

ステンレス鋼複合圧縮補剛板の耐荷力特性について

○日立造船 正会員 松下 裕明 日立造船 正会員 岩田 節雄
琉球大学 フェロー 矢吹 哲哉 琉球大学 正会員 有住 康則

1. はじめに

鋼橋のライフサイクルコスト削減の一方策としてステンレス橋が計画されつつある。著者らは、ステンレス橋の建設コスト削減を目的として、図1のようにフランジやウェブをステンレス鋼とし、その箱内補剛材を構造用鋼としたハイブリッド補剛板（以下、HB補剛板）の採用を提案している¹⁾。しかし、ステンレス鋼は比例限が低く明確な降伏棚が無いなど構造用鋼とは大きく異なる材料特性を有する。このような材料特性の異なる部材が溶接接合されたHB補剛板の耐荷力特性は未だ明らかにされていない。そこで、本研究では、初期たわみ、残留応力の影響を考慮したパラメトリックな弾塑性有限変位解析により、その軸圧縮耐荷力特性について検討した。

2. 解析モデルおよび解析法

本研究では、図2のように多数の縦補剛材を有する連続補剛板中の1本の縦補剛材とそれに隣接する板パネル部分を取り出し解析を行った²⁾。横補剛材は十分剛であると仮定し、境界条件は図3に示すとおりとした。また、補剛板の断面パラメータとして、板パネルのアスペクト比 ($\alpha = a/b$)、幅厚比パラメータ (R)、および縦補剛材剛比 (γ/γ^*) を選び、それぞれ $\alpha = 2, 4, 6$ 、 $R = 0.4 \sim 1.2$ 、 $\gamma/\gamma^* = 1, 3$ と変化させた。ここに、

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

であり、 b, t ：板パネルの幅および厚さ、 σ_y ：降伏応力度（0.1%耐力）、 k ：座屈係数（=4.0）である。また、 γ は縦補剛材1本当たりの剛度、 γ^* は道路橋示方書により定められている最小必要剛度である。

解析では、板パネルを SUS304N2A、縦補剛材を SM490Y とした HB補剛板、および両方を SM490Y とした構造用鋼補剛板を用いた。各鋼材の応力-ひずみ曲線は、公称値および材料引張試験結果を参考に、図4に示すとおりステンレス鋼をトリリニア型、構造用鋼をバイリニア型でモデル化した。各鋼材の機械的性質を表1に示す。

解析モデルに導入する初期たわみは、道路橋示方書の製作誤差の許容値に等しい値を最大値とし、表2のとおり与えた。また、残留応力は既往の研究結果²⁾³⁾を参考に、縦補剛材、板パネルの圧縮残留応力度をそれぞれ $0.2\sigma_y$ 、 $0.3\sigma_y$ とし、図5のようにモデル化した。解析手法は、文献1)でHB補剛板への適用性が確認されている弾塑性有限変位理論に基づいた数値解析法を用いた。

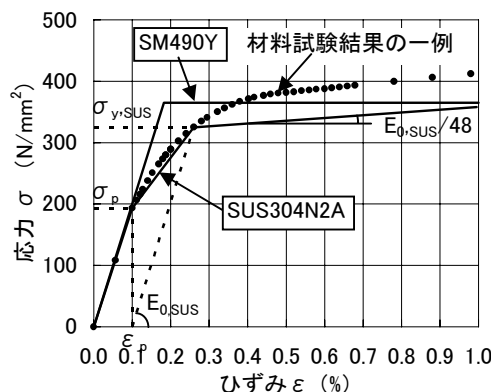


図4 応力-ひずみ曲線

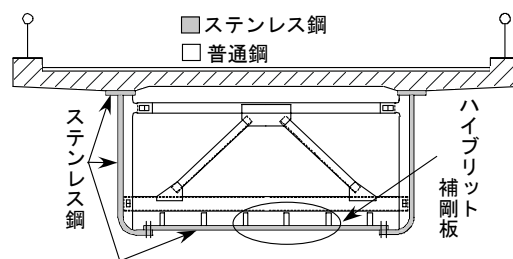


図1 ステンレス箱桁橋

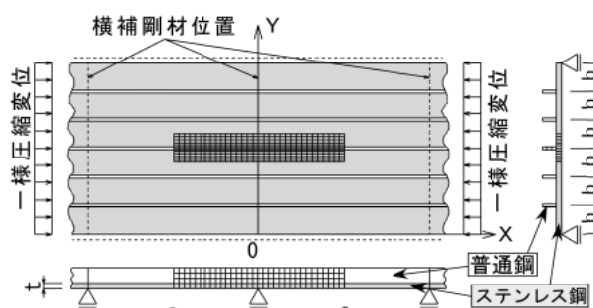


図2 解析対象

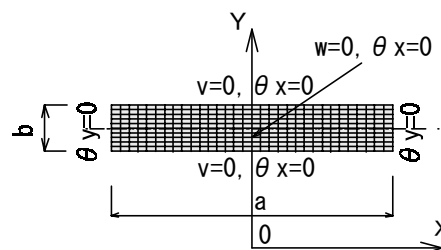


図3 境界条件

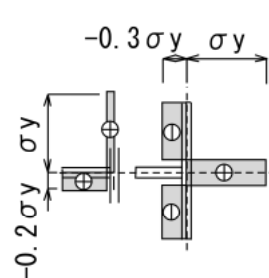


図5 残留応力分布

キーワード：補剛板、ステンレス鋼、ミニマムメンテナンス橋、軸圧縮耐荷力、弾塑性有限変位解析
〒550-0002 大阪市西区江戸堀 2-6-33 TEL 06-6447-6054 FAX 06-6447-6085

3. 解析結果と考察

1) 耐荷力曲線

図6～図8は、アスペクト比 $\alpha=2, 4, 6$ でのHB補剛板と構造用鋼補剛板の無次元耐荷力の比較結果である。図中のHBはHB補剛板、SMは構造用鋼補剛板を表す。また、図中横軸は、板パネルの幅厚比パラメータ R 、縦軸は解析で得られた極限荷重 P_u を全断面降伏荷重 P_y で除した無次元耐荷力である。なお、HB補剛板では板パネルと縦補剛材の降伏応力度が異なるため、全断面降伏荷重 P_y を次式のように定義した。

$$P_y = b \cdot t \cdot \sigma_y + h_r \cdot t_r \cdot \sigma_{yr} \quad (2)$$

ここに、 b, t, σ_y はそれぞれ板パネルの幅、厚さ、および降伏応力度であり、 h_r, t_r, σ_{yr} は補剛材の幅、厚さ、および降伏応力度である。図6～8に示すように、アスペクト比に関わらず、どの幅厚比パラメータにおいてもHB補剛板と構造用鋼補剛板の無次元荷重は、ほぼ一致していること分かる。このことから、HB補剛板の軸圧縮耐荷力は、式(2)に示す板パネルおよび補剛材それぞれの降伏荷重を線形的に加えた全断面降伏荷重を基準強度に用いることにより、従来の構造用鋼補剛板と同等の耐荷力評価ができるものと考えられる。

2) 荷重－平均ひずみ関係

図9に $\alpha=2$ における荷重－平均ひずみ関係について、断面パラメータとして $R=0.8, 1.2$ 、 $\gamma/\gamma^*=1, 3$ と変化させた場合の比較結果を示す。図中縦軸は図8と同様に算出した無次元荷重であり、横軸は軸方向の相対変位 δ を部材長 a にて除した平均ひずみである。図に示すように、どの断面パラメータにおいても、HB補剛板は構造用鋼補剛板に比べ僅かに剛性が低下し、極限荷重到達時のひずみも若干大きくなるものの、荷重－平均ひずみ関係はほぼ同様の履歴を示していることが分かる。また、 γ/γ^* を1から3とすることにより、HB補剛板および構造用鋼補剛板の極限強度は同程度上昇することが分かる。

4. まとめ

本研究では、初期たわみおよび残留応力の影響を考慮したパラメトリック弾塑性有限変位解析により、HB補剛板の軸圧縮耐荷力特性について検討した。その結果、

- 1) HB補剛板の軸圧縮耐荷力は、板パネルおよび補剛材の降伏荷重を線形的に加えた全断面降伏荷重を基準強度とすることにより、従来の構造用鋼補剛板と同等の耐荷力評価ができる。
- 2) 縦補剛材剛比 γ/γ^* を1から3とすることにより、HB補剛板は構造用鋼補剛板と同程度の耐荷力向上効果が得られる。

今後の課題としては、HB補剛板に対する合理的な補剛材剛比等を明らかにするために、より多くの断面パラメータによる解析を行ってゆく必要がある。

- 参考文献** 1) 松下, 岩田, 有住, 矢吹: ステンレス鋼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. 3
 2) 土木学会: 座屈設計ガイドライン (福本編)、技報堂、1987. 10
 3) 中谷, 松下, 有住, 矢吹他: ステンレス鋼溶接における溶接変形推定方法及び残留応力の検討、溶接構造シンポジウム 2002 講演論文集、2002. 11

表1 各鋼材の機械的性質

鋼材	降伏応力度* σ_y (N/mm ²)	初期ヤング係数 E_0 (N/mm ²)	比例限 σ_p (N/mm ²)	ポアソン比 ν
SUS304N2A	325	193000	193	0.3
SM490Y	365	200000	—	0.3

注) SUS304N2Aの降伏応力度は0.1%耐力を用いた。

表2 要素分割と初期たわみ波形

α	要素分割		初期たわみ波形
	X方向	Y方向	
2	12	10	$W_0 = (a/1000)\sin(\pi x/a) + (b/150)\sin(3\pi x/a)\cos(\pi y/b)$
4	24		$W_0 = (a/1000)\sin(\pi x/a) + (b/150)\sin(5\pi x/a)\cos(\pi y/b)$
6	36		$W_0 = (a/1000)\sin(\pi x/a) + (b/150)\sin(7\pi x/a)\cos(\pi y/b)$

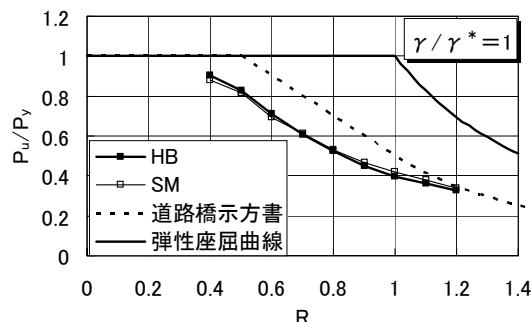


図6 耐荷力曲線 ($\alpha=2$)

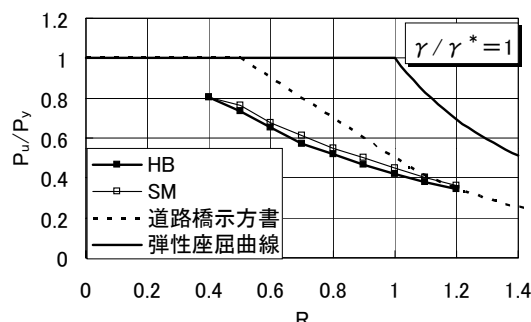


図7 耐荷力曲線 ($\alpha=4$)

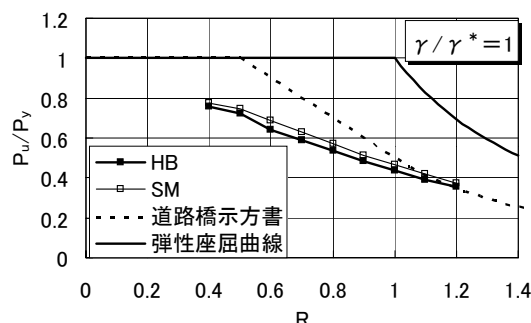


図8 耐荷力曲線 ($\alpha=6$)

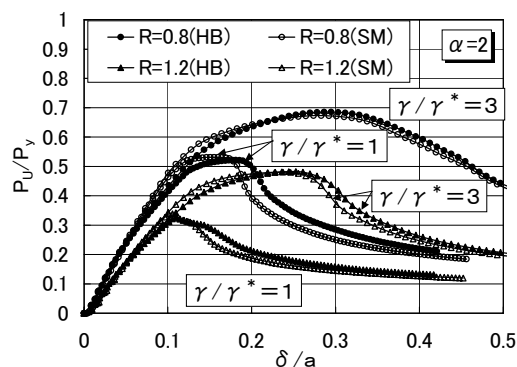


図9 荷重－平均ひずみ曲線