

接着接合による炭素繊維シートと鋼板接合部のせん断付着特性

九州大学大学院
(株)ホープ設計
(株)大日本コンサルタント
(株)日鉄コンポジット

学生会員
正会員
正会員
正会員

○LE PHUONG TUNG
金田一男
田崎賢治
井上和夫

フェロー会員
日野伸一

1. まえがき

既設 RC 橋脚の段落とし部の補強方法として、鋼板巻立て工法や炭素繊維シート（CF シート）接着工法が一般に用いられている。本研究では、経済性および施工性から気中に位置する段落とし部に CF シート接着、また水中に位置する段落とし部に鋼板巻立てによる混合接着補強工法を使用することを目的として行うものである。本工法による補強設計を行うには、接着接合による CF シートと鋼板のせん断付着特性を把握しなければならない。そこで本報では、炭素繊維シートと鋼板の付着長を 200～500mm まで変化させた接着接合試験体の付着試験を行い、炭素繊維シートと鋼板の付着特性について検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体および試験方法

試験体の概略図を図-1 に、試験体種類を表-1 示す。鋼板両面の規定長さにプライマーを塗布した。プライマー硬化後、鋼板両面に 3mm 厚エポキシパテを塗布して CF シートを接着し、室温にて 7 日間以上養生した。荷重試験は図-1 に示されるように CF シートと鋼板の端部に引張力を与えた。荷重は接着界面のせん断剥離破壊に至るまで変位制御で行い、JSCE-E541-2000「連続繊維シートの引張試験方法（案）」に準拠し、試験速度 0.5～1.2mm/分とした。破断荷重、CF シートのひずみ分布および付着強度を計測した。

2.2 実験結果および考察

2.2.1 ひずみー距離関係

図-2 に単位幅当たり荷重 1500N 時における各タイプ CF シートの軸方向ひずみ分布を示す。CF シートは完全弾性体ため、ひずみと CF シートが受ける応力は比例する。付着長 200 mm の試験体は、先端部の応力集中が他の試験体に比べて顕著であることがわかる。また、付着長を長くすることで応力集中が緩和されることが確認できた。ただし、付着長が 300 mm 以上の試験体では、殆ど変化はなかった。

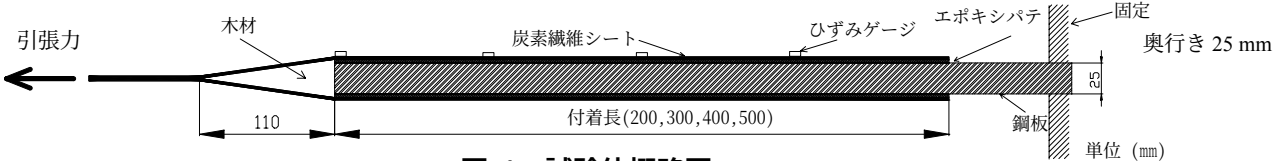


表-1 試験体種類

付着長 (mm)	鋼板表面 下地処理	シート層数 (片側)	
		FTS-C1-30	FTS-C1-60
200	サンドブラスト 処理 (74～105 μm)	1層	2層
300		-	4層
400		-	5層
500		-	6層

表-2 材料特性値

鋼板	引張強度 (N/mm ²)	450
	弾性係数 (N/mm ²)	2.1x10 ⁵
	ポアソン比	0.3
炭素繊維シート	引張強度 (N/mm ²)	3400
	弾性係数 (N/mm ²)	2.45x10 ⁵
	ポアソン比	0.2
	設計厚さ mm	0.333
エポキシパテ	繊維目付 (g/m ²)	600
	弾性係数 (N/mm ²)	2.1x10 ³
	ポアソン比	0.2
引張せん断強度 (N/mm ²)		16

図-1 試験体概略図

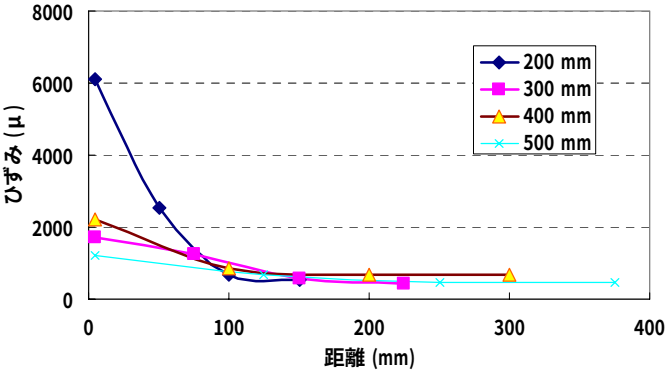


図-2 単位幅当たり荷重 1500N 時のひずみー距離関係
(距離 0 は試験体先端に位置することとする)

2.2.2 付着効果の評価

付着長 50～150 mm の同様試験結果¹⁾と今回の試験結果と合わせて図-3 に CF シート単位幅当たりの最大荷重と付着長の関係を示す。実験結果により、付着長が増加するとともに CF シートの単位幅当たり最大荷重が増加しており、付着長 100～500 mm の範囲では、付着長 100 mm 増加する毎に、その増加率はそれぞれ 88, 38, 26, 14% と次第に小さくなることがわかった。

最大荷重を接着面積で除したものを平均付着強度と定義し、付着効果の評価する。図-3 には関係平均付着強度を単位幅当たり最大荷重-付着長関係曲線の勾配として示す。実験データによる近似直線の勾配が 6.42 N/mm^2 となった。設計上では、平均付着強度(τ_{cf})が 4.0 N/mm^2 となれば十分な安全性が確保できる。

図-4 に付着長 50～150 mm の試験結果¹⁾と今回の試験結果と合わせた最大荷重時の平均付着強度と付着長の関係とその近似曲線を示す。付着長が増加するとともに平均付着強度が 16.8 から 7.4 N/mm^2 に低下することが確認できた。付着長を大きくすることにより、CF シートとエポキシの界面に作用する平均付着強度は低減することがわかった。

3. 剥離荷重の計算方法

「連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針」²⁾によると試験体先端部において初めて CF シートが鋼板から剥離した時の荷重を剥離荷重と定義している。剥離荷重は式(1)により求める。

$$G_f = \frac{P_h^2}{2b^2 \cdot E_f \cdot t} \quad (1)$$

G_f : 界面剥離破壊エネルギー 0.5 (N/mm) とする, P_h : 剥離荷重 (N), b : 炭素繊維シート幅の平均値 (mm)

E_f : 炭素繊維シートのヤング係数 (N/mm^2), t : 炭素繊維シートの厚さ (mm)

表-3 に土木学会が基準とする界面剥離破壊エネルギー式を用いて算出した剥離荷重を示す。本実験では、最大荷重と剥離荷重の比が $4.53 \sim 5.28$ となった。式(1)では界面剥離破壊エネルギー G_f は 0.5 としたが、この値は連続繊維シートとコンクリートの付着の剥離荷重を求めるための値である。連続繊維シートと鋼板の付着の最大荷重を評価するためには界面剥離破壊エネルギーを検討する必要がある。

4. まとめ

CF シートと鋼板のせん断付着特性を実験的に考察した結果、(1) 本実験の範囲内では、付着長が 400 mm 以上である場合、付着長が CF シートと鋼板の付着特性に与える影響が少ない、(2) 設計上では、平均付着強度が 4.0 N/mm^2 となれば十分な安全性が確保できること、(3) 土木学会が基準とする界面剥離破壊エネルギー式を用いた場合最大荷重と剥離荷重の比が $4.53 \sim 5.28$ が求められる。これより、界面剥離破壊エネルギーを検討する必要がある。

参考文献: 1) ホープ設計(株): 炭素繊維シートと鋼板のせん断付着強度試験報告書, 2007.6

2) 土木学会: 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針, 2000.7



写真-1 破壊状況(付着長 400mm)

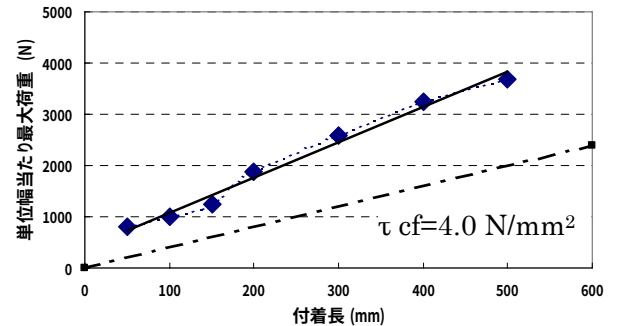


図-3 単位幅当たり最大荷重-付着長の関係

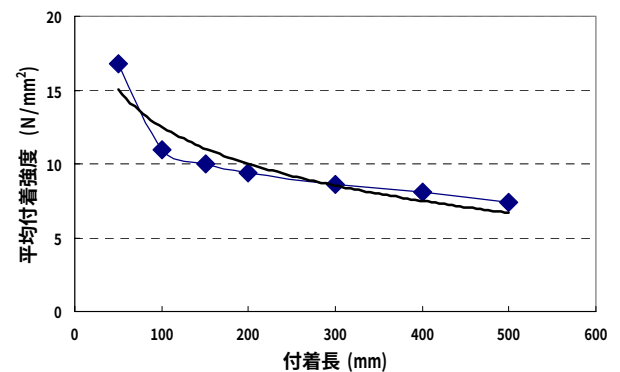


図-4 平均付着強度-付着長の関係

表-3 剥離荷重

付着長 (mm)	シート厚さ t (mm)	CF弾性係数 E_f (N/mm^2)	G_f (N/mm)	剥離荷重 (計算値) (N)	最大荷重 (実験値) (N)	最大荷重/ 剥離荷重
200	0.666	2.45×10^5	0.5	404	1878	4.65
300	1.332	2.45×10^5	0.5	571	2586	4.53
400	1.665	2.45×10^5	0.5	639	3248	5.08
500	1.998	2.45×10^5	0.5	700	3693	5.28