

SUS304 溶接箱形柱部材の終局圧縮強度に及ぼす材料特性値の影響

明石工業高等専門学校 正会員 三好 崇夫

1. はじめに

今後、架け替え、更新される土木構造物において、ミニマムメンテナンス化や超長寿命化、LCC の縮減を達成するための方策の一つとして、耐食性に優れたステンレス鋼の活用が考えられる。中でも特にオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 はリサイクル性が高く、破断伸びの大きいことが特徴的である。しかし、同鋼の材料特性値である 0.2%耐力や引張強度はその最小値のみが材料規格に規定されているため、それらは変動することが知られており¹⁾、それはステンレス鋼構造物の終局強度にも影響を及ぼす²⁾。本研究は SUS304 の材料特性値の変動が同鋼溶接正方形箱形断面柱部材の終局圧縮強度に及ぼす影響について解析的に明確にすることを目的とする。

2. 材料特性値の変動方法

本研究では、材料特性値の変動の影響を以下のステンレス鋼の構成式³⁾ (MRO 曲線) の材料定数を変動させることによって考慮した。同曲線の概略図を図-1 に示す。

$$\epsilon = \begin{cases} \sigma/E & (0 \leq \sigma < \sigma_p) \\ \sigma/E + a(\sigma^{n1} - \sigma_p^{n1}) & (\sigma_p \leq \sigma < \sigma_{0.2}) \\ \sigma/E + b\sigma + c + d(\sigma - \sigma_{0.2})^{n2} & (\sigma_{0.2} \leq \sigma) \end{cases} \quad (1)_{1\sim3}$$

$$a = \frac{0.002}{\sigma_{0.2}^{n1} - \sigma_p^{n1}}, b = \frac{0.002n1\sigma_{0.2}^{n1-1}}{\sigma_{0.2}^{n1} - \sigma_p^{n1}}, c = \epsilon_{0.2} - \frac{\sigma_{0.2}}{E_{0.2}}, \quad (2)_{1\sim4}$$

$$d = \frac{1}{(\sigma_{10} - \sigma_{0.2})^{n2}} \left(\epsilon_{10} - \epsilon_{0.2} - \frac{\sigma_{10} - \sigma_{0.2}}{E_{0.2}} \right)$$

ここに、 ϵ : ひずみ, σ : 応力, E : 弾性係数, σ_p : 比例限界 (0.01%耐力), $n1, n2$: 第 1, 第 2 の Ramberg-Osgood 曲線の硬化パラメータ, $\sigma_{0.2}$: 0.2%耐力, $\epsilon_{0.2}$: 0.2%耐力点における全ひずみ, $E_{0.2}$: 0.2%耐力時の接線弾性係数, ϵ_{10} : 10%全ひずみ, σ_{10} : 10%ひずみ時の応力, ϵ_1 : 1%耐力時の全ひずみ, および σ_1 : 1%耐力である。

MRO 曲線の独立な材料定数である $E, \sigma_{0.2}, n1, \sigma_1$, および σ_{10} の 5 つは以下のように変動させた。 E については設計に用いる弾性係数として文献 4) に規定されている 193GPa を一定値として設定した。 $n1$ に関しては、SUS304 では 3 ~ 10 の値をとるとされていることから⁵⁾、3, 5, 10 と変動させた。 $\sigma_{0.2}$ については、SUS304 の引張試験で計測された $\sigma_{0.2}$ ¹⁾ に正規分布を仮定して得られる 95, 5 パーセントイルに基づいて、 $\sigma_{0.2}$ を E で除したパラメータ s を 0.0012 ~ 0.0018 まで 0.0002 刻みで変動させた。 σ_1, σ_{10} については、一般的に材料規格値は規定されていないため、 $\sigma_{0.2}$ と引張強度、 $E, n1$ より応力-ひずみ曲線を表現できる既存の構成式⁶⁾を用いて設定した。設定した全 12 ケースの s と $n1$, MRO 曲線

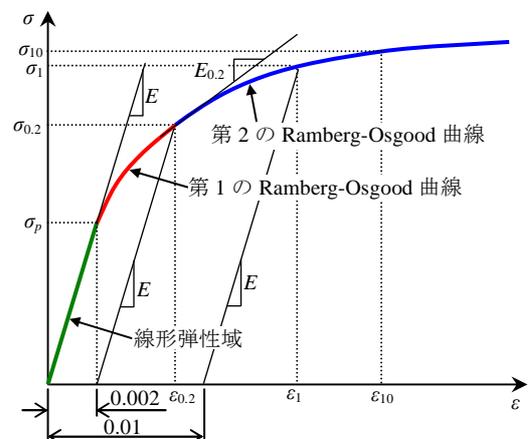


図-1 MRO 曲線の概略図

表-1 設定した材料特性値

n1	E (GPa)	s	σ _{0.2} (MPa)	σ _p (MPa)	σ ₁ (MPa)	σ ₁₀ (MPa)	n2
3	193	0.0012	232	85	284	384	2.5
		0.0014	270	100	329	433	2.6
		0.0016	309	114	374	479	2.7
		0.0018	347	128	417	522	2.8
5	193	0.0012	232	127	281	382	2.5
		0.0014	270	148	327	432	2.6
		0.0016	309	170	371	478	2.7
		0.0018	347	191	414	521	2.8
10	193	0.0012	232	172	275	378	2.5
		0.0014	270	200	320	428	2.6
		0.0016	309	229	364	474	2.7
		0.0018	347	257	408	518	2.9

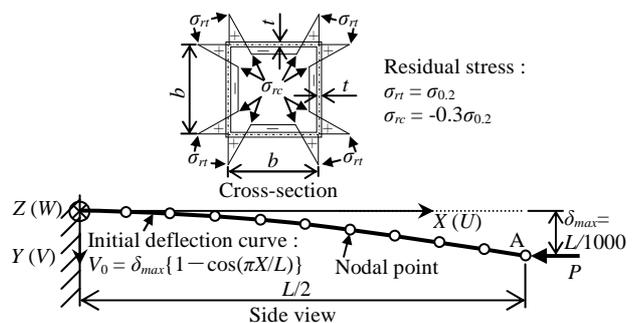


図-2 解析モデル

オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304, 溶接箱形断面柱, 終局圧縮強度, 材料特性値

連絡先 (〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3, TEL : 078-946-6173, FAX : 078-946-6184)

の決定に必要な E , $\sigma_{0.2}$, $n1$, σ_1 と σ_{10} の値, それらに基づいて決まる $n2$, σ_p を表-1 に示す.

3. 解析モデルと解析方法

SUS304 溶接箱形断面柱の細長比パラメータ λ_c は 0.25~2.00 まで 0.25 刻みで 8 ケースを設定した. 同柱は図-2 のようにモデル化し, 解析には薄肉閉断面を有する立体骨組構造物の弾塑性有限変位解析プログラムを用いた. これらの詳細は文献 7) を参照されたい.

4. 解析結果と考察

解析結果の一例として, $\lambda_c = 1.0$, $n1 = 3$ の場合の荷重-変位関係を弾性理論解, 比例限界とともに図-3 に示す. 同図縦軸の σ は平均圧縮応力, 横軸は図-2 に示す A 点の Y 軸方向変位 V を部材長 L で除したパラメータである. これより, σ が比例限界到達前に剛性低下を生ずるが, 荷重は緩やかに上昇して終局状態に至り, s が大きいほど終局強度 (終局点をシンボルで示す) も大きい. 図-4 には解析による荷重-軸方向変位関係の傾きとして求めた接線弾性係数 E_T と $\sigma/\sigma_{0.2}$ の関係 (凡例の括弧書き), さらに構成式を微分して得られる両者間の関係を示した. これより, いずれも圧縮残留応力部の塑性化により, $\sigma/\sigma_{0.2} = 0.07$ あたりで接線弾性係数の低下を生じ, これが剛性低下の要因と考えられる. また, s が大きいほど接線弾性係数も大きいことから, 図-3 における終局強度の大小関係は接線弾性係数のそれに対応しているものと考えられる.

s と $n1$ が終局圧縮強度 σ_u に及ぼす影響について相対的に比較するため, σ_u と λ_c の関係を図-5, 6 に示す. ただし各々の縦軸は $(\sigma_u/\sigma_{0.2})$ をそれぞれ $s = 0.0012$, $n1 = 3$ の場合のそれ $(\sigma_u/\sigma_{0.2})_{s=0.0012}$, $(\sigma_u/\sigma_{0.2})_{n1=3}$ で無次元化している. 図-5 より, λ_c に関わらず, s 値即ち $\sigma_{0.2}$ が增大すると終局圧縮強度も上昇しており, 特に $\lambda_c = 0.75$ あたりで強度上昇の大きいことがわかる. また, 図-6 より, $\lambda_c \geq 0.75$ では $n1$ の増大に伴う終局強度の上昇が顕著であり, λ_c の増大とともに強度も上昇しているが, $\lambda_c \leq 0.5$ では $n1$ の増大につれて終局強度が低下する傾向にあることが分かる.

5. まとめ

本研究より得られた結論を以下に示す.

- (1) SUS304 溶接箱形柱部材の終局圧縮強度は 0.2% 耐力の増大につれて上昇する.
- (2) 0.2% 耐力の増大に伴う同部材の終局圧縮強度の上昇は, 接線弾性係数の増大によってもたらされる.
- (3) SUS304 溶接箱形柱部材の終局圧縮強度は, 細長比パラメータが 0.75 以上では硬化パラメータ $n1$ の増大につれて顕著に上昇するものの, 0.5 未満では逆に低下する傾向にある.

【参考文献】 1) 建設省: 建設事業への新素材・新材料利用技術の開発報告書 : 建設省総合技術開発プロジェクト, 1994., 2) S. Nara et al.: Influence of Variation in Material Strength on Ultimate Strength of Stainless Steel Plates under In-Plane Bending and Compression, Stainless Steel in Structures, paper in 4th Int. Experts Seminar, Ascot, UK., pp.1-12, 2012., 3) 森ら: ステンレス鋼の応力ひずみモデルが終局強度に及ぼす影響について, 鋼構造年次論文報告集, Vol.15, 日本鋼構造協会, pp.645-652, 2007., 4) (社) ステンレス構造建築協会: ステンレス建築構造設計基準・同解説 第2版, 技報堂出版, 2001., 5) K.J.R. Rasmussen et al.: Explicit Approach to Design of Stainless Steel Colmuns, J. of Struct. Eng., Proc. Of ASCE, Vol.123, No.7, pp.857-863, 1997., 6) K.J.R. Rasmussen: Full-range stress-strain curves for stainless steel alloys, J. of Const. Steel Res., Vol.59, pp.47-61, 2003., 7) 三好: ステンレス鋼溶接箱形断面柱部材の終局圧縮強度, 構造工学論文集, Vol.60A, 土木学会, pp.114-125, 2014

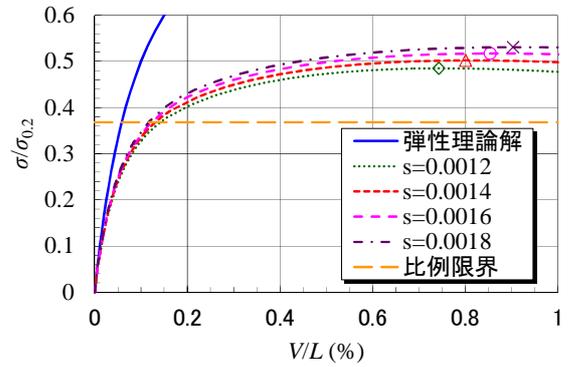


図-3 荷重-変位関係

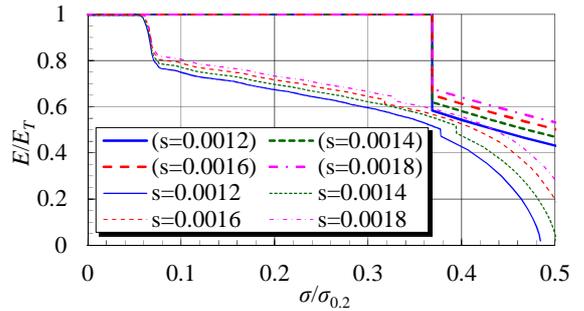


図-4 E_T/E と $\sigma/\sigma_{0.2}$ の関係

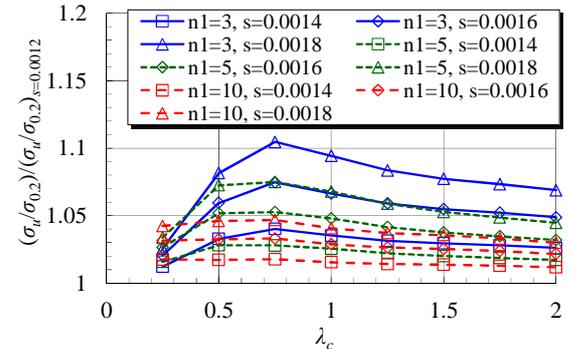


図-5 s が σ_u に及ぼす影響

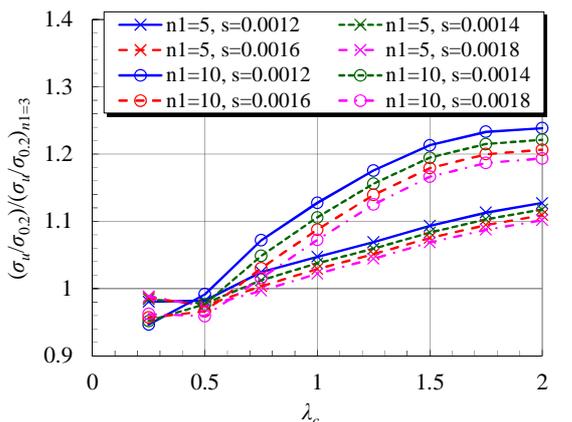


図-6 $n1$ が σ_u に及ぼす影響