

V-14

炭素繊維シートの積層数が疲労挙動に及ぼす影響

北海道大学工学部 ○ 学生員 逆井 温子

北海道大学大学院 学生員 森脇 渉

北海道大学大学院 正 員 佐藤 靖彦

北海道大学大学院 正 員 上田 多門

1. はじめに

炭素繊維シートは、高い強度と弾性率をもち、軽量でかつしなやかであるため施工性にも優れ、コンクリートの拘束効果が高い。近年、この炭素繊維シートが既設コンクリート構造物の新しい補強材料として注目されている。炭素繊維シートを用いた場合の補強設計が確立されれば、既往の補強方法にあらたな選択の幅を与えることができる。

これまで、炭素繊維シートの付着特性に関する研究が盛んに行われてきているが、疲労荷重下における付着性状に関しては未だ不明な点が多い。本研究では、積層数をパラメータとしたCFSの静的および疲労試験を実施し、付着特性の違いについて実験的に検討しようとするものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

補強材として使用したCFSは、高強度カーボン(FTS-C1-20)である。CFSの力学的特性をTable 1に示す。実験供試体に使用したコンクリートは、設計基準強度40MPa、単位水量160kg/m³、水セメント比40.6%、粗骨材の最大寸法20mm、セメントには早強ポルラントセメントを使用した。テストピースには、直径100mm、高さ200mmの円柱供試体を使用した。

2.2 実験供試体

実験供試体をFig.1およびFig.2に、実験供試体の諸元をTable 2に示す。実験供試体は、縦200mm、横350mm、高さ250mmのコンクリートに、幅100mm、付着長200mmのCFSを接着したものである。本研究では、静的試験用2体(供試体S-1およびS-2)、疲労試験用2体(供試体F-1およびF-2)の合計4体作製した。供試体S-1とF-1はCFSを1枚、供試体S-2とF-2はCFSを3枚接着したものである。なお、本実験では、接着面をディスクサンダーで骨材が現われるまで研磨し、エポキシ樹脂プライマーを塗布した後、エポキシ樹脂接着剤を用いてのCFSを接着した。

Table 1 Properties of CFS

CFS(FTS-C1-20)	
Thickness (mm)	0.110
Fiber Density (g/m ²)	200
Tensile Strength (MPa)	3479
Tensile Modulus (GPa)	230
Ultimate Elongation (%)	1.5

Table 2 Properties of Specimens

Specimens	Compressive Strength	CFS	Load Condition
S-1	40.9 MPa	1 Layer	Static
S-2	45.9 MPa	3 Layer	Static
F-1	36.1 MPa	1 Layer	Fatigue
F-2	36.9 MPa	3 Layer	Fatigue

Influences of Number of CFS Layers on Bond Fatigue Behavior of CFS

By Yoshiko SAKAI, Wataru MORIWAKI, Tamon UEDA and Yoshio KAKUTA

ひずみ測定にはCFSの表面の軸方向に5mm長のワイヤーストレインゲージを用いた。ひずみゲージは、100mm 幅の CFS に3列(左、右の列は20mm おき、中央の列は10mm おき)に貼付された。後で示すCFSのひずみ図は、横方向の3点のゲージのひずみを平均して求めた値によるものである。

H 鋼の台は16本のボルトをトルクレンチで締め、床と固定し、供試体は4本のボルトでH 鋼と固定した。载荷中、シートが鋼板の間から滑り出のを防ぐため、CFS は鋼板に巻き付けた後に試験面と付着させた。

2.3 実験方法

Fig.2 に示すように、アクチュエータによりCFS に引張力を与えることにより、CFS の付着試験が行われた。CFS を挟んでいる鋼板プレート部分とアクチュエータのヘッドの部分に载荷時の偏心を防ぐために横方向と縦方向のヒンジを介した。

疲労試験は、繰返し载荷速度 5Hz、荷重一時間関係には正弦波形を採用し、上限荷重比 $Q_{H,S}$ (上限荷重と静的終局耐力 P_U の実験値との百分率) は P_U の 70% とし、下限荷重比 $Q_{L,S}$ は P_U の 10% とした。各供試体の上限荷重比、下限荷重比を Table 3 に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 剥離進展モデル⁽⁴⁾

Fig.3 に、既往の研究により得られている剥離進展モデル⁽⁴⁾を示す。①の領域でのみ荷重に抵抗しており、さらに荷重を加えることで、その領域で抵抗しきれなくなると、ひずみ分布は直線の形状を示し (②)、この部分で CFS は剥離する。③の領域のひずみの値が変化しない部分は付着応力がないことを示している。そして長手方向に付着領域が移動していくのである (④)。また、図中で付着に抵抗している領域 (L_e) は有効付着長といわれるものである。この剥離の進展モデルを踏まえ、本実験結果を考察する。

3.2 ひずみ分布

Fig.4 から Fig.7 に各供試体のひずみ分布を示す。x 軸は、CFS の付着を切ってある部分から長手方向への距離を示す。なお、Fig.6 と Fig.7 は、任意の繰返し回数における上限荷重時のひずみ分布を示す。供試体 S-1 については、先述の剥離進展モデルより、約 13.4kN の引張荷重を加えた時点で、剥離し始めたといえる。その後、引張荷重を加えていくに従って、剥離が進展していく様子が伺える。Fig.4 に剥離進展モデルの④の様な形状を得られなかったが、もう少し測定の時間間隔を細かくすることによって取り得たものである。よって終局荷重は 20.6 kN よりわずかが大きいと思われる。

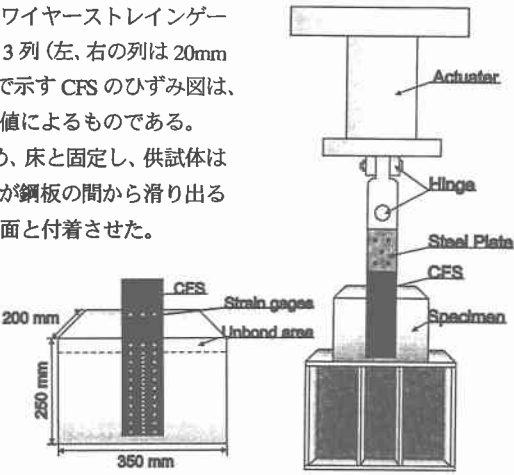


Fig.1 Specimens

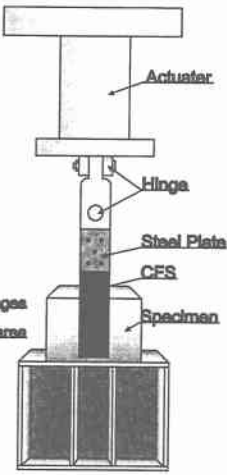


Fig.2 Loading system

Table 3 Extreme Values of Fatigue Tests

CFS	1 Layer	3 Layer
P_U (kN)	20.6	34.1
$Q_{H,S}$ (kN)	14.3	23.9
$Q_{L,S}$ (kN)	2.04	3.41

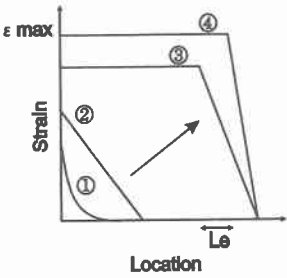


Fig.3 Schematic diagram for strain distribution

供試体 S-2 については載荷途中（約 24kN まで載荷した時点）に鋼板と CFS とのつなぎめの部分にシートの幅方向に亀裂が入ったため 1 度除荷し、その後また実験を開始した。Fig.3 に示す剥離進展モデルにおける①や②のような形状を得られなかったのはこのような原因が考えられる。つまり、抵抗する領域が見られないということは、最初に荷重をかけた段階で 0~30mm あたりの CFS は剥離していたのであろう。亀裂が入った原因として、CFS と鋼板の剛性の違いにより、そこに応力集中が起こったと考えられる。CFS の積層数を 1 枚から 3 枚に増やすことで、同一荷重下における最大ひずみの値は小さくなった。有効付着長においてはひずみ分布の傾き ($\delta \varepsilon / \delta x$) を Fig.4 と Fig.5 で比較すると、Fig.5、すなわち積層数が多い方が傾きが緩やかで、その結果有効付着長が長くなる。つまり、剥離に対する付着抵抗領域が大きくなり、剥離終局耐力が大きくなる。

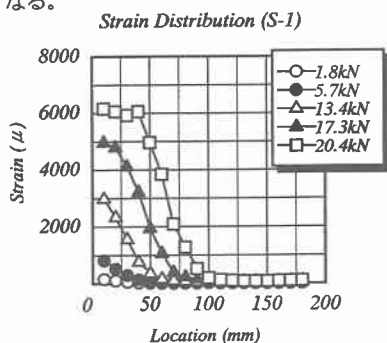


Fig.4

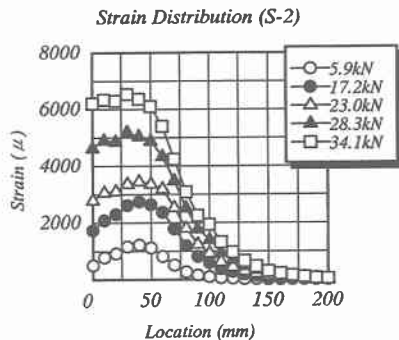


Fig.5

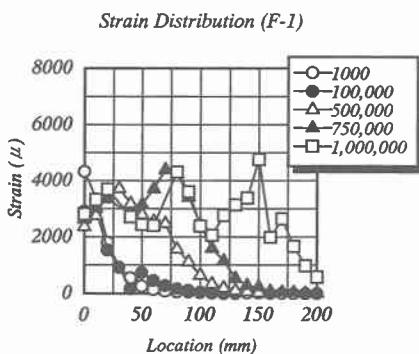


Fig.6

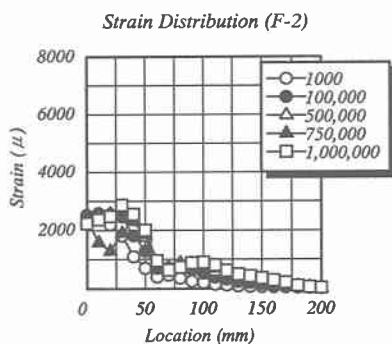


fig.7

供試体 F-1 についてはひずみの値が幾分ばらついた結果となった (Fig.6)。普通は付着面のコンクリートがシートと共に剥離するものだが、F-1 に関しては、剥離後のシートの裏側にコンクリートが付着していなかった。これは施工の際に、樹脂が炭素繊維間に十分に含浸していなかったことに原因がある。Fig.6 より疲労試験においても静的試験と同様、長手方向に付着領域が移動していく。有効付着長に関しては、供試体 S-1 と比較して大きな違いは見られなかった。疲労寿命は 1014602 回だったが、樹脂層が破壊しなければ疲労寿命はおそらく大きくなるのであろう。

次に供試体 F-2 について考察する (Fig.7)。F-2 は現在実験中で本研究は載荷回数 100 万回までの結果とする。50 万回で、非接着区間から 30mm の位置でひずみが一定となっており、この区間で剥離が発生しているものと思われる。さらに、50mm より奥の領域においてひずみの増加が見られる同載荷回数で剥離している領域が短いのが特徴的である。Fig.8 と Fig.9 は、供試体 F-1 と F-2 の各位置のひずみを繰返し回数との関係

で表したものである。載荷回数が増えるにしたがって剥離が進展している様子が伺える。Fig.8 より供試体 F-1 において、測定位置 0 mm は最初の荷重の段階で、測定位置 20mm は載荷回数 1000 回あたりで剥離ははじめていることが明らかである。その後あまり剥離は進展せず、載荷回数 50 万回でどの測定位置も急激に剥離が進展した。それに対し、供試体 F-2 は載荷回数 75 万回までにおいて F-1 のようなひずみ変化はほとんどみられず、載荷回数 75 万回以上で急激にひずみの値が変化し始めた。今後のひずみの変化にもよるが、おそらく F-2 の疲労寿命は F-1 よりも大きくなるのであろう。

4. 結論

今回の実験条件下で得られた結論をまとめると、以下の通りである。

- (1) 静的試験において積層数を増やすことで終局耐力は向上する。
- (2) 積層数が多いほどひずみ分布の傾きは小さくなり、その結果有効付着長は長くなる傾向にある。
- (3) 静的、疲労面試験において同積層数の有効付着長に大きな変化は見られない。
- (4) 積層数 1 枚のとき、静的付着強度の 70% を上限荷重とした場合、載荷回数 50 万回で剥離が急激に進展し、約 100 万回で破壊した。積層数が 3 枚のときは、載荷回数 75 万回以上でひずみの値が大きく変化し始めた。

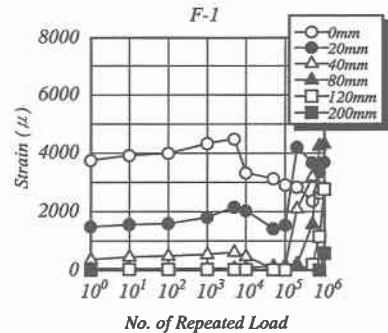


fig.8

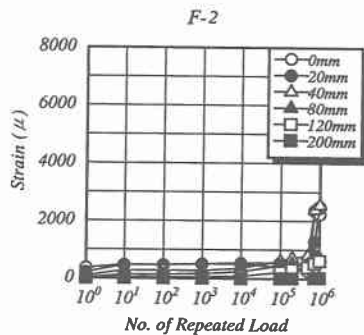


Fig.9

謝辞

北海道大学構造工学講座教授・角田與史雄博士には貴重な御意見、御指導を賜りました。ここに厚くお礼を申し上げます。また、北海道大学工学部技官・木村勉氏には、実験を行うにあたり多大なる御協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 浅野 靖幸：炭素繊維シートとコンクリートとの付着特性に関する研究、北海道大学修士論文 1998
- 2) 松下 博通、岳尾 弘洋、鶴田 浩章：炭素繊維接着工法の炭素繊維シート剥離耐力向上方法に対する一考察、シンポジウム論文集、土木学会
- 3) 井上 正一、西林 新蔵、吉野 公、小俣 富士夫：CFRP 板で補強した RC はりの変形状と静的および疲労強度、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.2、pp.1481-1486、1996