

ステンレス鋼を用いた腹板のせん断座屈強度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
 日立造船（株） 正会員 松下 裕明 日立造船（株） 正会員 岩田 節雄

1.はじめに 近年 橋梁構造物のライフサイクルコストの縮減を勘案したミニマムメンテナンス橋梁の開発の要望が益々強まっている。そのような現状の中、鋼橋のライフサイクルコスト縮減の一方策として、耐候性に優れたステンレス鋼薄板を外膜材に用いたミニマムメンテナンス橋梁の開発¹⁾が進められている。しかし、ステンレス鋼は、一般の構造用鋼と比較して格段に耐食性に優れてはいるが、比例限が低く、降伏応力（0.1%耐力）より低い応力レベルより非線形性が現れ、ひずみ硬化が大きく、降伏比が低い等の力学特性を有している為、ステンレス鋼部材の座屈挙動は普通鋼部材や高張力鋼部材とは異なると考えられる。そこで本研究では、ステンレス鋼薄板を外膜材に用いたミニマムメンテナンス橋梁開発の一貫として、ステンレス鋼を用いた腹板のせん断耐力特性を解明するため、せん断力を受けるステンレス鋼腹板について弾塑性有限変位理論に基づく耐荷力解析を行い、実験結果²⁾と比較し、せん断力を受けるステンレス鋼腹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 本研究では、図-1に示すように2点载荷2点支持により中央パネルにせん断を受けるせん断耐荷力実験用I形断面桁を解析対象とし、I形断面桁中央部の上下フランジと鉛直補剛材で囲まれた高さ50cm、幅50cmの腹板を着目パネルとした。なお、表-1に示すように腹板パネルに厚さ $t=4.5\text{mm}$ の普通鋼（SS400）を用いた場合、厚さ $t=4.5\text{mm}$ 及び $t=3.2\text{mm}$ のステンレス鋼（SUS304N2A）を用いた場合の3種類（6解析モデル）について解析を行った。解析では、I形断面桁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³⁾を行った。幾何学的非線形挙動は、更新ラグランジ法による増分理論を用いて評価し、材料非線形挙動は、von Misesの降伏条件及びPlandtl-Reussの塑性流れ理論に従うものとした。数値解析では、変位増分法にNewton-Raphson法を併用して逐次収斂計算を行った。解析対象としたI形断面桁の境界条件は、実験条件²⁾と同様に支点上で単純支持とした。载荷は、载荷点に同等の強制変位を与えることによって着目パネルにせん断力を導入した。材料試験より得られた応力-ひずみ関係の一例を図-2に、材料特性値を表-2に示す。本解析では、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近似式¹⁾を算定し用いた。また、普通鋼の構成式は、降伏棚を有しひずみ硬化域まで考慮した関係を用いた。着目パネルの初期たわみ形状は、実験供試体の計測結果に基づき導入した。最大初期たわみ量の値を表-3に示す。残留応力度は、実測結果に基づいて、着目パネルには図-3に示す残留応力度分布を導入し、最大残留応力度の値は図中に示す値を用いた。なお、着目パネルの要素分割は 12×12 分割とし、その他は図-1に示す要素分割を用いた。

3. 解析結果及び考察 解析で得られた荷重-対角変位の関係を腹板に厚さ $t=4.5\text{mm}$ の普通鋼（SS400）を用いた

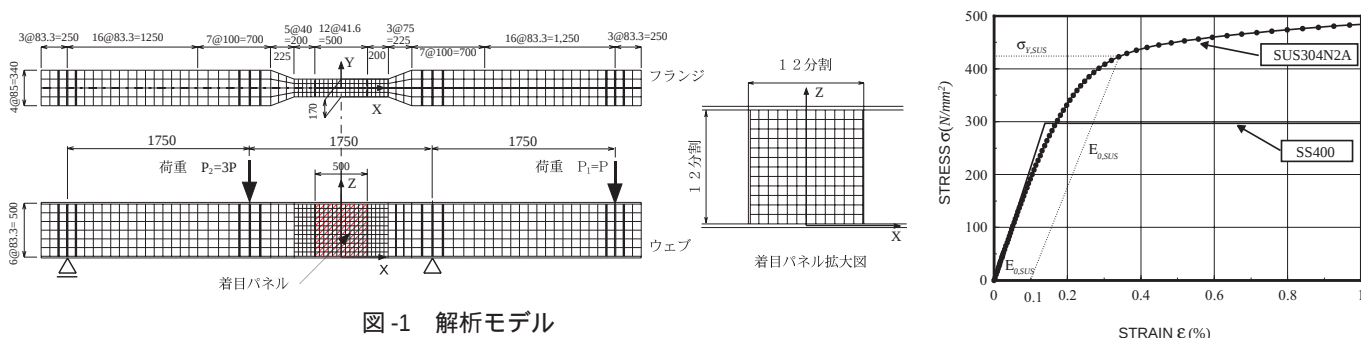


図-1 解析モデル

表-1 解析モデル名称、鋼種及び板厚

解析モデル 名 称	ウェブ			フランジ	
	鋼 種	板厚 mm	R	鋼 種	板厚 mm
SSS45-1 SSS45-2	SS400	4.5	1.086	SS400	16
SSU45-1 SSU45-2	SUS304N2A	4.5	1.329	SM490Y	16
SSU32-1 SSU32-2	SUS304N2A	3.2	1.862	SM490Y	16

$$\text{幅厚比パラメータ: } R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\tau_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}}, \quad k = 9.34 (\alpha=1), \quad \tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$$

表-2 材料特性値

鋼 種	板厚 mm	降伏応力度* σ_y N/mm ²	引張強度 σ_u N/mm ²	降伏比	ポアソン比 ν	初期ヤング係数 E_0 N/mm ²
SUS304N2A	4.5	405	777	0.52	0.3	194000
	3.2	400	782	0.51	0.3	193000
SS400	4.5	297	425	0.70	0.3	213000
	16	309	451	0.69	0.3	212000
SM490Y	16	381	533	0.71	0.3	212000

注) ステンレス鋼の降伏応力度は0.1%耐力を使用、板厚及びポアソン比は公称値

図-2 鋼材の応力-ひずみ関係

表-3 最大初期
たわみ量

名 称	最大初期 たわみ量
SSS45-1	1.6mm
SSS45-2	1.1mm
SSU45-1	1.6mm
SSU45-2	1.1mm
SSU32-1	0.9mm
SSU32-2	0.9mm

腹板、ステンレス鋼、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

SSS45-1 モデルについて図-4に、腹板に厚さ $t=4.5\text{mm}$ のステンレス鋼(SUS304N2A)を用いたSSU45-2モデルについて図-5に、及び腹板に厚さ $t=3.2\text{mm}$ のステンレス鋼を用いたSSU32-2モデルについて図-6にそれぞれ示す。図中縦軸は着目パネルに作用しているせん断力を降伏せん断力で無次元化し、横軸は着目パネルの対角方向の縮み量 ΔL を対角長 L_0 で除して無次元化して示してある。なお、図には実験で得られた結果も併示してある。これらの図から明らかなように、普通鋼腹板では、せん断力と対角変位の関係は最大荷重まではほぼ線形関係を示し、最大荷重(せん断座屈荷重)に到達した後、急激に変位が増加している。一方、ステンレス鋼腹板では、線形関係を失った後も変位の急増は見られず、緩やかにせん断耐荷力が上昇を続けている。他方、図-4及び図-5に示す同一幅厚比を有する腹板のせん断座屈耐荷力の比較より、腹板にステンレス鋼を用いたSSU45モデルのせん断座屈耐荷力は、腹板に普通鋼を用いたSSS45モデルのそれと同程度であり、ステンレス鋼腹板は実用上十分なせん断強度を有していると考えられる。次に、解析及び実験より得られたせん断座屈後の変形モード図をSSU32-1モデルについて図-7に示す。図から明らかなように、圧縮主応力方向に局部座屈が生じている。最後に、解析より得られたせん断座屈後の von Mises の相当応力度分布を図-8に示す。図より斜引張り方向に高い応力度が生じていることが分かる。以上の結果より、本解析法は、荷重-対角変位関係及び終局時の変形モードについて実験結果を精度良く再現できるものと判断できる。

4. あとがき 本研究では、耐候性に優れたステンレス鋼材を用いた腹板の極限強度解析法を示し、実験結果との比較により本解析法は十分な精度が得られることを示した。また、ステンレス鋼腹板は、同じ幅厚比を有する普通鋼材を用いた腹板と比較し、幅厚比パラメータの値が大きいのに関わらず、そのせん断座屈耐荷力は普通鋼腹板と同程度であり、本研究で用いた構造諸元では実用上十分な強度を有していることを示した。今後の課題として、ステンレス鋼腹板の構造諸元を種々変化させてパラメトリック解析を行い、せん断座屈耐荷力特性を解明する必要がある。

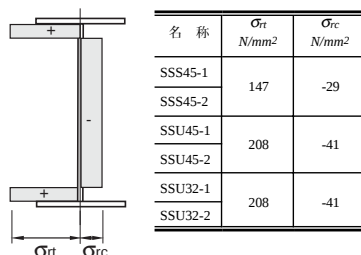


図-3 残留応力度分布

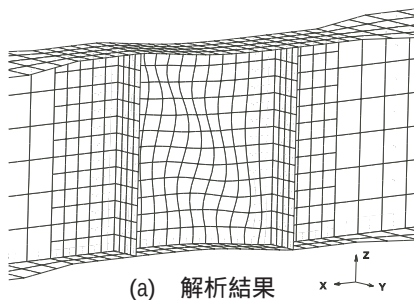


図-7 終局時の変形モード (SSU32-1モデル)

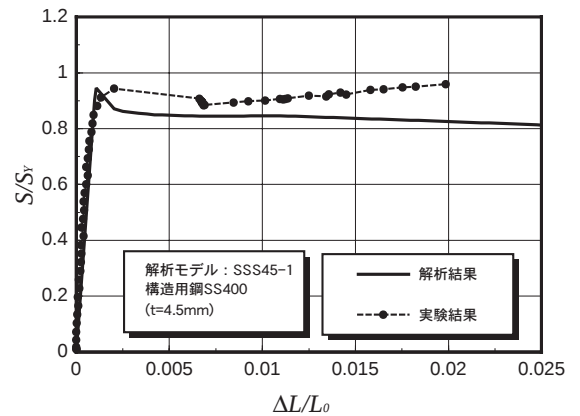


図-4 荷重-対角変位関係 (普通鋼腹板)

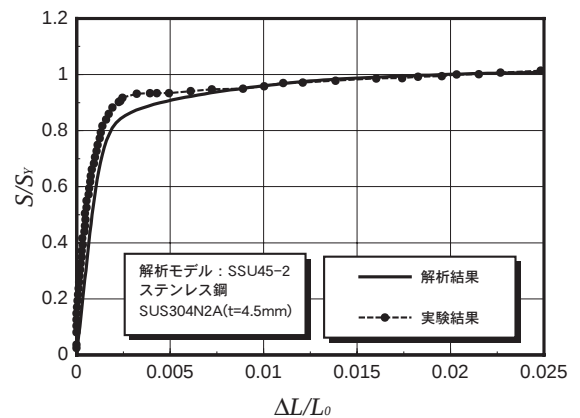


図-5 荷重-対角変位関係 (ステンレス鋼腹板)

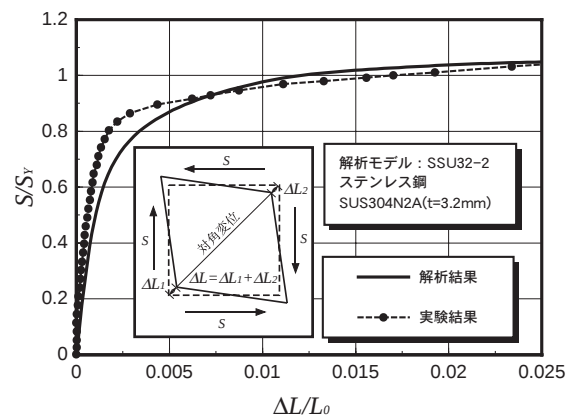


図-6 荷重-対角変位関係 (ステンレス鋼腹板)

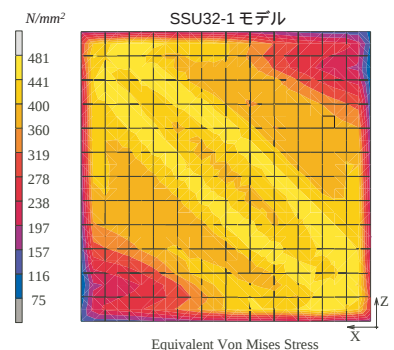


図-8 von Mises の相当応力度分布

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) 喜納, 松下, 矢吹, 有住: ステンレス鋼を用いたI形断面腹板のせん断強度に関する実験, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, 2003 (投稿中). 3) Yabuki, T., Arizumi, Y. and Yashiro, S.: Ultimate Strength and Its Practical Evaluation of Cylindrical Steel Shell Panels under Various Compressions, Journal of Structural Mech. and Earthquake Eng., JSCE, No.489/I-27, 1994.