

V-113 CFRPロッドを用いたRCはりの圧縮破壊靱性の改善

明星大学大学院 学生会員 小寺 満  
 日本コンクリート工業㈱ 正会員 丸山 武彦  
 日本コンクリート工業㈱ 正会員 伊東 幸雄

1. まえがき

近年FRPロッドをコンクリート補強材に用いた研究が数多く報告されている。FRPロッドは塑性域を持たないため、これをはりに用いた場合、曲げ引張破壊においては脆性的に破壊をおこす。また、われわれが行った実験では、コンクリートの曲げ圧縮破壊モードにおいてもコンクリートの圧壊が瞬間的におこると、その衝撃でFRPロッドも同時に切断してはりが2分することを報告した<sup>1)</sup>。本研究は、コンクリートの曲げ圧縮ゾーンにスチールファイバーコンクリート（以下SFRC）を用いることにより、曲げ圧縮破壊時のはりの靱性を改善するデータを得ることを目的とする。

2. 実験概要

試験体は、図-1に示す寸法形状で、主筋に表-1のより線型CFRPを用い、スターラップはSR24φ9を用いた。コンクリートは、曲げ圧縮縁から下に60mmの位置までSFRCとし、60mmの位置から曲げ引張縁までをプレーンコンクリートとした。なお、スチールファイバーの寸法は、0.5×0.5×30mmである。試験体のパラメータはスチールファイバーの混入率とし、混入率0%のRFC00、0.5%のRFC05、1.0%のRFC10、1.5%のRFC15の4種類について実験を行った。荷重方法は、図-1に示すように2点荷重とし、荷重はひびわれ発生まで荷重し、その後1度除荷し再び破壊まで単調増加した。

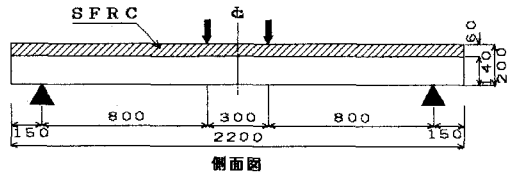


表-1 CFRPロッドの特性

公称直径(mm)	12.5φ
破断荷重(kg)	16000
破断強度(kg/mm <sup>2</sup> )	210
弾性係数(kg/mm <sup>2</sup> )	14500
伸び(%)	1.5

図-1 試験体形状

3. 試験結果および考察

表-2に曲げ試験の結果を示す。破壊曲げモーメントの計算値は鉄筋コンクリート理論の一般条件を適用し、終局圧縮ひずみをRFC00で3500μ、RFC05、RFC10、RFC15は4000μに仮定して計算した。それぞれの試験体の破壊曲げモーメントはすべて曲げ圧縮モードであり、実験値との比は1.01~1.04でほぼ一致している。脆度係数は、繊維混入率が

表-2 試験結果

試験体	破壊曲げモーメント			コンクリート強度 kg/cm <sup>2</sup>	脆度係数
	計算値 t·m	実験値 t·m	Mu/Mud		
RFC00	3.23	3.27	1.01	450	-
RFC05	3.64*	3.72	1.02	500	10.9
RFC10	3.84*	3.99	1.04	550	7.2
RFC15	3.84*	3.98	1.04	550	6.5

\* 終局圧縮破壊ひずみε<sub>cu</sub>=4000μ

が大きいほど小さくなり、コンクリートの脆性的な破壊の減少に寄与することが考えられる。はりに最大荷重が作用すると、RFC00の曲げ圧縮部のコンクリートは徐々にはげ落ち、中立軸が上昇するにつれて荷重の減少が大きくなり、突然2本のCFRPロッドが切断しはりは2分した。一方、RFC05,10,15の場合は、曲げ圧縮部のコンクリートのはげ落ちは少なく、変形の増大に伴って、荷重が減少して最終的にはロッドの破断に至るが、ロッドの一部が切断しただけであった。この相違の原因は明らかには限定できないが、曲げ圧縮部にSFRCを用いることによって、コンクリート自体の靱性が改善され、曲げ破壊の過程におけるコンクリートの急激な破壊とはり部材の急激な変形が減少し、CFRPロッド自体の曲げ変形が追いつくためにロッド全体の

破断に至らないものと思われる。

### 3.1 変形

図-2には中央の変位と荷重の関係を示す。最大荷重時のはりのたわみはRFC00で30mm、スチールファイバーを混入した試験体はいずれも50mm程度であった。これは、SFRCの終局圧縮ひずみはプレーンコンクリートに比べて大きいいため、破壊耐力がやや大きく柔軟な変形性能を有しているためと思われる。RFC00とRFC05を比較すると最大荷重を過ぎた後、RFC00は45mm程度でロッドの切断に至ってはりが2分したが、RFC05の場合100mm以上変形した後、一方のロッドの一部が切断してもなお、2tf程度の耐力が残っていた。

### 3.2 圧縮ひずみ

図-3に曲げ圧縮縁コンクリートのひずみと荷重の関係を示す。いずれのコンクリートについても弾性係数に大きな差はないが、スチールファイバーの混入量によって終局圧縮ひずみに相違があった。終局圧縮ひずみは、スチールファイバーの混入率を増すほど大きくなり、RFC00で3700 $\mu$ 、RFC05で4300 $\mu$ 、RFC10で4700 $\mu$ 、RFC15で5600 $\mu$ であった。コンクリートの破壊ひずみの差ほどRCはりの変形能力に相違が生じなかった理由は、FRP筋量が鈎合鉄筋比よりもそれほど大きくなかったこと、RCはりであったために中立軸の上昇が大きかったことによるものと考えられる。

### 3.3 ロッドのひずみ

図-4に引張側のロッドのひずみと荷重の代表例を示す。CFRPロッドの引張ひずみは曲げ圧縮部のコンクリートが破壊し始めるまではほぼ直線的に増加し、コンクリートが圧壊し始めるとその中立軸位置および変形とバランスをとるためひずみは増加し、ロッドの破壊ひずみに至ってロッドは破断した。

### 4. まとめ

本研究の範囲内で次のことが得られた。

- (1) FRPロッドを用いたRCはりの上縁にSFRCを用いると、はりの変形性能が増す。
- (2) FRPロッドを用いたSFRCはりの破壊耐力は、コンクリートの終局圧縮ひずみを4000 $\mu$ と仮定すれば鉄筋コンクリート理論の計算式を適用できる。
- (3) コンクリート強度がより大きいFRPロッドを用いたPCはりの圧縮破壊モードの改善には、本工法はより有効と考えられるので継続して実験を行う予定である。

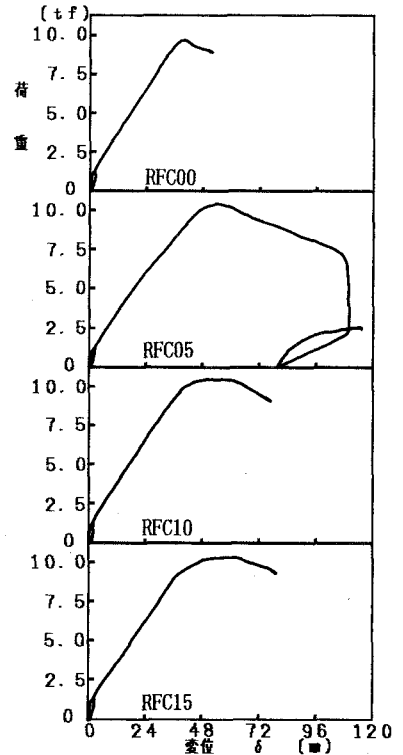


図-2 荷重と変位の関係

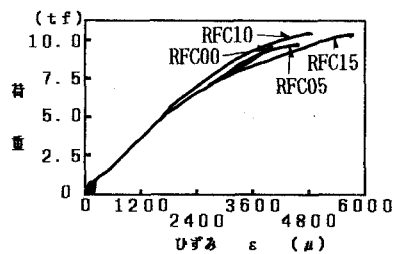


図-3 荷重と圧縮ひずみの関係

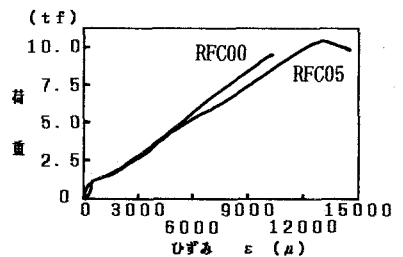


図-4 荷重とロッドのひずみの関係

### 参考文献

- 1) 丸山 他: CFRPおよびAFRPロッドを用いたPCはりの曲げ疲労特性;  
JCI コンクリート工学年次論文報告集 12-1, 1990

機関組技術研究所 正会員 谷口裕史  
 埼玉大学工学部 正会員 陸好宏史  
 埼玉大学工学部 正会員 町田篤彦  
 機関組技術研究所 正会員 喜多達夫

1. まえがき

近年、FRPを緊張材としてプレストレスト構造物に適用する研究が活発に進められている。しかし、FRPは、高強度であるものの、破断時における伸びが小さいことから、これらを用いたコンクリート部材の破壊性状は脆性的となることが特徴である。特に、FRPの破断による破壊は急激であり、極めて危険である。このことから、これらの性状に対して、アンボンドやノンテンションの組合せにより部材の変形性能を改善する方法も提案されている<sup>1)</sup>が、現在のところ、設計手法の確立をも含めて研究段階であるといえる。

このような現状から、本研究では、FRPを使用したPC曲げ部材の破壊性状を改善する目的で、圧縮部コンクリートに横拘束筋を配筋し、その効果について実験的に検討した。

2. 実験概要

本実験に使用したCFRP(炭素繊維強化プラスチック)の特性を表-1に示す。供試体は梁長180cm、高さ20cm、幅15cmの矩形断面であり、CFRPを緊張材として1本あるいは2本を圧縮縁から14cmの位置に配筋した。プレストレスはプレテンション方式により導入した。供試体の形状を図-1に示す。横拘束筋は、図に示す形状のものを等モーメント区間に一定間隔で配筋した。載荷は、スパン150cm、純曲げ区間40cmの2点載荷とし、荷重、たわみ、伝達長の変化、ひびわれ幅などを測定した。

表-1 CFRPの特性

公称直径(mm)	10.5	12.5
有効断面積(mm <sup>2</sup> )	55.7	76.0
保証破断荷重(kgf)	9,800	14,500
弾性係数(kgf/mm <sup>2</sup> )	14,000	14,000

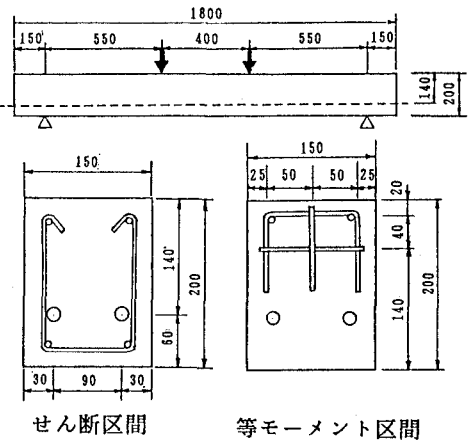


図-1 供試体の形状

3. 実験結果および考察

実験結果を表-2に示す。高強度コンクリートを使用し、横拘束筋を配筋していないNo.1~No.3の供試体はいずれもCFRPの破断による曲げ引張型の破壊を示した。一方、横拘束筋を配筋したNo.4供試体はコンクリートの圧壊による曲げ圧縮型の破壊を示したが、No.5供試体は最終的にはCFRPの破断による破壊を示した。代表的な荷重とたわみの関係を図-2に示す。比較のために同様のCFRPを使用し、曲げ圧縮型破壊を示した部材の

表-2 実験結果

No	CFRP	横拘束筋	導入プレストレス量(tf)	ひびわれ発生荷重(tf)			最大荷重(tf)			終局たわみ(mm)	コンクリート強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊形式
				実験値	計算値	実/計	実験値	計算値	実/計			
1	φ10.5×1	無	5.0	3.60	3.49	1.03	7.60	4.73	1.61	15.6	761	曲げ引張型
2	φ12.5×1	無	7.4	3.40	3.62	0.94	9.07	7.57	1.20	18.1	761	曲げ引張型
3	φ12.5×2	無	16.0	7.20	7.25	0.99	17.40	14.58	1.19	18.4	845	曲げ引張型
4	φ12.5×2	6cm間隔	15.4	6.57	5.50	1.19	11.47	12.81	0.90	>37.0	307	曲げ圧縮型
5	φ10.5×1	3cm間隔	11.2	5.00	4.89	1.02	10.80	8.93	1.21	21.5	307	曲げ圧縮型

荷重-たわみ関係<sup>2)</sup>も併記する。横拘束筋を配筋せず、FRPの破断により破壊するものは最も脆性的な破壊性状を示す。コンクリートの圧壊の場合にはFRPの破断の場合と比較して若干破壊性状が改善されるものの、十分な靱性を保有しているとは言い難い。一方、横拘束筋を配筋した場合には、通常のRC部材における引張側の鋼材による降伏域に似た現象が圧縮部コンクリートにより得られており、部材の靱性が顕著に改善されていることが認められる。モーメントと曲率の関係を図-3に示す。横拘束筋を配筋することにより、最大荷重後も、部材が崩壊せずに曲率が増大していく傾向が認められる。このように、横拘束筋の使用によりFRPを使用した部材の変形性能を改善できることが明確となった。しかし、横拘束筋を過剰に配筋し、破壊形状が曲げ引張型となる場合、あるいは、コンクリートの圧壊が始まった直後にFRPが破断する場合には、その改善効果が小さくなると考えられることから、効率的な補強を考える必要がある。また、横拘束筋を配筋しない部材においては通常の計算手法が適用可能と考えられる。一方、横拘束筋を配筋した場合には、コンクリートの応力-ひずみ性状が変化することから、横拘束筋量、拘束方法等を考慮した適切な応力-ひずみ関係<sup>3)</sup>を用いて解析することが必要である。このことに関しては今後さらに検討する必要がある。

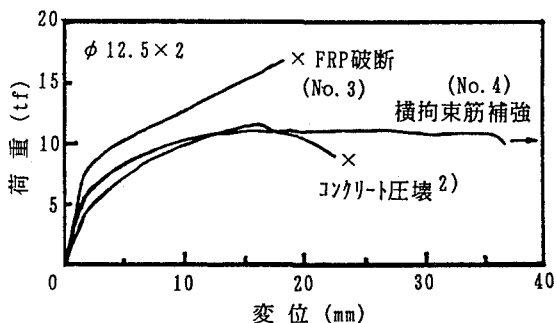


図-2 荷重-変位曲線

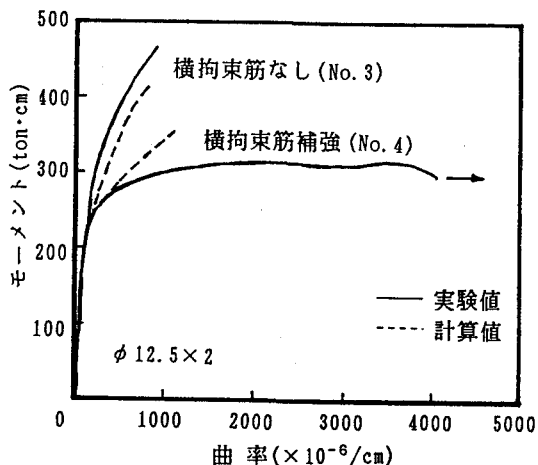


図-3 モーメント-曲率曲線

#### 4. まとめ

FRPを用いたPC曲げ部材の脆性的な破壊性状を改善する方法の1つとして横拘束筋の使用について実験的検討を実施し、以下の結果を得た。

- (1) 圧縮部コンクリートに横拘束筋を配筋することにより、FRPを用いたPC曲げ部材の破壊性状を改善できる。
- (2) 終局破壊形式をコンクリートの圧壊になるように設計し、適量の横拘束筋で補強した場合により有効となる。
- (3) 横拘束筋を使用する場合には、補強形式に合った算定式から求めたコンクリート強度および変形特性により解析する必要がある。

今後は、本提案方法がFRP部材により効率的に適用できるように検討していく予定である。

本研究を実施するにあたり、埼玉大学技官佐藤幸作氏の協力を得た。ここに、感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 奥村、天野、秋山：板状のAFRPロッドを用いたコンクリートはりの曲げ性状、土木学会第45回年次学術講演会概要集第5部門、pp.336~337、平成2年9月
- 2) 睦好、上原、町田：CFRPで補強したコンクリート部材の力学的性状および設計手法、コンクリート工学年次論文報告集12-1、pp.1117~1122、1990
- 3) 例えば、鈴木、中塚、平松、長田：コンファインドコンクリート(横拘束コンクリート)を曲げ圧縮部に適用したPRC梁の高靱性挙動、第7回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.485~488、1985