

## SBHS400を用いた十字断面柱の 耐荷力特性に関する実験的研究

安宅 俊樹<sup>1</sup>・小野 潔<sup>2</sup>・宮下 剛<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学会員 早稲田大学創造理工学術院 建設工学専攻（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

<sup>2</sup>正会員 博士(工学) 早稲田大学創造理工学部教授（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

<sup>3</sup>正会員 博士（工学）長岡技術科学大学工学研究科准教授（〒940-2188 新潟県長岡市上富岡1603-1）

### 1. 研究背景および目的

橋梁用の高性能鋼であるSBHSがJIS化された<sup>1)</sup>。SBHSは高降伏点を有し、溶接容易性、耐候性、じん性に優れ、SBHSを鋼橋に活用することで建設コスト削減の可能性が期待されている。SBHSが一般的な鋼橋に対して幅広く使用されるためには、SBHSの材料特性を明らかにするとともに、SBHSを使用した鋼部材の耐荷力特性等を明らかにし、SBHSを用いた鋼部材の具体的かつ汎用的な設計手法の開発が必要となる。そのような状況下、SBHS500およびSBHS700については、引張試験、繰り返し材料試験が実施され、材料特性の把握、構成則の提案等が行われている<sup>2)</sup>。また、SBHS500を用いた鋼部材の耐荷力については、SBHSを用いた鋼桁や、SBHSを用いた自由突出板を対象とした実験的研究<sup>3)</sup>が実施され、その耐荷力に関する情報が得られつつある。他方、SBHS400はJIS化された時期が遅く、基本的な情報が少ないことが実情として挙げられる。既往の研究によるとSBHS400の材料特性に関する研究は実施されているものの<sup>4)</sup>、耐荷力特性に関する研究は行われていない。本研究は、我が国における土木構造物の設計基準にSBHSを規定するため、軸方向圧縮力を受けるSBHSを用いた鋼部材の強度特性を明らかにし、基礎的データを蓄積することを目的としている。そこで、SBHS400製鋼部材の圧縮強度特性を調べるにあたり、把握すべき耐荷力特性のうち、自由突出板の座屈耐力に関する基本的なデータをを得ることを目的に、SBHS400製の十字断面短柱を用いて軸圧縮試験を実施した。

### 2. 実験供試体および実験方法

SBHS400を用いた自由突出板の耐荷力特性を明らかにすべく、SBHS400製十字断面柱の圧縮試験を行った。図-1に既往の研究成果によるSBHS400と従来鋼SM490Yの応力-ひずみ関係の比較を表す。また、表-1にこれら鋼材の機械的性質を表す。同図表より、SBHS400は従来鋼よりも高い降伏応力を持っていることがわかる。図-2に実際に実験で用いた実験供試体を、図-3に実験供試体の概略図を、表-2に全4体の実験供試体の寸法詳細を示す。本研究で用いた実験供試体は、幅厚比パラメータ $R_R$ の影響による耐荷

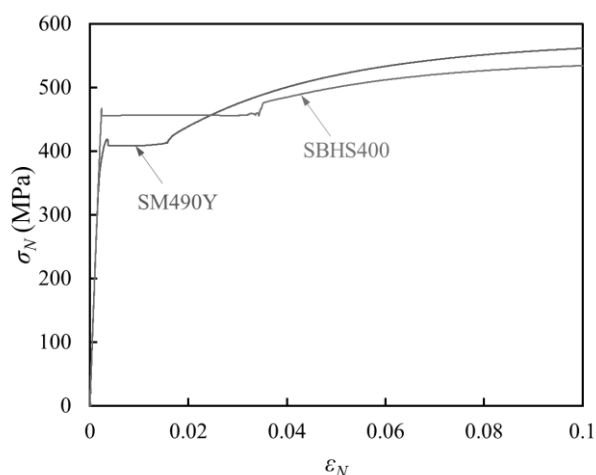


図-1 SBHS400とSM490Yの応力-ひずみ関係の比較

表-1 SBHS400とSM490Yの機械的性質

| 鋼種      | 降伏応力<br>$\sigma_y$ (MPa) | 弾性係数<br>$E$ (GPa) | 引張応力<br>$\sigma_u$ (MPa) | 降伏比<br>$\sigma_y/\sigma_u$ |
|---------|--------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|
| SBHS400 | 457.6                    | 203               | 540.7                    | 0.85                       |
| SM490Y  | 410.3                    | 204               | 572.5                    | 0.72                       |

力特性を調べるため、 $R_R=0.4, 0.7, 0.9, 1.1$ の条件のもと、設計を行った。また、全体座屈を防止するため、供試体の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は0.05程度となるように断面および供試体長の寸法決定を行った。以下に幅厚比パラメータと細長比パラメータの式を示す。

$$R_R = \frac{B}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{k_R \pi^2}} \quad (2.1)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{l}{r} \quad (2.2)$$

ここに、 $b$ :板パネルの幅、 $E$ :鋼材の弾性係数( $=2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ )、 $\sigma_y$ :鋼材の降伏点、 $k_R$ :座屈係数( $k_R=0.425$ )、 $n$ :補剛材で区切られるパネル数、 $\mu$ :ポアソン比( $=0.3$ )、 $r$ :断面二次半径、 $l$ :有効座屈長。

各実験供試体にはひずみゲージを設置し、変位計を水平、直角方向に導入した。これらの実験供試体

を用いて、早稲田大学が所有する5000kN大型構造物試験機により、変位制御の条件のもと、およそ0.005mm/secの载荷速度で軸方向圧縮試験を行った。試験前には弾性域内で予備载荷を行い、各辺に均等に圧縮力が加わっていることを確認し、本载荷試験を行った。

### 3. 実験結果および耐荷力に関する検討

図-5に圧縮試験後の残留たわみ測定結果を示す。また、図-6に残留たわみの状況図を示す。本稿では、

表-2 各実験供試体の寸法詳細

| 諸元             | B04 | B07 | B09 | B11 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| 幅厚比パラメータ $R_R$ | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1.1 |
| 幅 $b$ (mm)     | 109 | 184 | 234 | 283 |
| 長さ $l$ (mm)    | 200 | 262 | 337 | 412 |
| 厚さ $t$ (mm)    | 9   |     |     |     |



図-2 実験供試体

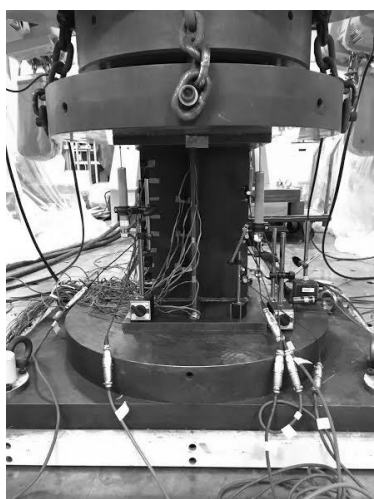
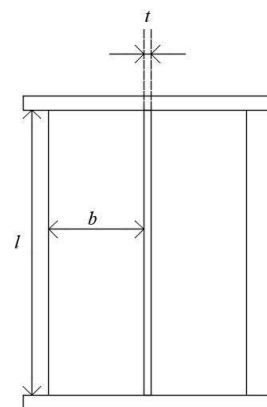
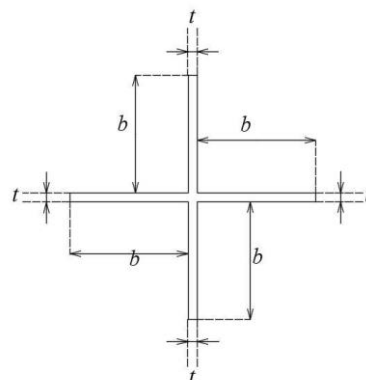


図-3 軸圧縮試験の様子



a) 側面図



b) 断面図

図-4 実験供試体概略図

紙面の制約の都合上、座屈モードを種別し、B04とB07の一面の残留たわみ測定結果のみを示す。残留たわみ測定によって、B04では2波の座屈モード、B07、B09、B11では1波の座屈モードが得られた。

さらに、図-7に各実験供試体の軸圧縮試験から得られる無次元化した軸力-鉛直変位関係を示す。各軸は軸力を降伏軸力で除した $P/P_y$ 、鉛直変位を降伏鉛直変位で除した $\delta/\delta_y$ としている。同図から明らかのように、B04は他の実験供試体とは異なり、鋼材の応力-ひずみ関係の影響を受ける挙動となっている。幅厚比パラメータが限界幅厚比パラメータ ( $R_R=0.7$ ) よりも小さかったことで、最大耐力が降伏耐力以上となったことが原因であると考えられる。その一方で、幅厚比パラメータ  $R_R \geq 0.7$  の実験供試体B07、B09、B11は限界幅厚比パラメータ以上の幅厚比で各面が構成されているため、降伏耐力付近、もしくはそれ以下で最大耐力を迎えたため、応力-ひずみ関係の影響を受けない挙動となっていることがわかる。

最後に、図-7に最大耐力 $P_{max}$ を降伏軸力 $P_y$ で除した $P/P_y$ を耐力力曲線と比較したものを示す。これら耐力力曲線を以下に示す。

a) 道路橋示方書の耐力力曲線<sup>5)</sup>

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = 1 \quad (R_R \leq 0.7), \quad \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \frac{0.5}{R_R^2} \quad (R_R > 0.7) \quad (3.1)$$

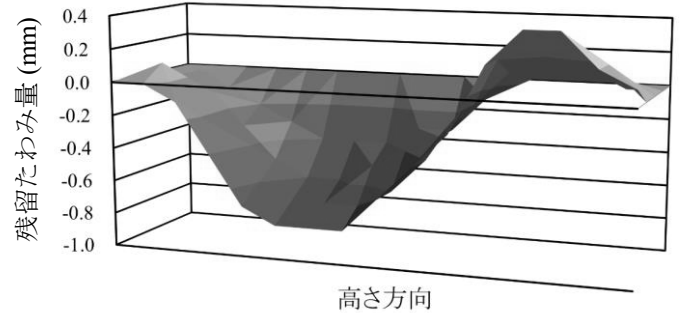
b) 福本らの耐力力曲線<sup>6)</sup>

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = 1 \quad (R_R \leq 0.7), \quad \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \left(\frac{0.7}{R_R}\right)^{0.64} \quad (R_R > 0.7) \quad (3.2)$$

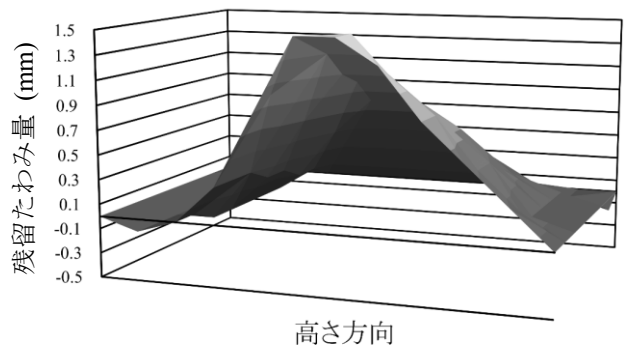
c) Euler Curve

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = 1 \quad (R_R \leq 1.0), \quad \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \frac{1}{R_R^2} \quad (R_R > 1.0) \quad (3.3)$$

式 (3.1) は道路橋示方書、式 (3.2) は福本らの提案した耐力力曲線、式 (3.3) はEuler Curveを表す。本実験で得られた4つの点は、これら3つの耐力力曲線よりも上側にプロットされる結果となったため、SBHS400を用いた自由突出板の耐力は、現行の耐力力曲線を用いて設計をすることができる可能性があることを示している。しかし、圧縮試験によって得られる最大耐力はばらつきを持ちやすいために、今後さらにデータを蓄積する必要があると考えられる。



a) B04 の残留たわみ



b) B07 の残留たわみ

図-5 各実験供試体の残留たわみ



図-6 圧縮試験後の残留たわみ

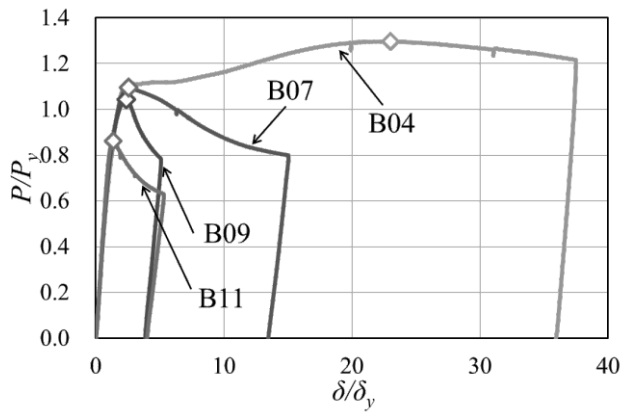


図-7  $P/P_y$ - $\delta/\delta_y$  耐力力曲線と実験結果の比較

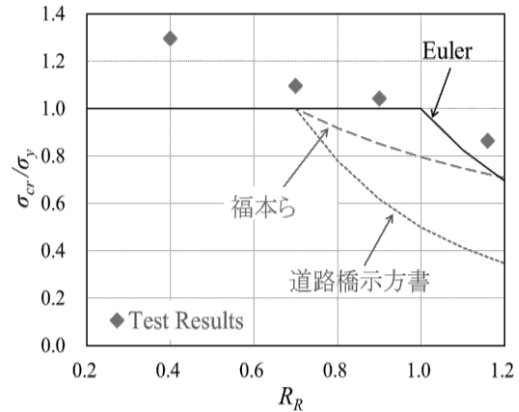


図-8 耐力力曲線と実験結果の比較

## まとめ

本稿ではSBHS400を用いた自由突出板の軸圧縮試験を行った。本稿の実験結果によれば、SBHS400の自由突出板の耐力力は、現行の耐力力曲線で適切に評価することができる可能性があることが示された。今後、実験的研究に加え、実験結果を再現することができる弾塑性有限要素解析を用いた数値計算によって、残留たわみ測定の結果も交え、データ数の蓄積を行うことを検討している。

**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（一般研究テーマ）によって実施したものであります。さらに、研究を実施するにあたり、加藤健太郎氏（研究当時：大阪大学大学院工学研究科）にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) JIS G 3140: 橋梁用高降伏点鋼板，2012.
- 2) Keita Hamamura, Kiyoshi Ono, Seiji Okada, Shinji Ymada, Nobuo Nishimura(2013). “Mechanical Properties and constitutive equation under cyclic loading of higher yield strength steel plates for bridges SBHYS700”, Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium on Steel Structures, pp.268-269, 2013.11.
- 3) 松村政秀，小野潔，中川翔太：SBHS500およびSM490Yからなる十字断面柱の圧縮試験，第17回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.307～310，2014.
- 4) Kiyoshi Ono, Hiroyuki Aizawa, Takeshi Miyashita, Shinji Yamada, Yasuhiro Miyazaki. “An Experimental study of constitutive equation of SBHS400 under cyclic loading”, Proceedings of the 14<sup>th</sup> East Asia-Pacific Conference on structural Engineering and Construction, 2016.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説II鋼橋編，2014.
- 6) 福本昤士（研究代表者）：鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合研究，科学研究費補助金研究報告書（総合研究A，研究課題番号：62302040），平成2年.