

SBHS500およびSM490Yからなる十字断面柱の圧縮実験

松村政秀¹・小野潔²・中川翔太³

¹正会員 博（工）大阪市立大学大学院准教授工学研究科（〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本3-3-138）
²正会員 博（工） 大阪大学大学院准教授工学研究科（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
³学生会員 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻（〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本3-3-138）

1. 研究背景および目的

設計の合理化，製作工程における省力化，構造性能の向上を図り橋梁構造物のライフサイクルコスト低減を目指すべく，橋梁用構造物の製作に用いる材料として，2003年に“橋梁用高降伏点鋼板”としてSBHSが提案されている．SBHSは板厚によらず一定な降伏強度が保証され，従来鋼に比べて，加工性・溶接性にも優れていることから，この実用化を図ることによって，より合理的かつ経済的な鋼橋建設の展開が期待される．これまでにも，SBHSの衝撃性や破壊特性，合理化橋梁への適用性，繰返しを受ける場合の構成則などが検討されている¹⁾⁶⁾．

また，SBHSを鋼I桁のフランジや支点上の鋼板パネルの補剛材としても活用，すなわち自由突出板としてSBHSを用いることによって構造や設計の合理化を図ることも期待される⁶⁾が，SBHSからなる自由突出板の耐荷力特性に関して実験データは不足しており，SBHSの幅広い活用を考える上で耐荷力曲線の検討も必要である．

そこで，本研究ではSBHS（SBHS500）および従来鋼（SM490Y）からなる自由突出板（幅厚比パラメータが0.4および1.0）を対象として圧縮力を漸増载荷する圧縮力载荷実験を実施し，最大荷重ならびに最大荷重以降の挙動を明らかにすることによって，SBHSからなる自由突出板の耐荷力曲線の設定に資する基礎データを得ることを目的とする．

2. 十字断面柱の圧縮実験

(1) 供試体の設計

実験には，4枚の自由突出板からなる十字断面柱を用いる．自由突出板の幅厚比パラメータ R_s ⁷⁾（座

表-1 供試体の断面諸元

供試体名	鋼材	σ_y [N/mm ²]	R_s	t [mm]	b [mm]	$L(=3b)$ [mm]	$\bar{\lambda}$
B04	SBHS500	500	0.4	9	44.6	133.8	0.052
B10	SBHS500	500	1.0	9	111.6	334.8	0.056
M04	SM490Y	355	0.4	9	53.0	159.0	0.044
M10	SM490Y	355	1.0	9	132.4	397.2	0.047

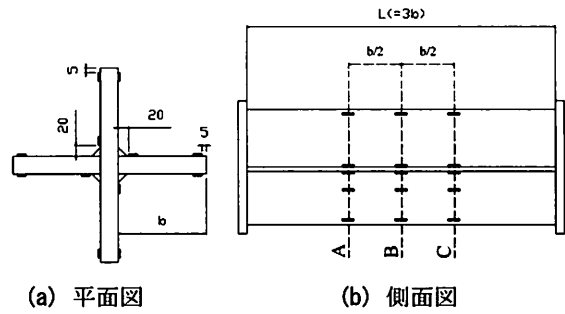


図-1 供試体形状・記号とひずみゲージの貼付位置

屈係数 $=0.425$)を0.4および1.0に設定し，板厚9mmのSBHS500およびSM490Yからなる計4体の実験供試体を製作した．このとき，自由突出板の幅厚比パラメータ R_s は両鋼材の公称降伏応力 σ_y を用いて算出した．また，図-1に示すように，供試体の高さ L は柱部材としての座屈が生じないように，自由突出板の突出長 b の3倍で統一した（細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は0.044～0.056）．表-1には実験供試体の断面諸元をまとめている．

また，図-1(a)に示したように，十字断面柱は板幅 $2b+t$ （ t は板厚）の鋼板の両側に，2枚の自由突出板（突出長 b ）を脚長6mmの両側すみ肉溶接により接合して製作した．なお，実験供試体名は，鋼材がSBHS500， R_s が1.0の場合にB10としている．

(2) 鋼材の材料特性

実験供試体の製作に用いたSBHS500およびSM490Yの2種類の鋼材の材料特性を得るためにJIS5号試験片（各3体）を用いて、材料試験を実施した。表-2には主な材料試験結果を、図-2には、両鋼材の応力-ひずみ曲線を比較して示す。同図は、応力 σ 、ひずみ ε をそれぞれ降伏点 σ_y 、降伏ひずみ ε_y で除して無次元化している。降伏に至り降伏棚を経るまでに両鋼材に顕著な差は認められないが、ひずみ硬化開始後の挙動が異なり降伏比 σ_y/σ_u に差が認められる。

(3) 計測項目

図-1および図-3には、実験供試体への一軸ひずみゲージの貼り付け位置および変位計の設置位置を示す。十字断面柱の各自由突出板パネルにはN、E、S、Wの記号を付している。

ひずみゲージは、計測断面A～Cの自由突出板先端の表裏および自由突出板の付け根位置付近に貼付し、座屈発生の検知および予備載荷時の4枚の板パネルに対する荷重分担の確認に用いた。変位計は板パネルの自由辺近傍端中央付近の面外方向に2本取り付け付けた。

(4) 載荷方法

まず、弾性範囲内で実験供試体に荷重を載荷する予備載荷を実施する。この予備載荷では、各板パネルの側面に貼付したひずみゲージの値を参照し、4枚の板パネルに均等に荷重がかかるように供試体の位置を微調整し、実験供試体の設置位置を決定する。この後、一度除荷してイニシャル計測を実施した後、本載荷実験を実施した。

本載荷実験では、圧縮力 P を漸増させる載荷実験を実施した。載荷は、最大荷重を得た後、最大荷重の85%程度まで荷重が低下するまで載荷を継続し、最大荷重後の挙動および実験終了後の座屈変形状況を観察する。なお、載荷実験の実施には大阪大学工学部が所有する5,000kN圧縮力載荷装置を用いた。

3. 実験結果

(1) 荷重変位関係

図-4に $P/P_y-u/u_y$ 関係を、表-3に主な実験結果を示す。 P_u は最大荷重、 u_u は最大荷重時の軸方向変位であり、荷重および変位は材料試験より得られた降伏点 σ_y を用いて算出される降伏荷重 $P_y (=A \times \sigma_y)$ 、 A ：十字断面柱の断面積）および降伏変位 $u_y (=L \times \varepsilon_y)$ 、 ε_y ：降伏ひずみ）で除して無次元化している。軸方向変

表-2 材料試験結果

鋼材	降伏点 σ_y (N/mm ²)	引張応力 σ_u (N/mm ²)	降伏比 σ_y/σ_u	弾性係数 E (N/mm ² /s)	破断時伸び $\Delta L/L$ (%)
SBHS500	584.8	661.3	0.88	2.17E+05	33.1
SM490Y	433.1	556.3	0.78	2.10E+05	34.2

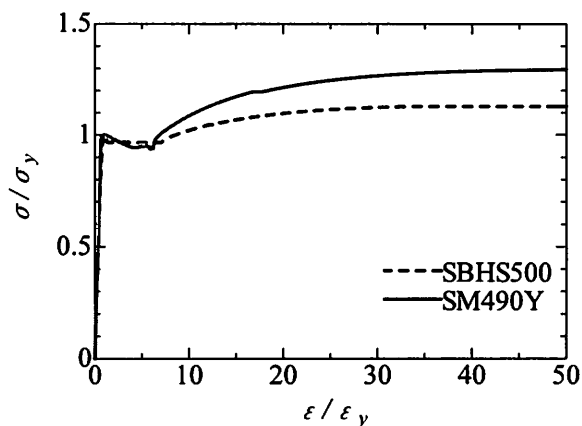
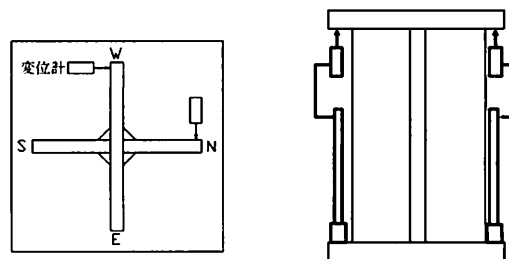


図-2 応力ひずみ関係



(a) 平面図（計測断面B）

(b) 側面図

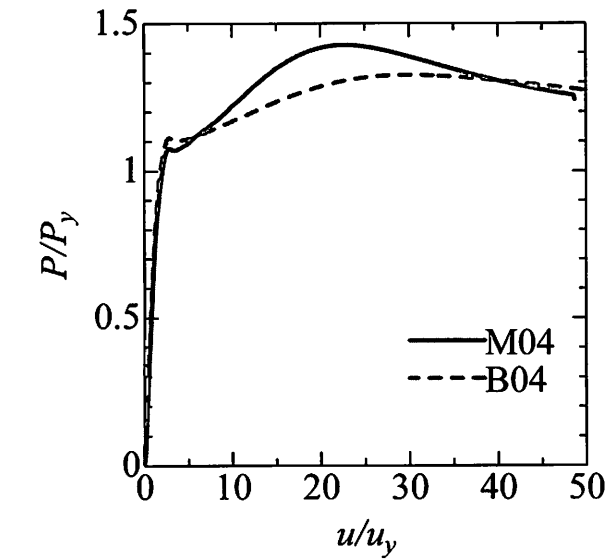
図-3 変位計の設置位置

位は図-3に示した鉛直方向に設置した4本の変位計の計測値を平均したものである。図-5には荷重 P -鉛直方向変位 u 、面外方向変位 w 関係を示す。

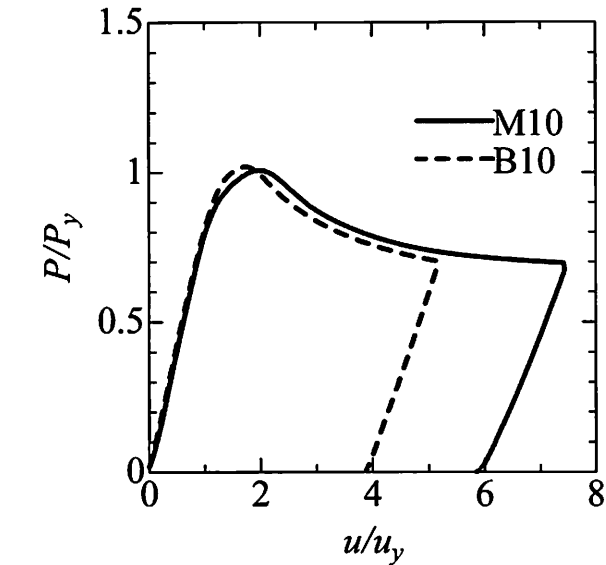
図-4より、 $R_s=0.4$ （実験供試体M04およびB04）では、降伏荷重付近で座屈が発生した後、荷重が再び上昇し最大荷重を得た。 $R_s=1.0$ （実験供試体M10およびB10）では、降伏荷重に至る前に座屈が発生し、最大荷重を得た。 $R_s=0.4$ では鋼種の違いにより降伏荷重以降の荷重-鉛直方向変位関係に差が見られるが、 $R_s=1.0$ では鋼種の違いによる最大荷重および最大荷重以降の荷重-鉛直方向変位関係に顕著な差異は認められなかった。なお、 $R_s=0.4$ では、後述する図-6(a)に示すように、座屈変形を供試体上下の鋼板で拘束しているような状況を見受けられることから、降伏以降の荷重-鉛直方向に差が見られた原因については、今後、実験および解析により詳細に検討を行う予定である。

図-5より、 $R_s=0.4$ （実験供試体M04およびB04）では、降伏付近以降から板パネルの面外方向変位が増

加しはじめている。 $R_s=1.0$ （実験供試体M10およびB10）では、最大荷重に至るまで板パネルの面外方向変位がほとんど認められず、最大荷重直前に増加し始めていることがわかる。いずれも、板パネルの座屈後、面外方向変位の増加が、鉛直方向変位の増加に比べ顕著に計測された。



(a) $R_s=0.4$ (M04, B04)

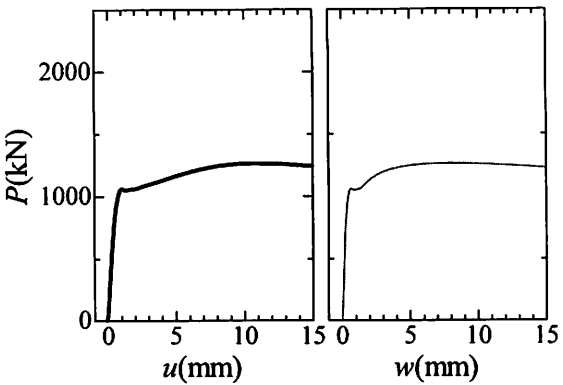


(b) $R_s=1.0$ (M10, B10)

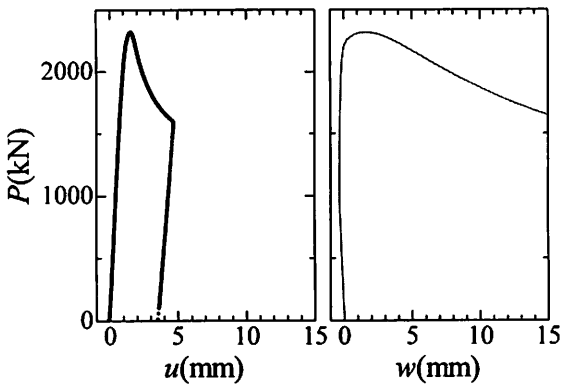
図-4 荷重-軸方向変位関係（無次元化）

供試体名	P_u/P_y	u_u/u_y
B04	1.32	29.8
B10	1.02	1.8
M04	1.43	23.1
M10	1.01	2.1

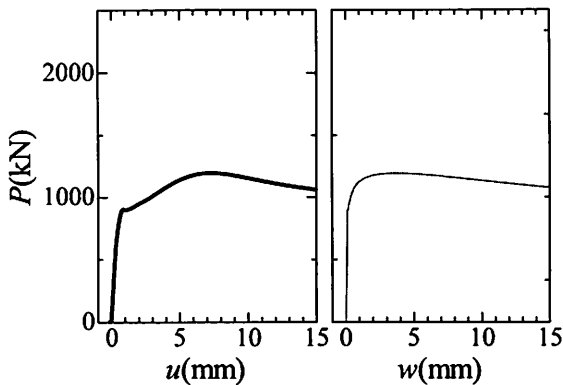
表-3 主な実験結果



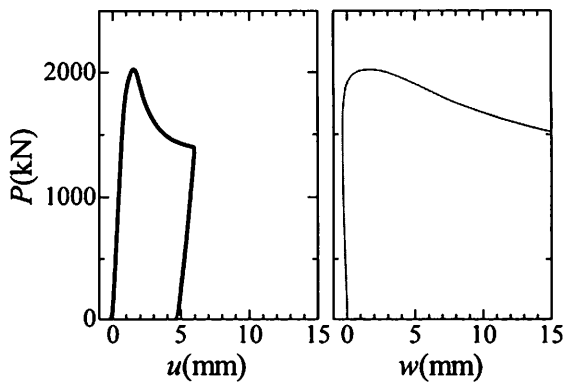
(a) B04 (W面)



(b) B10 (W面)

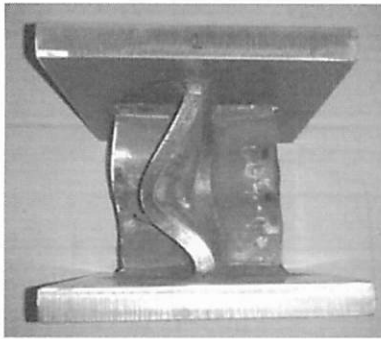


(c) M04 (W面)



(d) M10 (W面)

図-5 荷重-軸方向変位，面外方向変位の関係



(a) B04



(b) B10

図-6 供試体の残留変形

(2) 実験終了後の残留変形

実験終了後、各実験供試体の変形状況を確認したところ、すべての実験供試体に共通して各自由突出板に1波形の座屈モードが認められた。図-6に実験供試体B04およびB10の実験終了後の変形状況を示す。

供試体高さの低い実験供試体（B04, M04）では、4枚の板パネルの上部および下部に取り付けた載荷板の溶接部により、板の座屈変形が耐力に影響を及ぼすと考えられるため、これは、今後の課題とする。

なお、以上は限られた実験結果であり、今後、追加実験および解析により検証を進める必要がある。

4. まとめ

本研究では、SBHS500およびSM490Yからなる十字断面柱の圧縮実験を実施した。得られた主な結論は次のとおりである。

1)自由突出板に関する幅厚比パラメータ R_s が小さい場合（ $R_s=0.4$ ）には、降伏荷重に至った後、面外

変形が生じ始めるが、その後再び荷重が上昇し最大荷重を迎えた。降伏荷重以降の荷重－鉛直方向変位について、鋼種による違いが見られ、その原因については、今後詳細に検討する予定である。

2)幅厚比パラメータ R_s が大きい場合（ $R_s=1.0$ ）には、自由突出板の座屈により最大荷重が決定され、鋼種の違いによる最大荷重、最大荷重以降の荷重－鉛直方向変位関係にも顕著な差異は認められなかった。

今後、引き続き実験的に検討を進めるとともに、解析により詳細に検討する予定である。

謝辞：本研究の実施には、一般社団法人日本鉄鋼連盟による支援を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 南 邦明, 三木千壽, 糟谷 正, 鶴田敏也, 渡部義之：橋梁用高性能鋼BHS500の衝撃特性および破壊靱性の評価, 土木学会論文集A, Vol.63, No.1, pp.142-152, 2007.
- 2) 岡田 淳, 村上琢哉, 川畑篤敬：橋梁用高性能鋼材の活用による連続剛性2主I桁橋の長支間化に関する検討, 土木学会論文集 F, Vol.63, No2, pp.141-155, 2007
- 3) 新しい高性能鋼材の利用技術調査研究報告書—SBHS500(W), SBHS700(W)の設計・製作ガイドライン（案）一, 土木学会, 2009
- 4) 野阪克義, 奥井義昭, 小室雅人, 宮下 剛, 野上邦栄, 長井正嗣：SBHSを用いた鋼I桁の耐力特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.70-79, 土木学会, 2013.3
- 5) K. Hamanura, K. Ono, M. Matsumura, T. Tarui, S. Koda, An experimental study on mechanical properties of SBHS700 and application of SBHS700 to stiffened plates, EAEC13, 2013.9
- 6) 浜村圭太, 小野 潔, 松村政秀, 垂井敬寛, 幸田真也：SBHS700 を縦リブに使用したハイブリッド鋼製短柱の耐力および変形能に関する実験的研究, 第 16 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, 土木学会・地震工学委員会, pp.391-394, 2013.7
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, II.鋼橋編, 2012.3