

縦補剛材剛比および断面構成が異なる多リブ圧縮補剛板の強度特性

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○井比 亨
長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大
大阪大学大学院 正会員 奈良 敬

1. はじめに

著者らは、土木鋼構造物へのステンレス鋼の活用を目的として、ステンレス鋼と炭素鋼で構成される単リブ補剛板の圧縮強度特性を明らかにした¹⁾。一方、複数の補剛材を有するステンレス鋼製補剛板の強度特性については、これまでに殆ど検討されていない²⁾。そこで本研究では、縦補剛材剛比および断面構成を変化させた SUS304 および SM400 で構成される多リブ補剛板の圧縮強度特性を数値計算³⁾により明らかにする。

2. 単軸面内圧縮負荷を受ける補剛板の数値計算法

対象鋼種は、SUS304 および SM400 である。表 1 は、対象鋼種の機械的性質を示す⁴⁾。同表中の記号は、 μ がポアソン比を、 E がヤング係数を、 $\sigma_{0.2}$ および σ_y が 0.2%耐力および降伏応力を、 $\sigma_{0.01}$ が 0.01%耐力を意味する。また、図 1 は、既往の材料試験結果⁴⁾から得られたこれら材料の応力ひずみ関係を示す。

図 2 は、単軸面内圧縮負荷を受ける 4 本の縦補剛材を有する連続補剛板を示す。対象とする補剛板の形状は、無載荷辺を単純支持とする。また、縦横比 $\alpha(=a/b)$ は 0.5 とし、板パネルの板厚 t は、式(1)で示す幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ を 0.3 から 1.5 まで 0.2 刻みで変化させて決定する。

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_l}{t} \sqrt{\frac{\sigma_F}{E} \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k}} \tag{1}$$

ここで、 σ_F は材料強度であり(ステンレス鋼では $\sigma_{0.2}$ 、炭素鋼では σ_y)、 b_l は縦補剛材間隔を、 k は座屈係数(=4)を意味する。また、連続補剛板の横補剛材については、十分に剛であると仮定し、横補剛材部分を単純支持とする。なお、これらの補剛板に与える初期不整は、文献 1)と同様に考慮する。そして、対象とする補剛板の数値計算モデルは、板パネルの X 方向×Y 方向を 20×40 分割、補剛材の X 方向×Z 方向を 20×4 分割とし、8 節点シェル要素を用いて有限要素離散化を行う。また、表 2 は以上で述べた補剛板の断面構成を示す。同表中の $\gamma_l/\gamma_{l,req}$ は縦補剛材剛比を意味し、1.0、1.5、2.0 に変化させて補剛材の断面を決定する。

3. 数値計算結果および考察

図 3 は、 $\bar{\lambda}_p=0.3, 0.7$ および 1.1 の補剛板の荷重と変位の関係を表す。同図の縦軸は、数値計算より得られた荷重 P を補剛板の降伏荷重 P_F で無次元化した値を、横軸は数値計算で与えた変位 u を降伏変位 u_F で無次元化した値を

キーワード ステンレス鋼, 多リブ補剛板, 縦補剛材剛比, 圧縮強度特性

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 TEL 0258-34-9439

表 1 対象鋼種の機械的性質⁴⁾

鋼種	μ	E (GPa)	$\sigma_{0.2}$ or σ_y (MPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)
SM400	0.3	200	249	—
SUS304	0.3	157	261	146

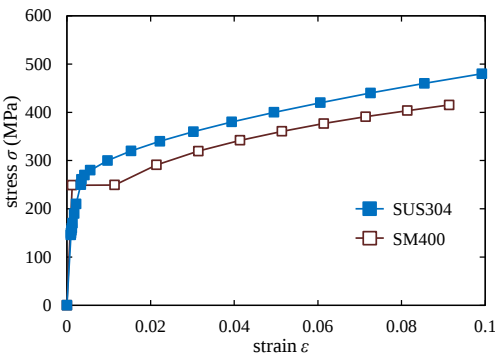


図 1 対象材料の応力ひずみ関係⁴⁾

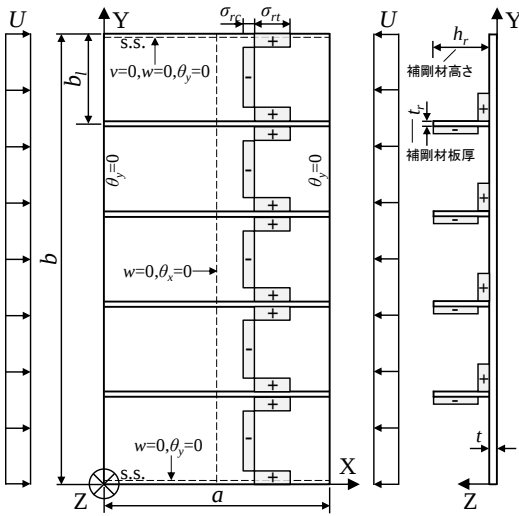


図 2 単軸面内圧縮負荷を受ける補剛板

表 2 圧縮補剛板の断面構成

モデル名	板パネル	補剛材	$\gamma_l / \gamma_{l,req}$
304-304	SUS304	SUS304	
304-SM40	SUS304	SM400	1.0~2.0
SM40-304	SM400	SUS304	(0.5刻み)
SM40-SM40	SM400	SM400	

表す。同図より、荷重と変位の関係は、板パネルがステンレス鋼または炭素鋼により傾向が異なることがわかる。これは、板パネルの断面占有率が補剛材に比べて大きいいため、それぞれの材料特性が補剛板全体に影響を及ぼすためである。

図4は、 $\bar{\lambda}_p=0.3, 0.7$ および 1.1 の補剛板の終局圧縮強度と縦補剛材剛比の関係を表す。同図の縦軸は、数値計算より得られた終局圧縮強度 P_u を補剛板の降伏荷重 P_F で無次元化した値を表す。同図より、 $\bar{\lambda}_p=1.1$ の補剛板の終局圧縮強度は、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ に比べて、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.5$ で最大約 23%、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=2.0$ で最大約 40% 大きくなることわかる。これらの結果は、縦補剛材が強度部材としての機能を発揮し、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}$ の増加による補剛板全体の強度上昇が期待できることを意味している。一方、十分な塑性化の進行の後終局状態となる $\bar{\lambda}_p=0.3$ の補剛板の終局強度は、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ に比べて、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.5$ で最大約 3%、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=2.0$ で最大約 6% 大きくなる程度である。

図5は、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ および 1.5 の補剛板の終局圧縮強度と幅厚比パラメータの関係を表す。同図中には、比較として道路橋示方書の耐荷力曲線⁵⁾および Euler 曲線を示す。同図より、 $\bar{\lambda}_p=0.3$ の場合、304-304 および 304-SM40 の終局圧縮強度は、SM40-SM40 に比べて、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ で最大約 9%、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.5$ で最大約 10% 大きくなることわかる。また、 $\bar{\lambda}_p=0.9$ 以上の場合、SM40-304 の終局圧縮強度は、SM40-SM40 に比べて、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ で約 0.96 倍から約 1.01 倍、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.5$ で約 0.97 倍から等倍となることわかる。

図6は、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ および 1.5 の補剛板の終局圧縮強度時の圧縮変位と幅厚比パラメータの関係を表す。同図の縦軸は、数値計算で与えた終局圧縮強度時の圧縮変位 u_u を降伏変位 u_F で無次元化した値を表す。同図より、 $\bar{\lambda}_p=0.3$ の場合、304-304 および 304-SM40 の終局圧縮強度時の圧縮変位は、SM40-SM40 に比べて、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ で最大約 2.0 倍、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.5$ で最大約 2.4 倍大きくなることわかる。また、 $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ かつ $\bar{\lambda}_p=1.3$ 以上の場合、終局圧縮強度時の圧縮変位の推移が変化する補剛板がある。これは、終局強度時の圧縮補剛板の変形モードが変化することによる。

4. おわりに

本研究で得られた結果は、つぎの通りである。(1)対象とした補剛板の荷重と変位の関係は、板パネルに用いる材料に依存する。(2)ステンレス鋼を使用した補剛板の終局圧縮強度は、炭素鋼のみの補剛板の強度の 95%以上となる。(3) $\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$ かつ $\bar{\lambda}_p=1.3$ 以上の場合、一部の補剛板モデルにおいて、終局強度時の変形モードが変化する。

参考文献 1)井比亨, 宮寄靖大, 奈良敬: 材料と強度が異なる断面構成とした圧縮単リブ補剛板の強度特性, 鋼構造年次論文報告集, 第 23 巻, pp568-575, 2015.11. 2)松下裕明, 矢吹哲哉, 有住康則, 下里哲弘: ステンレス鋼-構造用炭素鋼ハイブリッド圧縮補剛板, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, pp.121-132, 2013. 3)MSC Software Co.: Marc User's Guide, MSC Software Corporation, 2014. 4)宮寄靖大, 奈良敬: 無補剛ステンレス鋼圧縮板の座屈照査法, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.122-134, 2010.3. 5)日本道路協会: 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説, 丸善, 2012.

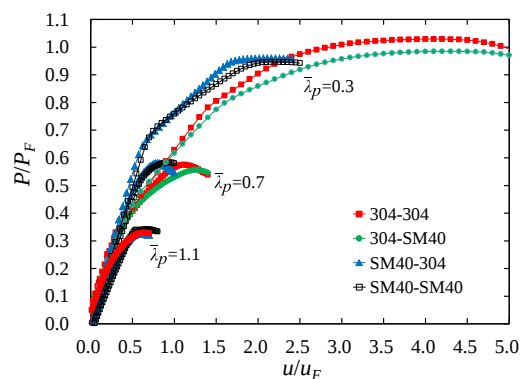


図3 荷重と変位の関係($\gamma_l/\gamma_{l,req}=1.0$)

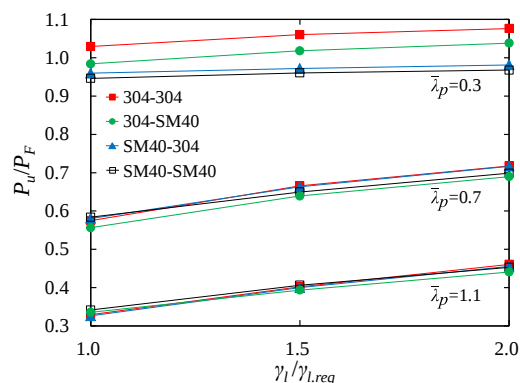


図4 終局圧縮強度と縦補剛材剛比の関係

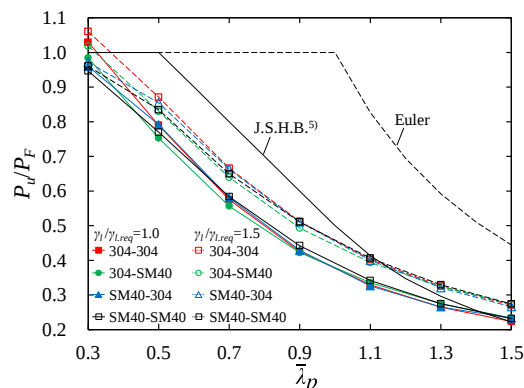


図5 終局圧縮強度と幅厚比パラメータの関係

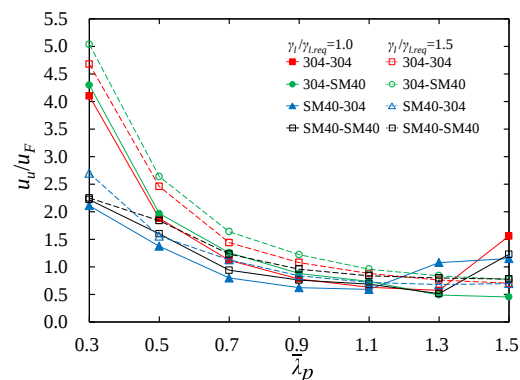


図6 圧縮変位と幅厚比パラメータの関係