

ハイブリッド圧縮補剛板の塑性変形能

岐阜大学大学院 学生員 近藤真司

岐阜大学工学部 正 員 奈良 敬

1. まえがき 阪神・淡路大震災の例を見るまでもなく、耐震設計の観点から、激震時における構造物の破壊・破損に至るまでの変形能が重要な指標の一つとして注目される。これまで、圧縮補剛板の極限強度の向上について研究がなされてきた中で、補剛板パネルにおける補剛材の役割は大きく、補剛材の強度特性が補剛板の極限強度に与える影響について明らかにされてきた。圧縮補剛板の塑性変形能はその極限強度と相関性があるため、補剛材の鋼材特性が補剛板の塑性変形能に与える効果について評価することは重要である。

本研究では、補剛材の鋼材特性を変化させたハイブリッド圧縮補剛板について数値計算を実施し、その極限強度のみならず塑性変形能について考察する。

2. 解析モデル 解析にあたっては、ひずみ硬化についても考慮できるように拡張した弾塑性有限変位解析法¹⁾を用いる。解析モデルは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多リブモデル²⁾とする。また、鋼材特性を考慮した圧縮補剛板の研究効果³⁾に基づき、ここでは板パネルの鋼材を軟鋼に固定し、補剛材の鋼材特性を変化させたハイブリッドモデルを用いる。すなわち、圧縮板に用いる鋼材はSM400、縦補剛材に用いる鋼材はSM400, SM490Y, SM570, SUS304の4通りとした。SM材は文献1)、SUS304は文献4)に基づき、その機械的性質を表-1に示す。ひずみ硬化域の応力ひずみ関係は $\sigma/\sigma_y = B(C + \varepsilon/\varepsilon_y)^n$ とした。断面パラメータは板パネルの幅厚比パラメータ $R(=0.3, 0.5)$ および縦補剛材剛比パラメータ $\gamma/\gamma^*(=1, 2, 3, 5)$ とした。 γ^* は弾性座屈理論に基づく必要剛比である。初期たわみについては、道路橋示方書に規定される製作誤差の許容値を用いた。また、残留応力については文献5)を参照し、SM400材の補剛板の残留応力をそのまま導入するModel-1と、補剛材の降伏応力度によって変化した残留応力を導入するModel-2の2通りを考える。

3. 結果と考察 縦補剛材の残留応力の大きさが補剛材の極限強度と変形能に及ぼす影響は極限強度と変形能で異なる。極限強度については、Model-2の方がModel-1より最大5%ほどの増加を示した。一方、塑性変形能はModel-2の方がModel-1より格段に高く、その結果、図-1に示すように吸収エネルギーは両者で顕著な差が生じた。このことより、補剛板の塑性変形能および吸収エネルギーは補剛材の残留応力に敏感であることがうかがえる。ハイブリッド補剛板の残留応力分布のデータは十分ではないが、Model-2の方が実際のものに近いと推測される。これよりModel-2の結果について考察を行う。図-2に極限強度と γ/γ^* の関係を示す。図-2より縦補剛材にSM490Y, SM570を用いた補剛板の極限強度は R や γ/γ^* に関係なく、ほぼ等しい。また、SM400とSUS304の場合も、 $R=0.3$

表-1 鋼材の機械的性質

鋼材	E (kgf/cm ²)	σ_y (kgf/cm ²)	σ_u (kgf/cm ²)	ε_y	ε_H	ε_u	B	n	C
SM400	2.1×10^6	2545	4255	1.212×10^{-3}	1.121×10^{-2}	0.3000	0.5815	0.2449	0.0
SM490Y	2.1×10^6	3962	5539	1.887×10^{-3}	1.391×10^{-2}	0.2670	0.6962	0.1907	0.0
SM570	2.1×10^6	5191	6053	2.472×10^{-3}	0.916×10^{-2}	0.2160	0.8648	0.1125	0.0
SUS304	2.1×10^6	2560	6130	1.219×10^{-3}	1.219×10^{-3}	0.5570	0.4331	0.3634	9.0

E : ヤング係数、 σ_y : 降伏応力、 σ_u : 引張強さ、 ε_y : 降伏ひずみ、 ε_H : ひずみ硬化開始ひずみ、 ε_u : 一様伸び、B, n, C : ひずみ硬化領域における応力-ひずみ曲線モデル¹⁾の各パラメータ。

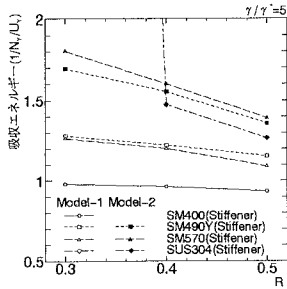


図-1 吸収エネルギー

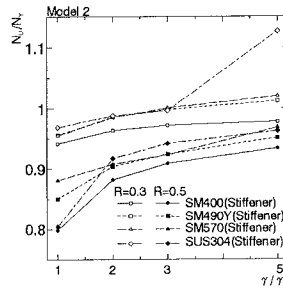


図-2 極限強度

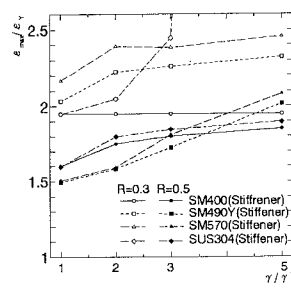


図-3 変形能

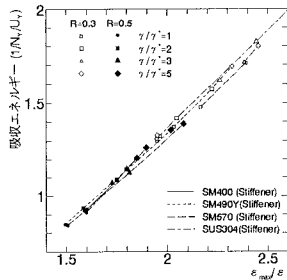


図-4 吸収エネルギーと変形能

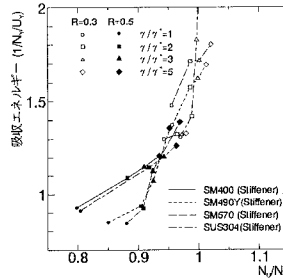


図-5 吸収エネルギーと極限強度

$$N_y = \frac{b \cdot t \cdot \sigma_y + h_r \cdot t_r \cdot \sigma_{y,r}}{b \cdot t + h_r \cdot t_r}$$

b : 板幅, t : 板厚,

h_r : 縦補剛材高さ,

t_r : 縦補剛材幅,

σ_y : 板の降伏応力度,

$\sigma_{y,r}$: 縦補剛材の降伏応力度。

かつ $\gamma/\gamma^*=5$ のときを除き、極限強度の大きさに少し差があるものの、似たような傾向を示す。SUS304を補剛材に用いた場合、 $R=0.3$, $\gamma/\gamma^*=5$ において極限強度が大きく向上している。これは、 R が小さいため、板パネルの局部座屈が抑制され、補剛材剛比が大きいために補剛材のひずみ硬化特性が顕著に現れたためと思われる。極限強度に達したときの平均圧縮ひずみ $\varepsilon_{\max}$ を ε_y で除した変形能の指標と γ/γ^* の関係を図-3に示す。この図より、以下の①および②に述べる事柄を除き、図-2に示した極限強度の変化と同じような傾向を示していることが分かる。① $R=0.3$ のとき SM400の補剛材の変形能は γ/γ^* を大きくしてもほとんど変化しない、②補剛材に SUS304を用いた場合、 $R=0.3$ において γ/γ^* を大きくすることにより変形能は大きく改善され、特に、 $\gamma/\gamma^*=5$ の時、 $\varepsilon_{\max}/\varepsilon_y \geq 15$ という結果になった。図-4より、吸収エネルギーと塑性変形能は比例関係にあることが分かる。そこで、吸収エネルギーと極限強度の関係を図-5に示した。両者の関係は R や γ/γ^* が変化しても鋼材の種類により1本の直線または曲線上にのることが分かる。その勾配は鋼種により異なり、 $N_u/N_y < 1$ では SM490Y と SM570 の方が SM400 や SUS304 の場合より大きい。しかし、 $N_u/N_y \geq 1$ では、SM490Y と SM570 の場合の勾配が $N_u/N_y < 1$ の時とほとんど変化しないのに対し、SUS304では勾配が飛躍的に上昇する。一方、SM400の場合はほとんど吸収エネルギーの増加が期待できない。

4. まとめ ハイブリッド補剛板において、補剛材に降伏応力度の大きい鋼材を用いることにより、極限強度および塑性変形能の向上が期待できる。特に、降伏応力度の小さい鋼材において明確な降伏応力を持たないラウンド形の鋼材特性を有する鋼材を用いると、幅厚比パラメータを小さく、縦補剛材剛比を大きくすることにより、塑性変形能の顕著な向上が期待できる。

参考文献 1) 奈良 敬・出口恭司・小松定夫：ひずみ硬化を考慮した圧縮板の極限強度に関する研究，構造工学論文集，Vol. 33A，pp. 141-150，1987年3月。2) 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。3) 奈良 敬・梅村哲男・服部松利・森脇良一：鋼材特性を考慮した圧縮補剛板の極限強度と変形性能，構造工学論文集，Vol. 39A，pp. 125-132，1993年3月。4) 井上哲朗：ステンレス鋼十字形断面短柱の応力-歪特性，構造工学論文集，Vol. 39B，pp. 561-574，1993年3月。5) 小松定夫・牛尾正之・北田俊行：補剛板の溶接残留応力および初期たわみに関する実験的研究，土木学会論文報告集，第265号，pp. 25-35，1977年9月。