

A F R P ロッドを緊張材および横拘束筋に使用した P C はり部材の曲げ性状

京都大学 学生員○中川 元宏 学生員 服部 篤史
正員 井上 晋 正員 宮川 豊章 正員 藤井 学

1. はじめに 従来よりコンクリート構造物は、その耐震性が大きな問題として注目されており、設計時には、大地震時において十分なじん性を確保しておくことが必要とされている。F R P ロッドを補強材（主筋）に使用したコンクリート部材の終局曲げ破壊形態としては、緊張材の破断および曲げ圧縮部コンクリートの圧潰の2種類があることが確かめられており、部材がどちらの破壊形式をとるかはコンクリートの強度と緊張力のバランスによって決定される。本研究では、A F R P ロッドを緊張材に用いた P C はり部材の曲げ圧縮部コンクリートを A F R P スパイラル筋で横拘束した場合について、その終局曲げ変形能の改善効果に及ぼす緊張力および横拘束筋量の影響を実験的に検討するとともに、通常の鉄筋を用いた横拘束コンクリートの応力～ひずみ関係式を用いて計算した曲げモーメント～曲率関係を実験結果と比較することにより、横拘束筋に F R P ロッドを用いた場合への既存のモデル式の適用性を検討することを目的とした。

2. 実験概要 供試体は、幅×高さ×全長=10cm×20cm×160cmの矩形断面を有する P C はり供試体とした。載荷形式はいずれもスパン100cm（全長160cm）に対し、曲げスパン20cm、せん断スパン40cmの対称2点載荷とした。横拘束筋にはφ6mm丸鋼およびφ6mm A F R P スパイラル筋を用い、A F R P ロッドの初期緊張率（初期導入力／引張耐力）として、55%, 65%, 75%の3種類、横拘束筋体積比として0%, 0.8%, 1.6%, 2.4%の4種類を設定した。載荷方法は、1方向単調載荷および1方向繰返し載荷とした。

3. 試験結果および考察 F R P ロッドを緊張材に使用した P C 部材の破壊形式は前述の2種類とされており、いずれも脆性的な破壊形式と考えられているが、本研究では、かぶりコンクリートが圧潰、剥落した後もコアコンクリートの有効な横拘束により、急激な耐力低下を生じることなく変形が進行し、最終的に F R P ロッドが破断する破壊形式が見られた。この破壊形式は図1に示すように初期緊張率が比較的大きく横拘束筋体積比も比較的大きい場合に場合に生じる。この破壊形式においては、耐力を保持したまま変形がある程度進行してから F R P ロッドが破断するために、じん性率、消散エネルギーともにコンクリートが圧潰する場合よりも大きくなる場合があり、最大耐力以降ある程度変形を期待した上で F R P ロッドが破断するような破壊形式を設計上考慮してよいものと思われる。

なお、各供試体の最大耐力および曲げひびわれ発生モーメントは通常の終局曲げ理論および弾性曲げ理論を用いた場合でも約5%の誤差で推定でき、緊張材および横拘束筋に A F R P ロッドを用いた場合においても、これらを従来の方法により推定することが可能であることが確かめられた。

図2に既存の横拘束コンクリートの応力～ひずみモデルを用いて曲げモーメント～曲率曲線を計算した結果を実験値とともに示す。この図より緊張材および横拘束筋に A F R P ロッドを用いた場合でも部材の曲げモーメント～曲率関係をほどよく推定することは可能であることが確かめられた。ただしコンクリートの応力～ひずみモデルにおいては、A F R P スパイラル筋を用いる場合、横拘束筋の降伏強度に A F R P ロッドの引張強度 $f_{su} = 193(\text{kgf/cm}^2)$ を用

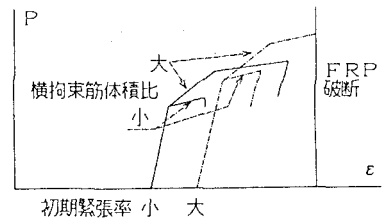


図1 FRPロッドのひずみ

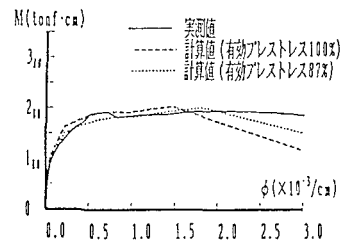


図2 実験値と計算値の比較

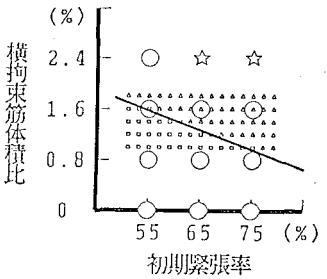
いるよりも、鉄筋降伏強度 $f_{sy}=55.2(\text{kgf/cm}^2)$ を用いた方が、計算値と実験値がよく一致した。このことはFRPロッドの引張強度をそのまま用いるのではなく何らかの低減係数、例えば弾性係数比(E_s/E_f)等を考慮すればよいことを示唆するものである。しかし、従来の鉄筋を使用した場合のモデル式が適用可能であるということは、AFRPスパイラル筋を横拘束筋に用いた場合においても、多くの場合横拘束筋に作用する応力が鉄筋の降伏応力とあまり変わらなかったためであると考えられ、横拘束筋として用いた場合には、FRPの高強度という特性が十分に活用できなかったといえる。したがって、FRPの特性を十分に活用するためにはAFRPスパイラル筋の径を細くしてもよいのではないかと考えられる。

また、既存のモデルを用いて曲げモーメント～曲率曲線が推定可能であることを利用して破壊形式の推定を試みた結果を図3に示す。多くの部分では計算上の破壊形式と実際の破壊形式が一致したが、2つの破壊形式の境界では、計算上はFRPロッドの破断により破壊する供試体が、実際にはコンクリートの圧潰によって破壊したものが見られた。これは、計算の際にFRPロッドとコンクリートの付着が完全であると仮定したが、実際には個々の供試体で付着性状が異なること、およびFRPロッドの実際の引張強度にばらつきがあることがその理由であると思われる。

次に、横拘束による終局変形能の改善効果は、例えば本研究の場合は横拘束筋体積比が1.6%の時であるように、最適な横拘束量が存在すると思われる。図4に示すように、横拘束筋体積比が小さすぎると、部材のじん性あまり改善されず、また大きすぎると、部材のじん性は改善されるもののFRPの破断の危険性を高めることになってしまい、どちらも好ましくない。よって、上記のようにその曲げモーメント～曲率関係は既存のモデルによって計算することにより、あらかじめ有効な拘束程度を推定しておくことが望ましい。

横拘束筋の種類による影響は、表1に示すようにどちらを用いた場合でも特に有為な差は認められなかったが、横拘束筋体積比が大きくなるにしたがって、じん性率がAFRPを用いた場合の方が大きくなる傾向を示した。特に、横拘束筋体積比が2.4%で初期緊張率が65%の場合は、丸鋼を使用した場合には、完全にFRPロッドの破断により破壊したがAFRPを使用した場合には、かぶりコンクリートの圧潰後FRPロッドが破断し明らかな違いがみられた。

4. あとがき 本研究により、AFRPロッドを緊張材および横拘束筋に使用した場合に、横拘束によりじん性の改善効果が認められること、従来のモデルを用いて諸性状が推定可能であること、初期緊張率と横拘束筋体積比の変化による破壊形式の変化の傾向がある程度推定可能であることが明らかになった。しかし、FRPを用いた部材に関しては付着性状など、まだ明らかにされていない部分が多くFRPスパイラル筋を横拘束筋に使用した場合のコンクリートの応力～ひずみモデルも確立されていないので、はり部材の挙動を正確に推定するためには、これらに関する研究が必要である。



実験値 ○曲げ圧縮型破壊 ☆曲げ引張型破壊
計算値 □曲げ圧縮型破壊 △曲げ引張型破壊

図3 破壊形式の推定

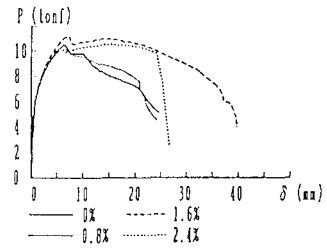
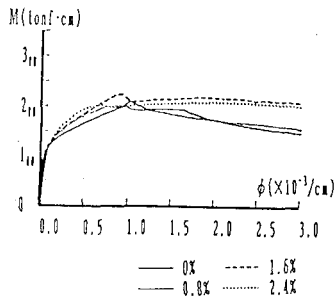


図4 体積比が違う場合のM～φ およびP～δ

ρs (%)	じん性率μ	
	丸鋼	AFRP
0.8	7.4	7.9
1.6	10.4	8.7
2.4	4.4	7.5

表1 初期緊張率65%の場合の横拘束筋種類とじん性率