

# 溶接組立されたステンレス鋼柱の終局強度に関する研究

建設構造研究室 石井 孝明  
指導教官 宮下 剛

## 1. 研究背景

沿岸部や豪雪地域での土木構造物は、厳しい腐食環境にある。そのため、塗装などの維持管理費用の削減や腐食損傷による部材の強度劣化を抑制することが必要となる。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使用することで、ライフサイクルコストの低減が期待されている。<sup>1)~4)</sup>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際に、基本的な材料特性および部材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、ステンレス鋼の材料特性を把握し、溶接組立されたステンレス鋼柱を対象に、初期不整として初期たわみおよび残留応力を実験により明らかにする。また、これらを計測したステンレス鋼柱の短柱圧縮試験を実施することで、圧縮強度特性を把握する。有限要素解析により終局強度評価も行う。

## 3. 試験概要と結果

ここでは、圧縮試験で用いる供試体とそれを構成するステンレス鋼の材料特性、および初期不整について述べる。

### 3.1 供試体概要

本研究では、板の降伏限界を知るため、短柱での圧縮試験を実施した。そのため、全体座屈を発生させないように供試体を十分短くするとともに、幅厚比パラメータ(式2)Rを終局強度が低下する限界の0.7以下の供試体寸法とした。

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

ここに、 $\sigma_{0.2}$ :0.2%耐力、 $E$ :ヤング係数、 $l$ :有効座屈長(=1)、 $r$ :断面2次半径、 $\nu$ :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、Ni系ステンレス鋼 SUS304, SUS316 と Cr系ステンレス鋼 SUS410 の溶接組立されたステンレス鋼柱で、自由突出板と周辺単純支持板がある。自由突出板では、幅厚比パラメータ R が 0.5 と 0.7

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 <sup>2</sup> )	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )
SUS304	Ni系	自由突出板	0.1	0.5	282	197
		周辺単純支持板		0.7		
SUS316	Ni系	自由突出板	0.1	0.5	276	177
		周辺単純支持板		0.7		
SUS410	Cr系	自由突出板	0.1	0.5	322	200
		周辺単純支持板		0.7		
SS400	-	自由突出板	0.1	0.5	349(※1)	206
		周辺単純支持板		0.7		

(※1)SS400は降伏応力

の2通りで行う。周辺単純支持板では、幅厚比パラメータ R が 0.7 のもので行う。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 も取り扱うこととした。図-1, 表-1 に示す。

### 3.2 材料試験

ステンレス鋼の機械的性質を把握するため、材料試験を行う。試験片は、試験体と同じ鋼部材から切り出し、試験片形状は JIS Z 2241 に定める 5 号試験片とした。試験片中央両面に 2 軸ひずみゲージを貼りつけることで計測を行った。表-1 に、各ステンレス鋼の引張試験により得られた機械的特性をまとめている。図-2 に、実施した各ステンレス鋼の応力ひずみ関係を示している。ステンレス鋼は高張力鋼と同様に降伏棚がない非線形曲線を示す。

### 3.3 初期不整

終局強度に影響を与える初期不整は溶接によるものが大きい。そこで、溶接組立された板部材の初期たわみと溶接残留応力を実験により明らかにする。

#### 3.3.1 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、これに材料試験から得られた応力ひずみ関係よりひずみを代入することで応力へ変換した。残留応力分布の計測結果の一例として、周辺単純支持板の残留応力分布形状を図-3 に示す。図の縦軸はいずれも計測により得られた残留応力結果を 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

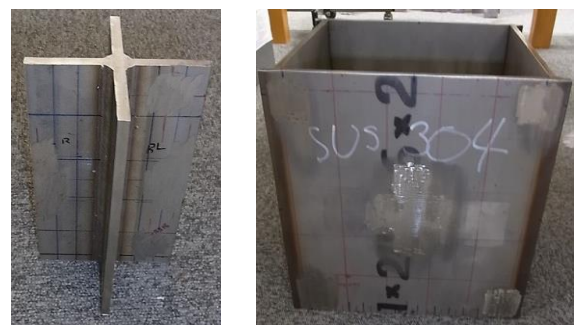


図-1 供試体写真

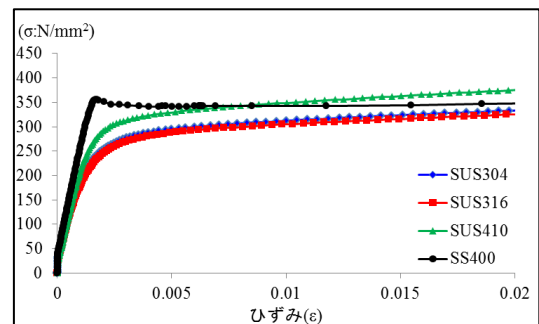


図-2 材料試験結果

ゲージを貼付できなかったことから、断面内の力のつり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形状はSS400とほとんど変わらず、本数値解析においても溶接部近傍で引張側に $\sigma_{0.2}$ 、圧縮部で $0.25\sigma_{0.2}$ と道路橋示方書に定める値と同等とした。

### 3.3.2 初期たわみ

初期たわみの計測は、供試体を垂直に上からレーザ変位計を用いて各面を30mm平方で分割した格子点を計測した。溶接線を基準として、最大面外たわみ量を算出した。道路橋示方書では、最大面外たわみを自由突出板で $b/100$ 、周辺単純支持板で $b/150$ と定めている。いずれの供試体においても、その基準を満たす結果となり、溶接による初期たわみについては、構造用炭素鋼と変わらず、道路橋示方書の許容値を満足する。

### 3.4 圧縮試験

圧縮試験には、アムスラー万能試験機を使用する。供試体に一樣な圧縮力が作用するように、短柱の降伏応力の25%に相当する荷重を最大として供試体端部に貼り付けた一軸ひずみゲージの平均が5%以内になるように設置を調整し、载荷を行った。周辺単純支持板の試験結果の例として挙げる。図-4にその応力と柱軸方向ひずみ関係を示す。縦軸は応力を0.2%耐力で除することで正規化をしている。横軸は、0.2%耐力時のひずみで除することで正規化をしている。図-5に応力中軸方向変位関係を示す。SS400の終局強度時の $\epsilon/\epsilon_{0.2}$ は1となった。対し、ステンレス鋼では、SUS316で $\epsilon/\epsilon_{0.2}=1.25$ 、SUS304とSUS410では $\epsilon/\epsilon_{0.2}=1.5$ と終局強度時のひずみが大きくなることが明らかとなった。また応力-柱軸方向変位関係からもわかるようにSS400はステンレス鋼に比べて、終局強度後の荷重の低下が著しいことがわかった。このことより、SS400で構成される部材に比べてステンレス鋼は、延性に優れた部材である。

### 3.5 終局強度評価

図-6に自由突出板と周辺単純支持板の耐荷力曲線と実験による終局強度結果を示す。耐荷力曲線は有限要素解析により求めたものを使用する。解析にはdiana9.4.4を使用し、材料特性、初期不整については実験より得られた値を用いた。幅厚比をパラメータとしたシェル要素によるモデルを作製した。いずれの結果も耐荷力曲線より安全側に大きく出ていること確認できた。

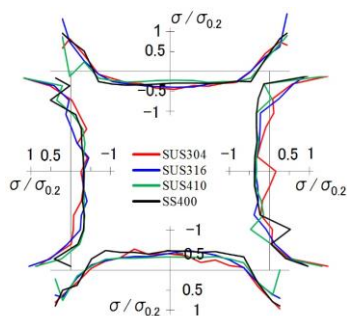


図-3 残留応力分布形状

## 4. まとめ

ステンレス鋼板を溶接組立した供試体を対象に、実験による初期不整の計測および、短柱圧縮試験により、ステンレス鋼板の終局強度特性を明らかとした。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

1. ステンレス鋼の初期不整について初期たわみは、構造用炭素鋼の結果と類似し、道路橋示方書が定める許容値を満足する。また、残留応力についてもSS400と明瞭な違いは見られなかった。
2. 溶接組立したステンレス鋼柱の終局圧縮強度は、構造用炭素鋼と同等と考えてよい。
3. ステンレス鋼は、終局強度後の荷重の低下は緩やかで変位、ひずみが先行する延性に優れることを明らかにした。

## 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) 技術者のための「溶接変形と残留応力」攻略マニュアル，産報出版株式会社，平成19年
- 3) 永井正嗣：橋梁工学 第2版，1994
- 4) 座屈設計ガイドライン，土木学会，1987.

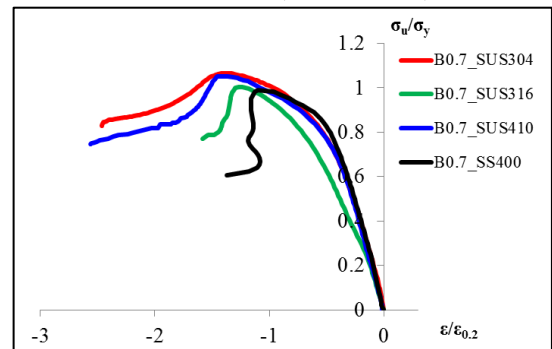


図-4 応力-柱軸方向ひずみ関係

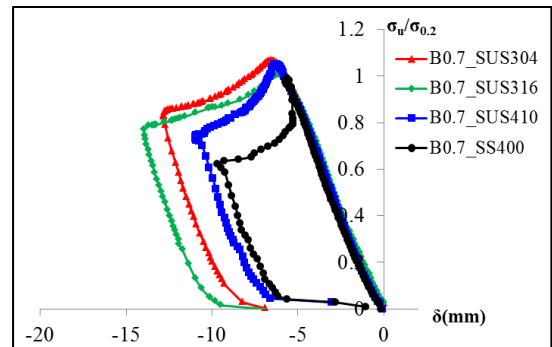


図-5 応力-柱軸方向変位関係

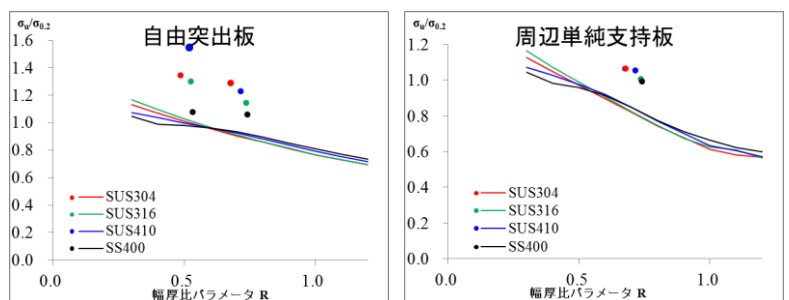


図-6 自由突出板と周辺単純支持の終局強度