

小型試験機による炭素繊維シートのせん断付着疲労強度に関する研究

(株) 富士ピー・エス 正会員 ○岸本 真輝 (株) 日鉄コンポジット 正会員 小林 朗
大阪大学大学院 フェロー 松井 繁之

1. はじめに

阪神大震災以来、炭素繊維シート（以下 CFS と記す）接着工法は既存の構造物の補修・補強に対して非常に有効な方法の一つとして地位を確保している。また、床版の炭素繊維シート補強については大阪大学が初めて手がけ、輪荷重走行試験を多数行って疲労耐久性の評価をしてきた。また、これに平行して CFS とコンクリートの界面におけるせん断付着強度に関する研究が広く行われているが、静的試験がほとんどであり、付着疲労強度に関する研究が不足している。よって本研究室で考案した小型試験機を用いて、CFS とコンクリートのせん断付着疲労試験を行うことにした。これは付着界面の疲労を調べるにあたって、輪荷重走行試験機で調べることが困難であるためである。

2. 実験概要

(1) 実験装置...図-1 に示すような小型曲げ型試験機に図-2 に示すような供試体を設置し、繰り返し荷重を与え、疲労実験を行った。

- ・ 小型曲げ型試験機...左右 2 つの鋼製はりを試験機中央下部でヒンジを設けて結合しており、4 点曲げ載荷することで中央上部が開口する構造となっている。
- ・ 供試体...独立した 2 つのコンクリート供試体をつき合わせてこの梁上に固定し、その上面に CFS を貼り付けて架橋してある。中央部

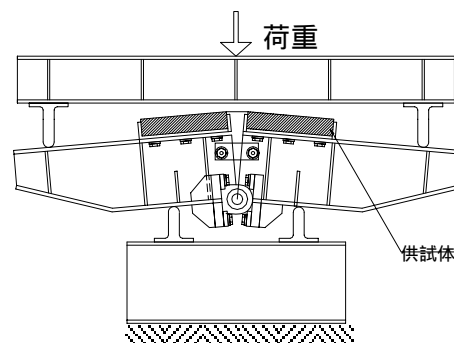


図-1 新型小型試験機

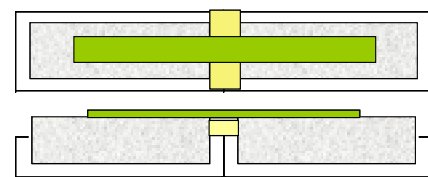


図-2 実験供試体

表-1 コンクリートの圧縮強度

f'_c (N/mm^2)	W / C	E_c (kN/mm^2)	f_t (N/mm^2)
37.9	63%	26.5	3.44

表-2 CFS の材料物性

供試体 (説番号で表記)	タイプ	繊維目付量 g/m^2	設計厚 mm	ヤング係数 $\times 10^5 \text{N/mm}^2$	引張強度 N/mm^2
(1),(2)	高強度タイプ	300	0.167	2.3	3400
(3)	高強度タイプ	400	0.222	2.5	4119

表-3 静的せん断付着試験

CF300	S300	HCF400
14.5	39.4	38.2

は 4cm ほどの無接着区間が設けてあり、その区間を実構造物のひび割れ発生部に見立ててある。CFS 貼り付け長は片側 15cm（中央部の絶縁区間は除く）としている。また、表面処理はディスクサンダーで行った。

(2) 実験供試体

(a) 通常の CFS 補強供試体 (CF300)

コンクリートブロックに目付量 300 g/m^2 の CFS を用いて通常の CFS 補強を行ったもので、コンクリートブロックの材料物性を表-1 に示す。

(b) 鋼材に通常の CFS 補強を行った供試体 (S300)

目付量 300 g/m^2 の炭素繊維シートを用いて、鋼材に炭素繊維シート補強を行った供試体であり、CF300 の供試体と同じプライマー、接着樹脂、炭素繊維シートを使用した。また、通常鋼材に炭素繊維シート補強を行う場合、パテ層を塗布しないためこの供試体に関してもパテ層は塗布していない。

(c) 緩衝材入り炭素繊維シート補強供試体 (HCF400)

目付量 400 g/m^2 の炭素繊維シートを用いてパテ材の代わりに柔軟な緩衝材を挿入してコンクリートブロックに CFS 補強したものである。過去の梁実験によると、緩衝剤を挿入することで有効分布幅が広がり最大荷重が上がった。

(3) 載荷荷重...上記の 3 つの供試体について静的試験を行った結果を表-3 に示す。静的試験においては CF300 が最も低かったので、この 80% の 11.8 kN を載荷荷重の上限値とした。また、下限値は 0.98 kN で一定とした。また、載荷回数は 300 万回を上限回数とした。実験は全て同一荷重で行った。

(4) 測定項目...測定項目は以下に示すような項目とした。

(a) CFS 上面のひずみ

CFS のセンターライン上にひずみゲージを配置した。

(b) 小型曲げ試験機のフレームの開き

(c) コンクリート供試体の開き

(d) たたき点検による CFS の剥離チェック

(e) コンクリート供試体中央部の曲げに伴う鉛直方向移動量

キーワード：炭素繊維シート、せん断付着疲労強度

〒530-0012 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻 Tel : (06)6879-7618

Fax : (06)6879-7621

3. 実験結果

CF300、S300 HCF400 と各 2 体ずつ試験を行った結果、実験供試体は載荷の繰返しに伴って、剥離が進展していった。また、疲労試験では、静的試験のようにコンクリートの表層と樹脂層の剥離面ではなく、表-4 のような接着層間で剥離面が出現した。

(1) CFS のひずみ分布

載荷回数ごとのひずみ分布図を図-3～5 に示す。分布形状は剥離の進行に伴ってひずみ勾配を持つ箇所がセンターから端部へと遷移しており、そのひずみ勾配は HCF400 以外ほぼ同じ値となっている。このことから、CF300、S300 は界面のせん断付着疲労が進行していても有効付着長範囲は変化しないことがわかった。HCF400 に関しては有効付着長が大きく、剥離が発生するとそれに伴って全体的にひずみが上昇し、ひずみ勾配も大きくなっていった。この原因として、初期の段階ではほぼ全面で作用せん断力に対して抵抗してものが、剥離が発生することで抵抗区間が減少して、作用せん断力と釣り合いを保つために残存接着部のひずみが全体的に上昇し、ひずみ勾配も変化したものと考えられる。

(2) せん断応力

ひずみ分布より、測定回数ごとに次式によってせん断応力の算定を行った。

$$\tau_x = E_{cf} * t_{cf} * \frac{d\varepsilon}{dx} \quad \text{ここで、} \tau_x : \text{せん断応力、} E_{cf} : \text{ヤング係数}$$

$$\varepsilon : \text{ひずみ、} x : \text{距離}$$

$$t_{cf} : \text{炭素繊維シートの厚さ}$$

CF300 せん断応力は約 5.5Mpa の最大値をとりながら、センターから端部へと遷移していった。また、Steel の供試体ではせん断応力は約 18Mpa の値を取りながら端部へと遷移していった。コンクリート供試体と Steel 供試体の大きな違いは母材のヤング係数とパテ層の有無である。この 2 つの影響で有効付着長が変化し、せん断応力の差が出たと考えられる。HCF400 は初期段階では最大せん断力が約 2.5Mpa であったが終局付近では約 4.5Mpa であり、それに伴って全体的にせん断応力が上昇していた。

次に、ひずみ分布形状を比較したものが図-6 である。有効付着長は、CF300 では約 40mm であるが、S300 では約半分の 20mm である。また、HCF400 はほぼ全面の 150mm である。このように、同じ荷重が作用した場合有効付着長が小さいものはせん断力のピーク値が大きくなり、有効付着長が大きいものはせん断力のピーク値が小さくなる。

(3) 剥離進行曲線

図-7 に CF300 のセンターの無接着区間からの剥離距離と載荷回数の関係を示す。CF300 が最も剥離進行が遅く、HCF400、S300 はほぼ同じであった。これらの原因として、S300 は作用するせん断応力が大きいために剥離進行が早くなり、HCF400 は荷重が作用した際に接着区間全域が応力分担するため、供試体全体の疲労強度としては弱くなるようである。

4. まとめ

剥離の進展速度は静的せん断付着強度に依存せず、緩衝材入り供試体、通常の炭素繊維シート補強供試体、鋼材に通常の炭素繊維シート補強を行った供試体の中では、通常の炭素繊維シート補強を行った供試体が最も剥離の進展が遅かった。

【参考文献】

- 1) 土谷逸郎、松井繁之、小林朗、真鍋隆：炭素繊維シートの付着せん断強度に関する研究、2000 年コンクリート工学年次講習会

表 4 剥離面

	剥離面
HCF400	緩衝材層
CF300	プライマー層 + 樹脂
S300	プライマー層 + 母材

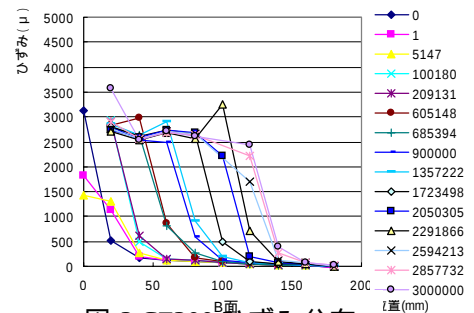


図-3 CF300 ひずみ分布

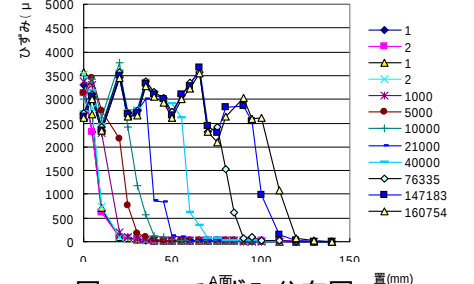


図-4 S300 ひずみ分布図

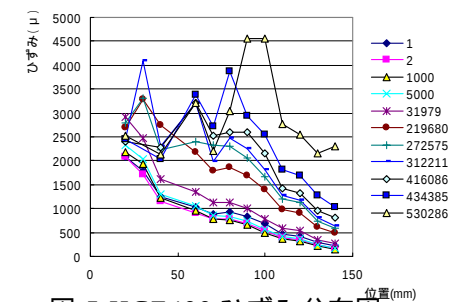


図-5 HCF400 ひずみ分布図

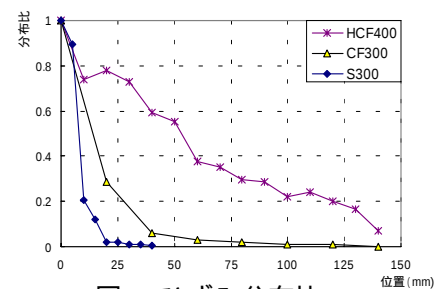


図-6 ひずみ分布比

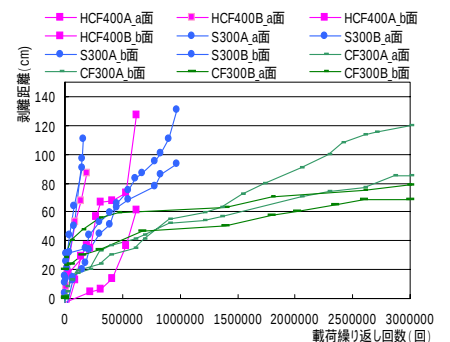


図-7 剥離進行曲線