

単軸面内準静的負荷時における SUS304 および SUS410L 製周辺単純支持板の極限圧縮強度特性

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○ 加藤 健太郎
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、ステンレス鋼を主部材に活用した土木構造物は、維持管理費の削減が可能となる．我が国を含む地震多発地域において、このような特徴を有するステンレス鋼を構造用部材に活用するには、繰返し荷重下におけるステンレス鋼部材の力学的特性を把握することが必要である．そこで本研究では、単軸面内準静的負荷時におけるステンレス鋼周辺単純支持板の極限圧縮強度特性を数値計算¹⁾により明らかにする．これらの結果は、同様にして数値計算を行う炭素鋼板の結果と比較しながら示す．

2. 対象材料

本研究で対象とするステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 およびフェライト系ステンレス鋼 SUS410L である．また、比較に用いる炭素鋼は、これらのステンレス鋼と JIS 規格上同程度の材料強度を有する SM400 とする．表 1 は、対象とする鋼材の材料定数^{2),3)}を示す．表中の記号は、 $\sigma_{0.2}$ が 0.2% 耐力を、 σ_y が降伏応力を、 E がヤング係数を、 ν がポアソン比を表す．また、図 1 は数値計算¹⁾に用いた応力塑性ひずみ関係を示す．同図に示すステンレス鋼の塑性開始点は、0.01% 耐力点としている．また、対象とする材料は、J2 流れ則に従う材料とし、移動硬化率を 0.5 とした複合硬化則を仮定する．

3. 周辺単純支持板

図 2 は、対象とする周辺単純支持板を示す．板の形状は、縦横比 $\alpha (= a/b)$ を 1.0 とし、式 (1) に示す幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ を 0.2 から 1.3 まで 0.1 刻みで変化させて板厚 t を決定する．

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_{0.2}}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (1)$$

ここで、 k は板の座屈係数 ($=4.0$) を表す．なお、炭素鋼の場合は、式 (1) 中の $\sigma_{0.2}$ を σ_y に置換する．対象とする板には、初期不整として残留応力と初期たわみを考慮する．初期不整の分布形状と大きさについては、文献 4) を参照されたい．

対象とする板の解析モデルは、変形の対称性を考慮して Y 軸方向の $b/2$ 部分を対象とし、8 節点シェル要素を用いた 24×12 分割として離散化する．同モデルに与える準静的負荷は、図 3 に示す圧縮側片振り 12 サイクルの強制変位とする．これらの振幅の大きさは、0.2% 耐力時の変位 $u_{0.2}$ または降伏応力時の変位 u_y に対して、図 3 中の振幅倍率 n を 1, 2, 3, 4, 5 に変化させて決定する．

4. 対象とした周辺単純支持板の極限圧縮強度特性

図 4 は、 $n=5$ とした負荷条件下の場合について、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の SUS304 と SM400 の荷重と変位の関係を示す．同図の縦軸は数値計算により得られた荷重 P を 0.2% 耐力時の荷重 $P_{0.2}$ または降伏応力時の荷重 P_y で無次元化した値を、横軸は数値

表 1 対象鋼種の材料特性^{2),3)}

鋼種	$\sigma_{0.2}$ or σ_y (MPa)	E (GPa)	ν
SUS304	261	157	0.3
SUS410L	350	199	0.3
SM400	249	200	0.3

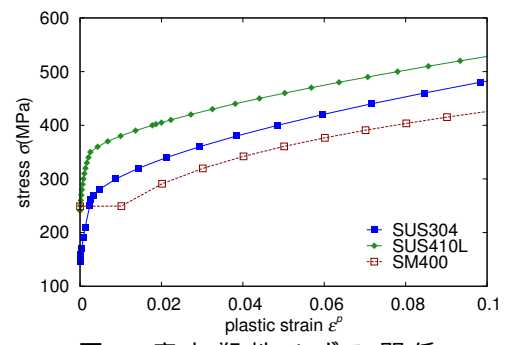


図 1 応力塑性ひずみ関係

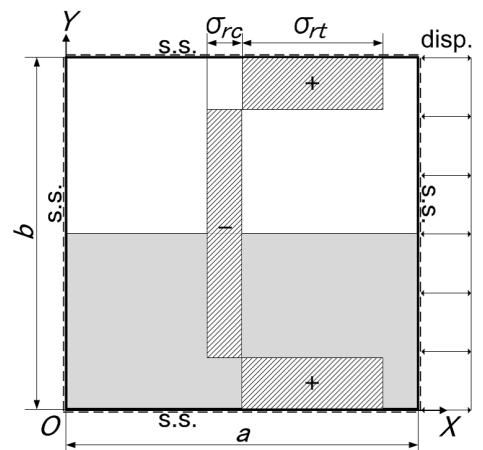


図 2 準静的圧縮負荷を受ける周辺単純支持板

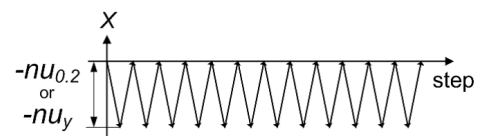


図 3 準静的圧縮負荷条件

キーワード SUS304, SUS410L, 極限圧縮強度, 周辺単純支持板, 準静的負荷

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

計算にて与えた変位 u を $u_{0.2}$ または u_y で無次元化した値を表す。同図より、SM400 は、SUS304 に比べて、サイクル数の増大に伴う1サイクル目からの荷重上昇が大きくなることとわかる。これは、炭素鋼が降伏棚を有する応力ひずみ関係を示すことから、ステンレス鋼に比べて、初期負荷時の塑性化の進行が小さいためである。

図5は、 $\bar{\lambda}_p$ が0.3, 0.5, 0.7および1.1の周辺単純支持板の極限圧縮強度と振幅倍率の関係を幅厚比パラメータごとに示す。同図の縦軸は、与えた負荷条件下で得られた極限圧縮荷重 P_u を $P_{0.2}$ または P_y で無次元化した値を表す。同図より、 $\bar{\lambda}_p$ が0.3の周辺単純支持板の極限圧縮強度は、 $n=5$ の場合に最大となることがわかる。これは、板の強度が材料強度に強く依存する幅厚比パラメータが小さい板の場合、十分な塑性化の進行により、振幅倍率の増大に伴い極限圧縮強度が大きくなること意味する。つぎに、 $\bar{\lambda}_p$ が0.5の板の極限圧縮強度は、SUS304 および SUS410L が $n=3$ の場合に、SM400 が $n=4$ の場合に最大となることがわかる。これは、炭素鋼が降伏棚を超え、ひずみ硬化領域で極限圧縮強度を迎えるため、ステンレス鋼に比べて振幅倍率が大きくなることを示している。さらに、 $\bar{\lambda}_p$ が0.7および1.1の板の極限圧縮強度は、SUS304 が $n=3$ の場合に、SUS410L および SM400 が $n=2$ の場合に最大となることがわかる。この理由は、幅厚比パラメータが大きい板の場合、SUS304 が SUS410L および SM400 に比べて低降伏比を示すことから、塑性化に伴う応力上昇が大きくなるためである。

図6は、図5および紙面の都合上割愛したその他の結果により得られた極限圧縮強度と幅厚比パラメータの関係を示す。同図には、比較として、宮寄ら³⁾の耐力力曲線および道路橋示方書の耐力力曲線⁵⁾を示す。同図より、 $\bar{\lambda}_p \geq 0.4$ の SUS304 の極限圧縮強度は、SM400 に比べて、約3から9%大きくなることとわかる。また、 $\bar{\lambda}_p \geq 0.5$ の SUS410L についても、SM400 に比べて、極限圧縮強度が同等以上となることがわかる。なお、 $\bar{\lambda}_p \leq 0.4$ の SUS410L の極限圧縮強度が SM400 に比べて最大で約16%小さくなる理由は、SUS410L が SM400 に比べて降伏比が大きいため、ひずみ硬化領域における応力上昇が小さいことによる。

5. おわりに

本研究により得られた内容は、つぎの通りである。(1)対象としたステンレス鋼周辺単純支持板の荷重と変位の関係は、比較した炭素鋼板に比べて、初期負荷時から塑性化の進行が大きくなる。(2)幅厚比パラメータが0.6以上のSUS304製周辺単純支持板は、比較したSM400製板に比べて、極限圧縮強度が最大となる振幅倍率が大きくなる。(3)幅厚比パラメータが0.5以上のステンレス鋼周辺単純支持板の極限圧縮強度は、比較した炭素鋼板に比べて、同等以上となり、SUS304の場合に最大で約1.1倍の大きさとなる。

参考文献

- 1) MSC Software Co.: Marc User's Guide, MSC Software Corporation, 2010.
- 2) 奈良敬, 出口恭司, 小松定夫: ひずみ硬化を考慮した圧縮板の極限強度に関する研究, 構造工学論文集, Vol.33A, pp.141-150, 1987.
- 3) 宮寄靖大, 奈良敬: 無補剛ステンレス圧縮板の座屈照査法, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.122-134, 2010.
- 4) 加藤健太郎, 宮寄靖大, 奈良敬: 単軸面内準静的負荷を受けるステンレス鋼板の強度特性, 鋼構造年次論文報告集, 第21巻, pp.131-138, 2013.
- 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.

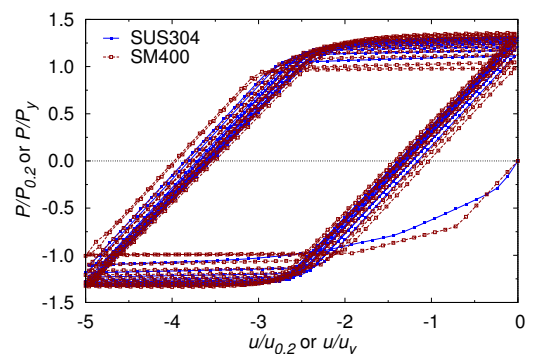


図4 荷重と変位の関係 ($\bar{\lambda}_p = 0.3$)

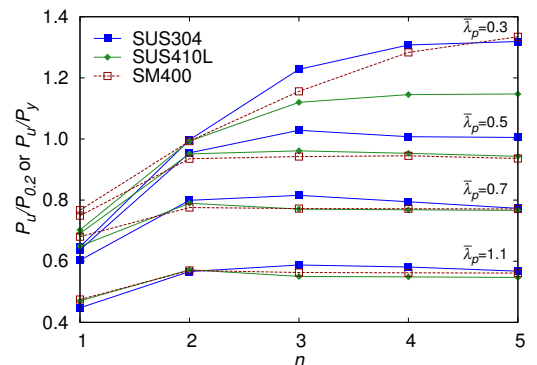


図5 極限圧縮強度と振幅倍率の関係

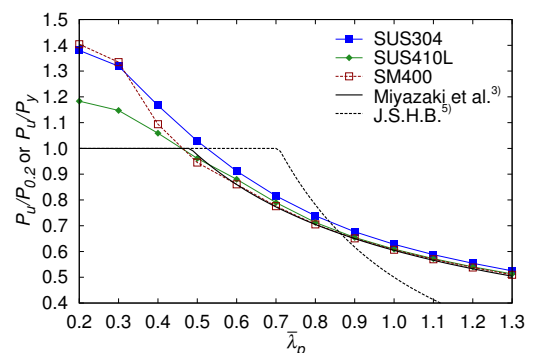


図6 極限圧縮強度と幅厚比パラメータの関係