

東京理科大学

正 伊藤 幸広  
学○佐川 岳丈  
正 辻 正哲

1. はじめに

土木建築分野では、FRPロッドを鉄筋の代わりにコンクリート補強材として使用するための研究が、近年盛んに行われている。<sup>1)</sup>しかし、コンクリート梁のせん断補強材としてFRPロッドを使用する際、スターラップ、折り曲げ鉄筋といった従来の鉄筋と同様の配置方法でせん断補強を行うと、鉄筋の場合に比べ、ひびわれ幅の増大が認められ、また、FRPで作製したスターラップでは、折り曲げ部が弱点になるという問題点がある。

本研究は、鋼材に比べてフレキシブルであるというFRPロッドの特徴を利用し、引張主応力方向に添ってFRPロッドを曲線配置したコンクリート梁について実験を行い、そのせん断ひびわれ性状について検討を加えたものである。また、鉄筋およびFRPロッドを用いて作製したスターラップによりせん断補強を行った場合についても比較検討を行っている。なお、本実験では、載荷試験装置の都合上、最大せん断ひびわれ幅が、1mm程度の範囲までの検討に限定している。

2. 実験概要

2-1. 使用材料

(1) コンクリート

供試体の作製に用いたコンクリートは、U社製のレデーミクストコンクリート〔(標)普通 225 12 20 N〕である。その示方配合及び強度試験結果は、それぞれ表-1および表-2に示すとおりである。また、細骨材および粗骨材は、それぞれ麻生産山砂(粗粒率2.50, 比重2.58)および栃木産碎石( $G_{max}$  20mm, 粗粒率6.63, 比重2.67)である。供試体の養生は、現場湿布養生とした。なお、コンクリートの打ち込みは、12月中旬に行った。

表-1 示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤
60.6	46.4	159	263	859	1028	2.80

表-2 材令28日のコンクリート強度

養生方法	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
標準水中	234	37.0	22.0
現場湿布	206	22.5	28.2

(2) FRPロッド及び鉄筋

今回対象としたFRPロッドは、M社製のアラミド繊維を組紐状に編み樹脂含浸した連続繊維ロッドであり、樹脂の種類により曲げ剛性の異なる硬質のロッドおよび若干フレキシブルな軟質のロッドの2タイプである。スターラップは、軟質ロッドを加熱曲げ加工し作製したものである。主応力線方向に配置する場合には、硬質のロッドを用いることを原則としたが、図-1に示すように、配置時に曲率が大きくなる部分には軟質のロッドを用いた。軟質のロッドの本数は、内側の8~14本(片側2~3組)である。メーカー提示の資料<sup>2)</sup>に記載されているFRPロッドの物理的性質は、表-3に示すとおりである。使用した鉄筋はすべてSDR35の異形鉄筋であり、主鉄筋には、D16, D19を用い、スターラップとしては、D10を使用した。

表-3 FRPの物理的性状

呼び名	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	理論引張強さ (tf)	弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	伸び (%)
k64(F)	8.0	50	6.4	0.66 × 10 <sup>6</sup>	2.0
k96(F)	10.0	75	9.6		
k128(F)	12.0	100	12.8		

\*末尾にFと記された場合は、軟質FRPロッド  
メーカー提示資料<sup>2)</sup>

2-2. 供試体形状及び補強方法

供試体の形状は、高さ40cm, 幅20cmの矩形断面であり、長さが、150, 180, 210および240cmの梁供試体である。それぞれの長さに応じて、載荷試験時のせん断スパン比(a/d)を1.47, 1.90, 2.35および2.79と変化させた。補強方法は、表-4のC-1~C-4に示す4種類である。その結果、合計15体(C-4のa/dが2.79の供試体は破損)の供試体について載荷試験を行った。

表-4 補強方法

記号	主筋	せん断補強筋	せん断補強方法
C-1	鉄筋	鉄筋	スターラップ*
C-2	鉄筋	FRPロッド*	スターラップ*
C-3	鉄筋	FRPロッド*	主応力方向配置
C-4	FRPロッド*	FRPロッド*	主応力方向配置(50%*) + スターラップ(50%*)

\*せん断耐力の50%をうけもつ

に発生した斜めひびわれが発展して、破壊に至った。  
 なお、最終的な破壊は、定着破壊により発生した。

図-5は、荷重とスパン中央部におけるたわみとの関係の一例を示したものである。主筋に鉄筋を用い主応力方向にFRPロッドを配置しせん断補強したC-3の場合には、全て鉄筋を用いて補強したC-1の場合と同様の傾向を示している。しかし、主筋に鉄筋を用いFRPロッドをスターラップ状に配置したC-2の場合は、C-1、C-3と比べ同一荷重においてもたわみが大きくなっている。このことは、FRPロッドを主応力方向に配置することにより、スターラップ状に配置する場合よりも、せん断変形を小さくできる可能性があることを示している。一方、たわみとしては、C-4のシリーズが、最も大きい。これは、主筋にFRPロッドを用いたため、曲げ変形が大きくなったことによるとと思われる。

図-6は、せん断応力度と最大せん断ひびわれ幅の関係を示したものである。いずれのa/dにおいても、荷重初期においては、全てにFRPロッドを用いて補強したC-4が最も大きいひびわれ幅を示している。しかし、FRPロッドをスターラップ状に配置した場合には、ある荷重を越えると急激にひびわれ幅が増大する傾向を示している。これは、スターラップ状にFRPロッドを配置した場合には、新たにひびわれが発生しにくいことと関係していると思われる。

4. 結論

フレキシブルであるという特徴を活かし、FRPロッドを主応力線上に配置しせん断補強する方法は、FRPロッドをスターラップ状に配置しせん断補強する方法に比べ、ひびわれ幅を小さくできる可能性がある。

謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力頂いた三井建設(株)技術研究所の関係各位に感謝致します。

<参考文献>

- 1)辻、関島、中島、斉藤「格子状FRPで補強したコンクリートはりの力学的性状とケミカルプレストレスによる改善効果」、コンクリート工学論文集第2巻第1号,1991,PP85~94
- 2)平田、岡本、遠藤「組紐状FRPロッドをせん断補強に用いたコンクリート梁のせん断性状」コンクリート工学年次論文報告集12-1,1990,PP1129~1146

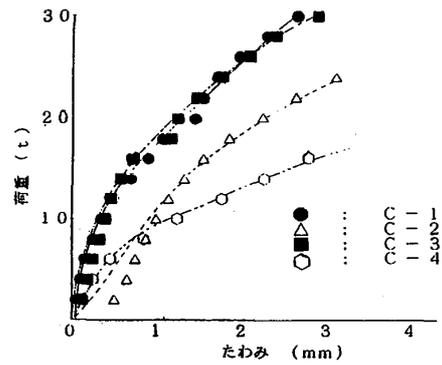
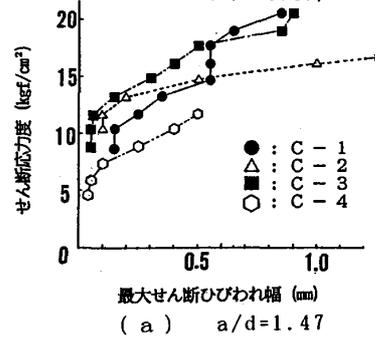
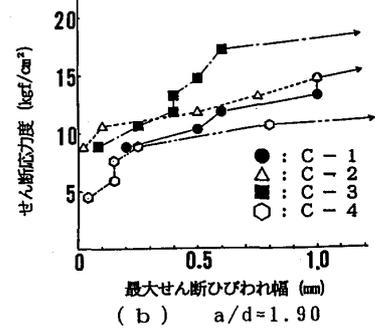


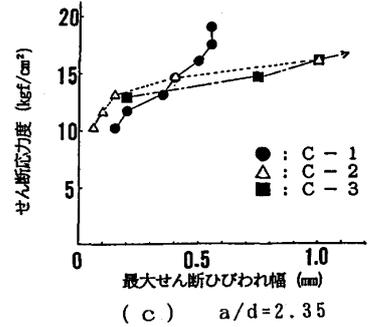
図-5 荷重たわみ関係 (a/d=1.47)



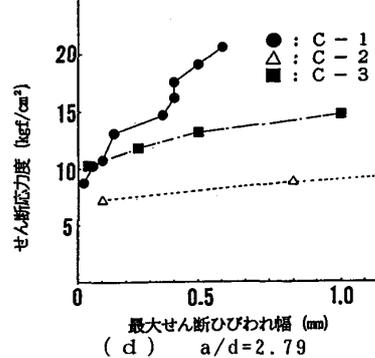
(a) a/d=1.47



(b) a/d=1.90



(c) a/d=2.35



(d) a/d=2.79

図-6 せん断応力度と最大せん断ひびわれ幅の関係

図-1は、 $a/d$ が1.90のC-1およびC-2の場合の補強材の配置を示したものである。また、図-2は、同じく $a/d$ が1.90でc-3及びc-4の場合の補強材の配置を示したものである。主応力方向配置のみによるせん断補強効果を調べる図-2(a)の実験では、スターラップの影響をなくするため、主筋を拘束できない。よって、主筋が定着破壊することが想定される。そのため、設計せん断耐力の約1/2以上に相等する曲げ耐力を有するように主筋量を増した。

せん断補強材の量としては、現行の土木学会標準示方書の終局限界状態における設計せん断耐力が、C-1～C-4のいずれにおいてもほぼ同程度となるように決定した。なお、FRPロッドの設計強度としては、

$(FRPロッドの破断強度) \times [ (鉄筋の設計降伏強度) / (鉄筋の引張強度) ]$ として求めた。

2-3. 載荷方法

載荷方法は、等モーメント区間を30cmとした、対称2点集中載荷であり、一方向のみの静的載荷である。測定項目は、スパン中央部の鉛直変位およびひびわれ幅である。

3. 実験結果及び考察

図-3は、14t載荷時におけるひびわれパターンの一例である。すべてFRPロッドで補強したシリーズすなわちC-4以外の供試体では、斜めひびわれが発生しているのみである。しかし、C-4の場合には、主筋の剛性が小さいことから、曲げひびわれも発生している。

図-4は、破壊直前のひびわれパターンを示したものである。全て鉄筋で補強したシリーズすなわちC-1では、斜めひびわれ発生後に曲げひびわれも発生し、破壊に至っている。また、FRPロッドを主応力方向に配置したシリーズすなわちC-3およびC-4では、ひびわれが分散して発生する傾向にあった。しかし、FRPロッドをスターラップとして用いたシリーズすなわちC-2では、ひびわれ本数が少なく、載荷初期

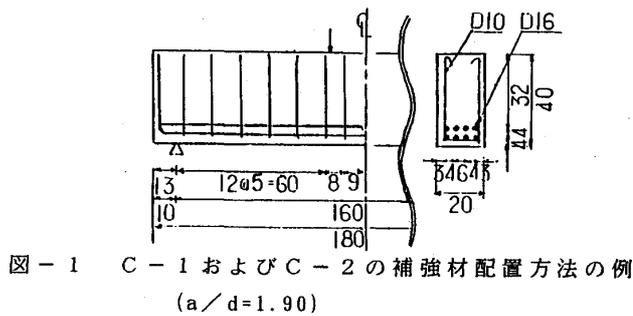
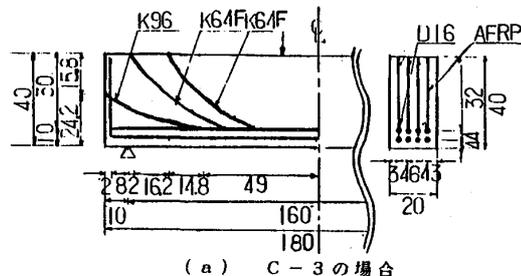
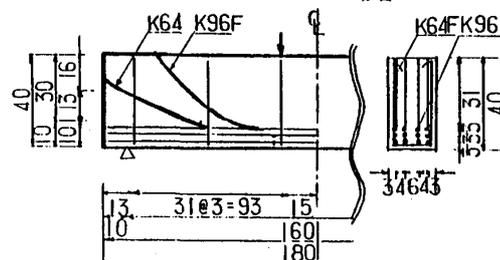


図-1 C-1およびC-2の補強材配置方法の例 ( $a/d=1.90$ )



(a) C-3の場合



(b) C-4の場合

図-2 C-3およびC-4の補強材配置方法の例 ( $a/d=1.90$ )

	$a/d=1.47$	$a/d=1.90$
C-1		
C-2		
C-3		
C-4		

図-3 14t載荷時のひびわれ性状の一例

	$a/d=1.47$	$a/d=1.90$	$a/d=2.35$	$a/d=2.79$
C-1				
C-2				
C-3				
C-4				

図-4 破壊直前のひびわれ性状