

SBHS400 を用いた溶接箱形断面鋼長柱の耐荷力に関する解析的研究

松 大輔¹・竹沢 洋輝¹・小野 潔²・笠野 英行³・高木 優任⁴・加藤 真志⁴

¹ 学会員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科 建設工学専攻（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

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

³ 正会員 博士（工学） 日本大学准教授 工学部土木工学科（〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原1）

⁴ 正会員 博士（工学） 日本鉄鋼連盟（〒103-0025 東京都中央区茅場町3-2-10）

1. はじめに

橋梁用高性能鋼材である SBHS が JIS¹⁾化された。SBHS は従来鋼と比較して高い降伏点、優れた溶接性という特長を有しており、鋼橋に適用することにより建設コスト縮減の可能性が期待されている。SBHS には SBHS400, SBHS500, SBHS700 の三種類があり、その中でも 2017 年に改定された道路橋示方書²⁾では SBHS400 と SBHS500 の耐荷力曲線が既に規定されている。しかし、SBHS400 を用いた鋼部材の耐荷力に関するデータが不足している状況にあるため、今後より合理的な設計法を提案するために耐荷力に関するデータを蓄積する必要がある。そのためには、実験により SBHS400 を用いた鋼部材の耐力に関するデータを収集し、数値解析により圧縮強度特性の情報を幅広く蓄積するとともに、鋼長柱の圧縮耐荷力評価手法を確立することが求められている。そこで本研究では、SBHS400 を用いた溶接箱形断面鋼長柱を対象とした耐荷力に関する情報を得ることを目的とし、実験結果と比較して妥当性の確認された解析手法を用いて、細長比パラメータを変化させた解析を実施し、現行の道路橋示方書に記されている耐荷力曲線式との比較により、SBHS400 を用いた溶接箱形断面鋼長柱の耐荷力の評価を行った。

2. 弾塑性有限変位解析の妥当性の検証

(1) 解析条件

弾塑性有限変位解析によるパラメトリック解析を実施する際、実験結果との比較により解析手法の妥当性を検証する必要がある。そこで、SBHS400 を用いた溶接箱形断面鋼長柱の単調圧縮載荷実験に対して弾塑性有限変位解析プログラム CYNAS^{3),4)}による数値解析を行い、実験結果との比較により解析手法の妥当性を検証した。解析手法の妥当性を検証するにあたり、既往の研究^{5),6)}を基に SBHS400 製の溶接箱形断面鋼長柱 2 体を対象とした。供試体の構造諸元を表-1 に示す。実験供試体の断面の定義を図-1 に示す。実験における載荷状況を図-2 に示す。実験供試体の細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は、約 0.5、約 1.0 の 2 種類となっている。幅厚比パラメータ R_R は局部座屈が生じないように 0.4 程度とし、目標の $\bar{\lambda}$ となるように以下の(1)式、(2)式を用いて断面寸法が求められている。

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

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{L'}{r}} \quad (2)$$

ここで、 b は板幅、 E は弾性係数、 σ_y は降伏応力度、 ν はポアソン比、 $k(=4)$ は座屈係数、 L' は有効座屈長、 r は断面二次半径を表している。

表-1 構造諸元及び座屈パラメータ

供試体名	フランジ幅 b_f (mm)	ウェブ幅 b_w (mm)	板厚 t (mm)	有効座屈長 L' (mm)	細長比パラメータ λ
B05	132	112	9	1750	0.54
B10	132	112	9	3450	1.07

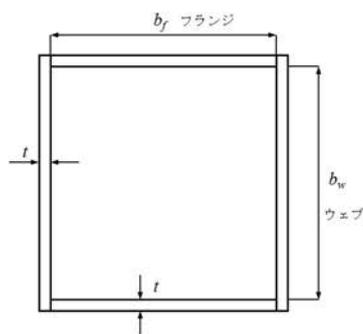


図-1 供試体断面図



図-2 実験での载荷状況

再現解析では実験供試体と同じ寸法のモデルを作成し、解析を実施した。解析モデルは8節点シェル要素でモデル化した。また、供試体端部は耐圧盤と接しているため、モデル端部から球座回転中心までの要素については、剛体と仮定している。材料定数のうち単調载荷曲線を表現する構成式に含まれる定数のみ、引張試験結果から算出した。引張試験結果から得られた応力-ひずみ関係を図-3に示す。実験を実施する際、図-2に示すとおり供試体の両端は球座により支持されている。そのため解析を行う際には球座の回転をより適切に表現する必要がある。そこで、実験から得られた鉛直変位及び球座の回転による変位を基に、強制変位を解析モデルの四隅に与えた。強制変位を与えた位置を図-4に示す。解析モデルに導入した初期たわみを図-5に示す。全体たわみは実験での座屈モードを考慮し、局所たわみは道路橋示方書に記されている部材精度を参考にして、それぞれを組み合わせて導入した。残留応力については、断面内で自己平衡を保つように、図-6に示す分布の残留応力を導入した。

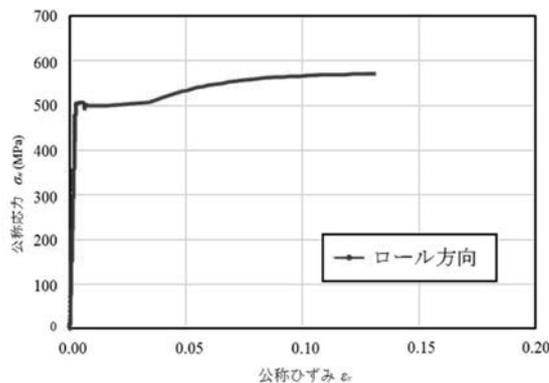
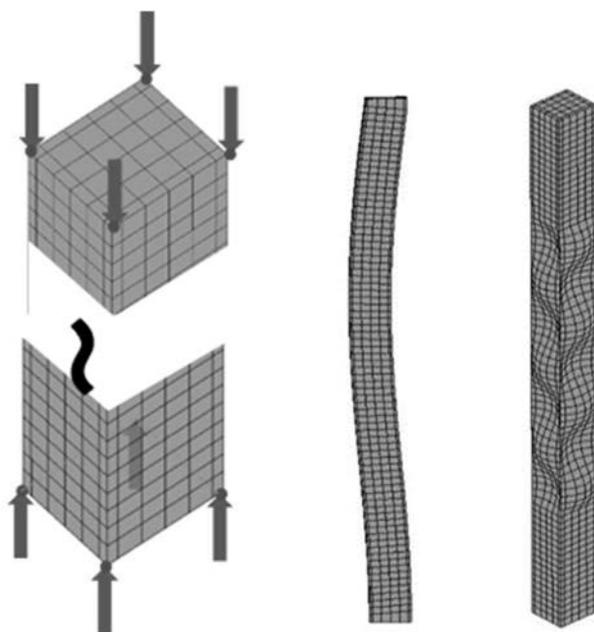


図-3 応力-ひずみ関係



(a) 全体たわみ (b) 局所たわみ

図-4 強制変位载荷位置

図-5 初期たわみ導入図

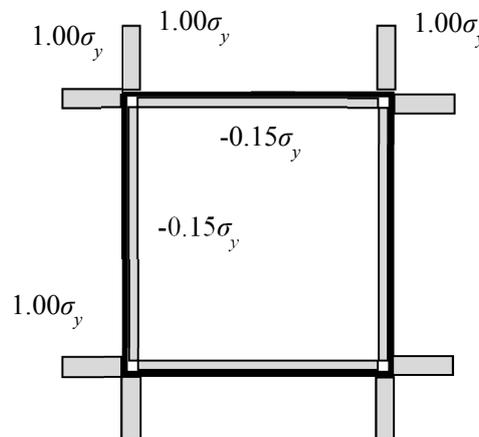


図-6 解析で用いた残留応力分布

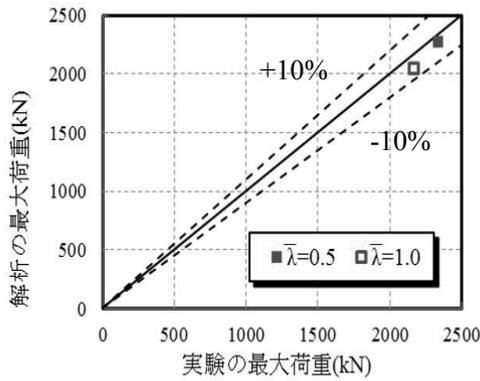


図-7 解析結果と実験結果の比較(最大荷重)

(2) 妥当性の検証

図-7に解析によって得られた $\bar{\lambda}=0.5$ および $\bar{\lambda}=1.0$ の最大荷重と実験結果を比較したグラフを示す。これらの結果から、 $\bar{\lambda}=0.5$ および $\bar{\lambda}=1.0$ のどちらの結果においても実験で得られた最大荷重を適切に再現できていることがわかる。以上の結果から本文に示した弾塑性有限変位解析手法によって、最大圧縮荷重を評価することの妥当性が確認された。

3. パラメトリック解析による圧縮強度特性の把握

圧縮力が作用する SBHS400 を用いた溶接箱形断面鋼長柱の耐荷力に、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が与える影響を詳細に検討するためパラメトリック解析を実施した。

(1) 解析条件

本研究では、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が与える影響を検討するため、 $\bar{\lambda}=0.2$ から 1.2 の 0.1 刻みずつ、合計で 11 モデルになるように解析モデルの長さを変化させた。全モデルのフランジ外形寸法を 300mm × 300mm の矩形断面とし、局部座屈の発生を防ぐために幅厚比パラメータ R_f の値が 0.4 となるように、板幅 b 、板厚 t を決定した。残留応力については、再現解析と同じ図-6 の残留応力分布を設定した。解析モデルの要素分割は、図-9 のような分割とした。柱の両端部(図-9 の白色で示す載荷面)の板厚はフランジ幅の 10 倍としている。解析モデルの変位の拘束条件は、図-10 に示す実線上の節点の X 方向および Z

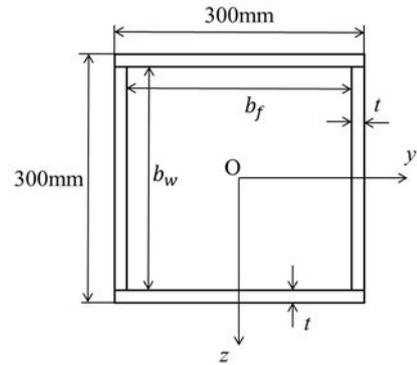


図-8 パラメトリック解析モデルの断面図

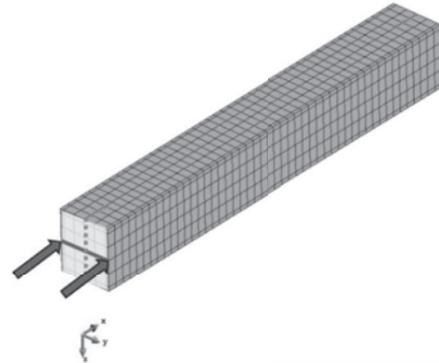


図-9 パラメトリック解析モデルの分割図

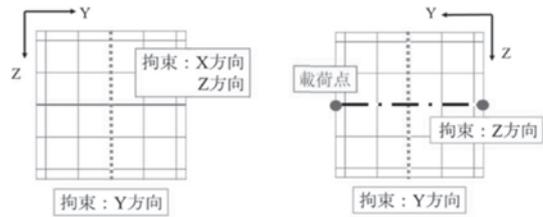


図-10 モデルの拘束条件

方向を拘束、一点鎖線上の節点の Z 方向を拘束、点線上の節点の Y 方向を拘束した。さらに、フランジの端(図-9 の点線で示すモデル端部)においても、点線上の節点の Y 方向を拘束した。強制変位に関しては、図-10 に示すウェブの 2 点において、柱の軸方向に単調圧縮の強制変位を与えた。

解析では式(3)で表される全体系初期たわみ W_G 、局所系初期たわみ W_L の両方を考慮した初期たわみを設定した。全体たわみ・局所たわみを導入した図を図-11 に示す。

$$\left. \begin{aligned} W_G(x) &= \frac{L'}{1000} \sin\left(\frac{\pi x}{L'}\right) \\ W_L(x,y) &= \frac{b_f}{150} \sin\left(\frac{L' \pi x}{b_f L'}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b_f}\right) \end{aligned} \right\} (3)$$

ここで、 b_f はフランジ幅を表している。

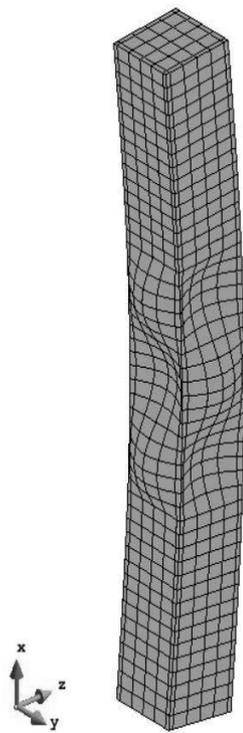


図-11 初期たわみ導入図

(2) パラメトリック解析結果

2017年に改定された道路橋示方書に記載されている溶接箱形断面鋼長柱の耐荷力曲線と、パラメトリック解析結果の比較を図-12に示す。図-12より、道路橋示方書に記載されている耐荷力曲線によって、SBHS400を用いた溶接箱形断面鋼長柱の耐荷力は、適切に評価できていることが確認できる。

4. まとめ

本研究では、SBHS400を用いた溶接箱形断面鋼長柱の軸圧縮荷重実験をモデルとして弾塑性有限変位解析を行った。軸圧縮荷重実験を対象とした再現解析を行い、実験結果と解析結果を比較することにより、解析手法の妥当性を確認した。妥当性が確認された解析手法を用いて、SBHS400製鋼長柱部材を対象に軸圧縮条件下のパラメトリック解析を行い、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が耐荷力に与える影響について検討を行った。解析結果より、2017年道路橋示方書における溶接箱形断面を対象とした耐荷力曲線に対して、SBHS400を用いた鋼長柱部材の圧縮強度特性が適切に評価できることを示した。しかし、未だSBHS400を用いた溶接箱形断面に関する残留応力のデータはえられていないため、解析では残留応力

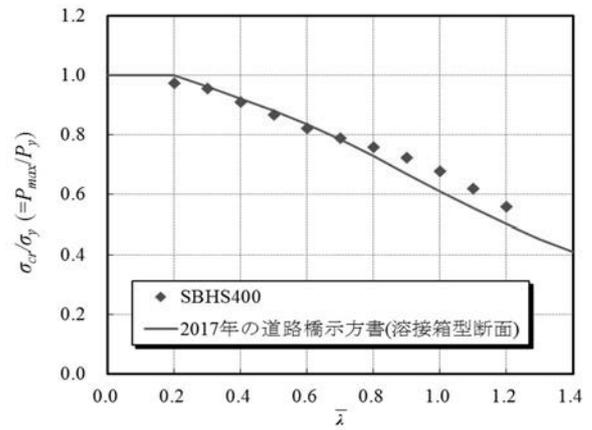


図-12 解析結果と実験結果の比較(最大荷重)

を仮定して実施した。そのため、今後さらなるデータを収集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・教育助成事業によって実施したものであります。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (一財)日本規格協会：橋梁用高降伏点鋼板，JIS G 3140: 2011.
- 2) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編，2017年11月.
- 3) 西村宣男，小野潔，池内智行：単調荷重曲線を基にした繰り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年4月.
- 4) 川井健吾，小野潔，市川尚樹，山田信司，宮下剛：SBHS400の構成則に関する実験的研究，第19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.67-72，2016年7月.
- 5) H.Takezawa, K.Sumiya, K.Ono, H.Kasano, S.Okada: An Experimental Study on Load-carrying Capacity of Steel Columns made of SBHS400, 12th Japanese German Bridge Symposium, 2018.
- 6) 竹沢洋輝，隅谷康平，小野潔，笠野英行，岡田誠司：SBHS400を用いた溶接箱形断面鋼長柱の耐荷力特性に関する実験的研究，第73回年次学術講演会講演概要集，I-556，pp.1111-1112，2018年8月.