

SBHS500 製単リブ補剛板の溶接残留応力分布モデル

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○佐野 栞
 長岡工業高等専門学校 正会員 宮崎 靖大
 埼玉大学 正会員 奥井 義昭

1. はじめに

橋梁用高性能鋼材 SBHS は、従来の構造用炭素鋼に比べて、高強度かつ、施工性に優れた材料である。そのため、SBHS で構成される橋梁は、従来に比べて鋼重削減および施工コスト低減が可能となる。一方、SBHS は、2008 年に JIS 化された新材料のため、SBHS 製部材の強度特性を詳細に調べた研究例^{例えば 1), 2)} が少ないのが現状である。そこで本研究では、溶接組立てした SBHS500 製単リブ補剛板の残留応力分布モデルを実験結果を用いて明らかにする。ここでは、SM490Y 製単リブ補剛板と比較しながら明らかにする。

2. 対象供試体

本研究で対象とする供試体を構成する材料は、橋梁用高性能鋼材 SBHS500 および構造用炭素鋼 SM490Y である。表 1 は、本研究で対象とする鋼種の機械的性質を示す^{3), 4)}。同表中の記号は、 σ_u は引張強さ、 δ は破断伸びを表している。これらの材料で構成される単リブ補剛短柱の形状は、断面を構成する補剛板が先行して座屈するものとし、次式の幅厚比パラメータ R_R により 0.5 となるよう決定する。

$$R_R = \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_p}}$$

ここでは、 E はヤング係数、 ν はポアソン比、 σ_y は降伏応力、 k_p は座屈係数 (= $4n^2$, n は補剛材で区切られているパネル数) を意味する。図 1 および表 2 は、これら供試体の外観および実測寸法をまとめている。表 2 の記号は、 B がフランジ幅、 b がウェブ高さ、 b_p が溶接間隔、 h_s が補剛材高さ、 t が板厚、 t_s が補剛材の板厚、 R_R が幅厚比パラメータを示している。本研究で対象とする残留応力測定用供試体は、図 1 中の矩形単リブ補剛短柱の柱高さ L から 300mm 切り出したものとする。

表 1 機械的性質^{3), 4)}

鋼種	E (GPa)	ν	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	δ (%)
SBHS500	214	0.278	554	630	30.7
SM490Y	211	0.285	397	545	36.6

表 2 供試体寸法諸元

鋼種	B (mm)	b (mm)	b_p (mm)	h_s (mm)	t (mm)	t_s (mm)	R_R
SBHS500	258	216	105	29	6.0	6.1	0.48
SM490Y	296	256	125	48	6.0	6.0	0.49

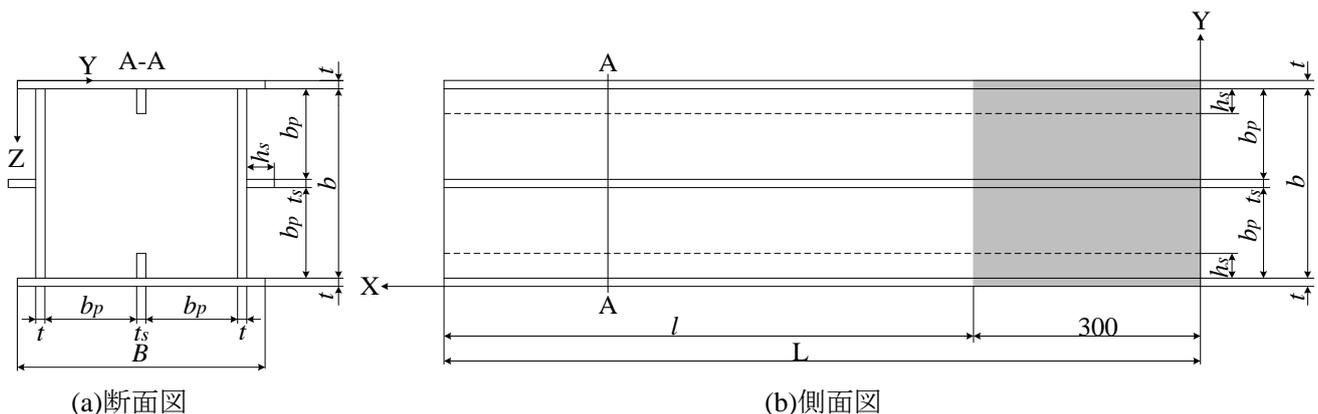


図 1 矩形単リブ補剛短柱形状

3. 残留応力測定方法

本研究では、機械的切断法により残留応力の測定を行う⁵⁾。図2は対象供試体の残留応力測定位置を示している。同図に示すように対象供試体断面の対称性を考慮し、ここでは、上フランジ、右ウェブおよび右補剛材の残留応力を測定する。残留応力測定の断面切断間隔は、溶接部近傍で15mmから20mm間隔、その他の場所で20mmから25mm間隔とする。また、残留応力は、図2に示す測定位置表面に3軸ひずみゲージを貼り付け、これより得られる切断前後のひずみの差に表2に示す各鋼種の弾性係数 E を乗じて算出する。

4. SBHS500 および SM490Y の残留応力

4.1 主応力表示した残留応力

図3は、本研究により得られた全供試体の主応力の大きさとその方向を示す。同図の残留応力の大きさは、測定時の応力 σ_r を降伏応力 σ_y で除した値とし、また、残留応力を表示する位置は、それぞれの全板幅で正規化している。そして、引張残留応力は実線で、圧縮残留応力は破線で、それぞれ表している。同図より、SBHS500 および SM490Y の両供試体において、溶接部近傍では最大主応力が、溶接部から遠ざかるところでは最小主応力が顕著となることが読み取れる。また、供試体のフランジ、ウェブの溶接部近傍の残留応力は補剛材溶接部近傍に比べて、大きくなることがわかる。そして、同図より、SBHS500 および SM490Y とともに、フランジとウェブの主応力成分の方向はほぼX軸方向となることがわかる。この結果より、以降では、柱軸(X軸方向)のひずみゲージから得られる残留応力のみに着目することとする。

4.2 柱軸方向の残留応力分布およびそのモデル化

図4および図5は、本研究で対象とした供試体の柱軸方向の残留応力を示す。両図の縦軸は残留応力測定位置での残留応力 σ_r の大きさを降伏応力 σ_y で除した値を、横軸は残留応力測定位置を各供試体を構成する板幅で除した値を意味する。両図より、フランジにおける最大引張残留応力の大きさは、SBHS500 と SM490Y ではほぼ降伏応力の0.75倍程度となることがわかる。また、ウェブにおける最大圧縮残留応力の大きさは、SBHS500 と SM490Y では降伏応力の0.45倍程度となる。補剛材では、SBHS500 の最大圧縮残留応力は SM490Y と同程度となるが、SBHS500 の最大引張残留応力は SM490Y の0.3倍程度となる。

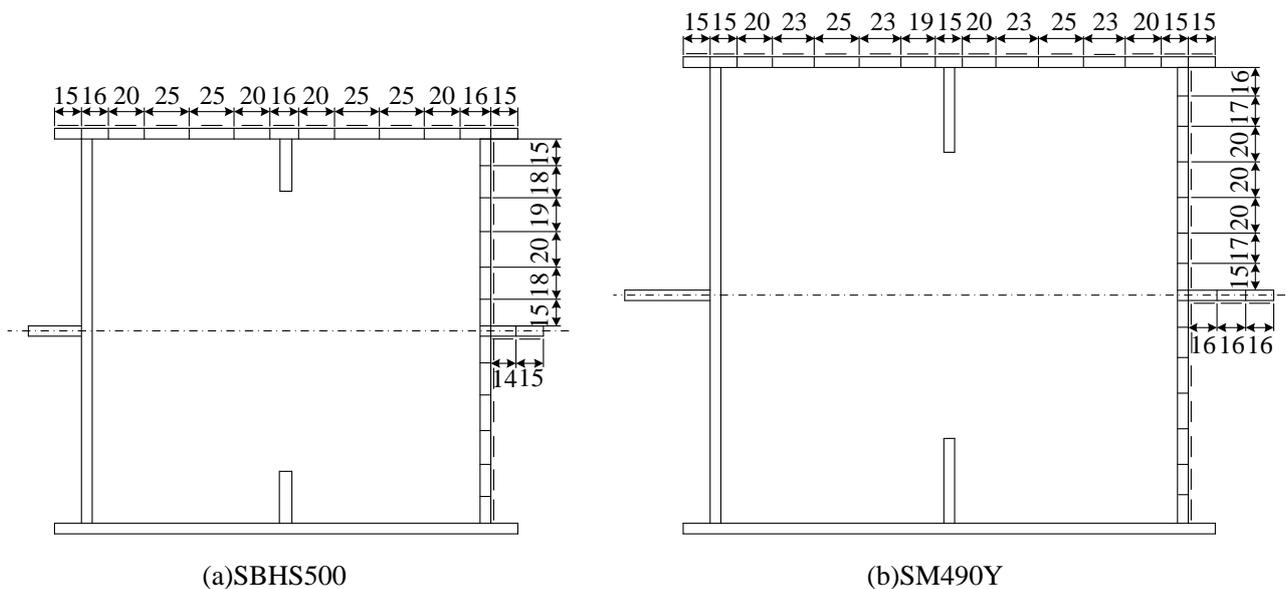


図2 残留応力測定位置

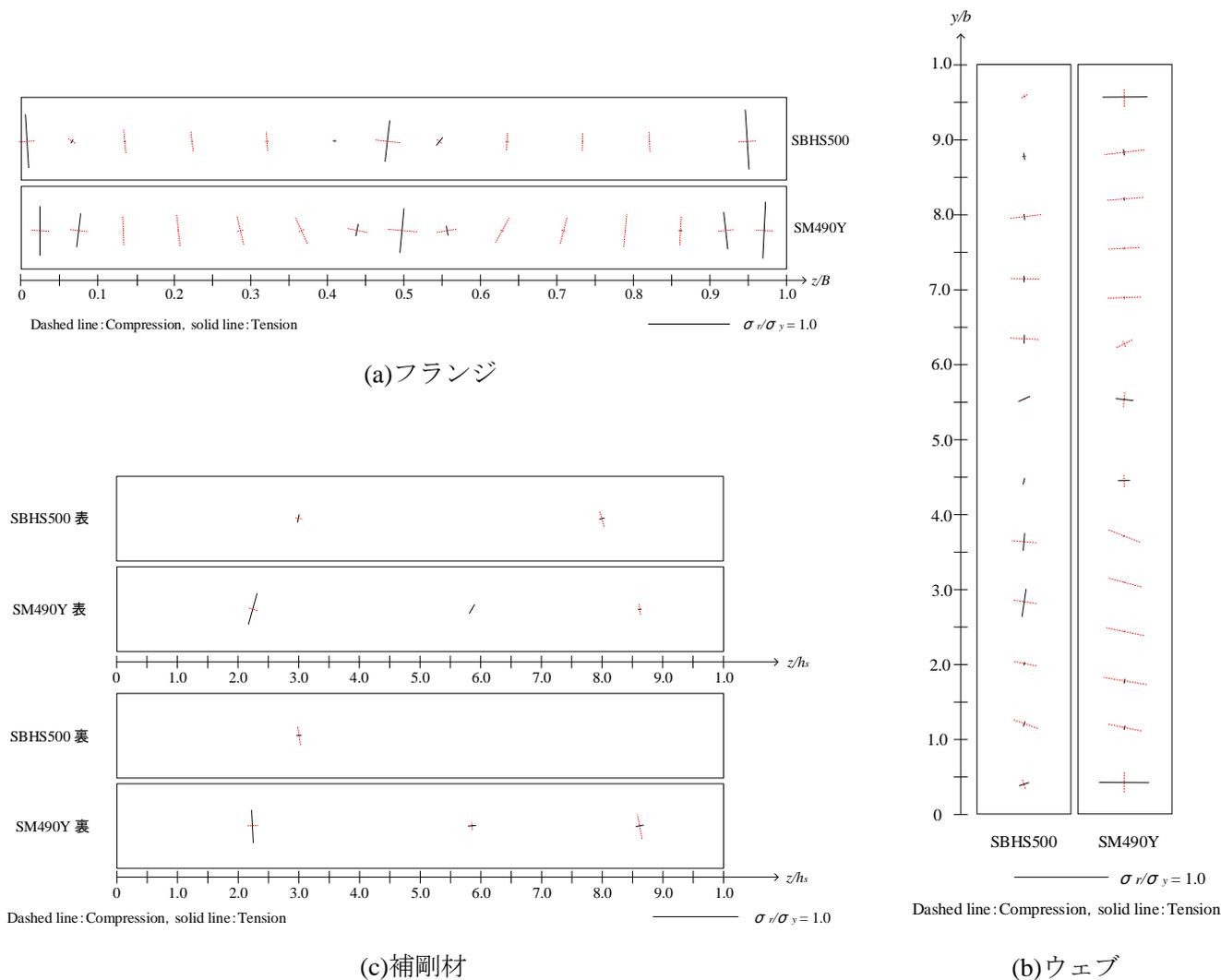


図3 各部材に生じる最大主応力および最小主応力とその方向

図4および図5の太い実線は、残留応力測定結果に基づいたSBHS500およびSM490Yの残留応力分布モデルを表している。この残留応力分布モデルは、各供試体の各断面で測定した溶接部近傍の引張残留応力の平均値、溶接部から遠ざかる領域での圧縮残留応力の平均値を用いて自己平衡を保つ矩形として表している。このようにしてモデル化した残留応力の大きさは、SBHS500の引張側で $0.29\sigma_y$ 、圧縮側で $-0.26\sigma_y$ 、SM490Yの引張側で $0.49\sigma_y$ 、圧縮側で $-0.36\sigma_y$ となる。また、両図中には、比較として炭素鋼の残留応力分布モデル⁶⁾を細い破線で示している。本研究で提案するSBHS500製単リブ補剛板の残留応力分布モデルは、比較したSM490Y製および既往の炭素鋼製のそれに比べて大きさが小さくなるのがわかる。これは、溶接性を向上させたSBHSの材料特性による結果を表していることが考えられるが、今後より多くのデータを検証し精査する必要がある。

5. おわりに

本研究で得られた成果は、次の通りである。

- (1) SBHS500製およびSM490Y製単リブ補剛板の溶接残留応力の絶対量大きい主応力方向は、溶接線とほぼ平行な方向である。
- (2) 本研究で提案したSBHS500製単リブ補剛板の残留応力分布モデルは、降伏応力に対して引張側で0.29倍、圧縮側で0.26倍となる。

参考文献：

1)垂井敬寛, 小野潔, 松村政秀, 吉山純平：SBHS500 および SBHS700 の機械的性質に関する研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012. 2)野阪克義, 奥井義昭, 小室雅人, 宮下剛, 野上邦榮, 長井正嗣, SBHS を用いた鋼 I 桁の耐荷力特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.59A, 2013. 3)島津佑輔, 宮寄靖大, 奥井義昭：SBHS500 および SM490Y の材料特性に関する実験的研究, 第 35 回 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 2017. 4)佐野 栞, 宮寄靖大, 島津佑輔, 奥井義昭：実験による SBHS500 製矩形単リブ補剛短柱の圧縮強度特性, 土木学会全国大会 第 73 回年次学術講演会, 2018. 5)宮寄靖大：SUS323L および SM570 製溶接組立部材断面の残留応力分布, 鋼構造物年次論文報告集, Vol.25, pp397-403, 2017. 6)土木学会鋼構造委員会座屈設計ガイドライン改訂小委員会：鋼構造シリーズ 12 座屈設計ガイドライン 改訂第 2 版[2005 年改訂版], 土木学会, 2005.

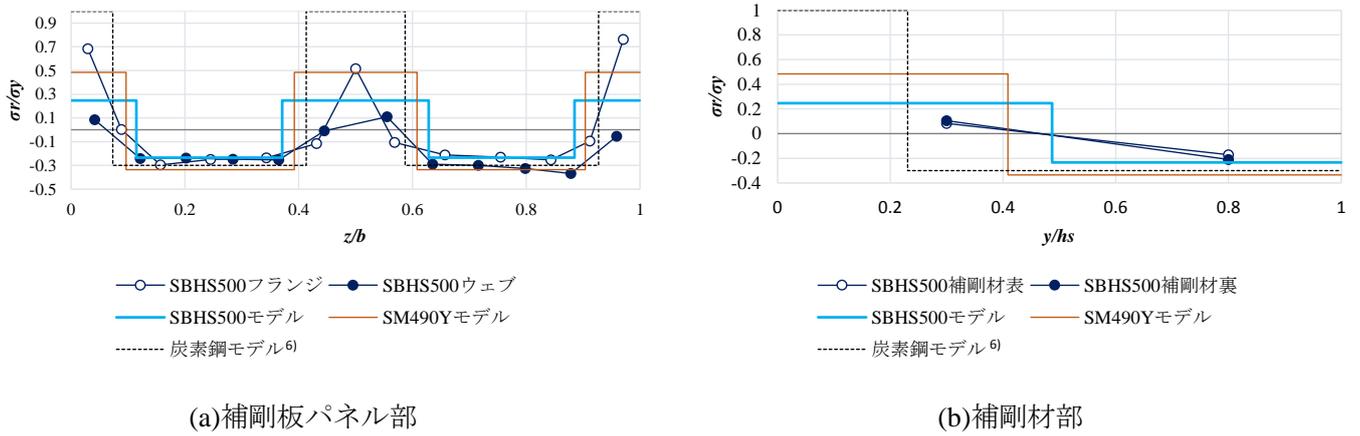


図 4 SBHS500 残留応力分布

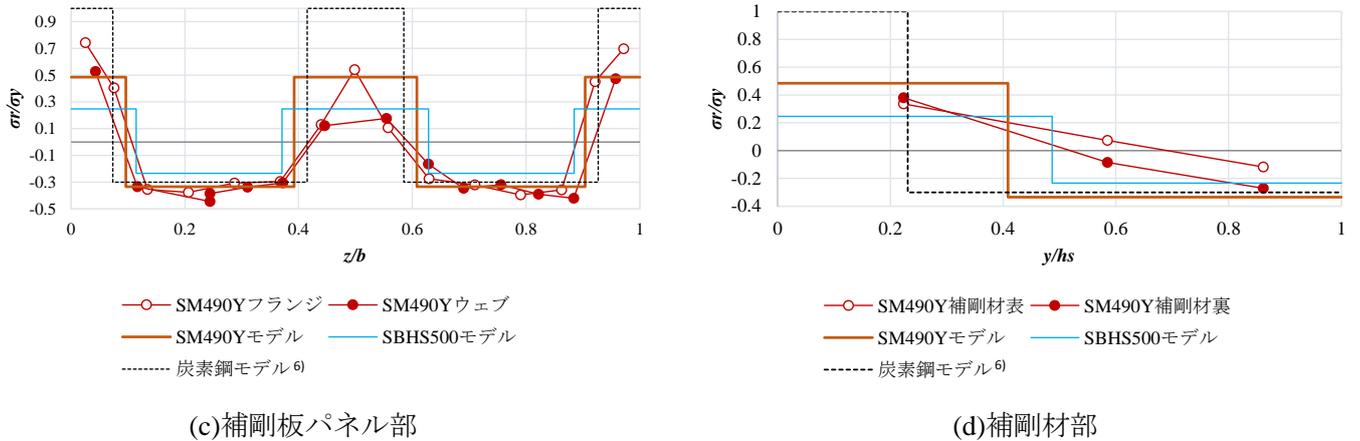


図 5 SM490Y 残留応力分布