

HT950鋼を用いた自由突出板の耐荷性能に関する実験的研究

竹嶋 夏海¹・劉 佳平²・岡島 研³・山崎 諒介³・宮下 剛⁴・岡田 誠司⁵・小野 潔⁶

¹正会員 株式会社IHIインフラシステム（〒108-0023 東京都港区芝浦3-17-12）

²学生会員 早稲田大学創造理工学部（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

³学生会員 早稲田大学大学院創造理工学研究科（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

⁴正会員 博士(工学) 長岡技術科学大学大学院工学研究科准教授（〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1）

⁵正会員 博士(工学) 株式会社IHIインフラシステム（〒108-0023 東京都港区芝浦3-17-12）

⁶正会員 博士(工学) 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科教授（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

1. 研究背景・目的

平成29年の道路橋示方書¹⁾よりSBHS400およびSBHS500が規定された。SBHSはわが国の鋼材製造技術の進歩を取り入れ、溶接施工性他、橋梁に要求される性能を満たすように開発された。このような高強度材料を鋼橋に使用することで、建設コストの縮減、補強部材の軽量化等が期待されている²⁾。高性能材料の鋼橋への導入の試みは、今後も継続していくと考えている。鋼橋への導入にあたり、部材の製作・施工で要求される基本性能と共に、その橋梁の部材に使用した際の強度特性を明らかにする必要がある^{3),4),5)}。

本研究では、昨今橋梁に適用を目指し研究が進められているSBHS700と比較して、より高強度材であるHT950鋼に対し、補剛材の座屈耐荷力を検討する。検討方法は、自由突出板の座屈耐荷力の指標である幅厚比パラメータ R_s を変化させた十字型供試体を用いて軸圧縮試験を実施し耐荷力データを取得する。また、得られた結果と既往の研究、現行の道路橋示方書の自由突出板の基準耐荷力曲線との比較をすることにより、その差異を評価するものである。

2. 供試体・実験方法

(1) 実験供試体の設定

表-1に構造諸元を示す。幅厚比パラメータ R_s は式(1)で定義した。供試体を同一鋼板から採取するため板厚は9mmで一定とし、道路橋示方書に示される自由突出板の基準耐荷力曲線を参考に、幅厚比パラメータを $R_s=0.7, 1.0, 1.3$ とした。 σ_{yN} は日

本溶接協会規格⁶⁾の基準降伏点を、 σ_{yM} はミルシートに記載の降伏点を示す。

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

ここで、

t : 板厚 (=9mm)

E : ヤング係数 (=20000 N/mm²)

μ : ポアソン比 (=0.3)

k_R : 座屈係数 (=0.43)

供試体側面図と断面図を図-1に示す。試験対象範囲は溶接により接合された十字断面の供試体とした。荷重を均等に载荷するため、上下に支圧板を溶接し、载荷装置との設置面は切削加工を施した。

(2) 実験方法

a) 実験手順

3体の供試体に対し、一軸圧縮試験を行った。载荷装置は早稲田大所有の大型二軸構造物評価装置

表-1 構造諸元

	降伏点		板幅	長さ	断面積	幅厚比 パラメータ	
	σ_{yN}	σ_{yM}	b	L	A	R_{sN}	R_{sM}
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)	(mm ²)		
B07	885	996	59	229	2205	0.70	0.74
B10	885	996	84	320	3105	1.00	1.06
B13	885	996	110	412	4041	1.30	1.38

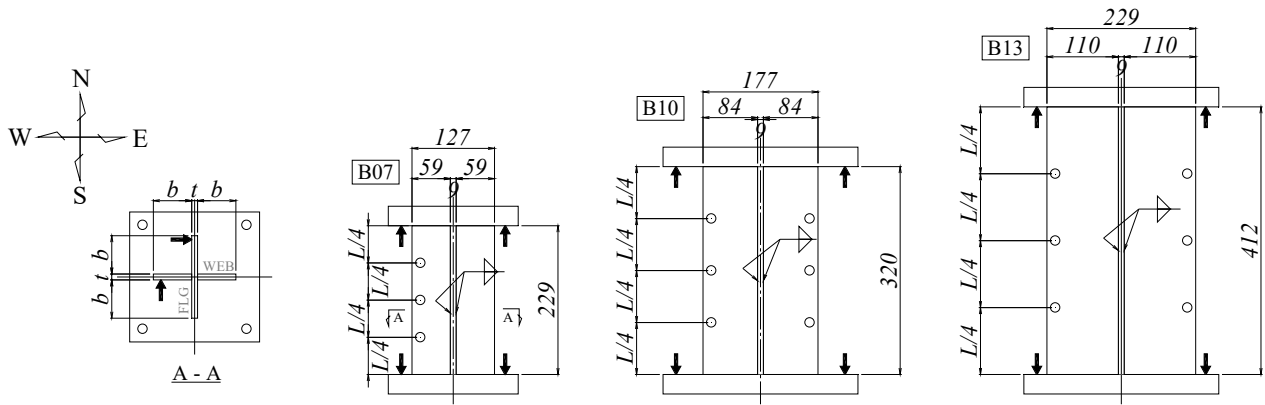


図-1 供試体図

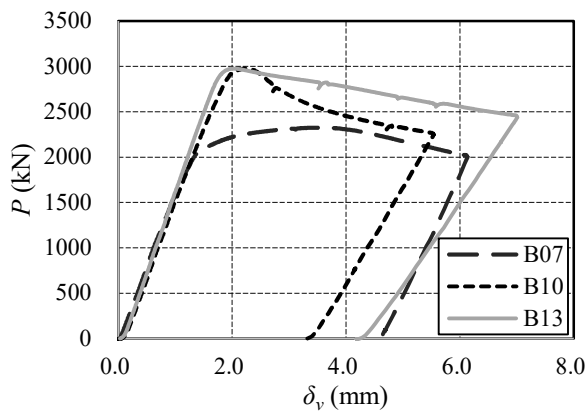


図-2 P- δ_v 曲線

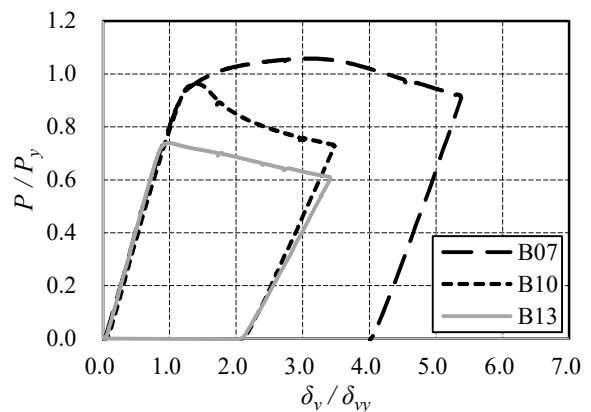


図-3 P/Py- δ_v/δ_{vy} 曲線

(最大載荷荷重5000kN)を使用した。載荷速度は0.005mm/sで制御した。

b) 計測項目

図-1に変位計配置図を示す。面外変形の計測は、N・W面に配置した変位計により計測した。鉛直変位は、支圧板の4隅に設置した変位計にて行った。4辺の両側には一軸ひずみゲージを貼り付け、ひずみを計測した。荷重はロードセルにて計測した。

3. 試験結果

(1) 鉛直荷重と垂直変位の関係

鉛直荷重 P を縦軸に、垂直変位 δ_v を横軸に取った P - δ_v 曲線を図-2に、正規化した P/P_y - δ_v/δ_{vy} 曲線を図-3に示す。垂直変位は変位計にて計測した4点の平均値にて整理を行った。降伏荷重 P_y と降伏変位 δ_{vy} は式(2)と(3)で定義した。なお、 P_y, δ_{vy} は σ_{yM} を用いて算出した。

$$P_y = \sigma_{yM} A \quad (2)$$

$$\delta_{vy} = \frac{P_{yM} L}{EA} \quad (3)$$

いずれの供試体も、 $P/P_y=0.7$ 付近まではほぼ同一勾配にて推移していた。B07は $P/P_y=0.9$ 付近までは直線勾配にて荷重が増大し、0.9付近以降は緩やかに最大荷重に達した。最大荷重以降も緩やかに荷重が低下した。B10は、 $P/P_y=0.9$ 付近から荷重の増加が緩やかになり、 $P/P_y=0.95$ 付近で最大荷重に達した。B13は $P/P_y=0.7$ 付近までは直線勾配にて荷重が増加し、以降は緩やかに増加して $P/P_y=0.74$ で最大荷重に達した。

(2) 面外変形と局部座屈の関係

図-4~6に P/P_y - δ_v/δ_{vy} 曲線から抽出した4つの段階をプロットした。同様に、W面で計測した面外変形を、図-7~9に示した。各々の供試体に対し最大鉛直荷重を P_{max} とし、 P_{max} 以前で最大鉛直荷重の75%の点を $0.75P_{max}$ と定義した。また、 P_{max} 以降で最大鉛直荷重の90%、80%の点をそれぞれ $0.9P_{max}$ と $0.8P_{max}$ と定義した。B07は $0.8P_{max}$ に至る前に実験が終了し

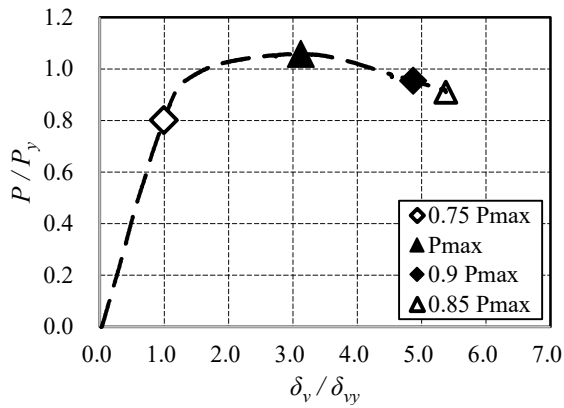


図-4 P/P_y - δ/δ_{vy} 曲線 (B07)

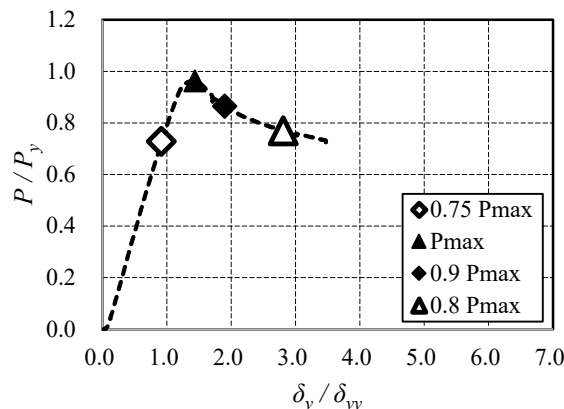


図-5 P/P_y - δ/δ_{vy} 曲線 (B10)

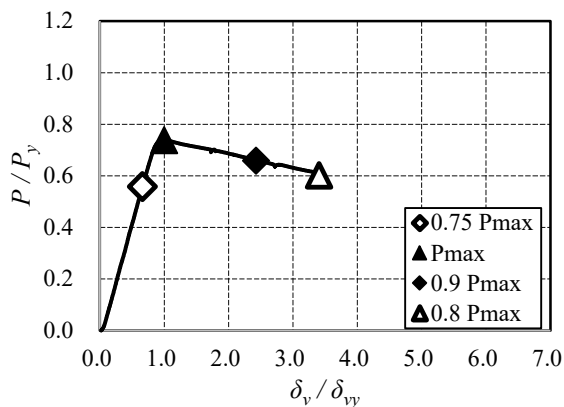


図-6 P/P_y - δ/δ_{vy} 曲線 (B13)

ため、 $0.85 P_{max}$ を示した。載荷試験前に目視で観察した結果、明確な初期たわみは見られなかった。

B07は P_{max} までは面外変形はほとんど発生していない。 P_{max} 以降は面外変位の増加に伴い、荷重が減少している。B10も P_{max} まではB07と同様の傾向であるが、面外変形や荷重の低下量が大きい。B13は P_{max} より前に面外変形が発生し、 P_{max} 以降は荷重の低下に伴い面外変形が大きく進展している。

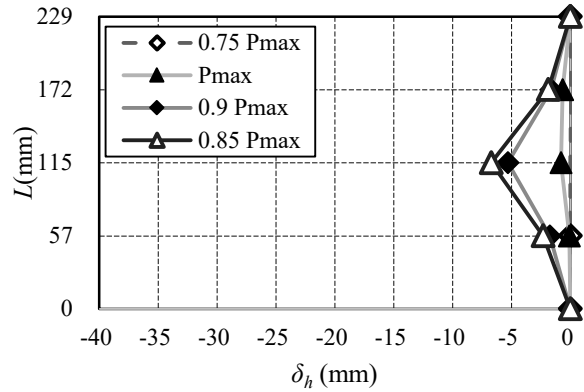


図-7 面外変形 δ_h の推移 (B07・W面)

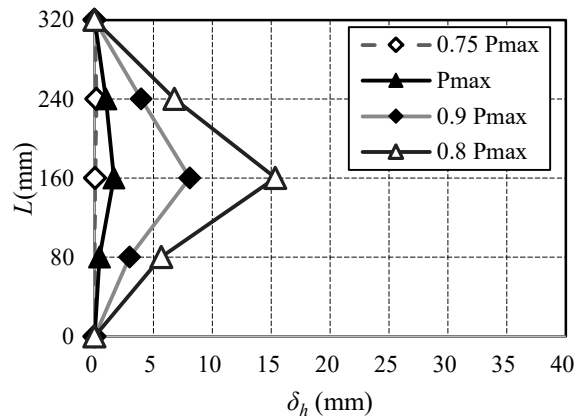


図-8 面外変形 δ_h の推移 (B10・W面)

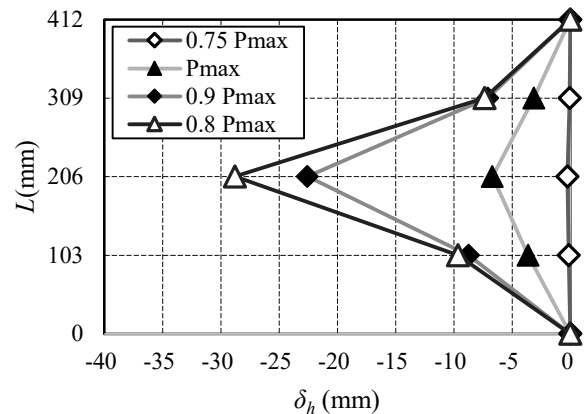


図-9 面外変形 δ_h の推移 (B13・W面)

(3) 既往の基準耐荷力曲線との比較

試験で得られた最大荷重を基に、座屈応力と降伏力の比である σ_{cr}/σ_y により整理し、既往の基準耐荷力曲線により比較を行った結果を図-10に示す。実験結果は σ_{yM} を用いて整理した。道路橋示方書¹⁾に定義される基準耐荷力曲線は式(4)に、福本ら⁷⁾が提案する耐荷力曲線は式(5)で示した。座屈応力は、式(6)により求めた。

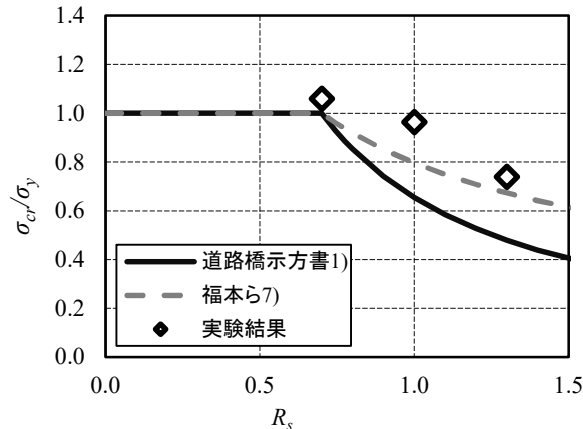


図-10 耐荷力曲線との比較

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} &= 1.0 && (R_s \leq 0.7) \\ &= \left(\frac{0.7}{R_s}\right)^{1.19} && (0.7 < R_s) \end{aligned} \right\} (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} &= 1.0 && (R_s \leq 0.7) \\ &= \left(\frac{0.7}{R_s}\right)^{0.64} && (0.7 < R_s) \end{aligned} \right\} (5)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{max}}{A} \quad (6)$$

本実験で得られた値は、道路橋示方書の基準耐荷力曲線及び福本らの耐荷力曲線より上にプロットされており、既往の耐荷力評価式より安全側の評価ができる可能性があることが分かった。

4. 結論

本研究では、幅厚比パラメータ R_s を変化させた十字型供試体を用いて軸圧縮試験を実施し、得られた荷重・変位の分析と耐荷力曲線によるHT950鋼の耐荷性能の評価を行った。結論を以下に示す。

- いずれの供試体も、 $P/P_y=0.7$ 付近まではほぼ同一勾配にて推移していた。ピーク後の荷重-変位の推移に差が見られたが、これは面外変形の発生・進展が影響したと推察される。
- 得られた結果を道路橋示方書の基準耐荷力曲線、福本らの耐荷力曲線と比較した結果、安全側に評価できる可能性があることが分かった。一方で本試験は限られた結果であり、評価式の提案には引き続き実験や解析による検証が必要である。

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

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編，2017
- 2) 高木 優任：橋梁用鋼材の進展と展望－橋梁構造にどのような変化をもたらしてきたか－，JSSC会誌，pp3-5，2018.7.
- 3) Jing Nie, Hikaru Sugimoto, Kiyoshi Ono, Takeshi Miyashita, Masahide Matsumura and Seiji Okada: An experimental study on the local buckling strength of an SBHS700 stub column with cruciform section, Steel Construction, Vol.2, pp.82-90, 2019.5.
- 4) 安宅俊樹，小野潔，宮下剛：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，第20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.305-308，2017.7.
- 5) 加藤健太郎，小野潔，安宅俊樹，北根安雄，松村政秀：SBHS500を用いた無補剛箱形断面短柱の耐荷力，鋼構造年次論文集，第24巻，pp.344-350，2016.11.
- 6) (一社)日本溶接協会：日本溶接協会規格，WES3001(溶接用高張力鋼板)，2001.
- 7) 福本 喙士(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研究，平成元年度科学研究費補助金研究成果報告書，1990.