

## ステンレス鋼圧縮フランジ板の耐荷力に及ぼす初期たわみの影響評価

琉球大学大学院 池宮 真人 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 日立造船鉄鋼(株) 正会員 松下 裕明

**1. はじめに** 近年、鋼橋のライフサイクルコスト削減などが期待できる材料として、ステンレス鋼が注目されており、その耐候性に優れたステンレス鋼をフランジやウェブ等の外膜材に使用したミニマムメンテナンス橋梁の開発が進められている。しかし、ステンレス鋼は、比例限が低い、明確な降伏棚を持たない、ひずみ硬化が大きいなど、一般の構造用鋼とは異なった力学的特性を有している。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。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>及びステンレス鋼板を用いたI形腹板のせん断耐荷力<sup>2)</sup>等について検討を行っている。そこで、本研究では、ステンレス鋼圧縮フランジ板の圧縮耐荷力特性を明らかにするため、アイソパラメトリックシェル要素を用いた弾塑性有限変位理論に基づく数値解析手法を用いて、ステンレス鋼圧縮フランジ板の種々のパラメータを変化させパラメトリック解析を行い、特に初期たわみがステンレス鋼圧縮フランジ板の耐荷力特性に及ぼす影響について検討した。

**2. 解析モデル及び解析法** 本研究では、初期たわみと残留応力度を有する、図

-1に示す圧縮フランジ板に純圧縮が作用した場合について解析を行った。境界条件は、載荷辺側と板幅中央部がそれぞれ鉛直補剛材と腹板で支持されているものとして単純支持、非載荷辺を自由とした。解析ではフランジ板の対称性を考慮して要素の1/2部分を解析対象とした。載荷方法は、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>3)4)</sup>。解析では、圧縮フランジ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。解析コードは、MSN Marcを使用し、8接点厚肉シェル要素(要素22)を使用した。要素分割は、アスペクト比別に十分な精度を有していることを確認し、種々変化させた。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、材料試験より得られた結果に基づいて図-2に示すように、比例限及び降伏点を直線で結んだトリリニア型の応力-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。解析では、比例限の応力度の応力度 $\sigma_p = 193 \text{ N/mm}^2$ 、降伏応力度(0.1%耐力)は $\sigma_y = 325 \text{ N/mm}^2$ 、初期ヤング係数は $E_0 = 193000 \text{ N/mm}^2$ 、及び降伏点以降のヤング係数は $E' = E_0/43$ を用いた。初期たわみの形状は、既往の研究結果より、幅方向に直線分布、長さ方向には種々のモードになるように次式で仮定した。

$$w_0 = w_{0,\max}(y/b) \sin(n\pi x/a) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $n$ は初期たわみモード数、 $w_{0,\max}$ 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( $b/100$ )を用いた。

図-3に初期たわみ形状の一例(2次モード)を示す。残留応力度は図-4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で与え、引張残留応力度を $\sigma_{rt} = \sigma_y$ とし、圧縮残留応力度を $\sigma_{rc} = -0.2\sigma_y$ とした。パラメータの変動範囲を表-1に示す。

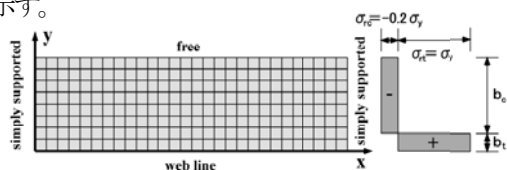


図-4 残留応力度分布

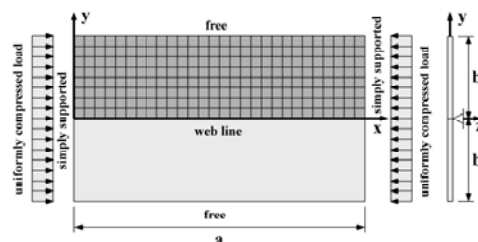


図-1 解析モデル

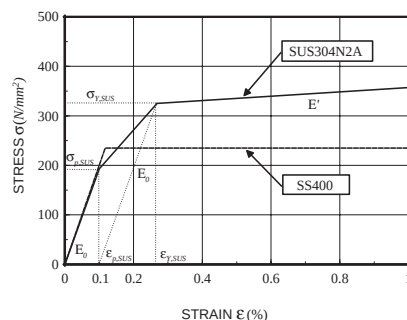


図-2 応力-ひずみ関係

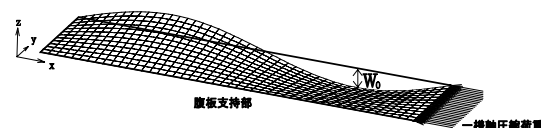


図-3 初期たわみ形状

表-1 解析パラメータ及び変動範囲

| パラメータ    | 記号  | 変動範囲                         |
|----------|-----|------------------------------|
| 幅厚比パラメータ | R   | 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5    |
| アスペクト比   | a/b | 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 |
| 初期たわみモード | n   | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8       |

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k\pi^2}} \frac{\sigma_y}{E} \quad k = 0.425$$

圧縮フランジ板, ステンレス鋼, 圧縮耐荷力, 局部座屈, 弾塑性有限変位解析

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

### 3. 解析結果及び考察

初期たわみモードを変化させた場合の、解析で得られた圧縮フランジ板の平均圧縮応力-平均ひずみ関係の一例をステンレス鋼板(SUS304N2A)について図-5に、普通鋼板(SS400)について図-6に示す。これらの図から明らかなように、初期たわみモードが高次になるに従って極限強度は増加する傾向にあり、極限強度に到達した後は緩やかに強度が減少している。次に、初期たわみが極限強度に与える影響を検討するため、ステンレス鋼板の極限強度と初期たわみモードの関係を $R=1.0$ の場合について図-7(a)に、 $R=1.5$ の場合について図-7(b)に示す。図から明らかなように、初期たわみモード次数が大きくなるに従って、極限強度が増加する傾向があり、1次モードではほぼ最小の極限強度を示している。図-7(b)に示す $R=1.5$ で $a/b$ が2以上の場合はモード数が増加しても、極限強度はほぼ一定の値を示している。この種のモデルでは、他のモデルが図-8(a)に示すように初期たわみモードと終局時の変形モードが同一のモードになるのに対し、図-8(b)のように初期たわみモードが高次であっても変形モードが1次モードに近い形を示す、飛び移り現象が見られた。なお、このような現象は、普通鋼においても同様に見られた。最後に、残留応力を有する圧縮フランジ板について、アスペクト比と初期たわみモードを変化させた場合の同じ幅厚比パラメータの極限強度の最小値を用いて示した極限強度と幅厚比パラメータの関係を図-9に示す。図から明らかなように圧縮フランジ板では、ステンレス鋼と普通鋼の圧縮極限強度曲線に顕著な差は見られず、ステンレス鋼圧縮フランジ板は普通鋼圧縮フランジ板と同程度の強度を示しており、実用上十分な圧縮極限強度を有していると考えられる。

### 4. あとがき

本研究では、圧縮応力を受けるステンレス鋼圧縮フランジ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、特に初期たわみに着目しパラメトリック解析を行った。本研究より得られた主な結論を以下に示す。：(1) 初期たわみモードが高次になるに従って極限強度は増加する。(2) モード数が増加しても、極限強度はほぼ一定の値を示すモデルでは、初期たわみモードが高次であっても変形モードが1次モードに近い形を示す、飛び移り現象が見られた。(3) ステンレス鋼圧縮フランジ板の圧縮極限強度曲線と普通鋼のそれとで顕著な差は見られず、ステンレス鋼を用いた圧縮フランジ板は実用上十分な強度特性及び変形特性を有している。

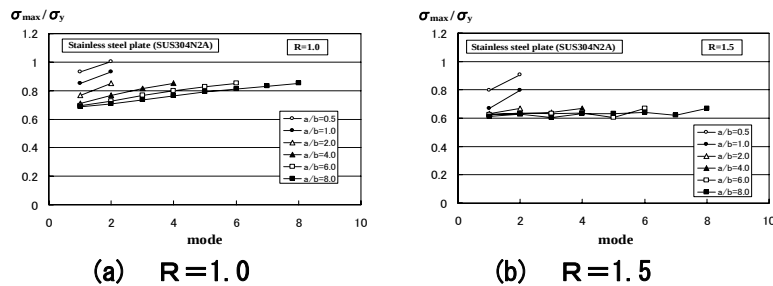


図-7 極限強度-初期たわみモード関係

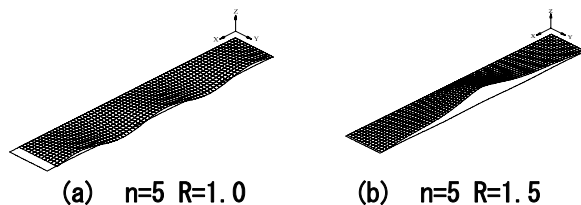


図-8 終局時の変形モード

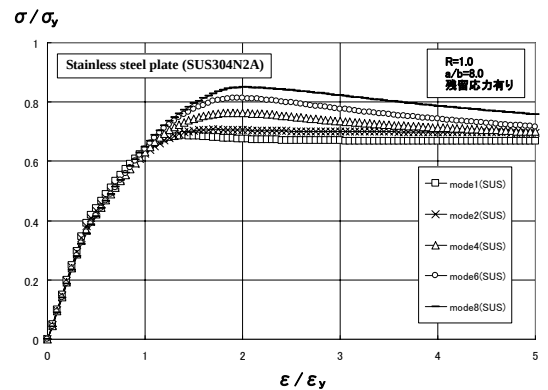


図-5 平均圧縮応力-平均ひずみ関係 (SUS)

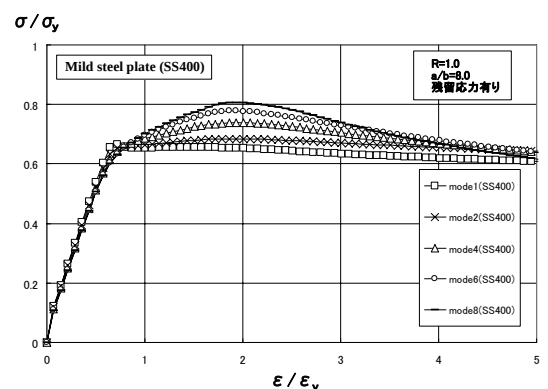


図-6 平均圧縮応力-平均ひずみ関係 (SS400)

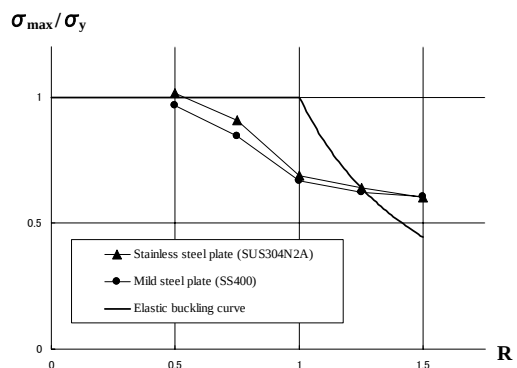


図-9 極限強度と幅厚比パラメータの関係

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力特性, 構造工学論文集, Vol. 49A, 2003. 2) 松下, 矢吹, 有住, 岩田: ステンレス鋼板を用いた I 形断面桁腹板のせん断耐力に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 50A, 2004. 3) 有住康則, 矢吹哲哉, 松下裕明, 岩田節雄: ステンレス鋼を用いた自由突出圧縮板の極限強度特性について, 第 60 回年次学術講演会講演概要集, I-456, 2005. 4) 小松, 北田: 初期不整合を含む自由突出圧縮板の極限強度特性について, 土木学会論文報告集, No. 314, 1981.