

第I部門

ガラス繊維シートの端部仕上げが CFRP 板接着鋼板のはく離せん断応力に与える影響

大阪大学 正会員 ○石川 敏之 学生員 小村 啓太 正会員 大倉 一郎
 日本国土開発㈱ 正会員 横田 季彦 日鉄コンポジット㈱ 正会員 斉藤 誠

1. 序論

近年、炭素繊維強化樹脂板(以下、CFRP 板と呼ぶ)による鋼構造物の補修・補強が行われ始めている。CFRP 板を用いた鋼構造物の補修・補強において、CFRP 板の付着端近傍の接着剤に、高いせん断応力すなわち、はく離せん断応力が局所的に生じることにより、CFRP 板がはく離する場合がある。著者らはこれまでに、図-1 に示すような、剛性の小さな繊維シートを鋼板と CFRP 板の間に挿入することにより、はく離せん断応力を低減できることを明らかにした^{1), 2)}。繊維シート挿入工法では、挿入する繊維シートの端を CFRP 板の端と一致させることは困難である。したがって本工法を実橋の補修・補強へ適用するためには、挿入繊維シートの端部仕上げが、はく離せん断応力に与える影響を明らかにする必要がある。本研究では、挿入繊維シートの端が CFRP 板の端と揃っている場合、CFRP 板の端より 10 mm 外および内にある場合の3種類について、挿入繊維シートの端部仕上げが、はく離せん断応力に与える影響を明らかにする。

2. 試験片

試験片を図-2 に示す。鋼板には厚さ 6 mm の SM490 材を用い、挿入繊維シートには厚さ 0.115 mm のガラス繊維シート(以下、GF シートと呼ぶ)を用いた。GF シートおよび CFRP 板の繊維方向が荷重の作用方向と一致するように、鋼板の両面に接着した。所定の剛性を得るために、厚さ 2 mm の CFRP 板を3枚重ねて接着した。鋼板、GF シート、CFRP 板および接着剤のヤング率を表-1 に示す。図-2 には、ひずみの計測位置も示されている。試験片の種類を図-3 に示す。比較として、GF シート未挿入の試験片も作製した。各種類毎に3体の試験片を用意した。

3. 試験結果

3. 1 鋼板応力

試験片 GCO について、作用応力 σ_{sn} が 100 MPa のときの鋼板に生じる応力 σ_s と CFRP 板付着中央からの距離 x の関係を図-4 に示す。 σ_s は鋼板の両側面に貼付けられたひずみゲージの平均値に表-1 に示す鋼板のヤング率を乗じて算出した。この図には次式で与えられる CFRP 板が接着された鋼板応力の理論値も示されている。

$$\sigma_s = \left\{ \xi_0 + (1 - \xi_0) \frac{\cosh(cx)}{\cosh(cl)} \right\} \sigma_{sn} \quad (1)$$

ここに、 $\xi_0 = 1 / \{ 1 + 2 E_c t_c / (E_s t_s) \}$ 、 E_c と t_c はそれぞれ CFRP 板のヤング率と厚さ、 E_s と t_s はそれぞれ鋼板のヤング率と厚さ、 c は鋼板応力が CFRP 板に伝達される度合いを表すパラメータであり、試験値から算出した。

3. 2 はく離応力

試験片 GCO について、CFRP 板両表面の付着端近傍のひずみの変化を図-5 に示す。これらのひずみの内、黒丸で示される、最初にひずみの値が急激に変化したときの作用応力 σ_{sn} をはく離応力と定義する。全ての試験片に

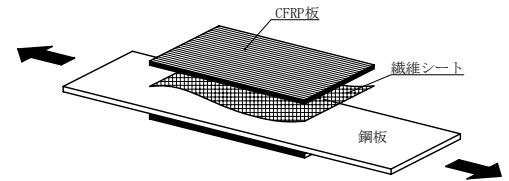


図-1 繊維シートが挿入された CFRP 板接着鋼板

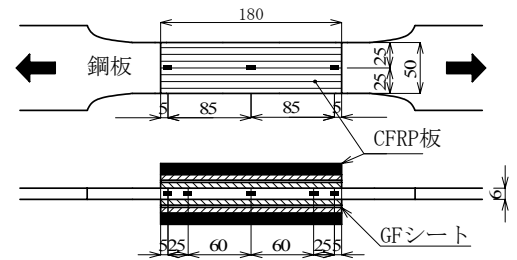
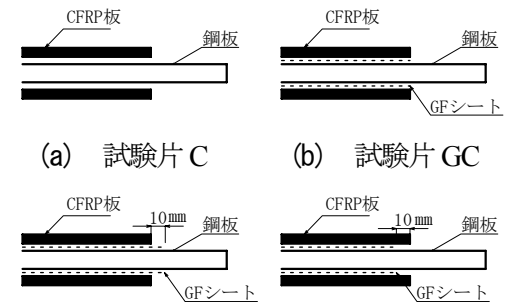


図-2 試験片



(a) 試験片 C (b) 試験片 GC (c) 試験片 GCO (d) 試験片 GCI

図-3 試験片の種類

表-1 材料のヤング率[MPa]

鋼材	206.5
CFRP 板(3 層)	138.8
GF シート	120.0
接着剤	2.2

において、作用応力が鋼材の降伏応力($\sigma_y=396.4\text{MPa}$)に達する前に CFRP 板のはく離した。CFRP 板のはく離は、試験片 C の 2 体と試験片 GCI の 1 体に対して CFRP 板と接着剤の境界近傍の CFRP 板の層内で生じ、その他の試験片に対して CFRP 板と接着剤の界面で生じた。

全ての試験片のはく離応力 σ_{sn} を図-6 に示す。この図において CFRP 板の層内ではく離した場合の結果が白丸で示されている。図-6 から分かるように、試験片 GC の σ_{sn} は大きくばらつき、平均値は試験片 C と同程度であった。試験片 GCO, GCI の σ_{sn} は、GF シート未挿入の試験片 C のそれよりも、約 1.2 倍高い。 σ_{sn} のばらつきは、試験片 GCO が最も小さい。

3. 3 引張せん断接着強さ

次式から計算される CFRP 板のはく離したときのはく離せん断応力すなわち引張せん断接着強さ τ を図-7 に示す。

$$\tau = c t_s \frac{1 - \xi_0}{2} \tanh(cl) \sigma_{sn} \quad (2)$$

ここに、 l は CFRP 板の付着半長さである。

この図では、CFRP 板の層内ではく離した場合の結果が白丸で示され、その値を除いた各種類の τ の平均値も示されている。図-7 から分かるように、黒丸で示される CFRP 板と接着剤の界面ではく離が生じた試験片の τ の値は 20MPa 前後であるが、試験片 GC と GCO の τ の平均値は試験片 C や GCI より若干低い。このように GF シートの端が CFRP 板の端に揃うあるいは 10 mm 外にある場合、式(2)から算出される引張せん断接着強さは GF シート未挿入の場合より若干小さい。

4. 結論

本研究では以下を明らかにした。

- 1) ガラス繊維シートの端が CFRP 板の端と揃っている場合、はく離応力は大きくばらつき、その平均はガラス繊維シート未挿入の場合と同程度であった。しかし、ガラス繊維シートの端が CFRP 板の端より 10 mm 外あるいは内にある場合、はく離応力がガラス繊維シート未挿入の場合より 1.2 倍高くなる。さらに、ガラス繊維シートが CFRP 板の端より 10 mm 外にある場合は、はく離応力のばらつきが小さい。
- 2) ガラス繊維シートの端が CFRP 板の端に揃うあるいは 10 mm 外にある場合、式(2)から算出される引張せん断接着強さはガラス繊維シート未挿入のそれよりも若干小さい。

以上より、CFRP 板と鋼板の間の電池作用腐食の防止ならびにガラス繊維シートの製作寸法の管理を考えると、ガラス繊維シートの端が CFRP 板の端より 10 mm 外に出すのが良い。

【参考文献】

- 1) 石川, 喜多, 大倉: 繊維シートが挿入された炭素繊維プレート接着鋼板のはく離せん断応力, 構造工学論文集 Vol.52A, pp.1317-1326, 2006.
- 2) 石川, 小村, 大倉: はく離せん断応力を低減させる挿入繊維シートの剛性, 鋼構造年次論文報告集 Vol.14, pp.611-616, 2006.

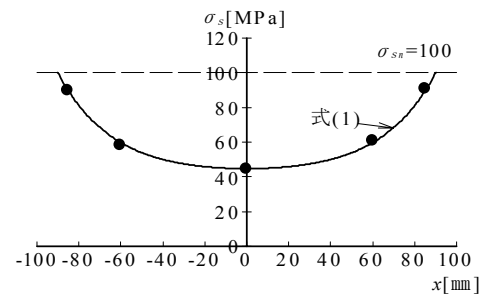


図-4 鋼板の応力分布

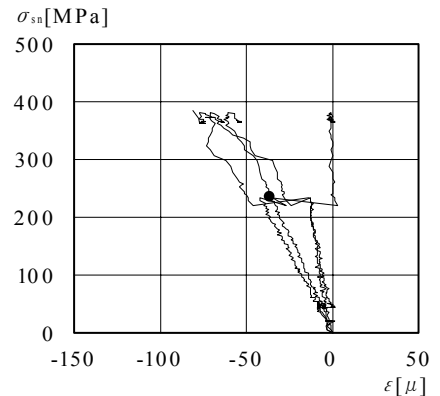


図-5 CFRP 板付着端のひずみ

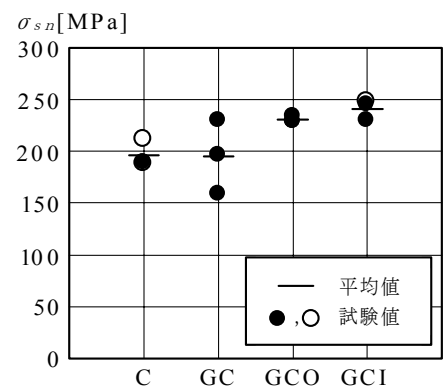


図-6 はく離応力

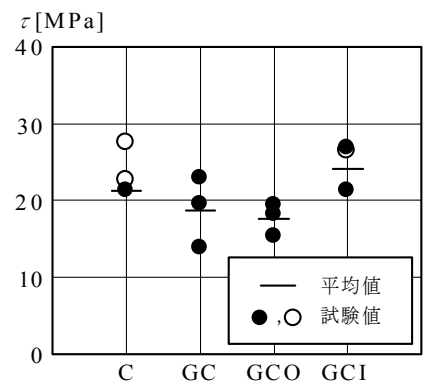


図-7 引張せん断接着強さ