単 軸 面 内 準 静 的 負 荷 を 受 け る オ ー ス テ ナ イ ト 系 ス テ ン レ ス 鋼 周 辺 単 純 支 持 板 の 強 度 お よ び 変 形 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 宮嵜 靖大
 - 大阪大学大学院 正会員 奈良

敬

(1)

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,ステンレス鋼構造物が,諸外国にて,数多く設計されるようになってきた¹⁾.地震多発地域に位置する我が国の土木構造物へのステンレス鋼の使用は,繰返し荷重下での力学的挙動を明らかにする必要がある.そこで本研究では,単軸面内準静的負荷を受けるオーステナイト系ステンレス鋼周辺単純支持板の強度特性を数値計算²⁾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. 数值計算法

本研究で対象とする材料は,オー ステナイト系ステンレス鋼 SUS304, SUS316 および SUS304N2 である.ま た,比較に用いる炭素鋼は,これら のステンレス鋼と材料強度が同程 度である SM400 および SM490Y を対 象とする.表1は,これら鋼種の機 械的性質^{3),4)}を示す.表中の降伏応 表1 材料の機械的性質^{3),4)}

鋼種	0.01%耐力	降 伏 応 力	弾 性 係 数	ポアソン比
	$\sigma_{0.01}(\mathrm{MPa})$	$\sigma_F(MPa)$	E(GPa)	ν
SUS304	146	261	157	0.3
SUS316	162	254	174	0.3
SUS304N2	320	402	173	0.3
SM400		249	200	0.3
SM490Y		388	200	0.3

カ σ_F は,ステンレス鋼の場合が0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ を,炭素鋼の場合が降伏応力 σ_y を意味している.対象とする材料は,数値計算にて,図1に示す応力 σ -塑性ひずみ ε^p 関係により,マルチリニア型の近似で表現する.なお,ステンレス鋼の塑性開始点は,0.01%耐力点とする.また,対象とするすべての材料は,J2流れ則に従い,式(1)に示す移動硬化率 f_h を0.5とした複合硬化則を仮定する.

$$f_h = \frac{3}{2} \frac{d\bar{\alpha}}{d\bar{\varepsilon^p}}$$

(4)

ここで,*d*ā は相当背応力増分を,*d*ɛ̄^pは相当塑性ひずみ増分を表す.

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a/bを1.0,載荷辺長bを150mmとし,式(2)に示す幅厚比パラ メータ $\overline{\lambda_p}$ を0.3から1.3まで0.2刻みで変化させる.

$$\bar{\lambda_p} = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_F}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \tag{2}$$

ここで,*t* は板厚,*k* は座屈係数 (= 4.0)を表す.残留応力については,図2に示す自己平衡を保つ矩形分布で与え,式(3)に示す大きさとする.

$$\sigma_{rt} = \sigma_F \, , \, \sigma_{rc} = -0.3\sigma_F \tag{3}$$

また,初期たわみW₀については,板の最大たわみを構造用炭素 鋼板の設計許容値であるb/150とし,式(4)に示す形状で与える.

$$W_0 = \frac{b}{150} \sin \frac{\pi X}{a} \sin \frac{\pi Y}{b}$$

解析モデルは,変形の対称性を考慮して,Y軸方向について b/2部分を対象に,20×8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.同モデルに与える準静的負荷は,強制変

キーワード オーステナイト系ステンレス鋼, 複合硬化則, 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



位で与える.強制変位の大きさは,降伏変位*u_F*(0.2%耐力時の変 位 u_{0.2} または降伏応力時の変位 u_y)の1,2および3倍とする.ま た,これらは,板のX軸方向に圧縮変位を先行させた両振りの 定振幅6サイクルを与える.

3. 数値計算結果および考察

図 3 は , 幅 厚 比 パ ラ メ ー タ λ_p が 0.5 の SUS304N2 お よ び SM490Y について,降伏変位の3倍の強制変位3u_Fを与えた場合の荷 重と変位の関係を示す、同図の縦軸は数値計算で得られた載 荷辺での荷重Pを降伏荷重P_F(0.2%耐力時の荷重P_{0.2}または降 伏応力時の荷重 P_u)で無次元化した値を,横軸は同様にして 得た変位*u*を降伏変位*u_F*で無次元化した値を表す.同図より, SUS304N2は, SM490Yに比べて繰返し数の増大に伴う荷重と 変位の関係で囲まれる面積が大きいことがわかる.これは, ス テ ン レ ス 鋼 で は 降 伏 棚 を 有 す る 応 力 塑 性 ひ ず み 関 係 を 示 す炭素鋼に比べて,連続したひずみ硬化が発生するためであ る.紙面の都合上割愛するSUS304,SUS316およびSM400とその 他の $\overline{\lambda_n}$ ならびに強制変位量についても同様の結果を得る.

図 4 お よ び 図 5 は , 3u_F を 与 え た 鋼 板 の 最 大 圧 縮 荷 重 お よ び そのときの累積変位と $ar{\lambda_p}$ の関係を示す.図4の縦軸は,数値計 算で得られた最大圧縮荷重P_{c max}をP_Fで無次元化した値を表 す.また,図5の縦軸は,最大圧縮荷重時までに累積した変位 *u_c*を*u_F*で無次元化した値を表す.図4より,対象としたステン レス鋼は, 比較した炭素鋼に比べて最大圧縮荷重が約1から 12% 大きくなることがわかる.また,図5 に示すステンレス鋼 の最大圧縮荷重時の累積変位は, $\bar{\lambda_p}=0.3$ の場合に炭素鋼と 同程度となり, SUS304N2を除く $\lambda_p = 0.5$ の場合に炭素鋼の約2 倍となる.さらに, $ar{\lambda_p} \geq 0.7$ の場合では,ステンレス鋼の最大 圧縮荷重時の累積変位が,炭素鋼に比べて約3%大きくなる.

図6は, 3u_Fを与えた鋼板の最大圧縮荷重時の面外たわみと $\overline{\lambda_p}$ の関係を示す.同図の縦軸は,解析モデルの(X,Y) = (a/2,b/2)点での最大圧縮荷重時の面外たわみ*w* + *W*₀を板厚*t*で無次元 化した値を表す.同図より, $ar{\lambda_v}=0.3$ のステンレス鋼は,炭素鋼 に比べて,最大圧縮荷重時の面外たわみが平均で約8%小さく

なることがわかる.また,λ̄₂≥0.5のステンレス鋼では,最大 図6 最大圧縮荷重時の面外たわみ 圧縮荷重時の面外たわみが炭素鋼に比べて大きく, SUS304N2



1.5



幅 厚 比 パ ラ メ ー タ の 関 係



と幅厚比パラメータの関係

を除く $\bar{\lambda_p}=0.5$ の場合に炭素鋼の約1.8倍, $\bar{\lambda_p}\geq 0.7$ の場合に炭素鋼の約1.2から1.4倍となる. 以 上 の 結 果 は , ス テ ン レ ス 鋼 が ラ ウ ン ド 八 ウ ス 型 の 応 力 ひ ず み 関 係 を 示 す た め ,降 伏 棚 を 有 す る 炭 素 鋼 に 比 べ て , 十 分 な 塑 性 化 が 進 行 し た 後 に 終 局 強 度 に 達 す る 板 で は , ス テ ン レ ス 鋼 の 材 料 特性が板の強度特性に有効となることを示している.

4. おわりに

本 研 究 で 得 ら れ た 内 容 は , つ ぎ の 通 り で あ る . (1) 準 静 的 負 荷 を 受 け る ス テ ン レ ス 鋼 板 の 最 大 圧縮荷重は,最大で炭素鋼板の約1.1倍となる.(2)ステンレス鋼板の最大圧縮荷重時の累積変位 および面外たわみは,最大で炭素鋼板の約4.2倍および約1.8倍,最小で炭素鋼板の約1.0倍および 約0.9倍となる.

参考文献

1) 日本鋼構造協会: 土木技術者のためのステンレス鋼ガイドブック, ステンレス鋼の土木構造物への適用 検討小委員会, pp.61-73, 2009.2)MSC.Software Co.: Marc User's Guide, MSC.Software Corporation, 2010.3) 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, 1987.4) 宮嵜靖大,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.