

## ステンレス鋼を用いた圧縮板の耐荷力特性に関する解析的研究

琉球大学 正会員 有住 康則 琉球大学 フェロー 矢吹 哲哉  
 琉球大学 正会員 下里 哲弘 日立造船(株) 正会員 松下 裕明

1. はじめに 近年, 社会基盤施設に対して, コスト削減と耐久性向上を目指した構造物の構築が要請される中, 橋梁構造物の場合, ライフサイクルコスト削減を勘案したミニマムメンテナンス橋梁の実用化が望まれている. その一方策として, ステンレス鋼を橋梁主部材に用いたステンレス橋梁の開発研究が進められている. しかし, ステンレス鋼材の応力-ひずみ関係はラウンドハウス型を示し, 比例限が低く, ひずみ硬化が大きく低い応力レベルから非線形性が現れるなど, 一般の炭素鋼とは異なる機械的性質を有している. よってステンレス鋼部材の座屈挙動は, 普通鋼部材のそれと異なると考えられる. そこでステンレス橋梁の実用化を促進するためには, ステンレス鋼の耐荷力特性を明らかにすることが重要である. 著者らは既にステンレス鋼板を普通鋼で補剛したハイブリッド補剛板の軸圧縮極限強度特性<sup>1)</sup>, ステンレス鋼板を用いたI形腹板のせん断耐荷力特性<sup>2)</sup>, ステンレス鋼圧縮フランジ板の耐荷力特性<sup>3)</sup>等について検討を行っている. そこで, 本研究では, ステンレス橋梁の基本となるステンレス鋼圧縮板の圧縮耐荷力特性を明らかにするため, 圧縮板をアイソパラメトリックシェル要素でモデル化し, 弾塑性有限変位理論に基づく数値解析手法を用いて, ステンレス鋼圧縮板の耐荷力に影響を及ぼすと考えられる因子を種々変化させパラメトリック解析を行い, ステンレス鋼圧縮板の耐荷力特性について検討を行った.

2. 解析モデル及び解析法 本解析で対象としたモデルは, 図-1 に示す圧縮板要素で, 境界条件は面外変形に対して4辺単純支持とし, 非載荷辺の面内変位は自由とした. 載荷は載荷辺上に一様な相対強制変位を与え, 一様軸圧縮応力を導入した<sup>1)4)</sup>. 解析では2軸対称性を考慮し1/4部分を解析対象とし, 圧縮板をアイソパラメトリックシェル要素でモデル化し, 弾塑性有限変位理論に基づいた数値解析を行った. 解析は, 汎用構造解析プログラムMSC MARCを用いて行い, 要素は8節点厚肉シェル要素(要素22)を用いた. 解析に用いたステンレス鋼(SUS304N2A)及び普通鋼(SS400)の応力-ひずみ関係を図-2 に示す. 本解析に用いたステンレス鋼の構成式は, 比例限及び降伏点を直線で結んだトリニニア型の応力-ひずみ曲線を採用することによって, 材料試験結果の下限値を通る簡便式を採用した<sup>3)</sup>. ステンレス鋼及び普通鋼材の機械的性質を表-1 に示す. 初期たわみの形状は, 既往の研究結果より次式で仮定した<sup>4)</sup>.

$$w_0 = \bar{w}_0 \cos(\pi x/a) \cos(\pi y/b) \dots\dots\dots (1)$$

ここで,  $\bar{w}_0$  は最大初期たわみ量であり, 本解析では 道路橋示方書に規定されている製作誤差の最大許容値( $b/150$ )を用いた. 残留応力度は図-3 に示すように,  $x$  軸及び厚さ方向に一定値を持つ矩形分布を与え, 圧縮残留応力度を $\sigma_{rc}/\sigma_Y=0.0\sim-0.3$ と変化させ, 引張残留応力度は $\sigma_{rt} = \sigma_Y$ とした. パラメータの変動範囲を表-2 に示す.

表-1 各種鋼材の機械的性質 (公称値)

| 鋼種        | 降伏点 <sup>a)</sup><br>$\sigma_Y$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$ | 初期ヤング係数<br>$E_0$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| SUS304N2A | 325                                                  | 520                                     | 0.3            | 193000                                |
| SM400     | 235                                                  | 400                                     | 0.3            | 200000                                |

\*) : SUS304N2A の降伏点は設計基準強度(0.1%耐力)を示す.

ステンレス鋼, 圧縮板, 圧縮耐荷力, 局部座屈

〒903-0213 沖縄県西原町千原1 番地 TEL 098-895-8664 FAX 098-895-8677

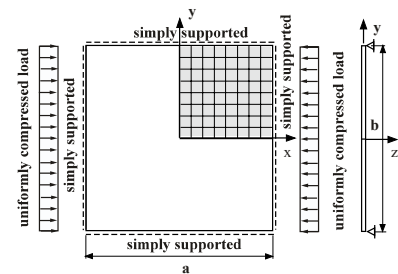


図-1 解析モデル

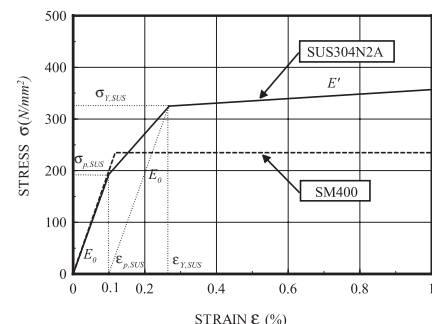


図-2 応力-ひずみ関係

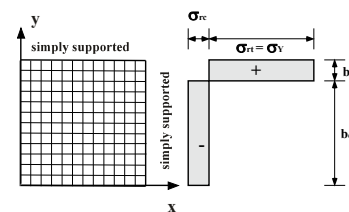


図-3 残留応力度分布

表-2 解析パラメータ及びその変動範囲

| パラメータ    | 記号                     | 変動範囲                      |
|----------|------------------------|---------------------------|
| 鋼種       | -                      | SUS304N2A, SM400          |
| 幅厚比パラメータ | $R$                    | 0.5~1.5                   |
| アスペクト比   | $a/b$                  | 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 |
| 残留応力     | $\sigma_{rc}/\sigma_Y$ | 0.0, -0.1, -0.2, -0.3     |

$$R = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k}} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E}} \frac{b}{t}, \quad k = 4.0$$

**3. 解析結果及び考察** 本研究では、前節で示したパラメータを種々変化させて極限強度解析を行い、その結果を用いて平均荷重—平均ひずみ曲線を描き、それより得られた最大荷重を周辺単純支持圧縮板の極限強度と定義した。  $\alpha=1.0$ 、 $R$  を  $0.5 \sim 1.5$  まで変化させた場合における平均荷重—平均ひずみ関係の一例を、ステンレス鋼板について図-4 に、比較のため普通鋼板について図-5 にそれぞれ示す。これらの図から明らかなように、幅厚比パラメータの増加に従って極限強度は一様に低下しており、極限強度に到達した後は緩やかに強度が減少している。なお、ステンレス鋼板は普通鋼板と比較して比較的低い応力度段階で線形性を失い、極限強度に至るまでの平均ひずみは普通鋼板と比較して大きな値を示している。これは、図-2 に示したように、ステンレス鋼が普通鋼と比較して比例限が低く、初期の段階から接線剛性が低下すること起因していると考えられる。アスペクト比  $\alpha$  を  $0.5 \sim 1.5$  と変化させた場合の極限強度と  $\alpha$  の関係を図-6 に示す。図から明らかなように、アスペクト比が極限強度に及ぼす影響は、ステンレス鋼板(SUS)と普通鋼板(SM)では大きな差異は見られず、ステンレス鋼板では、 $R=1.0$ 、 $1.5$  の場合はアスペクト比  $\alpha=0.75$  で、 $R=0.5$  の場合は  $\alpha=0.5$  で極限強度が最小値を示している。一方、普通鋼板では、 $\alpha=0.5$  で極限強度が最小値となっている。次に、残留応力度が極限強度に及ぼす影響を検討するため、アスペクト比  $\alpha=1.0$  を有する鋼板を対象に、圧縮残留応力度を  $\sigma_{rc}/\sigma_Y=0.0 \sim -0.3$  と変化させた場合の極限強度と幅厚比パラメータの関係を図-7 に示す。図から明らかなように、ステンレス鋼板の場合、残留応力度が極限強度に及ぼす影響は普通鋼板と比較して小さい。最後に、 $\alpha=1.0$ 、 $\sigma_{rc}/\sigma_Y=-0.3$  を有するステンレス鋼板と普通鋼板の耐荷力曲線を図-8 に示す。図から明らかなように、幅厚比パラメータが  $R=0.5$ 、 $0.75$  ではステンレス鋼板は、普通鋼板よりも極限強度が 5%程度大きい値を示しており、 $R=1.0 \sim 1.5$  では同程度の極限強度を示している。これより、ステンレス鋼板は普通鋼板と比較して、実用上十分な強度を示している。

**4. まとめ** 本研究では、圧縮応力を受けるステンレス鋼板の極限強度特性を解明するため、極限強度に影響を及ぼすと考えられる因子を種々変化させてパラメトリック解析を行い、耐荷力特性について検討を行った。本研究より得られた主な結論は、以下の通りである。(1) ステンレス鋼板は普通鋼板に比較して低い荷重で線形性を失い、極限強度に達する軸ひずみは大きな値を示した。(2) ステンレス鋼板は、普通鋼板に比べ、圧縮極限強度に及ぼす残留応力による影響は小さい。(3) ステンレス鋼板の圧縮極

限強度は、普通鋼のそれと顕著な差は見られず、ステンレス鋼板は普通鋼板と同程度の実用上十分な圧縮極限強度を有している。

**参考文献** 1) 松下, 岩田, 有住, 矢吹: ステンレス鋼板を普通鋼で補剛したハイブリッド補剛板の軸圧縮耐荷力特性, 構造工学論文集, Vol. 49A, 2003. 2) 松下, 矢吹, 有住, 岩田: せん断をうけるステンレス鋼板の耐荷力特性, 構造工学論文集, Vol. 52A, 2006. 3) 有住, 矢吹, 下里, 松下: ステンレス鋼を用いた圧縮フランジ板の耐荷力評価, 構造工学論文集, Vol. 55A, 2009. 4) 三好, 森, 斎藤, 奈良: ステンレス鋼板の終局挙動に着目した設計基準の提案について, 土木学会第62回年次学術講演会, 2007.

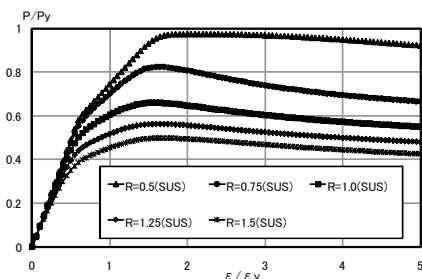


図-4 荷重-平均ひずみ曲線 (ステンレス鋼板)

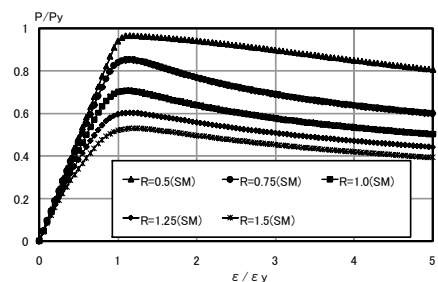
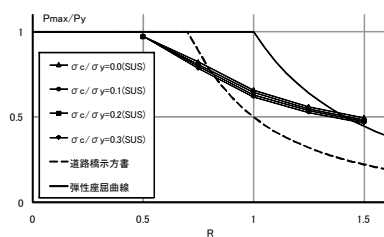
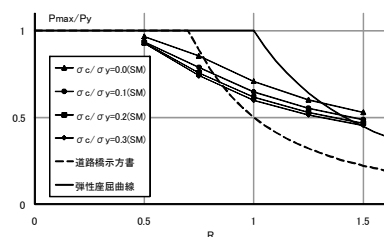


図-5 荷重-平均ひずみ曲線 (普通鋼板)



(b) ステンレス鋼板



(b) 普通鋼板

図-7 残留応力度の影響

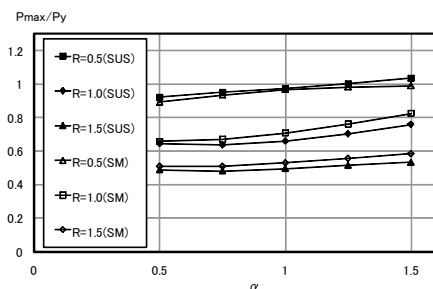


図-6 アスペクト比の影響

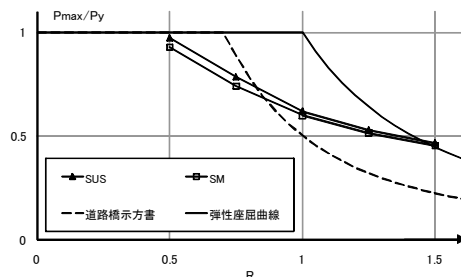


図-8 耐荷力曲線