

繰り返し軸方向力を受けるハイブリッド補剛鋼板の塑性変形能

岐阜大学工学部 正員 奈良 敬

岐阜大学大学院 学生員 ○ 島津 裕介

日本水工設計

池上・和宏

1. まえがき

座屈強度の確保に効率のよい薄肉補剛板を鋼製橋脚に用いる場合は十分な塑性変形能が要求される。縦補剛材に板パネルとは異なる鋼材を用いる、ハイブリッド補剛鋼板は単調載荷時における、極限強度、エネルギー吸収能および変形性能の向上が期待できる。特に、降伏比の小さい鋼材や SUS304 のような明確な降伏応力度を持たないラウンド形の鋼材特性を有する鋼材を縦補剛材に用いると、軟鋼を使用するよりも、極限強度、変形性能、およびエネルギー吸収能の向上が期待できる、という結果が得られている¹⁾。

本研究では、混合硬化則を用いて繰り返し軸方向荷重を受けたときの、ハイブリッド補剛鋼板の弾塑性挙動を明らかにし、補剛材の鋼材特性が強度、塑性変形能に及ぼす影響について考察したので報告する。

2. 解析モデル

解析にあたり、繰り返し載荷時の応力-ひずみ関係を単調載荷の材料試験により表現できる構成則を導入した弾塑性有限要素解析法²⁾を用いた。解析モデルは、図-1に示す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て解析する連続補剛板多リブモデル³⁾とする。板パネルの鋼材をSM400に固定し、縦補剛材の鋼材特性を表-1に示すようにSM400、SM490Y、SM570、SUS304の4種類に変化させた。断面パラメータは補剛材に囲まれた板パネルの幅厚比 $\bar{\lambda}_p$ (=0.3, 0.4)および縦補剛材剛比 γ を弾性座屈理論に基づく必要剛比 γ^* で無次元化した剛比パラメータ γ/γ^* (=3, 5)とした。初期たわみは道路橋示方書⁵⁾に規定される製作誤差の許容値とし、残留応力については文献3)に従った。繰り返し載荷法は図-2に示すように2パターンを想定した。

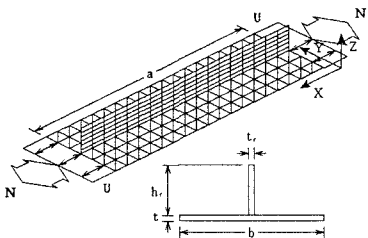


図-1 解析モデル

表-1 鋼材の機械的性質⁴⁾

鋼材	SM400	SM490Y	SM570	SUS304
σ_Y (kgf/cm ²)	2545	3962	5191	2560
ϵ_Y ($\times 10^{-3}$)	1.212	1.887	2.472	1.371
B	0.5815	0.6962	0.8647	0.4215
n	0.2449	0.1907	0.1125	0.3752
C	0.0	0.0	0.0	9.0

σ_Y : 補剛材の降伏応力度 ϵ_Y : 降伏ひずみ

B, n, C: ひずみ硬化領域における応力-ひずみ曲線の各パラメータ

垂直ひずみ $\epsilon > \sigma_Y/E$ のとき $\sigma/\sigma_Y = B\{C + (\epsilon/\epsilon_Y)\}^n$

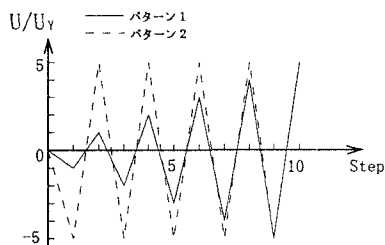


図-2 繰り返し軸方向変位

3. 結果と考察

軸方向荷重Nは、降伏荷重 N_Y により無次元化して表わす。エネルギー吸収能は、極限圧縮強度 N_U までの全ループのエネルギー吸収量の総和とした。1ループのエネルギー吸収量は、図-3に示すように軸方向変位Uが0から1サイクルして再び0になるまでの1回の繰り返しループによって求めた。塑性変形能の指標 ϵ_{max} は、極限圧縮荷重に至るまでの圧縮変位 U_c のみの総和を降伏変位 U_Y で無次元化したものである。

載荷パターン1の場合の数値計算結果を図-4に示す。まず図-4にループ毎の最大圧縮強度を示す。 $\bar{\lambda}_p=0.4$ かつ $\gamma/\gamma^*=5$ のとき、SUS304の場合は、SM400と共に繰り返し回数を重ねても圧縮強度の低下は生じない。 $\bar{\lambda}_p=0.3$ かつ $\gamma/\gamma^*=5$ の時は、両者はループを重ねるごとに極限強度が顕著に上昇し安定した荷重変位ループを描くが、SM400の場合の方がSUS304の場合より最大で6.3%圧縮強度が高い。SM490YとSM570の場合には両ケースとも繰り返し回数を重ねると圧縮強度の低下が生じ始める。

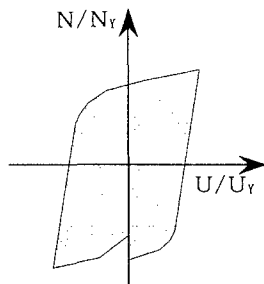


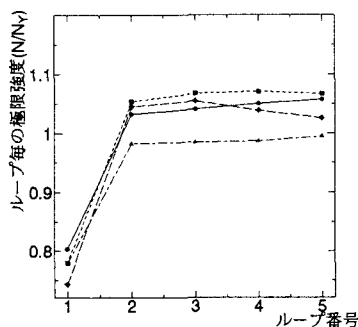
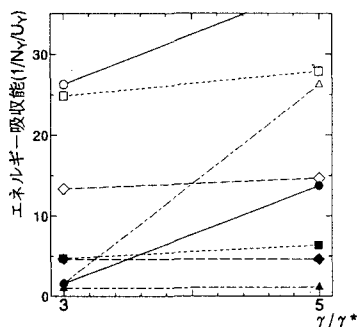
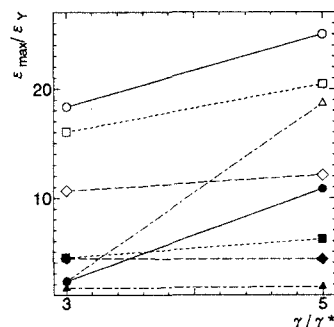
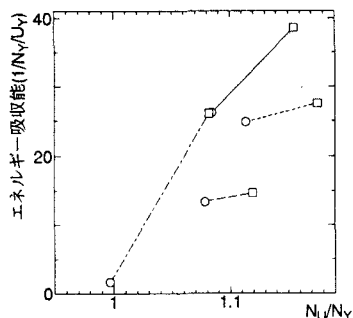
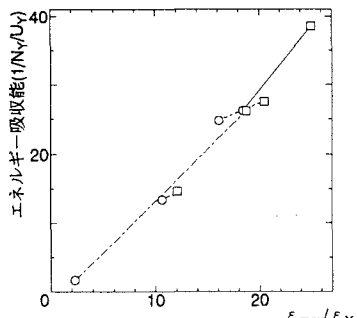
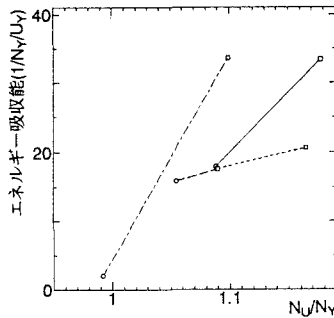
図-3 エネルギー吸収能

図-5に示すエネルギー吸収能より、 $\bar{\lambda}_p=0.4$ かつ $\gamma/\gamma^*=3$ の補剛板を $\bar{\lambda}_p=0.3$ かつ $\gamma/\gamma^*=5$ に改善することによって、SUS304とSM400の場合は約23~26倍と高いエネルギー吸収能が望める一方で、SM490YとSM570の場合は約3~6倍とそれほど高いエネルギー吸収能の増加は望めないことがわかる。

図-6 に塑性変形能を示す。 $\bar{\lambda}_p=0.4$ かつ $\gamma/\gamma^*=3$ の補剛板を $\bar{\lambda}_p=0.3$ かつ $\gamma/\gamma^*=5$ に改善することによって、SUS304 と SM400 の場合は約 10~11 倍、SM490Y と SM570 の場合は約 2~5 倍に塑性変形能が改善される。エネルギー吸収能の場合と同様に $\bar{\lambda}_p=0.3$ のときに剛比パラメータや鋼材特性の影響が顕著に現れる。極限強度とエネルギー吸収能の関係を示す図-7 より、極限強度とエネルギー吸収能の上昇の関係は鋼材によって大きく変わることがわかる。 σ_Y が大きくなるに従い極限強度の上昇がエネルギー吸収能の改善につながらなくなる傾向を示す。一方、図-8 に示す塑性変形能とエネルギー吸収能の関係より、鋼種、 $\bar{\lambda}_p$ 、 γ/γ^* に関わらず、塑性変形能はエネルギー吸収能と比例関係にあることがわかる。すなわち、エネルギー吸収能の改善は、塑性変形能の改善と等価であると考えてよい。

表-2 図-4~図-6 の図中記号

$\bar{\lambda}_p = 0.3, \bar{\lambda}_p = 0.4$	○	●	SM400(Stiffener)
	□	■	SM490Y(stiffener)
	◇	◆	SM570(stiffener)
	△	▲	SUS304(stiffener)

図-4 ループ毎の極限強度
($\bar{\lambda}_p = 0.4, \gamma/\gamma^* = 5$)図-5 エネルギー吸収能
($\bar{\lambda}_p = 0.3, 0.4$)図-6 塑性変形能
($\bar{\lambda}_p = 0.3, 0.4$)図-7 極限強度とエネルギー吸収能
($\bar{\lambda}_p = 0.3$)図-8 塑性変形能とエネルギー吸収能
($\bar{\lambda}_p = 0.3$)図-9 極限強度とエネルギー吸収能
($\bar{\lambda}_p = 0.3$)

載荷パターン 2 の場合の極限強度とエネルギー吸収能の関係を図-9 に示す。この図と図-7 より極限強度を上昇させずにエネルギー吸収能を改善するには SM400 より SUS304 の方が有効であることが伺える。

4. まとめ

ここで採り上げたパラメータの範囲で次の事柄が明らかとなった。

- ① $\bar{\lambda}_p$ 、 γ/γ^* 、鋼種にかかわらず、エネルギー吸収能と塑性変形能は比例関係にある。
- ② 剛比パラメータならびに鋼材特性がエネルギー吸収能に与える影響は、 $\bar{\lambda}_p=0.3$ の場合に顕著に現れる。
- ③ エネルギー吸収能の改善には、SM400 と SUS304 を補剛材に用いることが効果的であるが特に SUS304 の場合は、極限強度を上昇させずにエネルギー吸収能の改善が可能である。

【参考文献】

- 1) 近藤真司：鋼材特性を考慮した軸方向繰返し荷重下の補剛板の弾塑性挙動、岐阜大学修士論文、1996 年 2 月。
- 2) 奈良敬・服部松利・森脇良一：繰返し軸方向荷重を受ける鋼板の弾塑性解析、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、第 19 巻、pp.177-182、1995 年 7 月。
- 3) 奈良敬・小松定夫・北田俊行：連続補剛板の極限圧縮強度特性に関する研究、土木学会論文集、第 392 号/1-9、pp.273-280、1988 年 4 月。
- 4) 奈良敬・安藤和幸・森脇良一：鋼材特性を考慮した I 形はり断面の極限強度および塑性変形能、鋼構造年次論文報告集、第 3 巻、pp.341-348、1995 年 11 月。
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書、同解説、丸善、1996 年 12 月。

表-3 図-7~図-9 の図中記号

—	SM400(Stiffener)
○	$\gamma/\gamma^*=3$
□	$\gamma/\gamma^*=5$
—	SM490Y(stiffener)
◇	SM570(stiffener)
—	SUS304(stiffener)