

単軸面内準静的繰返し載荷を受けるSUS304製周辺単純支持板の強度特性

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 宮崎 靖大
大阪大学大学院 正会員 奈良 敬

1. まえがき

土木構造物は、超長期的な供用が期待される。このため、耐食性に優れるステンレス鋼が土木構造物の主部材に使用されるようになってきた。地震多発地域に位置するわが国では、このようなステンレス鋼を構造用部材として利用する場合、地震などによる繰返し荷重下での強度特性を把握する必要がある。

本研究では、土木鋼構造物の基本要素である周辺単純支持板を対象に、SUS304製板が準静的負荷を受ける際の力学的挙動を数値計算¹⁾により明らかにする。これらは、同様にして行ったSS400製板の結果と比較しながら実施する。

2. 解析方法

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼SUS304を対象とする。また、比較に用いる炭素鋼は、材料強度がほぼ等しいSS400とする。表1は、これらの材料特性^{2),3)}を示す。表中の記号は、 $\sigma_{0.01}$ が0.01%耐力を、 $\sigma_{0.2}$ が0.2%耐力(降伏応力 σ_y)を、 E がヤング係数を、 ν がポアソン比を表す。対象とする材料は、一軸化の応力-塑性ひずみ関係により、図1に示すMulti-linear型による近似で表現する。なお、SUS304は0.01%耐力を塑性開始点とする。数値計算における上記2鋼種は、J2流れ則に従い、移動硬化則を仮定する。

図2(a)は、対象とする周辺単純支持板を示す。板の形状は、後藤ら⁴⁾が対象とした周辺単純支持板を参考にして、縦横比 α を1.0とし、式(1)に示す幅厚比パラメータ R を0.7、0.9および1.8と変化させる。

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

ここで、 b および t は板の載荷辺長さおよび板厚を、 k は板の座屈係数(=4.0)を意味する。準静的負荷は、図2(b)に示すように、 X 軸方向に両振りの定振幅で6サイクルを与える。また、強制変位の大きさは、表2に示すように、1つの R に対して u_1 および u_2 を設定する。解析モデルは、変形の対称性を考慮して、 Y 軸方向の $b/2$ 部分を対象に、 20×10 分割とした8節点シェル要素により有限要素離散化を行う。また、数値計算では、材料の変化および残留応力考慮の有無が板の強度特性に与える影響を調べるため、式(2)で与える初期たわみ W_0 の大きさを十分小さくしている。

$$W_0 = b \sin \frac{\pi X}{b} \sin \frac{\pi Y}{b} \times 10^{-4} \quad (2)$$

表1 各鋼材の材料定数

鋼種	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	E (GPa)	ν
SUS304	146	261	157	0.3
SS400	—	249.41	207	0.287

表2 板の諸元と変位制御量⁴⁾

R	$u_1/a \times 10^3$	$u_2/a \times 10^3$
0.7	3.0	3.5
0.9	1.2	1.5
1.8	1.25	1.7

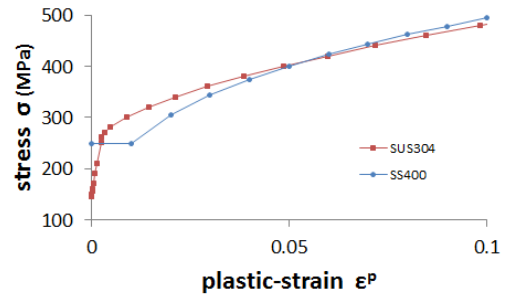


図1 応力-塑性ひずみ関係

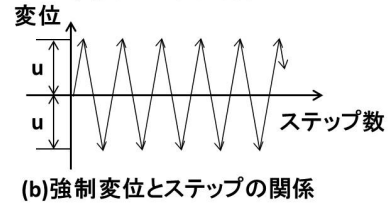
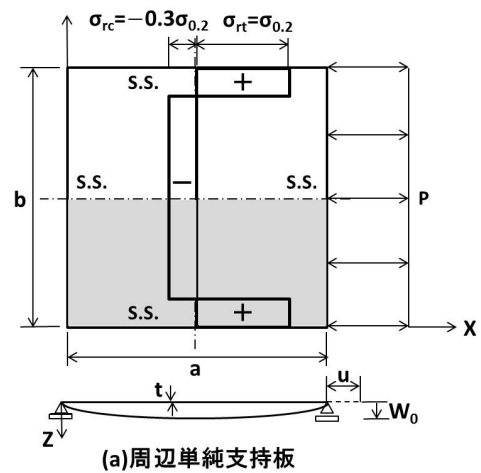


図2 周辺単純支持板

キーワード SUS304, SS400, 応力ひずみ関係, 準静的負荷, 強度特性
連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888 TEL 0258-34-9439

残留応力は，図2中に示す自己平衡を保つ矩形分布で与える．

3. 結果と考察

図3は，残留応力を考慮した幅厚比パラメータ R が0.9と1.8の場合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 $P_{0.2}$ (降伏荷重 P_y) で無次元化した値を，横軸は与えた変位 u_1 または u_2 を板の長さ a で無次元化した値を示す．同図のSUS304の最大引張り荷重が1.0に達しない理由は，数値計算上での塑性開始点が0.01%耐力としているためである．まず，強制変位 u_1 を与えた同図(a)より， $R=0.9$ のSUS304の荷重変位関係は，SS400に比べて塑性化の進行が大きくなることがわかる．つぎに，同図(a)および(b)のSUS304のサイクル数増大に伴う荷重変位関係の変化は，SS400に比べて小さいことがわかる．

図4は， $R=0.7$ および0.9の場合の最大圧縮荷重の変化率とサイクル数の関係を示す．同図の縦軸は各サイクルの最大圧縮荷重 $P_{\min}$ を1サイクル目の最大圧縮荷重 $P_{\min 1}$ で無次元化した値を，横軸はサイクル数を示す．強制変位 u_1 を与えた同図(a)より，残留応力を考慮した $R=0.9$ のSS400では，2サイクル目以降の最大圧縮荷重の低下量が考慮しない場合に比べて大きくなる．また，残留応力を考慮した $R=0.7$ のSUS304では，6サイクル目の最大圧縮荷重の低下量が考慮しない場合に比べて約10%大きくなる．つぎに，強制変位 u_2 を与えた同図(b)では，残留応力を考慮した $R=0.9$ のSUS304で，4サイクル目以降，最大圧縮荷重の低下量が考慮しない場合に比べて大きくなり，6サイクル目で約20%の差が生じている．一方，同図(b)でのSS400は， $R=0.7, 0.9$ とともに残留応力考慮の有無によるサイクル数増大に伴う荷重低下率の変化は同図(a)に比べて小さいことがわかる．そして， u_1 および u_2 のいずれを与えた場合にも $R=0.7$ のSS400では，残留応力を考慮しない結果が，考慮する結果に比べて最大圧縮荷重低下量が大きくなる．以上より，残留応力を考慮しない $R=0.9$ の結果を除いたSUS304の3サイクル以下での圧縮強度低下率は，SS400に比べて小さくなる．今後，材料の違いによる準静的負荷時の強度特性をより明確にするためには，現実的な初期たわみを与え，圧縮を先攻させた場合の挙動などを検証する必要がある．

4. あとがき

本研究で得た内容は，次の通りである．(1) 準静的負荷を受けるSUS304製周辺単純支持板の荷重変位関係は，サイクル数増大に伴う変化がSS400に比べて小さい．(2) 強制変位 u_2 与えた際の5サイクル以上の結果を除いて，残留応力を考慮したSUS304の最大圧縮荷重の低下率は，SS400に比べて小さい．

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) 例えば, 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. 4) 後藤芳顕, 松岡宏典, 王慶雲, 鳥羽保行: 圧縮板の塑性座屈モードの局所化と変形能の低下, 土木学会論文集, No.513 / I-31, pp.39-51, 1995年4月

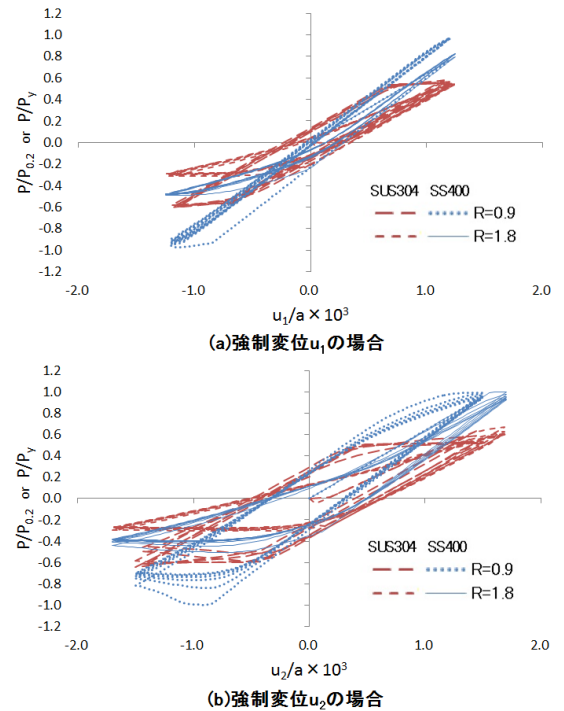


図3 繰返し荷重下の挙動(残留応力あり)

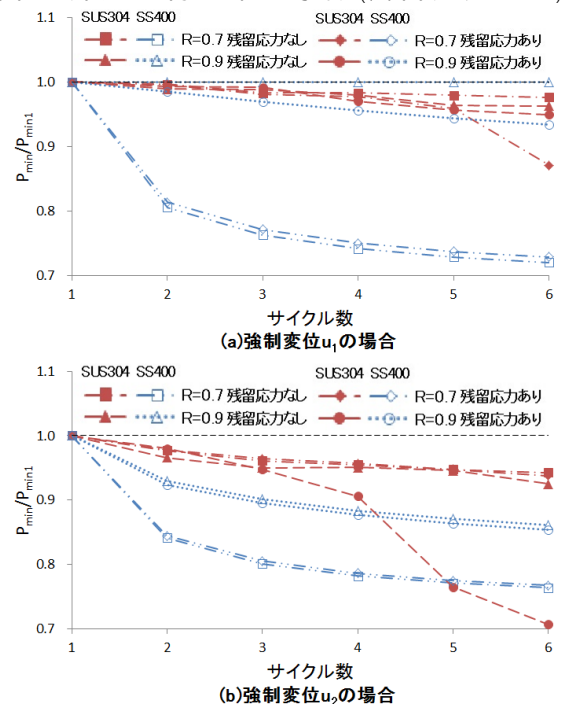


図4 最大圧縮荷重とサイクル数の関係