

面内純圧縮負荷を受ける SUS410L および SM400 で構成される単リブ補剛板の強度特性

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

ステンレス鋼は、構造用炭素鋼に比べて優れた耐食性を有する。そのため、このような材料を土木構造物の主部材に活用することで、ライフサイクルコストの削減を図ることができると考えられる。しかし、我が国では、それらの設計基準類が整備されていない。そこで本研究では、フェライト系ステンレス鋼 SUS410L を対象に、SM400 とのハイブリッド補剛板の圧縮強度特性を数値計算により明らかにする。対象とする補剛板は1本の縦補剛材を有する連続補剛板とする。

2. 対象材料

本研究での対象材料は、SUS410L および SM400 である。ここで、SM400 を選定した理由は、JIS の規格上 SUS410L とほぼ同程度の材料強度を示すためである。表1はこれらの機械的性質を示す¹⁾。同表中の記号は、 E がヤング係数、 μ がポアソン比、 $\sigma_{0.2}$ および σ_y が 0.2% 耐力および降伏応力を意味する。また、図1は、材料試験により得られた SUS410L および SM400 の応力ひずみ関係を示す¹⁾。

3. 対象とする単リブ補剛板の形状および数値計算法

図2は、面内純圧縮負荷を受ける1本の縦補剛材を有する連続補剛板を示す。補剛板の形状は、同図に示す縦横比 $\alpha(=a/b)$ を0.5, 1.0, 1.5に変化させる。また、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。

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

ここで、 b_l が縦補剛材間隔、 k が座屈係数(=4)を意味する。補剛材については、縦補剛材剛比 γ_l が必要最小剛比 $\gamma_{l,req}$ と等しくなるように設定し²⁾、縦補剛材の幅厚比 h_r/t_r を局部座屈が発生しないように7と定める³⁾。さらに、連続補剛板の横補剛材は、十分に剛であると仮定する。そして、これらの補剛板に与える初期不整は、残留応力および初期たわみを考慮する。残留応力は、圧縮応力 σ_{rc} を $-0.3\sigma_{0.2}(=-0.3\sigma_y)$ 、引張応力 σ_{rt} を $\sigma_{0.2}(=\sigma_y)$ の大きさで与え、自己平衡を保つ矩形分布とする。また、初期たわみは、式(2)で与える。

$$w_0 = \delta_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) + w_{10} \cos\left(\frac{3\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b_l}\right) \tag{2}$$

ここで、 $\delta_0=a/1000$ 、 $w_{10}=b_l/150$ とする。表2は、以上で述べた補剛板の断面構成を示す。これらの数値計算は、汎用非線形有限要素プロ

表 1 対象の鋼種の機械的性質¹⁾

鋼種	μ	E (GPa)	$\sigma_{0.2}$ or σ_y (MPa)
SUS410L	0.3	199	350
SM400	0.3	200	249

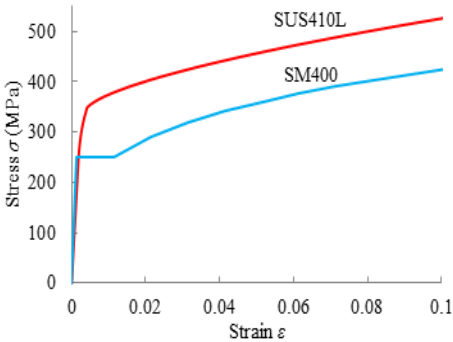


図 1 応力 σ ひずみ ε 関係¹⁾

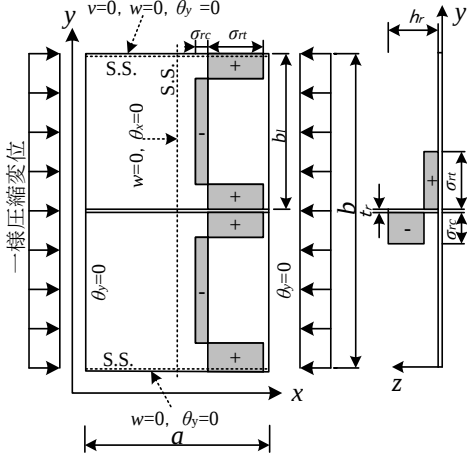


図 2 面内純圧縮負荷を受ける補剛板

表 2 補剛板の断面構成

case	板パネル	補剛材
1	SUS410L	SUS410L
2	SUS410L	SM400
3	SM400	SUS410L
4	SM400	SM400

キーワード SUS410L, SM400, ハイブリッド補剛板, 終局圧縮強度, 単リブ補剛板

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 TEL0258-34-9439

グラム MARC⁴⁾を用いて行う。

4. 対象とした単リブ補剛板の圧縮強度特性

図3は、幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ が0.3, 0.7, 1.1および1.5の場合の終局圧縮強度と縦横比の関係を表す。同図の縦軸は、数値計算より得られた終局圧縮荷重 P_u を降伏荷重 P_y で無次元化した値を示す。同図より、 $\bar{\lambda}_p=0.3$ を除く補剛板の終局圧縮強度は、 $\alpha=0.5$ の場合に最小となることがわかる。また、 $\bar{\lambda}_p=0.3$ については、 $\alpha=0.5$ の場合の終局圧縮強度が $\alpha=1.0$ の場合に比べて、約1%大きくなる程度である。これらの結果およびその他のcaseの結果より、以降では、対象とする単リブ補剛板の終局圧縮強度が最小となる $\alpha=0.5$ の場合の結果について述べる。

図4は、幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ が0.3, 0.7および1.1の場合の荷重と変位の関係を表す。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変位 u を降伏変位 u_y で無次元化した値を表す。ここで、case2 および case3 の u_y は、SUS410L と SM400 の u_y の平均値とする。同図より、荷重と変位の関係は、板パネルの違いにより傾向が異なることがわかる。これは、補剛板の強度が断面占有率の大きい板パネルに依存することを意味している。また、この理由は、断面占有率が大きい板パネルにステンレス鋼を用いると、比例限界点後にひずみの増加とともに、連続的な応力上昇を示すラウンドハウス型の応力ひずみ関係を有する材料特性の影響によるものである。

図5および図6は、各caseの終局圧縮強度と幅厚比パラメータの関係およびcase4に対する各caseの終局圧縮強度比を示す。また、図5中に比較として補剛板の耐力曲線を示す²⁾。図6の縦軸は、各caseの終局圧縮強度をcase4の終局圧縮強度で除した値を表している。図6より、 $\bar{\lambda}_p$ が0.7以下の場合、各caseの終局圧縮強度は、case4に比べて1~6%程度大きくなることがわかる。また、補剛材がSUS410Lの場合の終局圧縮強度比の平均値は、SM400のみの補剛板と同程度以上となることがわかる。そして、case1およびcase2については、幅厚比パラメータが小さくなるとともに終局圧縮強度比が上昇することがわかる。これは塑性化が十分に進行した後に終局強度に至るステンレス鋼を補剛板の板パネルに用いることで、ひずみ硬化による応力上昇が炭素鋼のそれに比べて大きくなることによる。

5. おわりに

本研究で得られた結果は、次のとおりである。(1)対象とした補剛板は、縦横比 α が0.5の場合に終局圧縮強度が最小となる。(2)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より、その傾向が異なる。(3) $\bar{\lambda}_p=0.7$ 以下のハイブリッド補剛板の終局圧縮強度は、SM400のみの補剛板と同程度以上となる。(4)補剛材がSUS410Lの補剛板の終局圧縮強度は、SM400のみの補剛板と同程度以上となる。

参考文献 1)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, 構造工学論集, Vol.56A, pp.122-134, 2010.3. 2)日本道路協会: 道路橋示方書(I 共通編, II 鋼橋編)・同解説, 2012.3. 3)北田 俊行, 中井 博, 越智 内士: 高張力鋼を用いた圧縮板・圧縮補剛板の終局強度に関する研究, 構造工学論集, Vol.46A, pp.179-190, 2000.3. 4)MSC.software Co.: Marc User's Guide, Software Corporation, 2010.

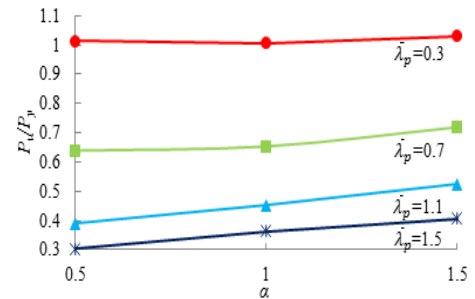


図3 終局圧縮強度と縦横比の関係(case2)

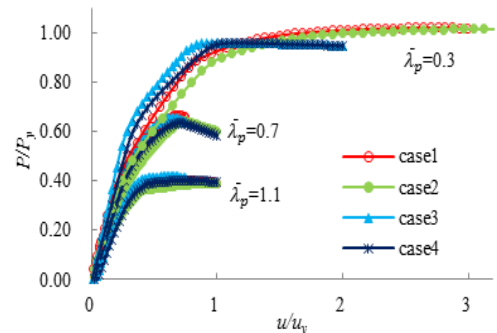


図4 補剛板の荷重と変位の関係

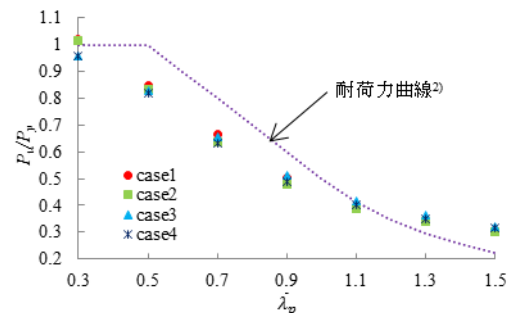


図5 終局圧縮強度と幅厚比パラメータの関係

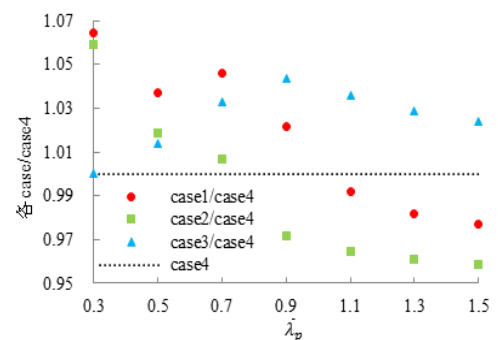


図6 case4に対する終局圧縮強度比