

報 告

[2124] 螺旋糸巻き状 FRP ロッドを剪断補強筋とする梁の剪断試験

正会員○廣中哲也（奥村組技術研究所）

社 誠一（奥村組技術研究所）

正会員 白石文雄（奥村組技術研究所）

浜田 元（奥村組技術研究所）

1. まえがき

繊維材料を樹脂で収束したコンクリート補強用の新素材（新補強材）が構造材料として注目を集めているが、新補強材は鉄筋と比較するとヤング係数が小さい、付着特性が鉄筋と異なる、耐久性の評価がなされていない、など検討すべき課題も多く残されている。また、同一の材料でも繊維の種類、製造方法の違いによりその物性は大きく異なっており、研究の余地も多い。筆者らは、これまでコンクリートとの付着を持たせるために樹脂で収束した繊維束に糸を巻き付けたFRPロッド（本報告でいう新補強材はこの螺旋糸巻き状FRPロッドを指す）のコンクリート補強用の鉄筋代替材としての性能について研究を行ってきたが、今回、螺旋糸巻き状新補強材を剪断補強筋とする梁の剪断試験を行ったのでその結果について報告する。

表-1 実験の要因

要 因	水 準
剪断補強筋の種類	3水準（ガラス繊維筋:G、アラミド繊維筋:A、高強度鉄筋:U）
剪断補強筋の量	4水準 ($P_w=0, 0.5, 1.0, 1.5 \%$)
剪断スパン比 (a/D)	3水準 (1.0, 1.5, 2.0)

2. 実験の目的

剪断補強筋の種類、剪断補強筋比、シアー スパン比を実験要因として逆対称加力式剪断試験を行い、①載荷荷重と剪断たわみ、剪断補強筋のひずみ、曲げ補強筋のひずみなどの関係、②実験要因と剪断補強効果の関係などについてまとめ、FRP筋の剪断補強筋としての補強効果を確認することを目的とした。

3. 試験方法

3. 1 試験組合せ

実験の要因を表-1に示すように、①剪断補強筋の種別、②剪断補強筋比 (P_w)、③剪断スパン比 (a/D) とし、試験組合せを表-2の8ケースとした。

3. 2 試験体の形状

中央部に逆対称曲げモーメント分布を与える大野式加力とするために試験体の形状を図-1とした。

剪断補強筋はスパイラル筋とし、その曲げ内半径を18mm、径は新補強材では8mm、高強度鉄筋では6.4mmとした。曲げ補強筋はガ

表-2 試験組合せ

試験体 No	曲げ 補強筋	剪断補強筋			(a/D)
		種類	量 (%)	ピッチ (cm)	
1	ガラス 繊維筋	アラミド繊維筋	0.5	10.0	1.5
2					1.0
3			1.0	5.0	1.5
4		ガラス 繊維筋	1.5	3.3	2.0
5			1.0	5.0	1.5
6		高強度鉄筋	0.6		
7		なし	0	—	1.5
8					

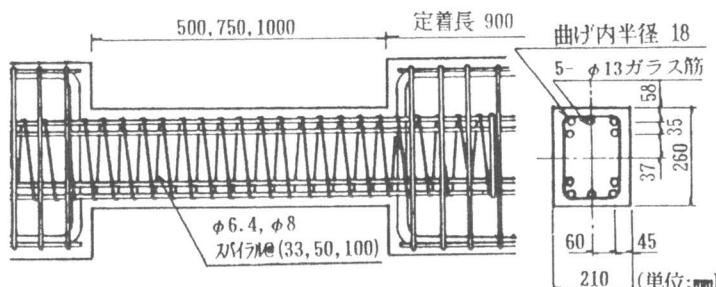


図-1 試験体の形状

ラス繊維筋（5- ϕ 13）とし、曲げ破壊が生じないような補強筋量（1.5%）を複筋配置した。

なお、曲げ補強筋の定着長は、900mmとした。

3.3 加力方法

加力は200トン圧縮試験機を用い、図-2に示すように中央部に逆対称曲げモーメント分布を与える大野式加力とし剪断破壊を先行させるよう設定した。加力サイクルは第1サイクルに計算剪断耐力の1/3まで、第2サイクルに2/3まで載荷したあと除荷し、最終サイクルでは明確な耐力低下が生じるまで荷重を増加させた。

3.4 測定方法

各荷重ごとに、試験区間両端の剪断たわみ（ δ ）、剪断補強筋ひずみ、曲げ補強筋ひずみ、ひびわれの状況などを測定記録した。

(1) たわみ

試験体の側面に取りつけた治具に変位計をセットし、試験区間両端の剪断たわみを測定した。図-3にたわみの測定方法を示す。なお、測定値は両側面の平均値である。

(2) 補強筋のひずみ

ワイヤーストレインゲージにより測定した。補強筋のひずみ測定位置を図-4に示す。

(3) ひびわれ状況

載荷荷重の増加とともにひびわれの発生位置、荷重をマーキングし、ひびわれの状況を記録した。

4. 補強筋の物性

補強筋の強度特性を表-3に示す。

5. 実験結果

5.1 破壊性状

最大耐力時における各試験体のひびわれ状況（側面）を図-5に示す。

いずれの試験体も、載荷荷重の増大とともに、試験区間端部付近に曲げひびわれが発生し、次に45度方向に生じた剪断ひびわれが上下に進展して最終的に剪断破壊した。また、すべての試験体において、かぶりコンクリートの剥離や浮きが見られた。

シアースパン比の小さいNo.2 ($a/D=1.0$)

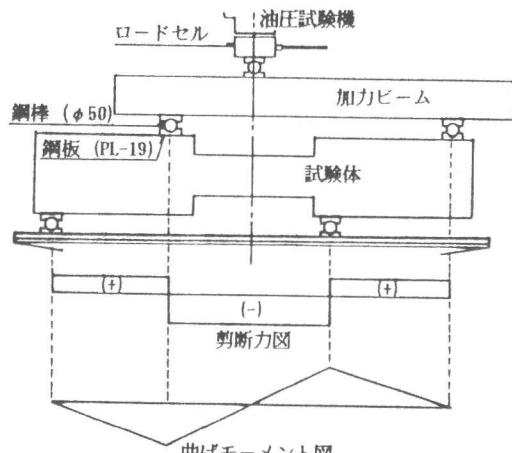


図-2 加力方法

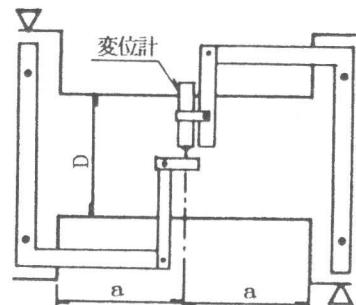
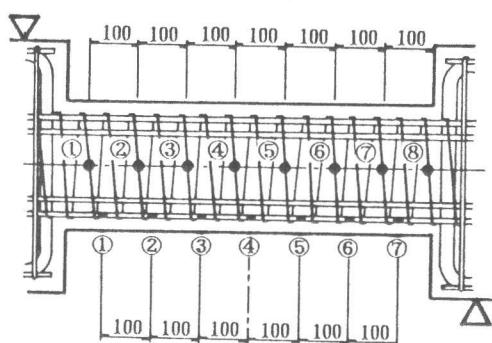


図-3 たわみの測定方法



(注) • 主筋の場合、ひずみゲージは1測点につき前後2枚貼付した。
• 剪断補強筋の場合、ひずみゲージは1測点につき左右2枚貼付した。

図-4 ゲージ取付け位置

表-3 補強筋の強度特性

補強筋の種類		引張強度 (kgf/mm ²)	弾性係数 (kgf/mm ²)
剪断 補強筋	アラミド繊維筋	96	4250
	ガラス繊維筋	75	3435
	高強度鉄筋	130	21000
曲げ補強筋	ガラス繊維筋	84	3820

の場合は、剪断補強筋が曲げ加工部で破断して急激な耐力低下が生じる脆性的な破壊を示した。

ガラス繊維筋を剪断補強筋とした場合(No.6)も複数の剪断補強筋が曲げ加工部で破断し、脆性的な破壊を示した。

高強度鉄筋の場合(No.7)には、新補強材(アラミド繊維(No.3)、ガラス繊維(No.6))の場合と比べて、剪断ひびわれの進展が遅く、その数も少なかった。

剪断補強筋のない場合(No.8)は剪断ひびわれ発生後ほとんど荷重が増大しないで、剪断ひびわれから曲げ補強筋に添ったひびわれが発生し、急激な破壊を生じた。

5.2 変形性状

剪断力とたわみの関係を図-6～8に示す。ひびわれ発生まではたわみは極く小さく、曲げひびわれ発生後は、荷重の増加とともにたわみが増している。また、剪断ひびわれ発生後は、剛性が低下する傾向が見られた。

(1) シアースパン比の影響

図-6は剪断力～たわみ曲線をその他の条件を一定としてシアースパン比の変化により比較したものである。シアースパン比の増大にともなって最大耐力、および剛性は低下し、最大たわみは増加する傾向を示した。

(2) 剪断補強筋比の影響

図-7は剪断力～たわみ曲線をその他の条件を一定として剪断補強筋比の変化により比較したものである。剪断補強筋比(p_w)の増加にともなって最大耐力は増加しており、剪断補強効果が認められるが、 p_w の変化による剛性の変化はあまり顕著でない。

(3) 剪断補強筋の種別の影響

図-8は剪断力～たわみ曲線をその他の条件を一定として剪断補強筋の種類により比較したものである。いずれの剪断補強筋を用いた場合も剪断補強筋のない場合に比べ、最大耐力時のたわみおよびその後のたわみが大きくなっている。

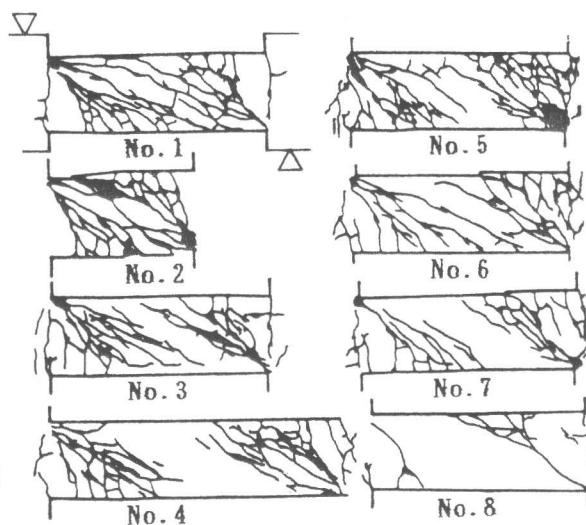


図-5 ひびわれ状況

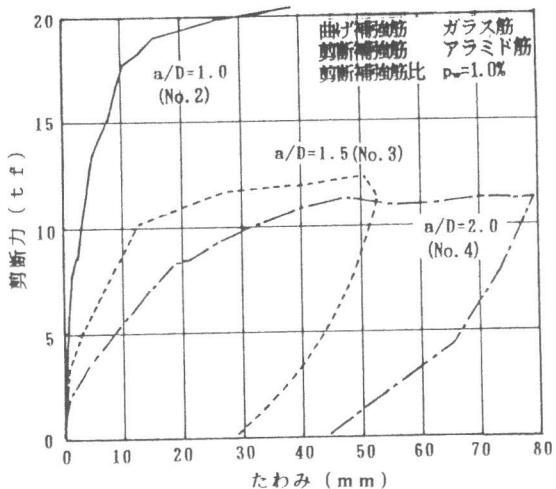


図-6 剪断力とたわみ (a/D による比較)

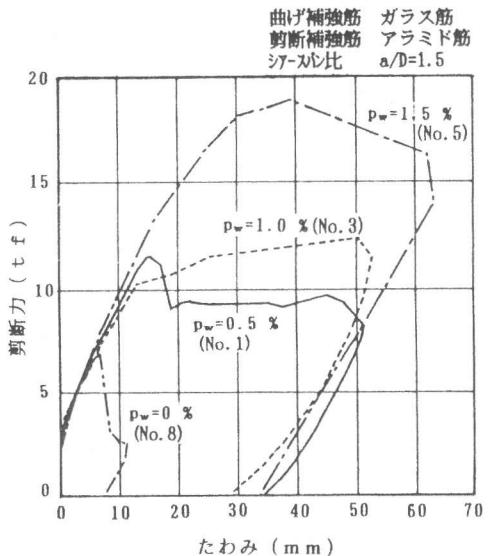


図-7 剪断力とたわみ (p_w による比較)

5. 3 補強筋のひずみ

(1) 剪断補強筋ひずみ

図-9は、No.5 実験における特定のたわみ角 ($\delta/2a$) の時の剪断補強筋のひずみ分布を示したものであるが、材端部に2つの山を持つ分布となっており、ひびわれ、破壊性状と良く対応している。剪断ひびわれは、複数の剪断補強筋を横断しているが図から、補強筋の引張力は、特定の補強筋だけに集中していることがわかる。

(2) 曲げ補強筋ひずみ

図-10は No.5 実験における特定のたわみ角 ($\delta/2a$) の時の曲げ補強筋(下筋)のひずみ分布を示したものである。剪断区間の左端では、下側引張り (+)、右端では、下側圧縮 (-) の曲げモーメントが発生する荷重条件となっており、測定結果は曲げモーメントの分布を良く表している。

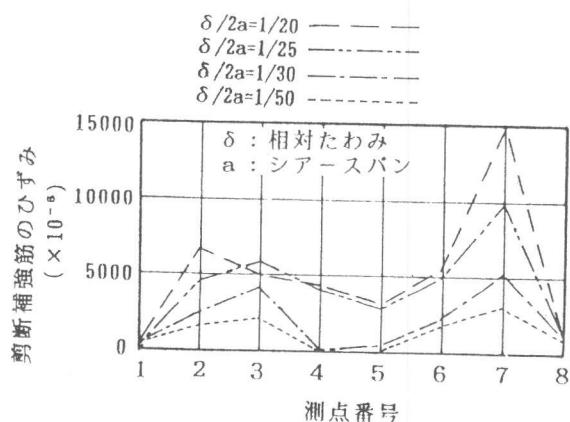


図-9 剪断補強筋のひずみ分布の例

5. 4 耐力

各試験体について諸耐力の計算値と実験値の比較を表-4に示す。

(1) 耐力の計算値

剪断ひびわれ耐力(Q_c)及び最大剪断耐力(Q_u)の計算には、以下に示すように、大野・荒川式のmean式[1]を用いた。

$$Q_c = \{K_o(500 + \sigma_B) \times 0.085 / (a/d + 1.7)\} \times b \cdot j \quad (1)$$

$$Q_u = \{K_u \cdot K_p (180 + \sigma_B) \times 0.12 / (a/d + 0.12) + 2.7 \sqrt{(p_w' \cdot sQ_v)}\} \times b \cdot j \quad (2)$$

ここに、 K_o 、 K_u ：断面寸法による補正係数 σ_B ：コンクリートの圧縮強度

K_p ：弹性係数比を乗じた曲げ補強筋比による補正係数

p_w' ：弹性係数比を乗じた剪断補強筋比 sQ_v ：剪断補強筋の降伏点強度

(2) 曲げひびわれモーメント

表-4に示すように曲げひびわれモーメントの実験値は、剪断補強筋の種別、剪断補強筋比(P_w)及

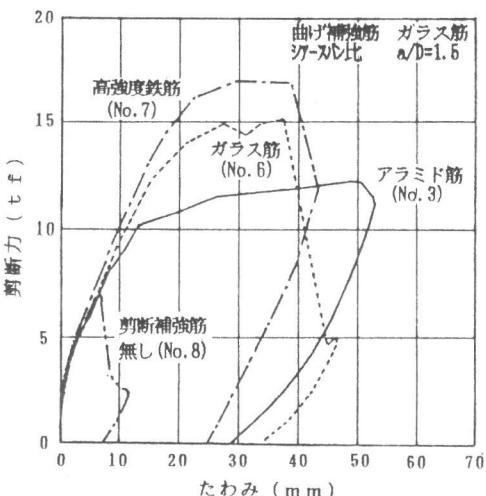


図-8 剪断力とたわみ(剪断補強筋による比較)

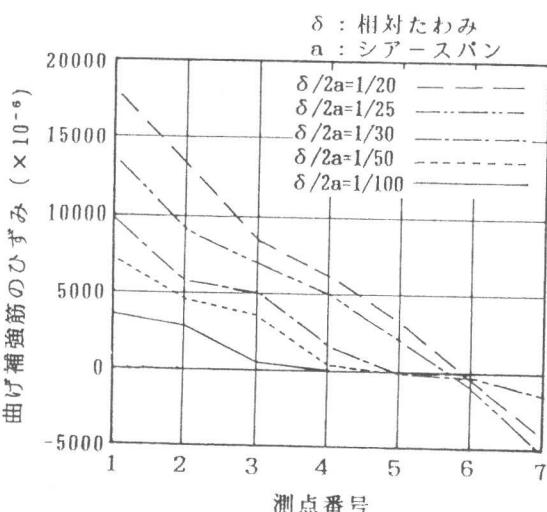


図-10 曲げ補強筋のひずみ分布の例

表-4 実験結果一覧

試験体No	補強筋		スパンℓ (cm)	シアースパン比 a/D	コンクリートの圧縮強度 kgf/cm²	ひびわれ耐力						最大耐力					
	曲げ補強筋 φ13 p_t (%)	剪断補強筋 種別 p_w (%)				剪断ひびわれ耐力 (tf)			曲げひびわれモーメント (t-m)			(tf)					
						実験値 ①	計算値 ②	①/②	実験値 ①	計算値 ②	①/②	実験値 ①	計算値 ②	①/②			
1	ガラス繊維筋 1.5	アラミド	0.5	75	1.5	394	6.06	7.02	0.86	0.76	0.93	0.82	11.01	10.97	1.00		
2		同上	1.0	50	1.0	356	7.09	8.11	0.87	0.72	0.84	0.86	20.20	15.07	1.34		
3		同上	1.0	75	1.5	396	5.39	7.04	0.77	0.93	0.94	0.99	11.68	12.34	0.95		
4		同上	1.0	100	2.0	394	5.10	6.00	0.85	0.88	0.93	0.95	10.79	10.47	1.03		
5		同上	1.5	75	1.5	392	6.06	6.99	0.87	0.93	0.92	1.01	17.97	13.29	1.35		
6		ガラス	1.0		1.5	396	5.17	7.04	0.73	0.93	0.94	0.99	14.42	11.39	1.27		
7		ガルバン	0.6		1.5	399	6.74	7.06	0.95	0.76	0.94	0.81	16.20	16.99	0.95		
8		-	0		1.5	390	4.72	6.99	0.68	1.01	0.92	1.10	6.74	7.66	0.88		

びシアースパン比(a/D)の要因にかかわらず、計算値と比較すると全体に低い値となった。

(3) 剪断ひびわれ耐力

表-4に示すように、剪断ひびわれ耐力の実験値は、シアースパン比(a/D)の増加に伴って低下する結果となり、a/D=1.5の場合、剪断補強筋に新補強材を用いた試験体では、高強度鉄筋を用いた場合に比べて低くなかった。また、剪断ひびわれ耐力の実験値は計算値と比較すると、全体に低い値となった。

(4) 最大耐力

最大耐力の計算値と実験値の比較を図-11に示す。最大耐力の計算は(2)式を用いて行い、補強筋比には、鉄筋との弾性係数比を考慮した換算値を用いた。実験値は計算値の0.9~1.35程度となっており、比較的よく対応していると言え、螺旋糸巻き状新補強材を剪断補強筋として用いた梁の剪断耐力の計算に、弾性係数比を考慮すれば大野・荒川式を適用できることが示唆された。

図-12にシアースパン比(a/D)と最大耐力の関係を示す。計算値と同様にa/Dの増加とともに最大耐力は低下する傾向を示した。

図-13に剪断補強筋比と最大耐力の関係を示す。計算値とよく対応して、p_wの増加とともに最大耐力も増加している。また、図-13には大野・荒川式において曲げ補強筋の剛性を考慮した場合と考慮しない場合の剪断耐力の計算値を比較している。実験値は、剛性を考慮しない計算値よりも小さい値であ

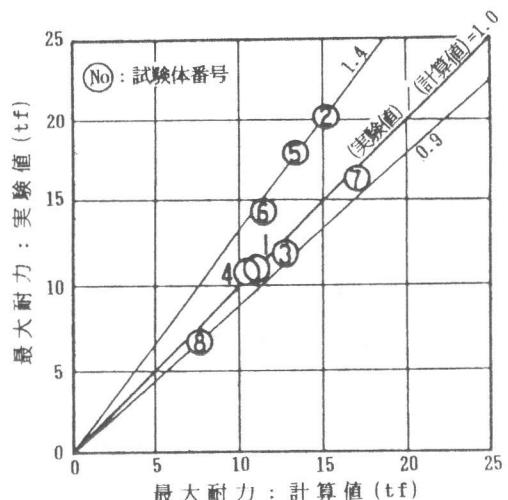


図-11 最大耐力の計算値と実験値の比較

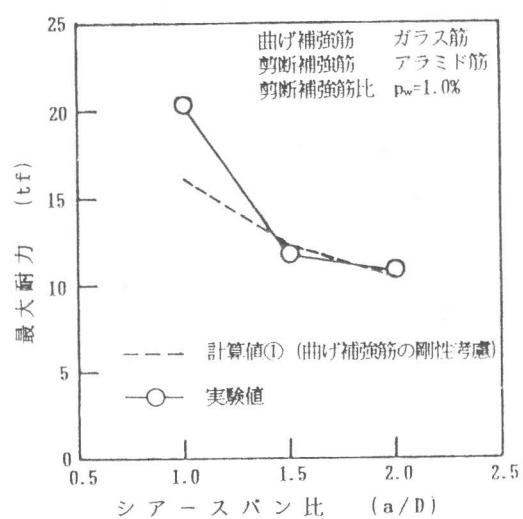


図-12 シアースパン比と最大耐力の関係

り、曲げ補強筋の剛性を考慮した計算値と、より近似している。

図-14に剪断補強筋の種類と最大耐力の関係を示す。高強度鉄筋、アラミド繊維筋では実験値と計算値は、ほぼ同じ値であったが、ガラス繊維筋では実験値が計算値より大きい結果となった。

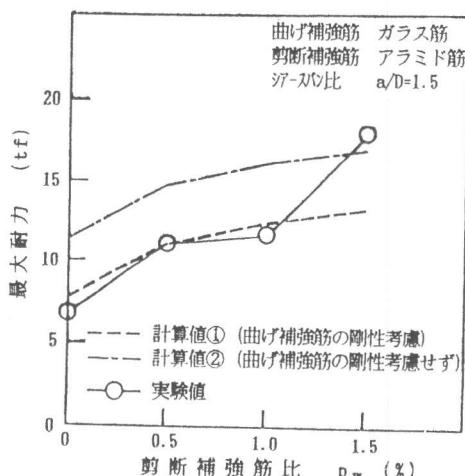


図-13 剪断補強筋比と最大耐力の関係

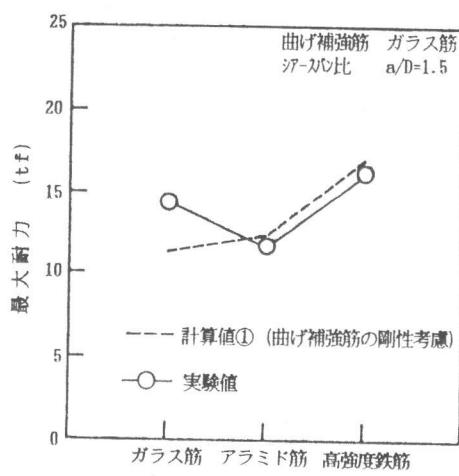


図-14 剪断補強筋の種別と最大耐力の関係

6. まとめ

螺旋糸巻き状FRPロッドを剪断補強筋とした梁の剪断実験を行い、次の実験結果を得た。

- ①シアースパン比の増加に伴って剪断耐力は低下し最大たわみは増加した。
- ②剪断耐力は剪断補強筋比の増加に伴って増加した。
- ③剪断補強筋の破断は、曲げ加工部で生じた。また、剪断ひびわれに横断される複数の補強筋の応力はかなり異なった。
- ④新補強材を剪断補強筋として用いた梁の剪断耐力は、大野・荒川式において曲げ補強筋および剪断補強筋の剛性を考慮した計算値で近似することができた。

7. あとがき

螺旋糸巻き状新補強材を剪断補強筋として用いた際の剪断補強効果を逆対称加力方式による梁の剪断試験を行い、螺旋糸巻き状新補強材が剪断補強筋として適用可能であることを確認することができた。螺旋糸巻き状新補強材の曲げ補強効果についてはすでに確認しており[2]、今回の実験結果と合わせ、螺旋糸巻き状新補強材がコンクリート補強筋として適用可能であることが確認できた。今後は実構造物への適用について検討して行きたいと考えている。

なお、実験方法については建設省新素材総プロ長繊維補強コンクリートWGの研究の一環として実施された文献[3]を参考にさせて頂いた。

【参考文献】

- [1] 日本建築学会、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」、1991
- [2] 辻誠一、白石文雄、浜田元「螺旋糸巻き状FRPロッドの付着特性とコンクリート梁の曲げ性状」コンクリート工学年次論文報告集 13-2, pp849~854, 1991
- [3] 近藤悟、永坂具也「長繊維棒材をあばら筋とするコンクリート梁のせん断補強効果」コンクリート工学年次論文報告集 13-2, pp811~816, 1991
- [4] 平田裕一、岡本直、遠藤克彦、谷垣正治「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, pp1129~1134, 1990