

溶接組立されたステンレス鋼柱の終局圧縮強度に関する実験的研究

長岡技術科学大学 学生会員 ○濱 達矢 石井 孝明
 長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛
 長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大

1. はじめに

沿岸部や豪雪地域にある土木構造物は、腐食環境が特に厳しい。このため、塗装などの維持管理費用を抑えつつも、腐食による部材の強度低下を防ぐ必要がある。そこで、耐候性に優れているステンレス鋼を土木構造物に適用して、ライフサイクルコストを低減することが期待されている¹⁾³⁾。しかし、我が国では、ステンレス鋼を土木構造物へ用いるための設計基準類が整備されていない。ステンレス鋼を構造部材として利用するためには、機械的性質を含め、部材としての終局強度特性を明らかにする必要がある。

2. 研究目的

本研究では、溶接組立されたステンレス鋼柱を対象に、実験を通じて機械的性質ならびに初期不整（残留応力と初期たわみ）を把握する。また、短柱圧縮試験を実施して、終局強度特性を明らかにする。次いで、得られた材料特性と初期不整を導入した有限要素解析を通じて、耐荷力曲線について検討する。

3. 試験概要と結果

3.1 供試体概要と機械的性質

本研究では、板としての終局強度を知るため、短柱での圧縮試験を実施する。このため、供試体を十分に短くして全体座屈を発生させないようにするとともに、幅厚比パラメータ(式-1) R を0.5と0.7となるように決定した。

$$R=b/t\sqrt{(\sigma_{0.2}/E)\cdot\{12(1-\nu^2)/\pi^2k\}} \quad (式-1)$$

ここに、 $\sigma_{0.2}$:0.2%耐力、 E :ヤング係数、 ν :ポアソン比(=0.3)、 k :座屈係数(=周辺単純支持板4、自由突出板0.425)

供試体は、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304、SUS316 とマルテンサイト系ステンレス鋼 SUS410 の溶接組立された十字柱と箱型柱で、それぞれ自由突出板と周辺単純支持板に対応する。自由突出板では、幅厚比パラメータ R を0.5と0.7の2通りとした。周辺単純支持板では、幅厚比パラメータ R を0.7とした。ステンレス鋼以外にも、比較のため、一般構造用圧延鋼材 SS400 も取り扱う。供試体写真を図-1 に、供試体概要を表-1 に示す。表-1 の0.2%耐力とヤング係数は、供試体から試験片を切り出し、形状を JIS Z 2241 に定める5号試験片として実施した材料試験から取得した。図-2 に、各ステンレス鋼の応力-ひずみ関係曲線を示す。ステンレス鋼の応力-ひずみ関係曲線は高張力鋼と同様に降伏棚がない非線形曲線を示す。

3.2 残留応力

残留応力の計測では、機械式切断法による応力解放を行った。残留応力は、試験体を切断した際に解放されたひずみと逆符号のひずみが試験体に残留していたものとして、これを材料試験から得られた応力ひずみ関係へ代入することで応力に変換した。計測された残留応力分布を図-3 に示す。図の縦軸は材料試験から得られた0.2%耐力、または降伏応力で除して正規化している。また、溶接部の残留応力は、その近傍にひずみゲージを貼付できなかったことから、断面内の自己釣合いを考慮して値を決定した。結果として、ステンレス鋼の残留応力分布は炭素鋼とほとんど変わらず、溶接部近傍では $\sigma_{0.2}$ と同程度となり、そこから遠ざかるにつれて圧縮応力となり、最小で $-0.4\sigma_{0.2}$ 程度の大きさとなった。



図-1 供試体写真

表-1 供試体概要

鋼種	成分による分類	形状	細長比パラメータ	幅厚比パラメータ	0.2%耐力(N/mm ²)	ヤング係数(kN/mm ²)
SUS304	Cr-Ni系	自由突出板	0.1	0.5	282	197
		周辺単純支持板	0.03	0.7		
SUS316	Cr-Ni系	自由突出板	0.1	0.5	276	177
		周辺単純支持板	0.03	0.7		
SUS410	Cr系	自由突出板	0.1	0.5	322	200
		周辺単純支持板	0.03	0.7		
SS400	-	自由突出板	0.1	0.5	349	206
		周辺単純支持板	0.03	0.7		

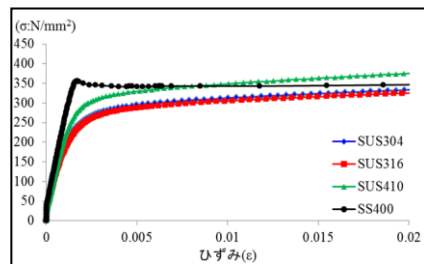


図-2 応力-ひずみ関係

キーワード ステンレス鋼, 終局強度, 圧縮試験, 残留応力, 初期たわみ

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 Tel.0258-47-9641

3.3 初期たわみ

供試体の各面に 30mm 間隔で格子点を設け、レーザ変位計を用いて初期たわみを計測した。道路橋示方書⁴⁾では、部材製作精度として自由突出板では $b/100$ 、周辺単純支持板で $b/150$ と定められている。溶接線を基準として、最大面外たわみ量を算出したところ、いずれの供試体も道示の基準を満たす結果となった。

3.4 圧縮試験

アムスラー万能試験機を使用して、供試体に一樣な圧縮力が作用するように载荷を行った。図-4 に応力-軸方向変位関係を示す。縦軸はロードセルで計測された荷重を 0.2%耐力または降伏応力で除した値である。すべての供試体が塑性域で終局強度を向かえた。周辺単純指示板と自由突出板の比較を行うと、自由突出板では、終局強度後の勾配が緩やかとなった。炭素鋼とステンレス鋼の比較を行うと、周辺単純支持板では、ステンレス鋼に比べて、炭素鋼の方が終局強度後の荷重低下が大きい。

3.5 耐力力曲線

図-5 に、実験から得られた終局強度と有限要素解析による耐力力曲線を示す。解析では、材料特性、初期不整を実験値とし、シェル要素でモデル化をして、幅厚比をパラメータとした。その結果、実験値は解析値よりも大きく安全側となった。一方、解析値は $R=0.5 \sim 0.75$ では道路橋示方書よりも危険側となり、それ以降は安全側となった。この結果は、耐力力曲線に関する従来の研究でも言及されており³⁾、ステンレス鋼の耐力力曲線は炭素鋼と大きな差異は見られない。

4. まとめ

本研究では、ステンレス鋼板を溶接組立した短柱を対象に、初期不整の計測ならびに圧縮試験を通じて終局強度特性を把握した。得られた知見を以下にまとめる。

1. 溶接組立されたステンレス鋼柱の初期たわみは、炭素鋼の計測結果と類似し、道路橋示方書が定める許容値を満足した。また、残留応力分布も炭素鋼と明瞭な違いは見られなかった。
2. 自由突出板の幅厚比パラメータ $R=0.5$, $R=0.7$ と周辺単純支持板の幅厚比パラメータ $R=0.7$ の実験による終局強度は、実験における支持条件の影響もあるものの、有限要素解析結果よりも安全側となった。
3. 圧縮試験ならびに有限要素解析を通じて、ステンレス鋼を使用した自由突出板と周辺単純支持板の終局強度ならびに耐力力曲線は、炭素鋼と大きな相違は見られない。

5. 参考文献

- 1) 宮寄靖大: ステンレス鋼板の圧縮強度特性と終局強度評価法, 博士学位論文, 大阪大学, 平成 22 年
- 2) 長井正嗣: 橋梁工学 第 2 版, 1994
- 3) 座屈設計ガイドライン, 土木学会, 1987.
- 4) (社) 日本道路橋会, 道路橋示方書・同解説 (鋼橋編), 2012

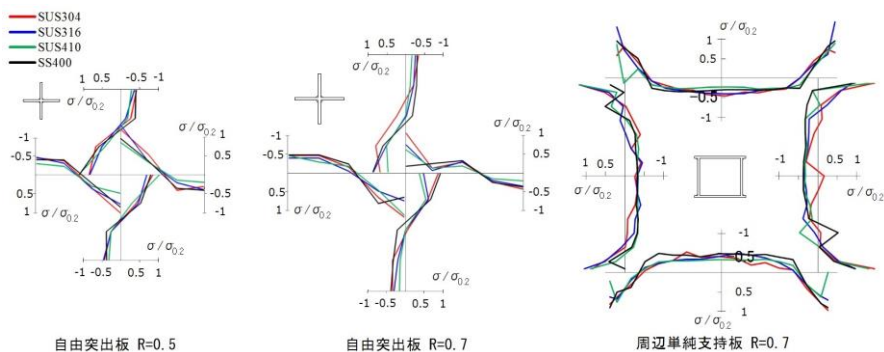


図-3 残留応力分布

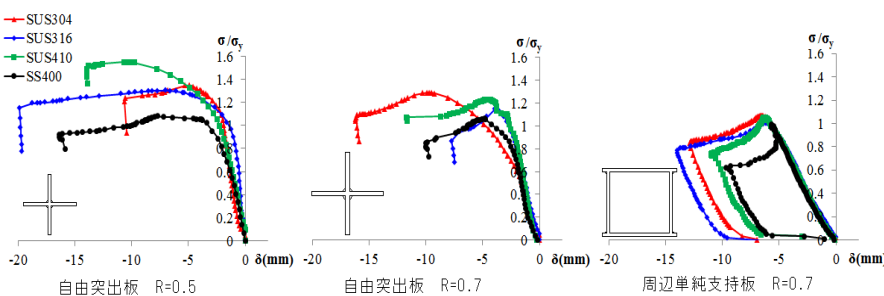


図-4 応力-軸方向変位関係

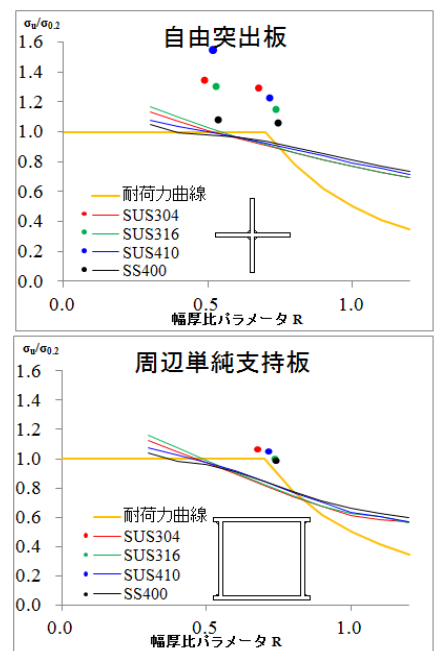


図-5 自由突出板と周辺単純支持板の終局強度