

# 残留応力の大きさの違いが SBHS500 製無補剛短柱の耐荷力特性に及ぼす影響

大阪大学大学院 学生会員 ○加藤 健太郎  
早稲田大学 学生会員 安宅 俊樹  
京都大学大学院 正会員 松村 政秀

早稲田大学 正会員 小野 潔  
名古屋大学大学院 正会員 北根 安雄  
大阪大学大学院 正会員 奈良 敬

## 1. はじめに

橋梁用高性能鋼材 SBHS は、2008 年に JIS 化され、従来から用いられてきた炭素鋼に比べて降伏応力が大きく、優れた施工性を有する。我が国では、このような特徴を有する SBHS を活用するために、材料試験および部材の耐荷力等に関する研究<sup>1),2)</sup>が進められている。なかでも、溶接組み立てされた SBHS 製部材の残留応力については、詳細に調べた研究<sup>3)</sup>が従来の炭素鋼に比べて極僅かである。そこで、本研究では SBHS500 製無補剛板で構成される短柱を対象に、残留応力の大きさの違いが両縁支持板の耐荷力特性に与える影響を数値計算により調べる。また、本研究では、既往の圧縮試験<sup>1),2)</sup>で得られた結果および同様に数値計算を行う SM490Y 製短柱の結果についても述べる。

## 2. 対象とする無補剛短柱

本研究で対象とする鋼種は、SBHS500 および比較用の SM490Y である。表 1 は、既往の材料試験<sup>1)</sup>により得られた対象鋼種の機械的性質を示す。同表中の記号は、 $\sigma_y$  が降伏応力を、 $E$  が弾性係数を、 $\sigma_u$  が引張強さを、 $\sigma_y/\sigma_u$  が降伏比を表す。また、図 1 は、同様の材料試験により得られた対象鋼種の公称応力-公称ひずみ関係を示す。これらの鋼材は、数値計算において、単調載荷曲線を基にした構成式<sup>4)</sup>を用いてモデル化する。構成式に用いた材料定数については、既往の材料試験結果<sup>1)</sup>から算出している。

本研究で対象とする無補剛短柱は、既往の圧縮試験<sup>1),2)</sup>で用いた供試体形状に基づき、図 2 に示す正方形断面とする。短柱を構成する無補剛板の形状は、式(1)に示す幅厚比パラメータ  $R_R$  を 0.3 から 1.3 まで 0.1 刻みで与え、板厚  $t$  (=9.0mm) を固定し、板幅  $b$  を変化させて決定する。

$$R_R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k}} \quad (1)$$

ここで、 $\mu$  はポアソン比 (=0.3) を、 $k$  は座屈係数 (=4.0) を表す。なお、これらの短柱は柱の全体座屈を防ぎ、板の局部座屈による強度特性を調べるため、細長比パラメータを 0.06<sup>1),2)</sup>とし、有効長  $L$  を変化させる。

対象とする短柱に与える初期不整は、残留応力および初期たわみとする。残留応力は、図 2 中に示すような自己平衡を保つ矩形分布で与える。残留応力の大きさについては、表 2 に示すように、圧縮残留応力が 3 通りの値、引張残留応力<sup>3)</sup>が SBHS500 の場合に 0.90、SM490Y の場合に 1.0 とする。なお、残留応力を考慮しない場合についても対象とする。初期たわみは、フランジが外側にふくらみ、腹板が内側にくぼむような正弦半波で与え、その最大値  $W_{0max}$  を設計許容値<sup>5)</sup>である  $b/150$  とする。

これらの無補剛短柱の解析モデルは、8 節点アイソパラメトリックシ

表 1 対象鋼種の機械的性質

| 鋼種                  | SBHS500 | SM490Y |
|---------------------|---------|--------|
| $\sigma_y$ (MPa)    | 506     | 410    |
| $E$ (GPa)           | 215     | 204    |
| $\sigma_u$ (MPa)    | 598     | 573    |
| $\sigma_y/\sigma_u$ | 0.85    | 0.72   |

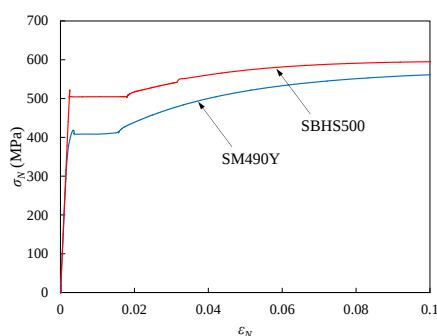


図 1 対象鋼種の公称応力-公称ひずみ関係

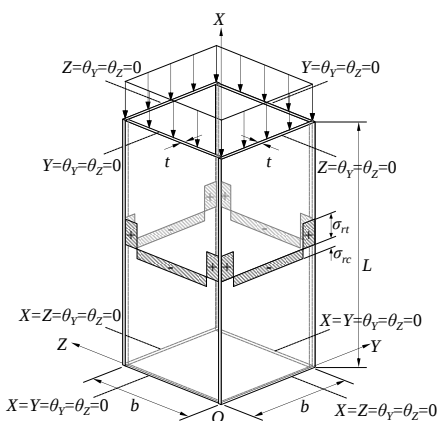


図 2 対象とする無補剛短柱および残留応力分布

表 2 残留応力の大きさ

| 鋼種                     | SBHS500             | SM490Y |
|------------------------|---------------------|--------|
| $\sigma_{rc}/\sigma_y$ | -0.10, -0.20, -0.30 |        |
| $\sigma_{rt}/\sigma_y$ | 0.90                | 1.0    |

キーワード SBHS500, SM490Y, 両縁支持板, 残留応力, 耐荷力, 弾塑性有限変位解析

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

エル要素を用いて有限要素離散化し、図2中の $X=L$ の荷重辺にて圧縮荷重を与える弾塑性有限変位解析を行う。

### 3. 数値計算結果および考察

図3は、 $\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.30$ を与えた $R_R = 0.3, 0.5, 0.7$ および $0.9$ の荷重と軸方向変位の関係を示す。同図の縦軸は数値計算により得られた荷重 $P$ を降伏荷重 $P_y$ で無次元化した値を、横軸は数値計算で与えた軸方向変位 $\delta$ を降伏変位 $\delta_y$ で無次元化した値を表す。同図より、 $R_R = 0.3$ の荷重と変位の関係は、 $R_R = 0.5, 0.7$ または $0.9$ の場合に比べて、塑性変形能が大きく、変位の増加に伴う荷重上昇が大きいことがわかる。また、 $R_R = 0.3$ のSBHS500の荷重と変位の関係は、SM490Yに比べて降伏比が大きいことから、塑性化に伴う荷重上昇が小さくなることがわかる。一方、幅厚比パラメータが大きく弾性領域で最大荷重に達するSBHS500の荷重と変位の関係は、SM490Yに比べてその挙動に大差がない。

図4は、圧縮残留応力の大きさの違いによる耐荷力の変化を示す。同図の縦軸は、数値計算により得られた最大圧縮荷重 $P_{max}$ を降伏荷重 $P_y$ で無次元化した値を表す。同図には、比較として、既往の圧縮試験結果<sup>1),2)</sup>、道路橋示方書<sup>5)</sup>に規定される耐荷力曲線、福本ら<sup>6)</sup>による耐荷力曲線を示す。図4(a)より、残留応力を与えた $R_R \leq 0.6$ のSBHS500の耐荷力は、残留応力を考慮しない場合に比べて、その差が約2%以内であることがわかる。また、残留応力を与えた $R_R \geq 0.9$ のSBHS500の耐荷力は、各幅厚比パラメータにおいて、 $\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.30$ の場合が最小となり、残留応力を考慮しない場合に比べて最大で約14%小さくなる。これらの結果は、幅厚比パラメータが小さい板の場合に塑性化の進行に伴うひずみ硬化が大きく、幅厚比パラメータが大きい板の場合に残留応力の大きさが板の耐荷力に及ぼす影響が大きいことによる。なお、図4(b)に示すSM490Yの耐荷力についても、SBHS500と同様な傾向を示すことが確認できる。

以上の結果は、無補剛板で構成されるSBHS500製短柱が、従来の炭素鋼SM490Yと同様に、幅厚比パラメータが大きい場合に、残留応力の大きさの違いが耐荷力に大きな影響を及ぼし、既往の耐荷力曲線<sup>5),6)</sup>で評価できる可能性があることを意味している。

### 4. おわりに

本研究は、無補剛短柱を対象に、残留応力の大きさの違いがSBHS500製両縁支持板の耐荷力特性に与える影響を調べた。本研究で得られた内容は、次の通りである。(1) 幅厚比パラメータが大きいSBHS500製無補剛短柱の荷重と軸方向変位の関係は、従来の炭素鋼SM490Y製短柱の荷重と軸方向変位の関係と同様の傾向を示す。(2) 幅厚比パラメータが大きいSBHS500製両縁支持板は、従来の炭素鋼と同様に、残留応力の大きさの違いが耐荷力に及ぼす影響が大きい。

今後は、SBHS製部材の強度特性を詳細に評価していくために、溶接組み立てされた部材の初期不整に関するデータを蓄積していく必要がある。

**謝辞：**本研究の一部は、(一社)日本鉄鋼連盟の鋼構造研究・教育助成事業(一般テーマ研究)によって実施したものであります。ここに記して謝意を表します。

**参考文献** 1)小野潔, 加藤健太郎, 安宅俊樹, 北根英雄, 松村政秀, 岡田誠司: SBHS500を用いた鋼製短柱の座屈耐力に関する実験的研究, 第31回日本道路会議論文, No.5015, 2015. 2)安宅俊樹, 小野潔, 加藤健太郎, 北根英雄, 松村政秀, 岡田誠司: SBHS500を用いた両縁支持板の耐荷力特性に関する実験的研究, 平成28年度土木学会全国大会第71回年次学術講演会(発表予定). 3)Kiyoshi ONO, Tatsuya ISHIKAWA, Shota HASHIMOTO and Seiji OKADA: A Study on Residual Stress and Ultimate Strength of Steel Columns made of SBHS500, 8th International Symposium on Steel Structures, 2015. 4)西村宣男, 小野潔, 池内智行: 単調載荷曲線を基にした繰返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式, 土木学会論文集, No.513/I-31, pp.27-38, 1995. 5) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2012. 6)福本啓士(代表者): 鋼骨組み構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究, 平成元年度科学研究費(総合研究A)研究成果報告書(課題番号: 62302040), 1990.

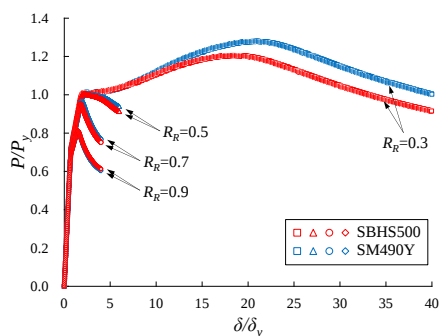
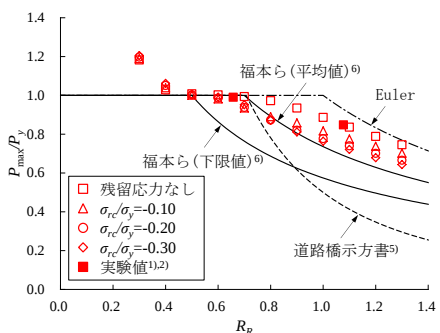
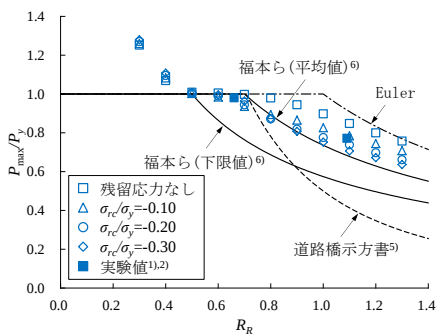


図3 荷重と軸方向変位の関係



(a) SBHS500



(b) SM490Y

図4 残留応力の大きさの違いによる耐荷力の変化