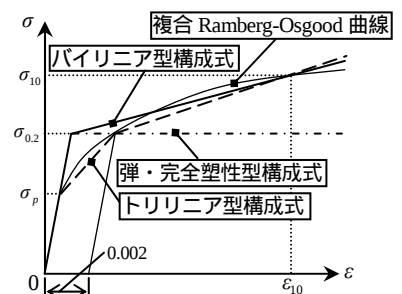


図-3 比較に設定した構成式

キーワード ステンレス鋼, 応力 - ひずみ関係, 圧縮強度

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

め、図-4に示すように、アスペクト比 $\alpha = 1.0$ の周辺単純支持板を対象とし、一様圧縮を与えた。有限要素には、8 節点シェル要素を用いた。残留応力を無視し、初期たわみ w_0 については、道路橋示方書の製作基準に従い、板中央点でその最大値 $\bar{w}_0 = b/150$ が生ずるように、次式で表される波形を与えた。

$$w_0 = \bar{w}_0 \cos(\pi X/b) \cos(\pi Y/a) \quad (2)$$

また、数値計算においては、構成式の相違のほか、幅厚比パラメータ R を0.2~2.0まで0.1刻みで変化させた。なお、応力積分についてはリターン・マッピング法を採用し、弾・完全塑性型、バイリニア型とトリリニア型構成式を用いたケースはマルチリニア型構成式を有する有限要素解析コードで対応した。

4. 計算結果と考察

図-5は、比較的板厚の薄い $R=1.0$ と $R=2.0$ に関する平均応力 - 平均ひずみ関係を構成式ごとに示したものである。縦軸は $\sigma_{0.2}$ 、横軸は $\varepsilon_y (= \sigma_{0.2} / E)$ により無次元表示している。図-5より、SUS304とSUS304とも曲線の形状は一致している。構成式の相違による圧縮強度の大きさは、弾・完全塑性型とバイリニア型は等しく、次いで複合 Ramberg-Osgood 曲線、トリリニア型の順に小さくなっている。この順番は、図-3の各構成式の関係と対比すると、比例限界から0.2%耐力までの各構成式が与える応力の大小関係と対応している。したがって、幅厚比パラメータ R が少なくとも1.0から2.0の範囲の圧縮強度は、比例限界から0.2%耐力までの応力 - ひずみ関係のモデル化の影響、特にこの区間での接線弾性係数の低下の影響を受けると考えられる。

次に、図-6は、複合 Ramberg-Osgood 曲線を用いた数値解析から得た圧縮強度曲線について、小松・北田らの提案する圧縮強度曲線¹⁾、道路橋示方書、Euro Inox Design Manual 2nd. Edition²⁾、および ENV1993-1-4³⁾と ASCE⁴⁾と NZ/AS⁵⁾等の設計基準に与えられている圧縮強度曲線をそれぞれ示したほか、SUS304と0.2%耐力の大きさとほぼ対応する大きさの降伏応力を有する SS400 の圧縮強度曲線⁶⁾も示している。図-6より、SUS304とSUS304N2の圧縮強度と、炭素鋼を対象に提案された小松・北田らの曲線¹⁾と SS400 の曲線⁶⁾、および Euro Inox の曲線²⁾を比較すると、これらに大きな差異は認められなかった。

5. まとめ

ステンレス鋼 SUS304 と SUS304N2 からなる周辺単純支持板の圧縮強度は、比例限界から0.2%耐力までの応力 - ひずみ関係のモデル化が重要であり、0.2%耐力を基準強度としたこれらの圧縮強度曲線は、炭素鋼の圧縮強度曲線とほぼ対応する。

【参考文献】1) 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. 2) Design Manual for Structural Stainless Steel, Second Edition, Euro Inox and The Steel Construction Institute, 2002. 3) ENV 1993-1-4: 1996 Eurocode 3: Design of Steel Structures. General Rules. Supplementary rules for stainless steels, CEN, 1996. 4) Specification for the Design of Cold-Formed Stainless Steel Structural members (SEI/ASCE 8-02) (Standards No. 02-008), American Society of Civil Engineers, 2002. 5) AS/NZS 4673: 2001, Cold formed stainless steel structures, 2001 6) 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.

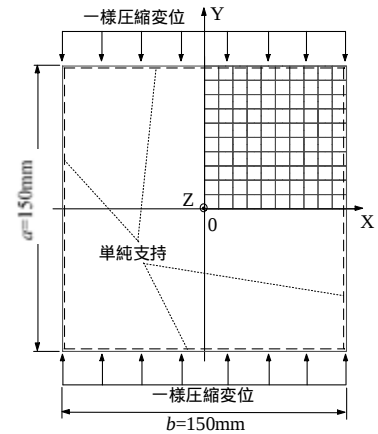
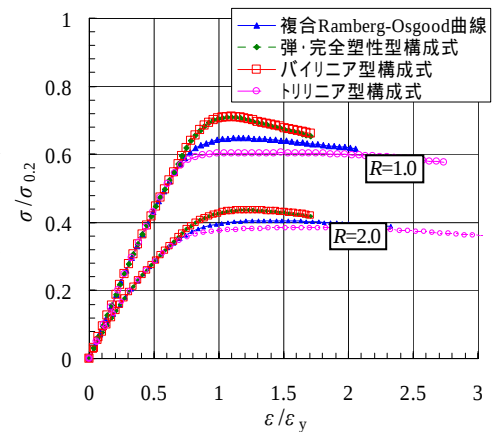
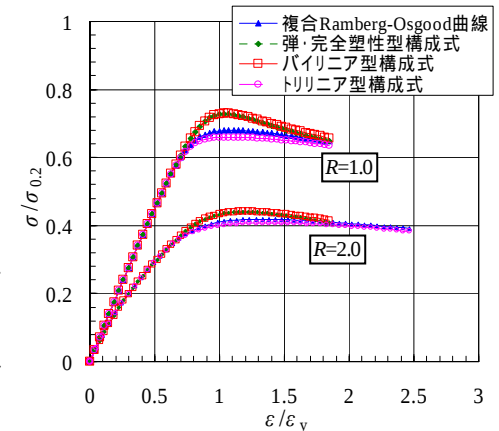


図-4 周辺単純支持板モデル



(a) SUS304



(a) SUS304N2

図-5 平均応力 - 平均ひずみの関係

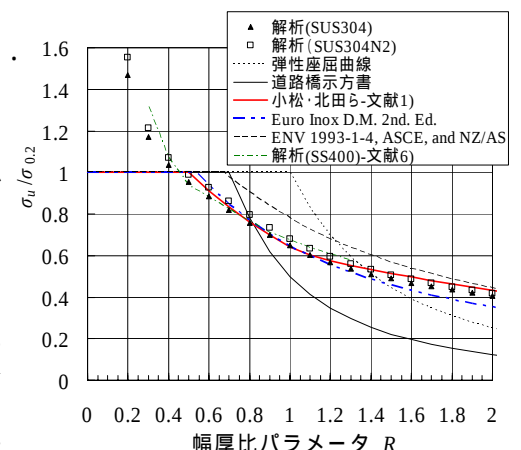


図-6 圧縮強度曲線