

# 論文 炭素繊維シートにより曲げ補強した鉄筋コンクリートはりの耐力及び変形

高橋義裕\*1・佐藤靖彦\*2・前田敏也\*3・上田多門\*4

**要旨:** 本研究において、鉄筋コンクリートはりの下面に炭素繊維シートを貼り付けた場合と、剥離破壊を抑制することを目的として、下面に貼り付けた炭素繊維シートにさらにその上から炭素繊維シートをU字に巻き付けた場合におけるRCはりの破壊性状、変形及び耐力の差異を明らかにした。

**キーワード:** 炭素繊維シート、曲げ補強、U字巻き、曲げ耐力、変形性能

## 1. はじめに

連続繊維シート（以下「CFS」）は、既設鉄筋コンクリート構造物の補強材料として大きな期待が寄せられ、現在その補強実績も増えつつある。連続繊維シートによる補強目的は、主として曲げ及びせん断耐力の増加であり、橋脚の補強に対しては大きな変形能力が要求される。しかし、連続繊維シートで補強した部材の耐力及び変形は、部材に巻き付けた場合を除き、CFSの剥離により決定されることが多く、この場合、CFSの大きな引張強度を十分に活かすことができない。

連続繊維シートの剥離荷重を増加させるためには、フラットプレートを用いたアンカーにより定着する方法や、曲げ補強した上で、さらにCFSを巻き付けることによる定着方法が考えられる。はりのせん断補強に対しては、アンカー定着による効果が大きいことが確認されている[1][2]。しかし、U字に巻き付けた場合の効果に関しては、十分な検討がなされていないようである。そこで本研究は、鉄筋コンクリート（以下「RC」）はりの下面に貼り付けたCFSをさらにその上からU字にCFSを巻き付けて定着した場合に、U字に巻き付けない場合と比較し破壊形式、変形及び耐力が如何に異なるものか実験的に明らかにする。

## 2. 実験の概要

実験供試体は合計3体である。実験供試体の形状・寸法・鉄筋配置等については図1に示すとおりである。供試体NO.1はCFSを全く貼り付けていないRCはりである。実験供試体NO.2は、CFSを下面に一層貼り付けたものである。供試体NO.3は、CFSを下面に一層貼り付けた上から、さらにU字にCFSを巻き付けたものである。なお、左スパンでのCFSの貼り付け高さは100mm、右スパンでは50mmと異なる。各実験供試体に用いた鉄筋及びCFSの力学的特性値を表1に示す。また、実験供試体の諸元及び終局荷重を表2に示す。

本実験では、RCはりに二点对称集中荷重を作用させ、約10kNづつ単調に増加させ破壊にいたらしめた。なお、測定は、はり中央点での変位、主筋及びCFSの歪みである。下面のCFSには、スパン中央より両支点まで100mmピッチで歪みゲージを貼り付けた。

- 
- |                |                        |
|----------------|------------------------|
| *1 北海学園大学教授    | 工学部土木工学科, 工博(正会員)      |
| *2 北海道大学大学院助手  | 工学研究科社会基盤工学専攻, 工博(正会員) |
| *3 清水建設(株)     | 土木部技術第一部, 工修(正会員)      |
| *4 北海道大学大学院助教授 | 工学研究科社会基盤工学専攻, 工博(正会員) |

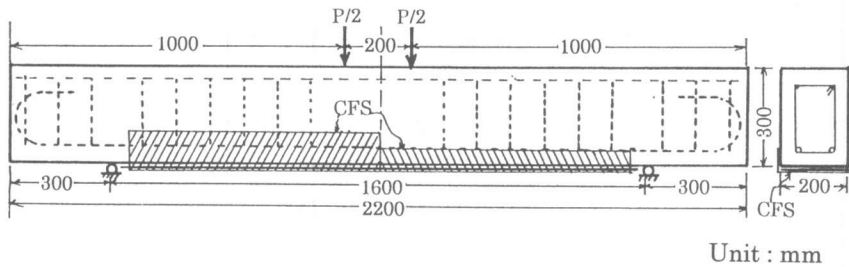


図1 実験供試体形状寸法及び配筋状況

表1 使用材料の力学特性

Type		Cross sectional area (mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)
Steel	D10	71.3	200	377	Not measured
	D19	286.5	180	371	570
CFS		1.65*	230	—	3480

\* Cross sectional area in width of 10mm

表2 実験供試体の断面諸元及び破壊荷重

Specimen	Compressive Strength (MPa)	Tension reinforcement		CFS	Ultimate load (kN)	Failure Modes <sup>1)</sup>
		Type	$p_s$ (%)	$A_{CFS}$ (mm <sup>2</sup> )		
NO.1	40.3	D19×2	1.15	—	193	F
NO.2	50.9	D19×2	1.15	33.0	240	P
NO.3	45.8	D19×2	1.15	33.0	240	B

1) F : Flexural failure, P : Peeling of CFS, B : Breakage of CFS

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊荷重及び破壊性状

先に示した表2より、CFSで曲げ補強することにより曲げ耐力が大きくなることが明らかである。しかしながら、CFSをU字に巻き付けた供試体NO.3の曲げ耐力は、U字に巻き付けていない供試体NO.2と一致しており、本実験結果では、巻き付けることにより耐力の増加は認められなかった。しかしながら、それらの破壊形式は大きく異なる。すなわち、供試体のNO.2はCFSが剥離することにより破壊したのに対し、供試体NO.3は等曲げ区間のCFSが破断した。なお、無補強供試体NO.1の破壊モードは、主鉄筋降伏後の曲げ圧縮破壊であった。

### 3.2 変形状

図2は、全供試体の荷重と変位との関係を示す。供試体 NO.1 では、主鉄筋が降伏した 190kN 付近で荷重は増加せず変形が急激に増加しているが、CFS により曲げ補強した供試体 NO.2 及び NO.3 は、それ以降も荷重が増加している。供試体 NO.3 の変形状は、供試体 NO.2 と概ね一致しているが、最大荷重時の変位は供試体 NO.2 の約 1.5 倍である。

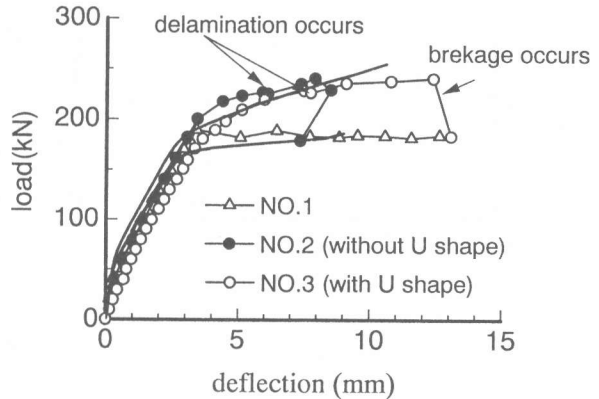


図2 荷重－変位曲線

図4は、CFSの一軸引張定着試験(図3参照)により求めたCFSの定着強度を示す。実験変数は定着長及び巻き付けの有無である。図4の縦軸は、CFSを巻き付けた場合の定着強度( $\tau_{uw}$ )を巻き付けない場合の定着強度( $\tau_{u0}$ )で除した値である。定着長が短い場合(100mm)、巻き付けた場合も巻き付けない場合も定着強度に大きな差異はないが、定着長が長い場合(300mm)、巻き付けることにより定着強度が約50%増加している。なお、巻き付けない場合の破壊形式は剥離であり、巻き付けた場合の破壊形式は破断であった。

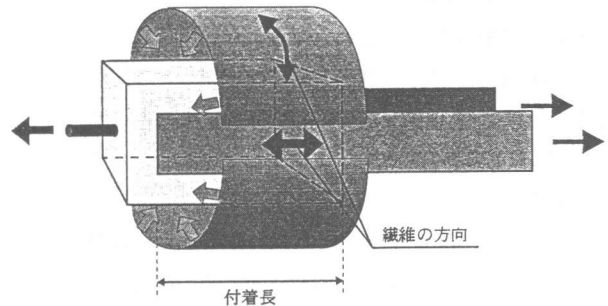


図3 定着試験体

CFS が実際に力を伝達している長さ(以下「有効定着長」)は非常に短く、その値は、剛性(弾性係数( $E_{CFS}$ )とCFSの厚さ( $t$ )を掛け合わせた値)の大きさにより異なる(図5参照)[3]。図5より本実験で用いたCFSの有効定着長は約70mmとなる。図4より、定着長が100mm、つまり、定着長が有効定着長程度の場合、巻き付けを施した場合でも付着強度はさほど増加しないが、定着長が有効定着長よりも非常に長い場合には、付着強度は大きくなる。すなわち、CFSの定着長が短い場合にその上からCFSを巻き付けることによる定着強度の増加は、剥離破壊しようとするときに発生する体積膨張を拘束することによるものであるが、その効果は大きくないものと考えられる。ただし、この効果は巻き付けるCFSの剛性の大きさに依存するものと考えられる。一方、定着長が有効定着長よりも十分に大きい場合には、作用している引張力は、まだ剥離していない定着区間の付着力と剥離破壊を起こした区間の側面でのCFSとコンクリートとの付着力により抵抗する。その結果、巻き付けない場合のような剥離破壊が進行せず、その結果定着強度が増加するものと考えられる。

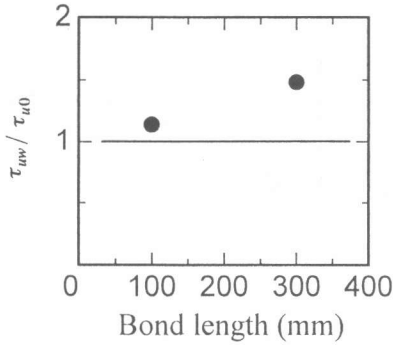


図4 CFSの一軸定着強度

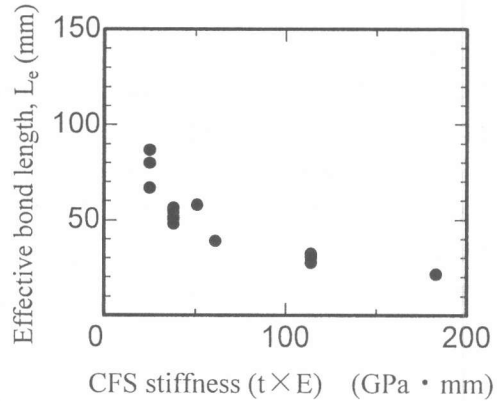


図5 定着強度比と定着長との関係

実験終了後、供試体 NO.3 の CFS の破壊状況を観察したところ、等曲げ区間においてのみ剥離破壊を起こしており、曲げせん断スパンでは剥離破壊していなかった。

#### 4. 変形及び耐力の評価

##### 4.1 解析の概要

ここで、本実験供試体の変形及び耐力を、断面分割法により評価することを試みる。

本解析では、コンクリートの圧縮応力-歪み関係としてはコンクリート標準示方書[4]によるものを用いている(図6参照)。コンクリートの引張応力-歪み関係は、図7に示すテンションステイニングモデル[5]を用いている。鉄筋の応力-歪み関係は図8に示すものであり、解析における鉄筋比は、断面幅とかぶりの2倍(図9参照)の値を掛け合わせた面積で除した。また、CFSの応力-歪み関係を図10に示す。はりの変形は部材軸方向に160分割しそれらの位置での曲率を積分することにより求めた。

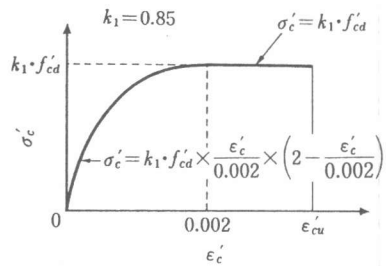


図6 コンクリートの圧縮応力-歪み関係 [4]

##### 4.2 変形及び耐力の検討

先に示した図2における実線は、本解析より求めた荷重と変位との関係を示す。解析において、CFSで補強していない場合は、はり上縁のコンクリート圧縮歪みが0.35%に達した時点で計算を終了させている。本解析は、CFSにより補強した場合も補強しない場合も実際の変形性状を概ね予測できている。

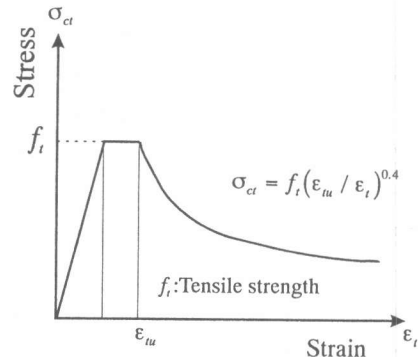


図7 コンクリートの引張応力-歪み関係 [5]

供試体 NO.1 の解析における最大荷重は190kNであり実験値(194kN)と良く一致している。一方、供試体 NO.2 の解析における終局耐力は約260kNであり、実験値より約10%程度大きかった。

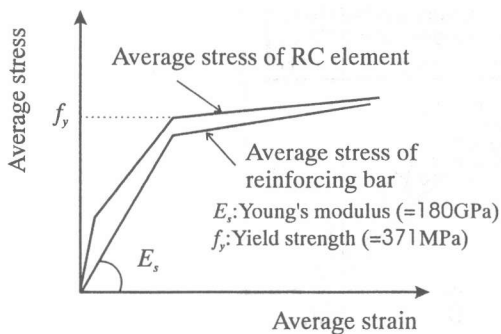


図8 鉄筋の応力-歪み関係 [5]

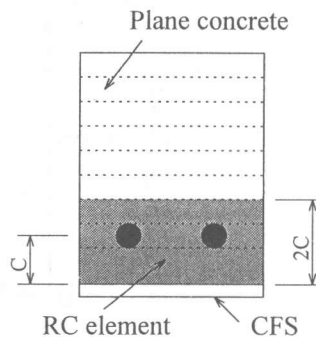


図9 断面分割

#### 4.3 CFS の歪み分布性状

図11は、供試体NO.2の下面に貼り付けたCFSの歪み分布を示す。実線及び破線は解析値を、白丸は実験値を示す。破壊以前までは、概ね計算値は実験値を追跡できているが、破壊時には計算値の歪みが大きくなっている。これは計算には剥離の条件が考慮されていないためであると思われる。実験においては、最大荷重後剥離が進展し、支点側のCFSの歪みが急激に増加している。

図12は、U字に巻き付けた供試体NO.3の歪み分布性状を示す。荷重が240kNでは、はり中央から

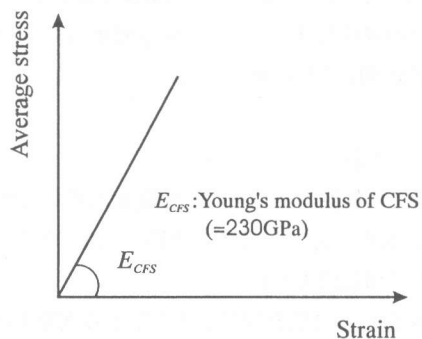


図10 CFSの応力-歪み関係

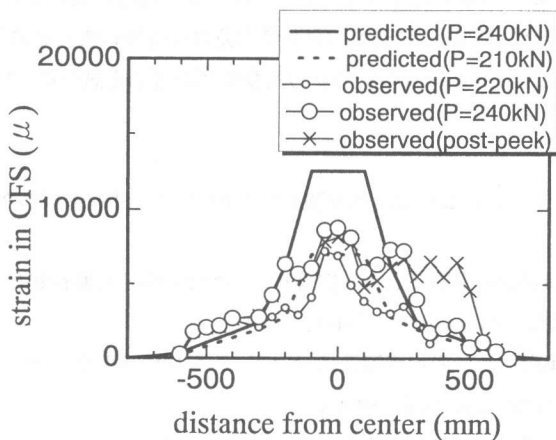


図11 CFSの歪み分布 (供試体NO.2)

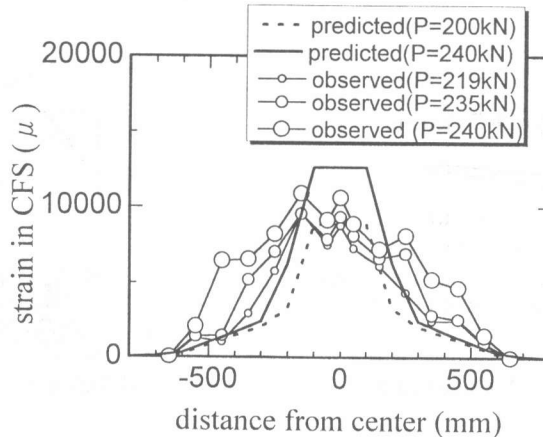


図 12 CFS の歪み分布 (供試体 NO.3)

300mm から 500mm の範囲で実験値が計算値を大きく上回っており、両者の歪み分布性状が異なる。実験終了後の観察では、この範囲では剥離が起っていたとは考えられず、現時点では計算と実験の歪み性状の差異を明らかにできない。

#### 5. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1)CFS を巻き付けた場合の定着強度は、巻き付けない場合よりも大きくなる。特に、定着長が大きい場合にその増加は大きい。
- (2)CFS を U 字に巻き付けることにより剥離の進行を抑制することができ、破壊形態を剥離破壊から破断破壊へ移行させることができた。
- (3)本実験での補強量では、CFS を U 字に巻き付けることによる曲げ耐力の増加は認められなかった。ただし、最大荷重時の変位は巻き付けたものの方が約 50% 増加した。
- (4)CFS の剥離破壊が発生し始める前までのはりの変形は断面分割法により概ね予測することができる。

今後は、本解析手法 (断面分割法) に剥離の発生基準及び剥離後の影響を考慮した歪みの適合条件を用い、CFS により曲げ補強した RC はりの終局耐力及び変形の評価を試みる予定である。

#### 参考文献

- [1] 佐藤裕一ほか：CFRP シートによりせん断補強された RC はり，日本建築学会学術講演概要集 (近畿)，pp.139-140，1996.9
- [2] 江尻雄一ほか：炭素繊維シートをアンカー定着した RC はりのせん断性状について，土木学会北海道支部論文報告集，Vol.53，pp.606-611，1996.11
- [3] 浅野靖幸ほか：炭素繊維シートの付着特性について，新素材のコンクリート構造物への利用シンポジウム論文報告集，pp.75-80，pp.75-80，1996.11
- [4] コンクリート標準示方書・設計編 (平成 8 年制定)，土木学会
- [5] 岡村甫・前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技法堂出版，1991