

CFRP 板を接着した補剛鋼板の極限強度に関する解析的研究

片山ストラテック  
大阪大学大学院  
大阪大学大学院

正会員   ○ 宇井 崇  
学生員   汐待 公二郎  
フェロー   西村 宣男

1．まえがき

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。著者らはこの 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<sup>1)2)</sup>、その一環として本研究では CFRP 板を接着した補剛鋼板の面内圧縮荷重による極限強度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。解析対象領域は、構造および荷重の対称性を考慮して図 - 1 に示されるような長さ  $a$ 、幅  $b/2$  の部分領域とする。

初期たわみは図 - 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重ね合わせたものとする。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 に基本となる無補強の解析モデルの寸法・諸元を示す。モデル R6, R7, R8 は縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ  $R_R$  がそれぞれ 0.6, 0.7, 0.8, 縦補剛材剛比  $\gamma$  と道路橋示方書に規定される必要剛比  $\gamma_{req}$  の比  $\gamma / \gamma_{req}$  がほぼ 1.0 になるように寸法諸元を設定した。R7G3 は、 $R_R$  が 0.7,  $\gamma / \gamma_{req}$  が約 3 となるように設定したモデルである。この基本モデルに対してパネル補強(-p)、縦補剛材補強(-s)、パネル・縦補剛材補強(-ps)を考え、CFRP の板厚は 1.2mm とした。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材料力学的方法によ

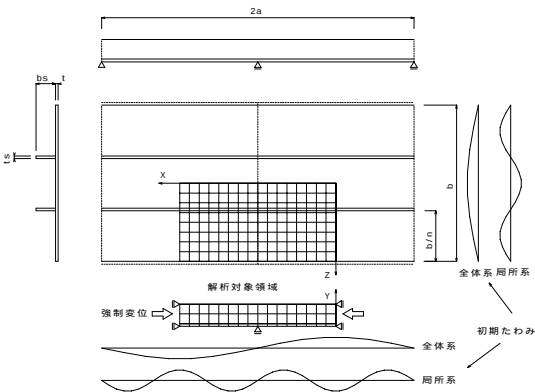
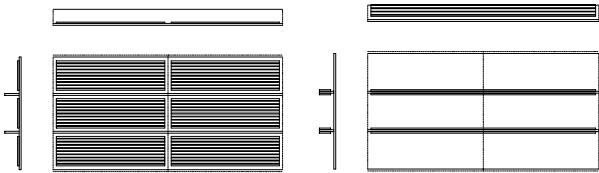


図 - 1 解析モデル(鋼板部)と初期たわみ



(a)板パネル補強 (b)縦補剛材補強

図 - 2 CFRP 貼付位置

表 - 1 基本解析モデル

| モデル名 | $\alpha$ | $R_R$ | $\gamma / \gamma_{req}$ | $b(mm)$ | $t(mm)$ | $b_s(mm)$ | $t_s(mm)$ |
|------|----------|-------|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|
| R6   | 1.0      | 0.595 | 1.145                   | 1800    | 22      | 170       | 16        |
| R7   | 1.0      | 0.689 | 1.001                   | 1800    | 19      | 140       | 16        |
| R8   | 1.0      | 0.819 | 1.052                   | 1800    | 16      | 120       | 16        |
| R7G3 | 1.0      | 0.689 | 2.974                   | 1800    | 19      | 190       | 22        |

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<br>(GPa)    | $E_y$      | 200  | 3.1  | 150    |
|                  | $E_z$      | 200  | 3.1  | 10     |
|                  | $E_x$      | 200  | 3.1  | 10     |
| ポアソン比            | $\nu_{xy}$ | 0.30 | 0.38 | 0.34   |
|                  | $\nu_{yz}$ | 0.30 | 0.38 | 0.38   |
|                  | $\nu_{zx}$ | 0.30 | 0.38 | 0.0227 |
| せん断弾性係数<br>(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)        | $\sigma_y$ | 355  | -    | -      |

キーワード   CFRP 板, 補剛板, 耐震補強, 座屈  
連絡先       〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

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，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

図 - 3 に R7 シリーズにおける荷重 - 変位関係を平均応力 - 平均ひずみ曲線の形で示す．パネルを補強した場合は強度および変形能の改善効果はあまり大きくない．これは縦補剛材の剛度が必要最小レベルであるため，補剛板全体座屈に対する抵抗性が十分ではなく，座屈モードが縦補剛材間の局所的な変形モードから補剛板全体のモードへと早期に移行するためである．

これに対して，縦補剛材を補強した場合には，縦補剛材による補強効果が改善されるため，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．

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．

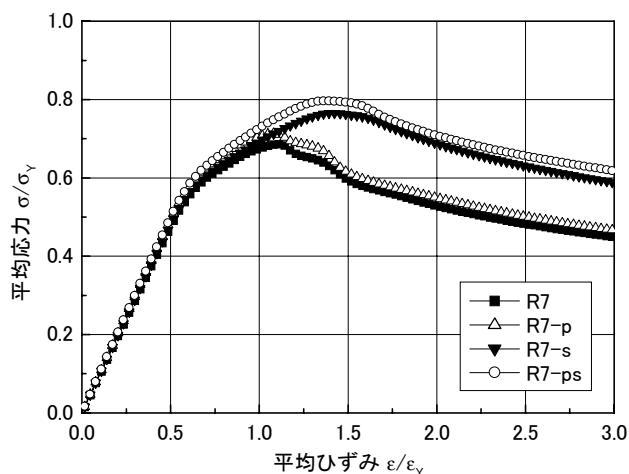


図 - 3 平均応力 - 平均ひずみ関係(R7)

表 - 3 極限強度特性

|      | 極限強度 $\sigma_u / \sigma_y$ |                 |                 |                 |
|------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|      | 無補強                        | -p              | -s              | -ps             |
| R6   | 0.756<br>(1.00)            | 0.789<br>(1.04) | 0.859<br>(1.13) | 0.891<br>(1.17) |
| R7   | 0.686<br>(1.00)            | 0.714<br>(1.04) | 0.765<br>(1.12) | 0.796<br>(1.16) |
| R8   | 0.609<br>(1.00)            | 0.635<br>(1.04) | 0.665<br>(1.09) | 0.695<br>(1.14) |
| R7G3 | 0.836<br>(1.00)            | 0.873<br>(1.04) | 0.885<br>(1.05) | 0.929<br>(1.11) |

注：( ) 内は無補強に対する比を示す

#### 3．2 極限強度特性

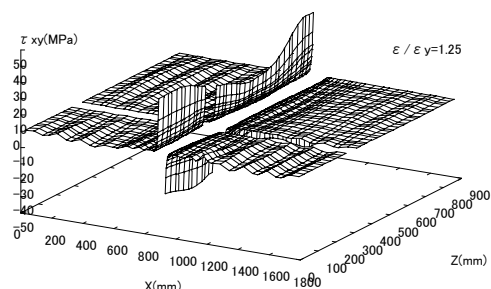
表 - 3 に各シリーズの極限強度を示す．R6，R8 シリーズにおいてもパネル補強より縦補剛材の方が補強効果が大きくなり，R7 シリーズと同様の傾向を示していることが分かる．一方，R7G3 シリーズにおいては，元々  $\gamma / \gamma_{req}$  が約 3 と大きいこともあり，縦補剛材補強による補強効果は， $\gamma / \gamma_{req}$  が 1 のものに比較して小さくなる．

#### 3．3 接着層のせん断応力分布特性

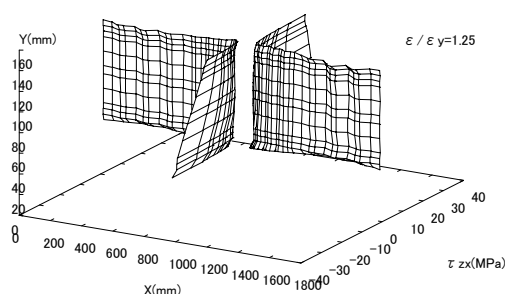
R7 シリーズ(R7-p，R7-s)における接着層のせん断応力分布を図 - 4 に示す．せん断応力は接着層の自由端部側に集中して生じ，変形の進行にともなって端部応力は大きくなるが，座屈変形が生じると面外変形が大きくなった部分の応力は抜けて，変形の小さい単純支持端や縦補剛材の付け根付近に応力が集中する傾向が見られる．

##### 【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.48A
- 2) 宇井崇・汐待公二郎・西村宣男：CFRP 板接着による鋼板パネルの強度と変形能の改善に関する基礎的研究，第 4 回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集，pp.13-18，2002.1.



(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