

緩衝材を用いた炭素繊維シート補強はり部材の曲げ疲労挙動に関する検討

A Study on Flexural Fatigue Behavior of Reinforced Concrete Strengthened by Carbon Fiber Sheet with Soft Layer

北海道大学大学院 ○学生員 伊藤智之 (Tomoyuki Ito)
 北海道大学大学院 正員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)
 清水建設(株) 正員 前田敏也 (Toshiya Maeda)
 日石三菱(株) 正員 小牧秀之 (Hideyuki Komaki)

1. はじめに

優れた耐久性や施工の簡便性などの特徴を持つ炭素繊維シート(CFS)は、コンクリート構造物に対する補強工法として、もはや一般的に認知されつつある。その破壊形態の多くは、CFSの破断、もしくは、CFSの剥離である。特に、はりなどの下面にCFSを接着させる下面補強においては、CFSの剥離による破壊形態が多く見受けられることが、現在までに行われた種々の実験により明らかにされている。このCFSの剥離という破壊形態は、CFSの引張特性が十分に生かされていないことを意味する。この問題を解決するべく、開発されたものが「緩衝材」である。

高い変形性能を持っている「緩衝材」はCFSとコンクリート面の間に用いることで、CFSとコンクリート界面の付着特性が改善され、局所的な付着破壊を抑制する働きがある。局所的な付着破壊は急激な付着応力の低下により起こる現象であるが、「緩衝材」が用いられた場合、この急激な付着応力の低下が緩和される。このことはすでに既往の研究¹⁾で静的試験において明らかにされたことである。

本研究では、「緩衝材」を用いたCFSの疲労挙動についてはまだ明らかになっていないことから、「緩衝材」を用いたCFS補強はり部材の曲げ疲労試験を行うことで、その疲労挙動を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

実験に使用した供試体はCFSを下面補強したRCはりである。主筋にD13、帯筋にD10を使用した。帯筋の配置は150mmピッチとした。供試体の寸法形状を図-1に、使用材料の物性値を表-1に示す。

CFSの貼付けは、コンクリート面に下地処理、プライマー塗布後、緩衝材を用いない場合はCFSを貼付け、緩衝材を用いる場合はプライマーを塗布後、緩衝材を塗布し、CFSを貼付けた。緩衝材の厚さは500 μ mとした。供試体の仕様を表-2に示す。また、実験はCFS貼付け後、1週間以上養生した後に実施した。

実験方式は、2点載荷(載荷点間距離300mm、支点間距離1,800mm)による疲労載荷試験とした。載荷荷重は、上限荷重40kN、下限荷重10kNとし、載荷速度は4Hzとした。変位、荷重、鉄筋及びCFSのひずみを計測した。疲労載荷試験は200万回載荷しても破壊しなければ、疲労載荷を中断し、静的試験を行った。静的試験により疲労載荷200万回後の静的耐力を測定した。

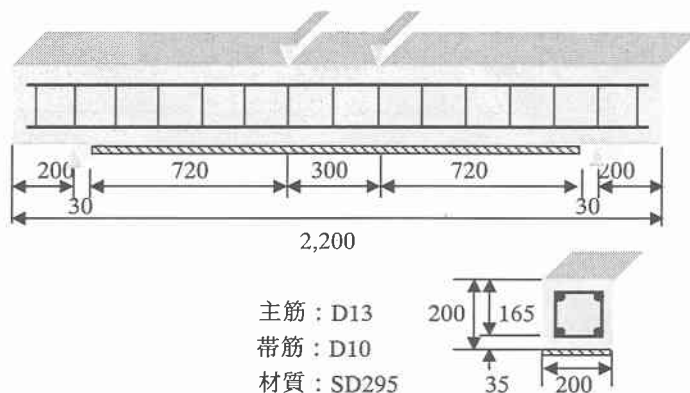


図-1 供試体概要

表-1 使用材料の物性値

CFS	繊維目付	300g/m ²
	設計厚さ	0.167mm
	引張弾性率	236GPa
	引張強度	4120MPa
	破断ひずみ	15500 μ
鉄筋 SD295	降伏強度	360MPa
	引張強度	515MPa
コンクリート	圧縮強度	37.5MPa
緩衝材	引張強度	1MPa
	伸び率	70以上
	ゴム硬度	40Hs以上

表-2 供試体の仕様

供試体	緩衝材	CFSの層数
SP-C1-SL	有	1
SP-C2	無	2
SP-C2-SL	有	2
SP-C3	無	3
SP-C3-SL	有	3

3. 実験結果及び考察

3.1 各実験結果

各実験結果を表-3に示す。CFSが1層のSP-C1-SLは、疲労載荷中に鉄筋が破断したが、CFSは破断も剥離もしていなかったので疲労載荷を中断して、静的試験を行った結果である。CFSが2層の場合は、緩衝材を用いた場合(SP-C2-SL)の方が用いない場合(SP-C2)よりも静的耐力が大きくなっている。しかし、CFSが3層の場合は、緩衝材を用いた場合(SP-C3-SL)も用いない場合(SP-C3)も静的耐力がほとんど変わらなかった。これは破壊形態の違いによるものである。

表-3 各実験結果

供試体	載荷回数 (回)	静的耐力 (kN)	静的試験による 破壊形態
SP-C1-SL	1,295,703	58.8	A
SP-C2	2,000,000	101.9	B
SP-C2-SL	2,000,000	109.8	B
SP-C3	2,000,000	115.6	B
SP-C3-SL	2,000,000	117.6	C

A : CFS の破断

B : スパン中央付近からのコンクリートの付着破壊

C : 端部からのコンクリートの付着破壊

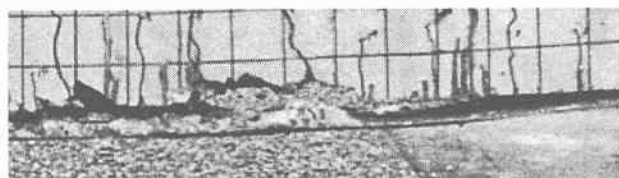


図-2 セン断スパン中央付近のコンクリートの付着破壊



図-3 端部からのコンクリートの付着破壊

本実験において、コンクリートの付着破壊には2通りの破壊形態が見られた。1つには、図-2 に示すせん断スパン中央付近からのコンクリートの付着破壊である。もう1つは、図-3 に示す端部からのコンクリートの付着破壊である。このコンクリートの付着破壊は CFS の付着によるひび割れが斜めひび割れと主鉄筋位置と交差した後、主鉄筋に沿った水平ひび割れへと成長し、かぶりコンクリートの剥離を引き起こしたものである。前者はこのような付着破壊がスパン中央の辺りで発生し、そこから端部に向かって CFS が剥離している。後者は前者のような付着破壊が端部から進行して、せん断スパン全体にわたりかぶりコンクリートが欠落するという破壊形態になっている。

3. 2 荷重—変位関係

SP-C2、SP-C2-SL の荷重—変位の関係を図-4 に示した。SP-C2 に比べて SP-C2-SL の方が、変位が大きくなっている。緩衝材の変形性が高いために緩衝材を用いた場合の方が、剛性が低下する。

SP-C1-SL、SP-C2、SP-C2-SL、SP-C3、SP-C3-SL の剛性比と繰返し回数の関係を図-5 に示した。剛性は繰返し載荷における荷重—変位の関係を直線に近似し、その勾配 (= 荷重/変位) で表した値で剛性比は任意の繰返し回数での剛性 E_i を繰返し回数 1 回目の剛性 E_0 で除した値である。繰返し回数の増加に伴う剛性値の変化は、

緩衝材を用いない場合は繰返し回数が少ない段階で急激に低下する傾向にあるが緩衝材を用いた場合は全体的に緩やかに低下している。また、CFS の層数の違いによる剛性比の低下割合は、層数が多いほど繰返し回数の増加に伴う変化が小さい。

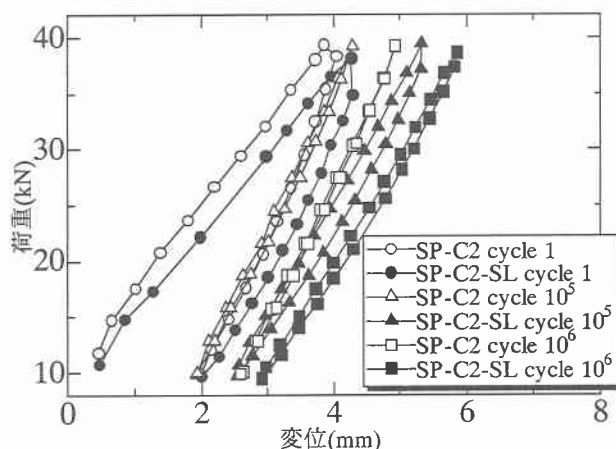


図-4 荷重—変位の関係

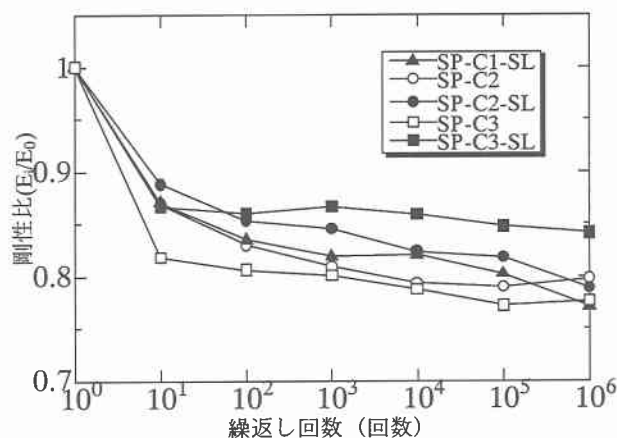


図-5 剛性比と繰返し回数の関係

3. 3 CFS のひずみ分布

SP-C2、SP-C2-SL の CFS のひずみ分布を図-6、図-7 に示した。ひずみが高い値となっている位置はひび割れが入った位置で、低い値となっている位置はひび割れ間の位置と考えられる。

繰返し回数の増加に対して、緩衝材を用いていない場合(図-6)ではひび割れが入った位置のひずみがほとんど増加しないが、ひび割れ間のひずみは繰返し回数の増加に伴って増加する傾向になった。緩衝材を用いた場合(図-7)ではひび割れが入った位置のひずみもひび割れ間のひずみも共に増加する傾向にある。

SP-C1-SL、SP-C3-SL の CFS のひずみ分布を図-8、図-9 に示した。CFS が1層、3層においても緩衝材を用いた場合、繰返し回数の増加に伴ってひび割れが入った位置のひずみもひび割れ間のひずみも増加する傾向にある。

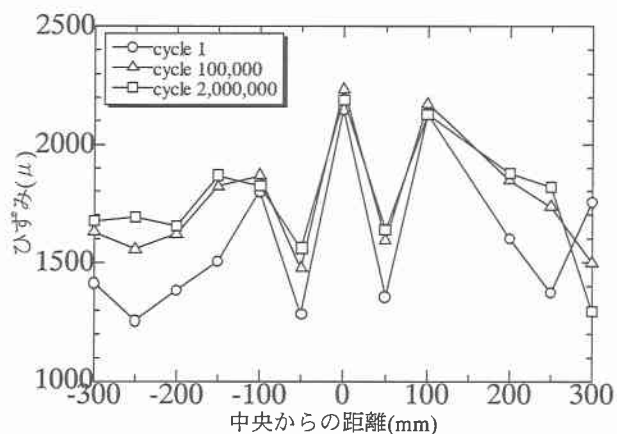


図-6 SP-C2 の CFS ひずみ分布

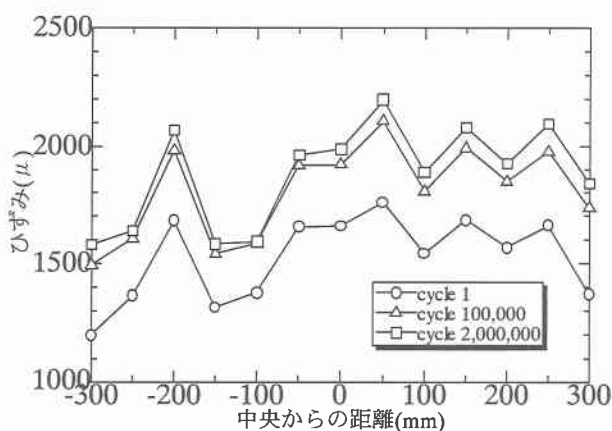


図-7 SP-C2-SL の CFS ひずみ分布

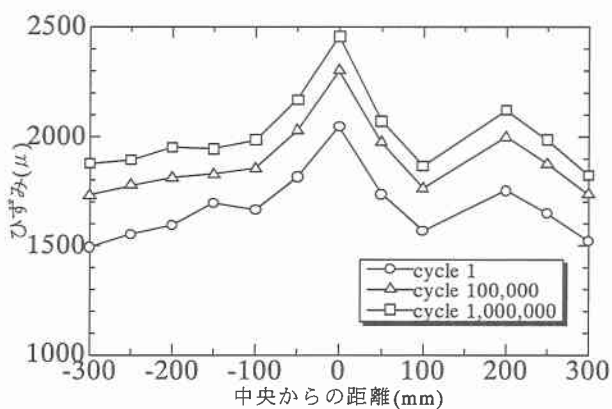


図-8 SP-C1-SL の CFS ひずみ分布

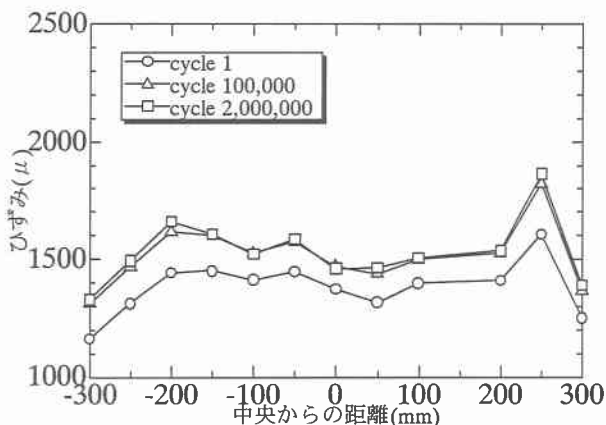


図-9 SP-C3-SL の CFS ひずみ分布

3. 4 付着応力分布

ここで引張鉄筋と CFS の付着応力分布の比較を行う。なお、引張鉄筋の付着応力は以下の式(1)により算定した。

$$\tau_s = \frac{A_s E_s d\epsilon_s}{\pi D dx} \quad (1)$$

τ_s : 鉄筋の付着応力(MPa)

A_s : 鉄筋の断面積(mm²)

E_s : 鉄筋の弾性係数(MPa)

$d\epsilon_s$: 鉄筋のひずみ差

D : 鉄筋の直径(mm)

dx : ひずみの測定間の距離(mm)

また、CFS の付着応力は以下の式(2)により算定した。

$$\tau_{CFS} = \frac{t E_{CFS} d\epsilon_{CFS}}{dx} \quad (2)$$

τ_{CFS} : CFS の付着応力(MPa)

t : CFS の厚さ(mm)

E_{CFS} : CFS の弾性係数(MPa)

$d\epsilon_{CFS}$: CFS のひずみ差

dx : ひずみの測定間の距離(mm)

SP-C2、SP-C2-SL の引張鉄筋の付着応力分布を図-10、図-11 に示した。付着応力は上限荷重 40kN が載荷されている時の値である。引張鉄筋の付着応力の値は、繰返し回数が1回の際は SP-C2 と SP-C2-SL では、SP-C2-SL の方が SP-C2-SL に比べて大きくなっている。しかし、SP-C2-SL は繰返し回数の増加に伴って、引張鉄筋の付着応力は低下しており、一方、SP-C2 では繰返し回数の増加に対しても引張鉄筋の付着応力はほとんど変わらない。緩衝材を用いた場合と用いない場合とでは引張鉄筋の付着応力に大きな差が現れることが明らかになった。

SP-C2、SP-C2-SL の CFS の付着応力分布を図-12、図-13 に示した。CFS の付着応力の値は、SP-C2-SL の方が SP-C2 に比べて小さくなっている。また、繰返し回数の増加に伴って付着応力が SP-C2 では減少しているが、SP-C2-SL では増加している。周知のように付着応力はひずみ差により表わされ、これは、3.3 で記述したような繰返し回数の増加に伴うひずみ挙動に対応する結果である。

SP-C1-SL、SP-C3-SL の CFS の付着応力分布を図-14、図-15 に示した。CFS が1層や3層においても2層と同様に繰返し回数の増加に伴って付着応力が増加する傾向にあった。よって、緩衝材を用いた場合、繰返し回数の増加に伴って CFS の付着応力が増加することが明らかである。

しかし、現時点では繰返しに伴う CFS の付着応力の増加及び鉄筋の付着応力の低下機構を明らかにすることでもない。

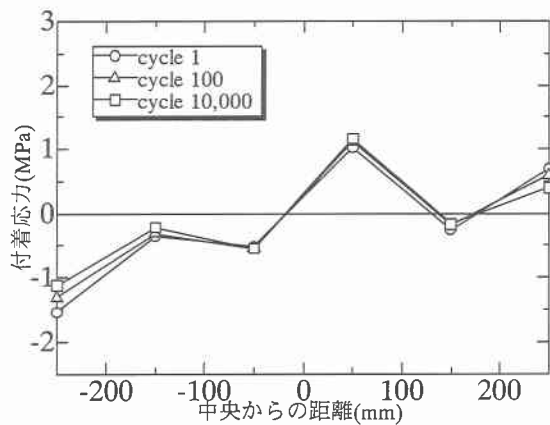


図-10 SP-C2の引張鉄筋の付着応力分布

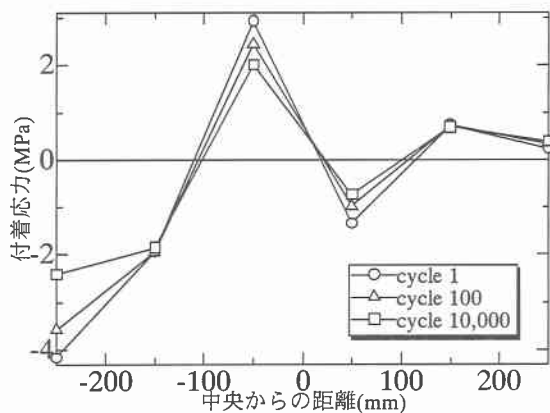


図-11 SP-C2-SLの引張鉄筋の付着応力分布

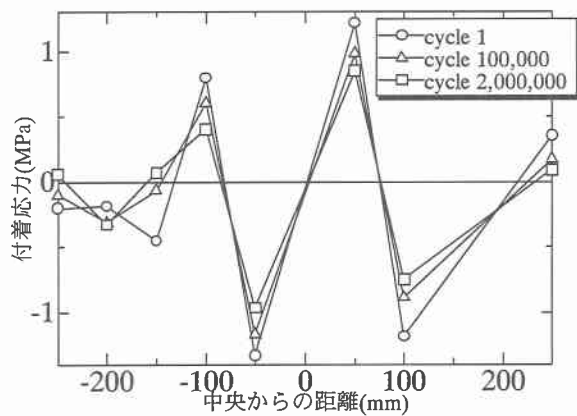


図-12 SP-C2のCFS付着応力分布

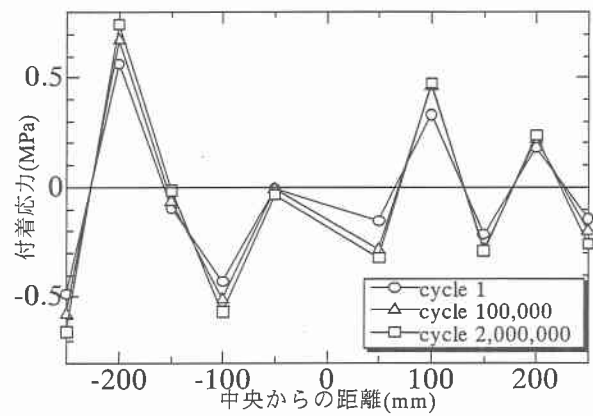


図-13 SP-C2-SLのCFS付着応力分布

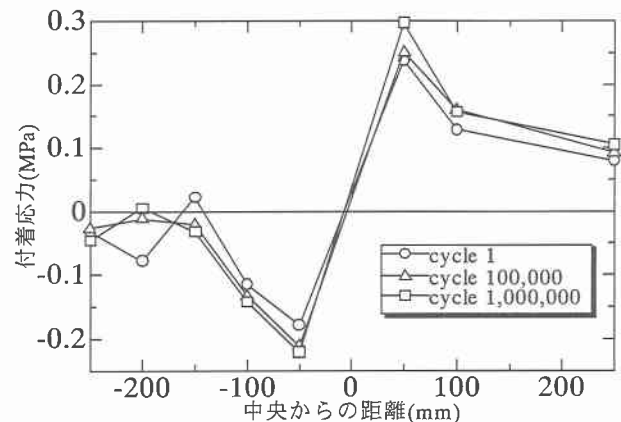


図-14 SP-C1-SLのCFS付着応力分布

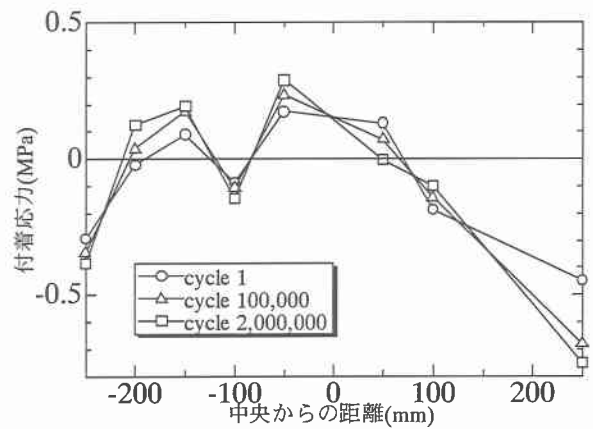


図-15 SP-C3-SLのCFS付着応力分布

4. まとめ

本研究の実験結果から以下の結論が導き出された。

- 1) 緩衝材を用いた場合の方が緩衝材を用いない場合に比べて疲労試験後の静的耐力が大きい。
- 2) 緩衝材を用いた場合の方が緩衝材を用いない場合に比べて、繰返し回数の増加に伴う剛性比の低下が緩やかである。

- 3) 緩衝材を用いた場合、繰返し回数の増加に伴って引張鉄筋の付着応力は減少し、CFSの付着応力は増加する。

参考文献

- 1) 前田敏也, 小牧秀之, 坪内賢太郎, 村上かおり: 緩衝材を用いた炭素繊維シート接着工法の補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp817-822, 2001.6.