

大阪大学大学院 学生会員 ○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始めて手がけ、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され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は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、サーボパルサーにより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く構造となっている。
- ・ 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。中央部には 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) 実験供試体パラメーター

(a) コンクリート供試体のパラメーター

- ・ コンクリート供試体の圧縮強度…表-1 に示す 3 種である。強度は w/c の変化で達成している。
- ・ 繰り返し載荷荷重の荷重範囲…下限荷重は 0.98kN 一定で行い、上限荷重をパラメーターとした。以前本試験機を用いて行われた静的試験の最大荷重を基準として、その最大荷重の 80%, 75%, 60% の 3 種類（表-2 に示す荷重）を各供試体について、300 万回を最大載荷回数として繰り返し載荷を行った。

(b) 比較用供試体

- ・ 母材が Steel のもの …2 体 s-a, s-b
- 上記の供試体の上限荷重は比較のため 63-c, d 供試体と同じとした。

(3) 測定項目

測定項目は以下に示すような項目とした。

- CFS 上面のひずみ…CFS のセンターライン上に、20mm 間隔でひずみゲージを配置した。
- 小型曲げ試験機のフレームの開き
- コンクリート供試体の開き
- 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
- たたき点検による CFS の剥離チェックである。

3. 実験結果

炭素繊維シートはセンターの無接着区間から端部へ載荷回数と共に徐々に剥離が進行していった。また、剥離面は静的試

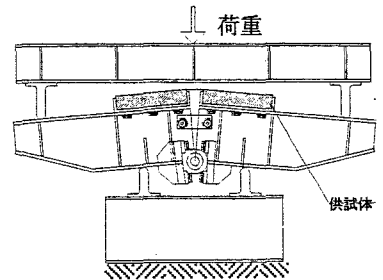


図-1 新型小型試験機

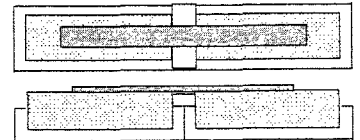


図-2 実験供試体

表-1 コンクリートの圧縮強度

W/C	f'_c (N/mm ²)	E_c ($\times kN/mm^2$)	f_t (N/mm ²)
50%	50.2	28.4	3.49
63%	37.9	26.5	3.44
75%	29.2	23.5	3.38

表-2 繰り返し最大荷重

W/c (%)	上限荷重比 (%)	上限荷重 kN	供試体名
50	60	10.0	50-a, 50-f
	75	12.5	50-b, 50-e
	80	13.7	50-c, 50-d
63	60	8.8	63-a, 63-f
	75	10.9	63-b, 63-e
	80	11.8	63-c, 63-d
75	60	8.8	75-a, 75-f
	75	10.9	75-b, 75-e
	80	11.8	75-c, 75-d

表-3 CFS の材料物性

繊維種類	目付量 g/m ²	設計厚さ mm	引張強度 N/mm ²	引張弾性率 N/mm ²
高強度CFS	300	0.167	3400	2.3×10^5

験と異なって接着層間で進行していき、数種類の剥離面が表れた(表-4)。

(1) 剥離進行曲線

図-3 に $w/c=63$ シリーズ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。他の供試体を含めて全体的な傾向として上限荷重の大きいものほど剥離進行速度が早いという傾向にあった。また、一概には言えないが、全体的にコンクリート供試体の圧縮強度の小さい供試体ほど剥離進行速度が早いという傾向にあった。

(2) CFS のひずみ分布

載荷回数ごとのひずみ分布図を図-4 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、そのひずみ勾配はほぼ同じ値となっている。このことから、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明らかとなった。

(3) セン断応力

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。その結果を図-5 に示す。

$$\tau_x = E_{cf} * t_{cf} * \frac{d\varepsilon}{dx}$$

ここで、 τ_x : セン断応力、 E_{cf} : ヤング係数

t_{cf} : 炭素繊維シートの厚さ

ε : ひずみ、 x : 距離

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、これは他のコンクリート供試体に関してもほぼ同様で 3~5 Mpa の範囲でほぼ一定値をとっていた。これに対して、Steel の供試体ではせん断応力は約 18Mpa の値であった。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て、せん断応力の差が出たと考えられる。

そこで、ひずみ分布形状を比較したものが図-6 である。この図を見て解るように、コンクリート供試体の各パラメーター間では大きな変化は無く、有効付着長は約 40mm であるが、Steel 供試体では約半分の 20mm 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と考えられる。

4. まとめ

- ・作用荷重が大きいものほど、剥離の進展は早くなる。
- ・母材のヤング係数が小さく、またパテ層がある方が有効付着長は大きくなる。
- ・コンクリート供試体と Steel 供試体を同一荷重下で疲労試験を行った結果、Steel 供試体の方が剥離の進行は早い。コンクリート供試体は約 3~5.5Mpa、Steel 供試体は約 18Mpa で付着破壊が進行した。コンクリート供試体では 3MPa 以下では付着破壊は進行しなかった。

【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

破損面
63-20a
63-20b
63-20c
63-20d
63-15e
63-15f
75-15a
75-15b
75-15c
75-15d
75-15e
75-15f
50-15a
50-15b
50-15c
50-15d
50-15e
50-15f

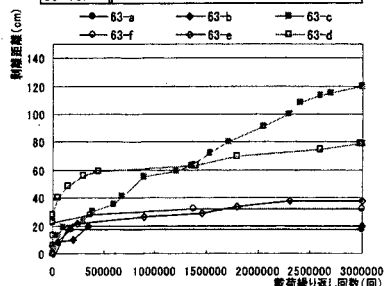


図-3 剥離進行曲線

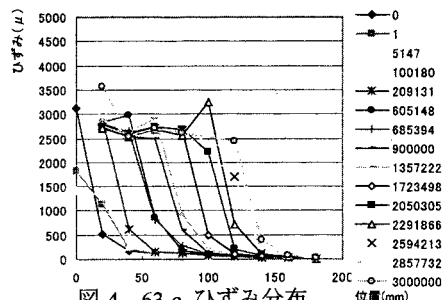


図-4 63-c ひずみ分布

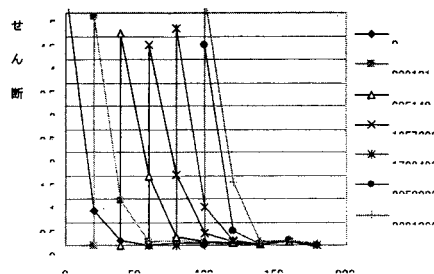


図-5 セン断力分布図

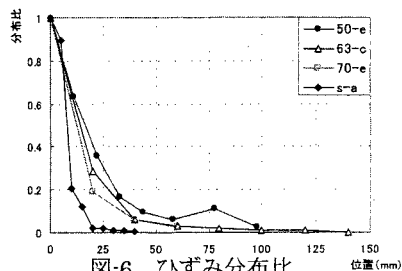


図-6 ひずみ分布比