

無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度評価法

大阪大学 正会員 ○宮寄 靖大
大阪大学 正会員 奈良 敬

1. まえがき

ステンレス鋼は、優れた耐食性を有するため、長期間供用される土木構造物の構造材料として適している。著者ら¹⁾は、これまでにこのようなステンレス鋼を対象として、材料および板の強度特性を実験と数値計算により明らかにしてきた。ここでは、無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度特性を評価することを目的として、構造用炭素鋼板の終局強度と同様にした評価法に加えて、ステンレス鋼が有する優れたひずみ硬化特性を有効に活用する手法として、板の強度が材料強度を上回る形状の板に対する終局強度評価法を提案する。

2. 無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度評価法

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, SUS316, SUS304N2, フェライト系ステンレス鋼 SUS410L および二相系ステンレス鋼 SUS329J3L である。本研究では、周辺単純支持板および自由突出板を対象とする^{1),2)}。

図1は、数値計算により得られた終局強度 $\sigma_u/\sigma_{0.2}$ と式(1)で表される幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。

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

ここに、 b は載荷辺の板幅、 t は板厚、 $\sigma_{0.2}$ は 0.2%耐力、 E はヤング係数、 μ はポアソン比、 k は板の座屈係数(周辺単純支持版では 4.0, 自由突出板では 0.425)を表す。

無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度 $\sigma_u/\sigma_{0.2}$ は、次のようにして評価することを提案する。

(a)無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度が材料強度 $\sigma_{0.2}$ 以下となる場合：このような板については、式(2)を用いて板の終局強度を評価することができる¹⁾。

$$\frac{\tilde{N}_u}{N_{0.2}} = \left(\frac{a}{\bar{\lambda}_p} \right)^b \quad (\text{ただし, } \leq 1) \quad (2)$$

ここで、 a, b は定数で、それらを表1に示す。また、 \tilde{N}_u は終局強度の予測値、 $N_{0.2}$ は 0.2%耐力時の圧縮力(= $bt\sigma_{0.2}$)である。

(b)無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度が材料強度 $\sigma_{0.2}$ を超える場合：このような板については、①無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度時平均圧縮ひずみを推定²⁾し、②推定したひずみを式(3)から(6)で表されるステンレス鋼の応力ひずみ関係¹⁾に代入し、そのときの応力を板の終局強度とする。ここで、式(3)から(6)中のパラメータは表2に示す通りで、その説明¹⁾については、紙面の都合上割愛する。

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{\sigma}{E} & (0 \leq \sigma < \sigma_p) \\ \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_A & (\sigma_p \leq \sigma < \sigma_{0.2}) \\ \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_B + \varepsilon_C & (\sigma_{0.2} \leq \sigma) \end{cases} \quad (3); \quad \varepsilon_A = 0.002 \frac{\sigma - \sigma_p}{\sigma_{0.2} - \sigma_p} \quad (4); \quad \varepsilon_B = \frac{0.002n\sigma_{0.2}^{n-1}}{\sigma_{0.2}^n - \sigma_p^n} \sigma + \varepsilon_{0.2} - \frac{\sigma_{0.2}}{E_{0.2}} \quad (5)$$

$$\varepsilon_C = \left(\varepsilon_{10} - \varepsilon_{0.2} - \frac{\sigma_{10} - \sigma_{0.2}}{E_{0.2}} \right) \left(\frac{\sigma - \sigma_{0.2}}{\sigma_{10} - \sigma_{0.2}} \right)^m \quad (6)$$

表1 式(2)に含まれる定数 a, b

板の境界条件	系	a	b
周辺単純支持	オーステナイト系	0.494	0.719
	フェライト系	0.457	0.662
	二相系	0.557	0.763
	ステンレス鋼全体	0.482	0.690
3辺単純支持 1辺自由 (自由突出板)	オーステナイト系	0.565	0.466
	フェライト系	0.606	0.396
	二相系	0.572	0.430
	ステンレス鋼全体	0.583	0.436

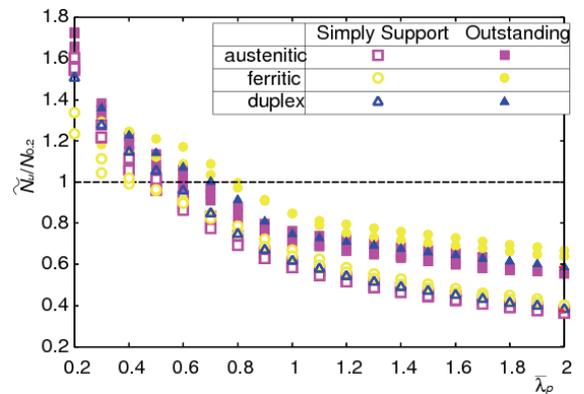


図1 終局強度と幅厚比パラメータの関係

キーワード ステンレス鋼板, 圧縮強度特性, 終局強度, 幅厚比パラメータ

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 TEL06-6879-7599

表 2 式(3)から(6)に含まれるステンレス鋼の材料パラメータ¹⁾

鋼種	弾性係数				パラメータ						
	E (GPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\sigma_{0.1}$ (MPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	n	m	$\epsilon_{0.2}$	$E_{0.2}$ (MPa)	ϵ_{10}	σ_{10} (MPa)	
SUS304	168	259	232	143	2.88	1.67	0.00350	29700	0.100	481	
SUS316	174	254	230	162	6.97	1.74	0.00349	16500	0.0823	457	
SUS304N2	173	402	360	253	3.93	1.79	0.00415	34400	0.100	680	
SUS410L(RD)	209	374	364	306	15.2	1.25	0.00382	11400	0.101	523	
SUS410L(TD)	199	350	327	241	7.65	1.54	0.00384	19600	0.0944	520	
SUS329J3L	202	533	485	346	7.01	2.52	0.00469	30900	0.0597	729	

3. 終局強度評価法の精度の検証

図 2 は、板の強度が材料強度以下となる場合について、ステンレス鋼の系別に式(2)による終局強度の予測値と数値計算結果の関係を示す。図中の \tilde{N}_u は式(2)を用いて予測した終局圧縮強度を表している。図 2 より、周辺単純支持板および自由突出板ともに、式(2)を用いた強度評価は、数値計算結果に対して約 7%以内の誤差となることが確認できる。

図 3 は、板の強度が材料強度を超える場合について、ステンレス鋼の系別に予測した終局強度時の平均圧縮ひずみを基に、ステンレス鋼の応力ひずみ関係からそのひずみに相当する応力を算出することで求めた終局強度と数値計算結果で得られた終局強度の関係を示す。図中の \tilde{N}_u は、2. で示した方法で予測した終局強度時の圧縮力、その他の記号は図 2 と同様である。図 3 より、無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度が材料強度を超える板に対する強度評価は、自由突出板のフェライト系についてやや過小評価する部分が見られるものの数値計算結果に対して約 10%の誤差となる。

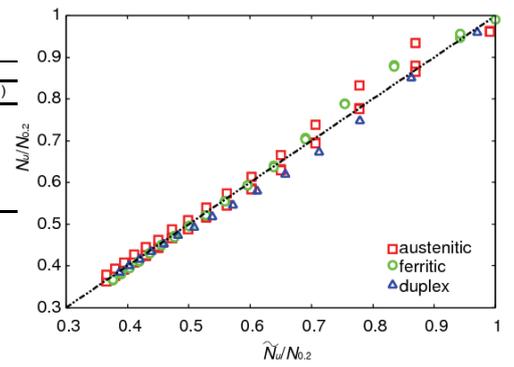
以上により、無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度のみに着目した本強度評価法は、対象とした幅厚比パラメータ(0.2 から 2.0)の範囲において数値計算結果を約 10%以内の精度で予測できる。ただし、無補剛ステンレス鋼圧縮板の終局強度時平均圧縮ひずみは、一部の形状の板について、強度がほぼ等しい関係にある構造用炭素鋼で構成される板に比べて、最大で 1.5 から 2 倍程度発生する¹⁾可能性があることに注意する必要がある。

4. あとがき

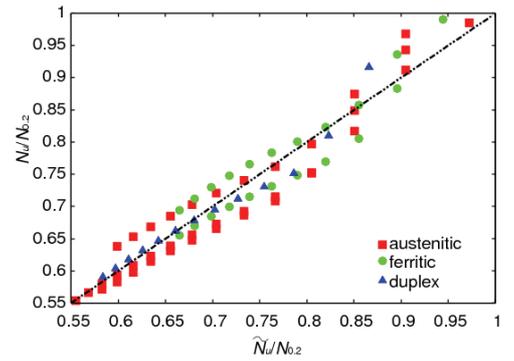
本研究では、無補剛ステンレス鋼圧縮板を対象に、板の終局強度のみに着目した強度評価法を明らかにすることを目的とした。本研究で得られた成果は、次の通りである。(1)ステンレス鋼のひずみ硬化特性を有効に活用にした終局強度評価法を提案した。(2)板の強度が材料強度よりも大きくなるステンレス鋼圧縮板の終局強度評価法は、終局強度時の平均圧縮ひずみの予測に基づく方法を用いることで、数値計算結果に対して約 10%の誤差内で予測できる。

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, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.122-134, 2010. 2)宮寄靖大, 奈良敬: ステンレス鋼圧縮板の終局強度時平均圧縮ひずみの推定法, 土木学会関西支部年次学術講演会概要集(CD-ROM), I-6, 2010.

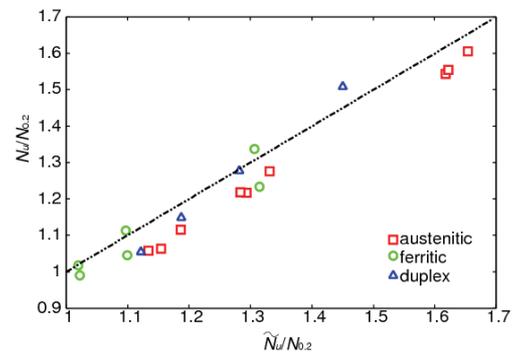


(a)周辺単純支持板

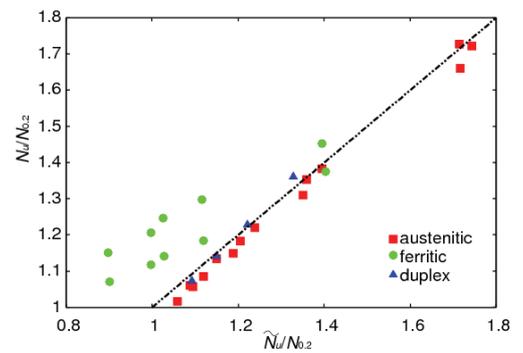


(b)自由突出板

図 2 終局強度の予測と数値計算結果の関係($\sigma_u \leq \sigma_{0.2}$)



(a)周辺単純支持板



(b)自由突出板

図 3 終局強度の予測と数値計算結果の関係($\sigma_u > \sigma_{0.2}$)