

第 I 部門

SBHS500 製無補剛短柱の耐力特性に関する解析的研究

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○加藤 健太郎
早稲田大学創造理工学部 学生員 安宅 俊樹
京都大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀

早稲田大学創造理工学部 正会員 小野 潔
名古屋大学大学院工学研究科 正会員 北根 安雄
大阪大学大学院工学研究科 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力等に関する研究¹⁾²⁾が進められている。一方で、現行の道路橋示方書³⁾では、SBHS に関する設計法が規定されておらず、その確立が期待されている。

本研究では、SBHS に関する基礎データを蓄積するために、SBHS500 製無補剛板で構成される短柱²⁾を対象に、両縁支持板の耐力特性を数値計算により調べる。本研究で得られた結果は、既往の圧縮試験²⁾で得られた結果および同様に数値計算を行う SM490Y 製短柱の結果と比較する。

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²⁾により得られたこれら鋼種の機械的性質を示す。同表中の記号は、 σ_y が降伏応力を、 E が弾性係数を、 σ_u が引張強さを、 σ_y/σ_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-公称ひずみ関係の一例を示す。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⁴⁾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¹⁾²⁾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²⁾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 $t(=9.0\text{mm})$ ²⁾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、 μ はポアソン比 ($=0.3$) を、 k は板の座屈係数 ($=4.0$) 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 $0.06^{2)}$ 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、その大きさを既往の測定結果¹⁾を精査した表 2 に示す値とする。初期たわみは、図 3 に示すように、各無補剛板に正弦半波で与え、その最大値 $W_{0\max}$ を設計許容値³⁾である $b/150$ とする。

表 1 対象鋼種の機械的性質

鋼種	SBHS500	SM490Y
σ_y (MPa)	506	410
E (GPa)	215	204
σ_u (MPa)	598	573
σ_y/σ_u	0.85	0.72

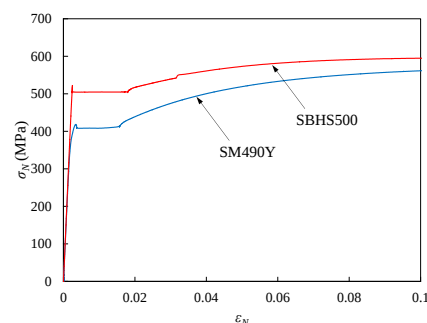


図 1 対象鋼種の公称応力-公称ひずみ関係

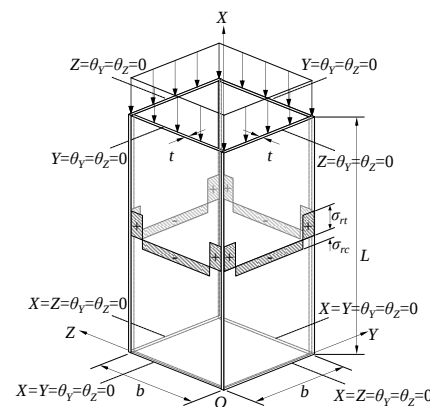


図 2 対象とする無補剛短柱および残留応力分布

表 2 残留応力の大きさ

鋼種	SBHS500	SM490Y
σ_{rc}/σ_y	-0.21	-0.27
σ_{rt}/σ_y	0.90	1.0

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

3. 数値計算結果

図 4 は、 $R_R=0.3, 0.5, 0.7$ 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 δ を降伏変位 δ_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 の結果に比べて、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。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。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 5 は、数値計算により得られた耐荷力と耐荷力曲線の比較を示す。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²⁾、道路橋示方書³⁾に規定される耐荷力曲線、福本ら⁵⁾による耐荷力曲線を示す。同図より、 $R_R \leq 0.4$ の SBHS500 の耐荷力は、上述した降伏比の違いにより、SM490Y に比べて小さくなる。また、 $R_R \geq 0.9$ の SBHS500 の耐荷力は、SM490Y に比べて大きくなる。これは、幅厚比パラメータが大きい板の場合、残留応力の大きさが板の耐荷力に大きな影響を及ぼすため、本研究で与えた SBHS500 の圧縮残留応力の大きさが SM490Y に比べて小さいことによると考えられる。

以上の結果より、無補剛板で構成される SBHS500 製短柱の耐荷力特性は、炭素鋼 SM490Y 製短柱の耐荷力特性と同様の傾向を示し、従来の炭素鋼を対象とした耐荷力曲線で評価できる可能性がある。

4. おわりに

本研究は、無補剛短柱を対象に、SBHS500 製両縁支持板の耐荷力特性を SM490Y 製板と比較しながら調べた。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) SBHS500 製両縁支持板の耐荷力は、従来の炭素鋼を用いた両縁支持板を対象とした耐荷力曲線で評価できる可能性がある。

今後は、初期不整が SBHS 製両縁支持板の耐荷力に及ぼす影響等を調べるとともに、SBHS を用いた部材の耐荷力特性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) 石川達也, 小野潔, 橋本祥太, 岡田誠司: SBHS500 を用いた矩形断面鋼部材の残留応力と鋼長柱の耐荷力に関する一検討, 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会, I-1, 2015. 2) 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. 3) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2012. 4) 西村宣男, 小野潔, 池内智行: 単調載荷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. 5) 福本秀士(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.

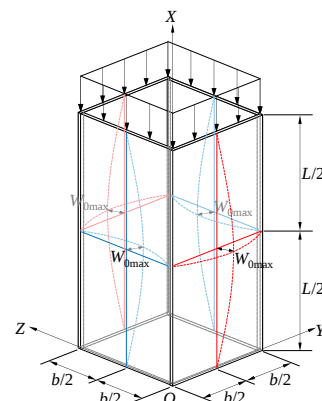


図 3 初期たわみ形状

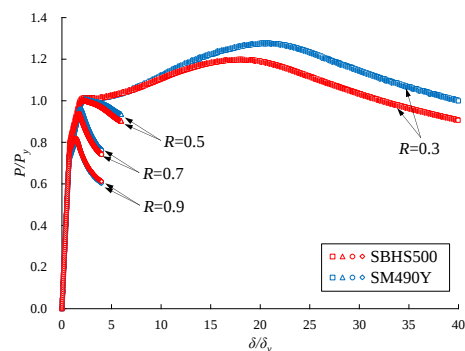


図 4 荷重と軸方向変位の関係

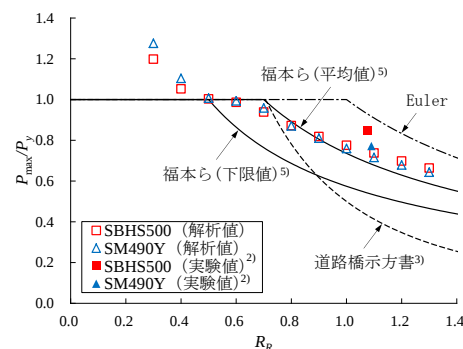


図 5 数値計算による耐荷力と耐荷力曲線の比較