

大阪大学大学院 学生員 〇汐待 公二郎
片山ストラテック(株) 正会員 宇井 崇
大阪大学大学院 フェロー 西村 宣男

1. 概要

CFRP 板は炭素繊維と樹脂とを固化させて板状にした複合材料で、鋼板と比較して軽量で施工性に優れかつ高強度で腐食しない等の特徴をもつ。このような利点を活かして、構造物の補修・補強材料として今後幅広く使用されることが期待される材料である。本研究では今までに CFRP 板を鋼製橋脚の耐震補強等に適用するための検討を進めており¹⁾、ここでは CFRP 板を接着した補剛板パネルの面内圧縮荷重による座屈変形挙動について解析的に検討を行った。

2. 解析モデル

図-1 に示すような 2 本の縦補剛材を有する連続補剛板を考え、これに対して図-2 に示されるような補強方法を適用したモデルを考える。パネル補強は縦補剛材で囲まれる板パネルに 15mm の隙間をあけて CFRP 板を接着したモデル、縦補剛材補強は縦補剛材に 100mm 幅の CFRP 板を接着したモデルである。また両補強を併用したパネル・縦補剛材補強モデルも考える。なお、モデル化にあたっては、構造および荷重の対称性を考慮して図-1 に示されるように縦リブにまたがる長さ a 、幅 $b/2$ の部分を解析領域として取り出し解析を行う。

初期たわみについては図-1 のように全体的なたわみモードと局所的なたわみモードを考え、その和として与える。鋼板の残留応力は自己平衡型の矩形分布形状にモデル化する。ここで圧縮残留応力は $\sigma_{rc} = -0.4 \sigma_y$ とする。

表-1 に解析モデルの寸法・諸元を示す。基本のモデルとなる無補強モデルの R7 については、幅厚比がやや大きく変形能が不足している補剛板を想定して、縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ R_R が 0.7、縦補剛材剛比 γ と道路橋示方書に規定される必要剛比 γ_{req} の比 γ/γ_{req} がほぼ 1.0 になるように寸法諸元を設定した。解析に用いる材料定数は表-2 に示す通りである。CFRP 板の材料定数としては、炭素繊維およびエポキシ樹脂の代表的な材料定数を用いて複合則により計算した値を使用する。接着剤の材料定数としてはエポキシ樹脂

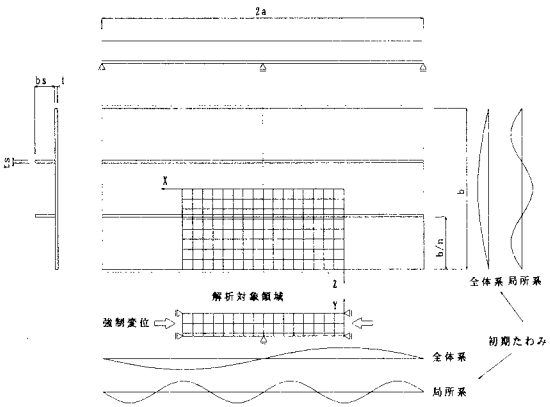
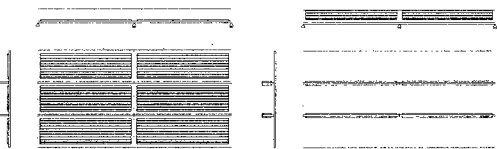


図-1 解析モデル(鋼板部)と初期たわみ



(a)板パネル補強 (b)縦補剛材補強

図-2 CFRP 貼付位置

表-1 解析モデルの寸法諸元

解析モデル	板パネル bxt	縦補剛材 bsxts	板パネル補強 tc	縦補剛材補強 tc
R7	1800x19	140x16	---	---
R7-p			1.2	---
R7-p2			2.4	---
R7-s			---	1.2
R7-s2			---	2.4
R7-p-s			1.2	1.2
R7-p2-s2			2.4	2.4

単位(mm)

表-2 解析で使用する材料定数

材料定数	記号	鋼板	接着剤	CFRP
弾性係数 (GPa)	E_x	200	3.1	150
	E_y	200	3.1	10
	E_z	200	3.1	10
ポアソン比	ν_{xy}	0.30	0.38	0.34
	ν_{yz}	0.30	0.38	0.38
	ν_{zx}	0.30	0.38	0.0227
せん断弾性係数 (GPa)	G_{xy}	77	1.1	3.1
	G_{yz}	77	1.1	1.1
	G_{zx}	77	1.1	1.1
降伏応力(MPa)	σ_y	355	—	—

の値を使用する。なお、CFRP 板およびエポキシ樹脂の破損は考えず、完全な弾性挙動を仮定した。また、鋼板については完全弾塑性体として扱う。

3. 解析結果および考察

3. 1 荷重－変位

荷重-変位関係を平均応力-平均ひずみ曲線の形で図-3 に示す。まずパネルを補強した場合であるが、CFRP 板厚を大きくすることで補強効果は若干大きくなるものの、パネル補強による強度および変形能の改善効果はあまり大きくないことが分かる。初期には縦補剛材を節とするような局所的な変形モードが卓越した形で座屈するが、変形の進行にともなって補剛板の全体座屈モードが卓越した変形状態に移行する。縦補剛材剛比が道路橋示方書の規定による必要最小値レベルと比較的小さく、十分な補剛効果が得られないことにより補剛板全体の座屈に対する抵抗性が不足していることによるものと考えられる。

縦補剛材を補強した場合には、前述のパネル補強の場合と異なり比較的大きな強度と変形能の改善効果が見られる。変形モードについては、縦補剛材を節とした局所的な変形モードが卓越した初初期座屈モードを保ったまま変形が進行する。

パネル・縦補剛材をともに補強した場合にも、縦補剛材補強の場合と同様に大きな補強効果が得られる。座屈モードについても、縦補剛材を節とした局所的な変形が卓越したモードとなり、かつ初期座屈モード形状を保持したまま変形が進む。

3. 2 接着層のせん断応力分布特性

接着層のせん断応力分布を図-4 に示す。せん断応力は接着層の自由端部側に集中して生じ、変形の進行にともなって端部応力は大きくなるが、座屈変形が生じると面外変形が大きくなった部分の応力は抜けて、変形の小さい単純支持端や縦補剛材の付け根付近に応力が集中する傾向が見られる。

4. 接着層端部のせん断応力の低減方法

接着層の端部に集中するせん断応力の低減方法の一案として、CFRP の z 軸方向端部にテーパを設けることを考えた。解析モデルとしてはCFRP 端部から約30mmの部分よりテーパをつけている。図-5 と図-4(a)を比較すると、テーパを設けることにより、接着層端部のせん断応力が低減されていることが分かる。

【参考文献】

- 1) 宇井崇・汐待公二郎・西村宣男・鈴木博之：炭素繊維強化樹脂板を接着した圧縮鋼板の極限強度解析，構造工学論文集，Vol.48

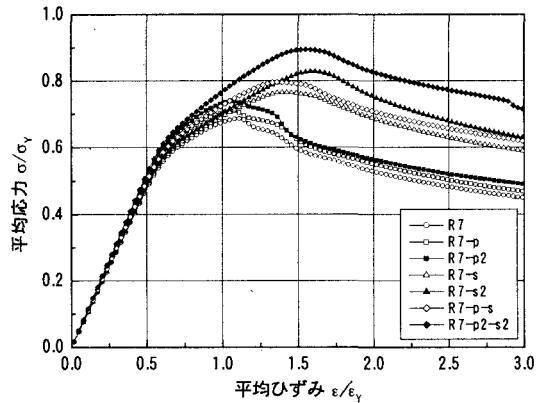
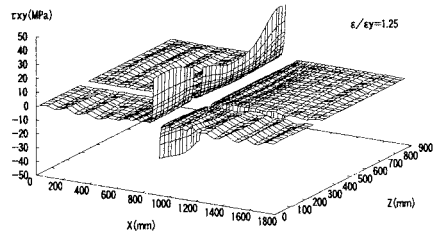
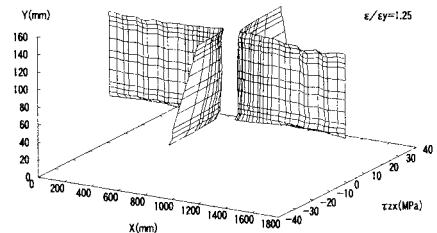


図-3 平均応力-平均ひずみ関係



(a) パネル補強(R7-p)



(b) 縦補剛材補強(R7-s)

図-4 接着層のせん断応力分布

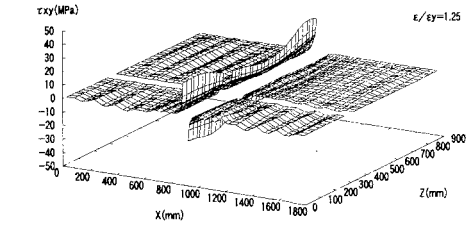


図-5 テーパを設けた場合の接着層のせん断応力分布(R7-p)