

報告

[2137] 長繊維棒材をあら筋とするコンクリート梁のせん断補強効果

正会員 近藤 悟 (佐藤工業中央技術研究所)

正会員 永坂具也 (東海大学建築学科)

1. はじめに

高強度、軽量で耐腐食性や非帯磁性に優れた各種新素材による長繊維棒材 (FRP ロッド) をコンクリート部材の補強筋に用いる研究が試みられている。[1],[2] しかし、せん断補強筋としての長繊維棒材の種類、補強筋比、スパンをパラメーターとしたコンクリート梁について、せん断補強効果を体系的に検討したせん断実験は未だ少ないようである。本研究は、それらを主要なパラメーターとしたコンクリート梁の一方向単調加力のせん断実験を行い、それらの構造的効果を確認し、せん断補強効果に着目して比較検討したものである。

2. 実験方法

2.1 試験体

試験体は図-1 に示すように、中央にせん断試験区間を有し両側に加力用スタブをもつ。試験区間の梁せいは30cmで、試験体の幅は試験区間、スタブ部分ともに25cmである。表-1 に示すように試験体は全部で18体あり、スパン  $l_0$  は60, 90, 120cmの3種類、せん断補強筋比は0.5, 1.0, 1.5%の3種類で配筋ピッチはそれぞれ2.7, 4, 8cmである。せん断補強筋は8φ相当のものであり、スパイラル形として炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維、高強度鉄筋の4種類、閉合形として (ガラス+炭素) 繊維の1種類とした。また、比較のために無補強のものも加え

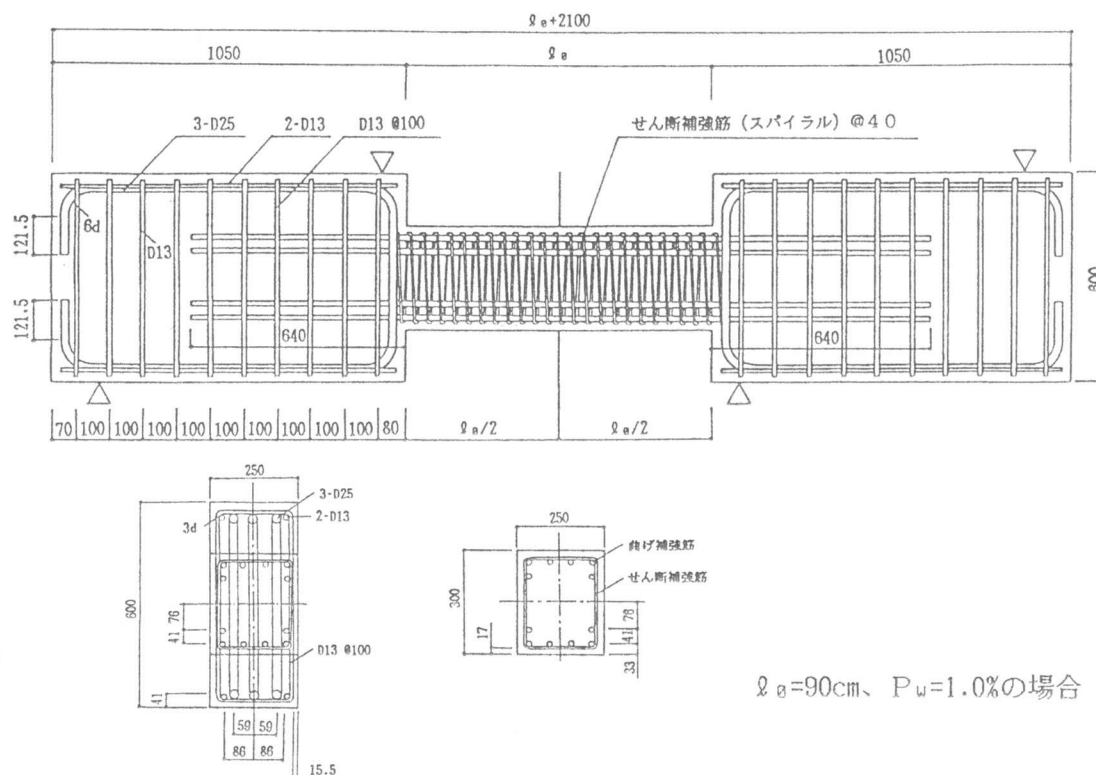


図-1 試験体形状

表-1 ひびわれ耐力・せん断耐力一覧

試験体名	曲げ補強筋		せん断補強筋		スパン \$l_a\$ (cm)	せん断 スパン比 \$a/d\$	ひびわれ耐力 (tf)			せん断耐力 \$Q_u\$ (tf)	補強筋負担分 (tf)		破壊形式				
	材料種別	\$P_u\$ (%)	材料種別	\$P_u\$ (%)			曲げ	せん断	付着割裂		実測値	計算値					
A0090-01	アラミド	1.9	—	0	90	1.78	2.0	5.5	7.0	11.50	—	—	せん断引張				
S0090-02	高強度鉄筋	1.6	—	0	90	1.78	2.5	8.0	—	10.82	—	—	せん断引張				
C0560-03	アラミド	1.9	炭素 (\$2H^{\circ}\$イタ)	0.5	60	1.18	1.0	6.8	6.8	25.20	19.95 (0.792)	6.68 (0.265)	補強筋破断				
C1060-04				1.0			1.0	8.0	6.0	31.69	24.36 (0.769)	9.53 (0.301)	補強筋破断				
C1560-05				1.5			1.0	10.0	15.0	36.57	35.59 (0.973)	11.52 (0.315)	補強筋破断				
C0590-06				0.5			90	1.78	1.5	5.5	6.0	20.78	18.39 (0.885)	7.17 (0.345)	補強筋破断		
C1090-07				1.0					2.0	5.0	7.0	28.20	27.10 (0.961)	10.05 (0.356)	補強筋破断		
C1590-08				1.5			1.5	5.5	11.0	28.78	28.75 (0.999)	10.98 (0.382)	曲げ圧縮				
C0512-09				0.5			120	2.37	0.5	6.5	6.5	16.16	14.38 (0.890)	6.34 (0.392)	補強筋破断		
C1012-10				1.0					1.0	5.5	9.0	23.41	20.87 (0.891)	8.82 (0.377)	補強筋破断		
C1512-11				1.5					1.0	6.5	12.0	26.81	26.48 (0.985)	10.54 (0.393)	せん断圧縮		
N0590-12				ガラス +炭素 (閉合形)			0.5	1.0	90	1.78	1.5	6.5	6.5	17.27	11.14 (0.645)	5.97 (0.346)	補強筋破断
N1090-13											1.5	5.5	5.5	24.77	19.43 (0.784)	8.51 (0.344)	補強筋破断
A0590-14	アラミド (\$2H^{\circ}\$イタ)	0.5	1.0	90	1.78	1.0	6.5	5.5	20.46	17.62 (0.851)	7.02 (0.343)	補強筋破断					
A1090-15						1.5	6.5	4.5	27.67	25.83 (0.934)	9.82 (0.355)	曲げ圧縮					
G0590-16	ガラス (\$2H^{\circ}\$イタ)	0.5	1.0	90	1.78	0.5	6.0	4.0	17.85	15.51 (0.869)	7.04 (0.394)	補強筋破断					
G1090-17						1.0	7.0	5.0	23.33	21.85 (0.941)	9.05 (0.388)	補強筋破断					
S1090-18	高強度鉄筋	1.6	高強度鉄筋 (\$2H^{\circ}\$イタ)	0.8	90	1.78	2.0	9.0	8.5	29.45	20.16 (0.685)	9.70 (0.329)	曲げ圧縮				

[注] 補強筋負担分の ( ) 内はせん断耐力に対する比を表す。また、実測値は最大耐力時のせん断補強筋の実測ひずみ値から、計算値は大野・荒川式の補強筋負担分から計算したものである。いずれも、\$\sigma\_{uv}\$は耐力に支配的となるひびわれを横切る補強筋についての平均応力度を用いた。

た。曲げ補強筋は16φ相当のものであり、アラミド繊維棒、高強度鉄筋の2種類を用い、スパイラル筋に高強度鉄筋を用いたときのみ曲げ補強筋に高強度鉄筋を用いた。曲げ補強筋、せん断補強筋に用いた高強度鉄筋は棒材表面に凹凸がない加工になっている。なお、スパイラル筋は試験区間および両スタブ内に1ピッチ延長されて配筋されている。曲げ補強筋は上・下端ともに6本を2段に配筋されており、スタブ内に64cmの長さで定着されている。なお、いずれの試験体もせん断補強筋破断、せん断圧縮破壊が先行するように計画された。

表-2に本実験に用いたコンクリートの力学的特性を、表-3に補強筋(FRP、高強度鉄筋)の力学的特性を示す。

2.2 加力・測定方法

加力は大野式逆対称加力で、一方向単調加力とした。たわみの測定は、試験区間両端の相対たわみを測定した。また、図-2にひずみ測定位置の一例を示す。曲げ補強筋については、各測定点に対し1枚のゲージを10cm間隔に貼付け測定した。せん断補強筋については、各測定点に対し2枚のゲージをせん断補強筋比0.5、1.0%のとき8cm間隔、1.5%のとき5.4cm間隔に、また、せん断補強筋比0.5%のときは配筋があらいで両側面に、その他は片側面のみ貼付け測定した。

表-2 コンクリートの力学的特性

試験体名	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数 (tf/cm <sup>2</sup> )
C0560-03 C0590-06 C1090-07 C1590-08	295	265
C1060-04	347	253
A0090-01 S0090-02	348	278
C1560-06 C0512-09 C1012-10 C1512-11	335	278
N0590-12 N1090-13 A0590-14	341	289
A1090-15 G0590-16	354	283
G1090-17 S1090-18	367	295

表-3 補強筋の力学的特性

部位	材料種別	断面積 (cm <sup>2</sup> )	弾性係数 (tf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (tf/cm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
曲げ補強筋	アラミド繊維	2.0	574	13.22	2.3
	高強度鉄筋	1.7	2141	14.20*	9.0
せん断補強筋	炭素繊維	0.5	1145	13.12	1.1
	アラミド繊維	0.5	617	14.04	2.2
	(ガラス+炭素) 繊維	0.5	450	7.00	1.6
	ガラス繊維	0.5	472	13.80	2.9
	高強度鉄筋	0.4	2100	14.60*	9.0

[注] 引張強度の\*は降伏応力度を表す。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 破壊状況

図-3に各試験体の最終ひびわれ状況を示し、表-1に破壊形式の一覧を示す。せん断補強筋を配筋していない2体の試験体は圧縮側隅角部を結ぶ対角方向に伸びたせん断ひび割れが伸展して破壊した(せん断引張破壊)。せん断補強筋を有しているその他の試験体は3種類の破壊がみられた。C1512-11ではひび割れが加力点または支点に向かって湾曲し斜め亀裂となり、加力点近くの斜め亀裂先端部のコンクリートが圧潰した(せん断圧縮破壊)。C1590-08, A1090-15, S1090-18は補強筋が擬似降伏を起こしたように見受けられ、補強筋の定着が不十分であったためか補強筋の梁の端部からの抜け出しに伴い、コンクリートが圧潰した(曲げ圧縮破壊)。その他の試験体はせん断補強筋のコーナー部付近で破断した(補強筋破断)。破壊形式がせん断補強筋の破断となった場合、補強筋破断と同時にコンクリートが破碎し、極めて激烈な様相を呈した。

#### 3.2 耐力

表-1にひびわれ耐力・最大耐力の一覧を示す。

##### (1) せん断力-たわみ曲線

せん断力-たわみ曲線を図-4に示す。スパン90cmの試験体について、補強筋の種類によって比較すると、弾性係数の小さいものほどせん断ひび割れ後の剛性低下が早期に生じて、最大耐力に達している。また、せん断補強筋の種類、スパンが同じ試験体について比較

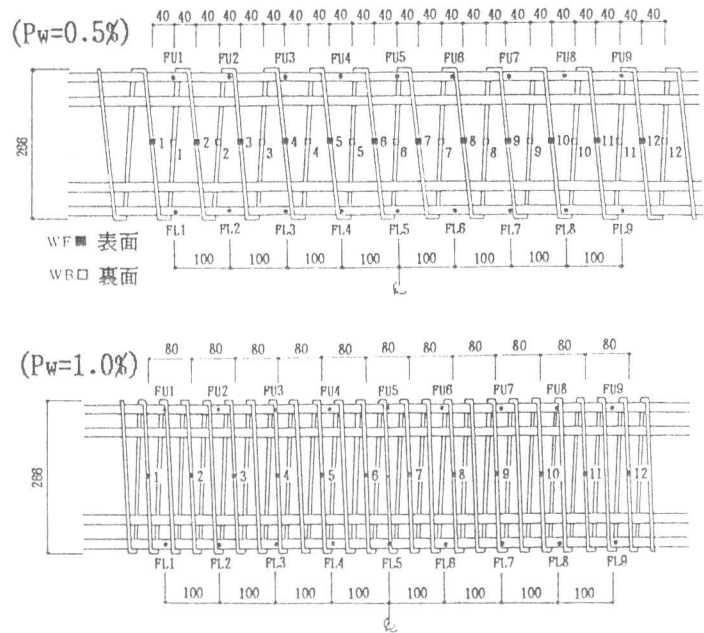


図-2 ひずみ測定位置の一例

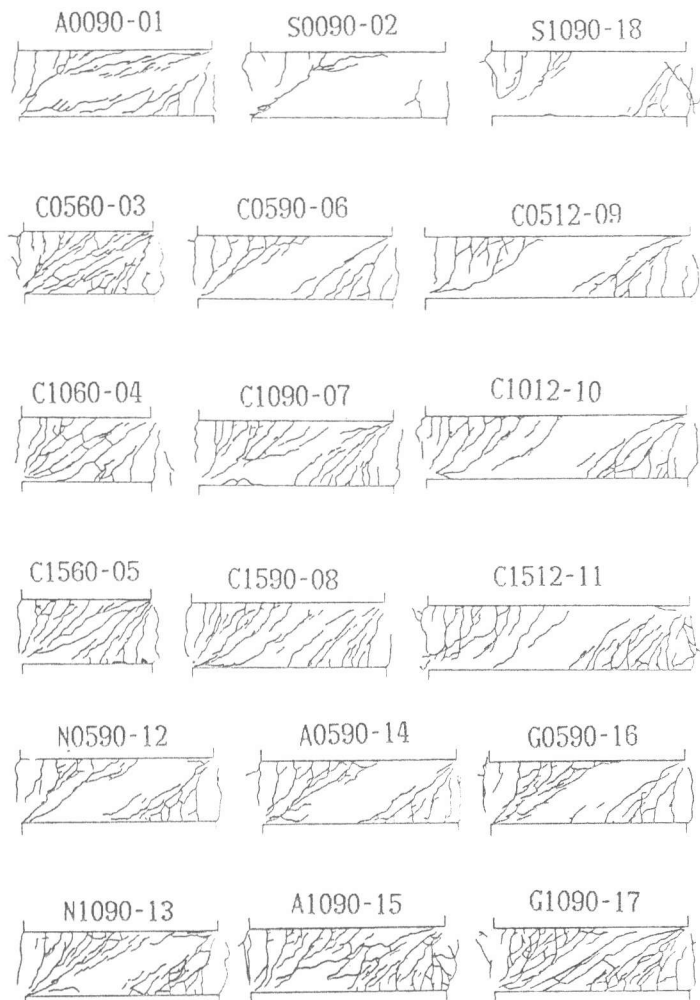


図-3 最終ひびわれ状況

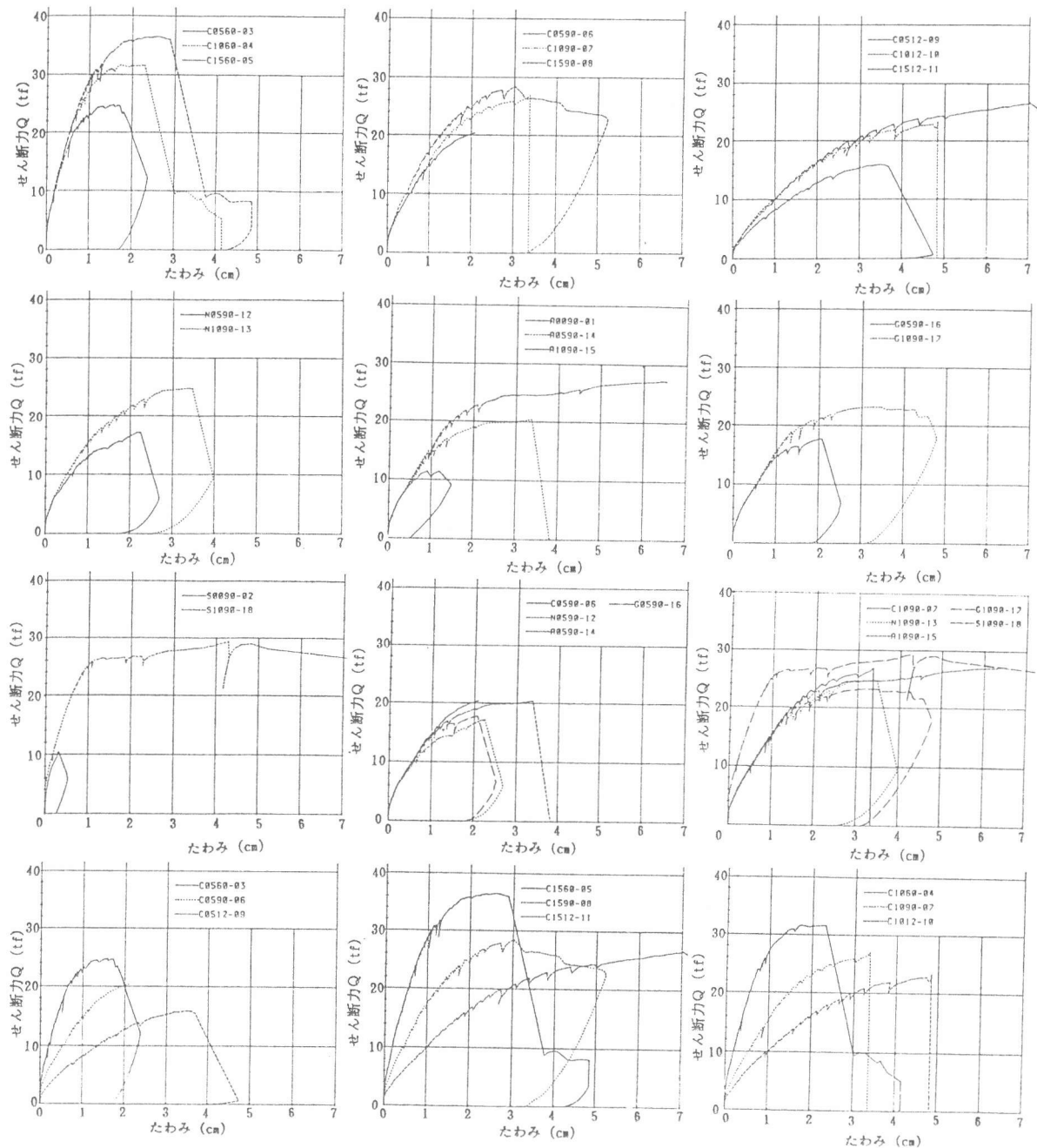


図-4 せん断力-たわみ曲線

すると、せん断補強筋比が少ないものほどせん断ひび割れ後の剛性低下が早期に生じて、最大耐力に達している。なお、C1590-08, A1090-15, S1090-18について、せん断力-たわみ曲線からも先述の擬似降伏の発生が伺われる。

### (2) スパン $l_0$ とせん断耐力 $Q_u$ の関係

スパン  $l_0$  とせん断耐力  $Q_u$  の関係を示したのが図-5である。破壊形式の異なる  $P_w=1.5\%$  の場合を除けば、せん断耐力はスパンを増せばほぼ直線的に低下している。

### (3) せん断補強筋比 $P_w$ と最大耐力 $Q_u$ の関係

せん断補強筋比  $P_w$  とせん断耐力  $Q_u$  の関係の一例を示したものが図-6である。スパン120cmの試験体を除けば、せん断耐力はせん断補強筋比を増せばほぼ直線的に増大する傾向が見られた。

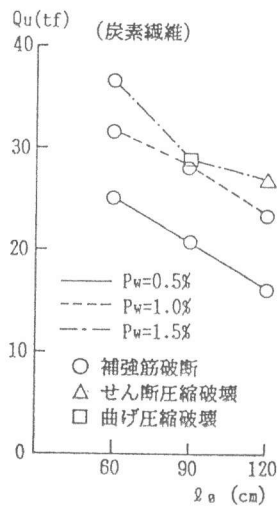


図-5 スパン  $l_0$  とせん断耐力  $Q_u$  の関係

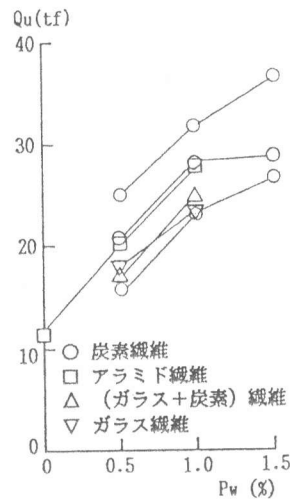


図-6 せん断補強筋比  $P_w$  とせん断耐力  $Q_u$  の関係

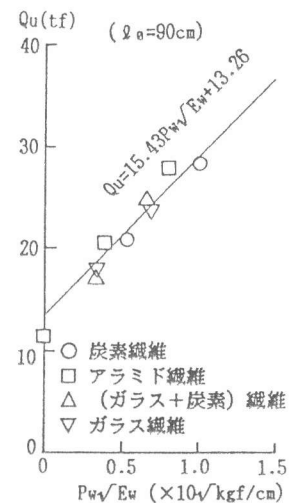


図-7 せん断補強筋比と弾性係数の平方根の積  $P_w\sqrt{E_w}$  とせん断耐力  $Q_u$  との関係

(4) せん断補強筋比と弾性係数の平方根との積  $P_w\sqrt{E_w}$  とせん断耐力  $Q_u$  の関係

スパン90cmについて、試みにせん断補強筋比と弾性係数の平方根との積  $P_w\sqrt{E_w}$  とせん断耐力  $Q_u$  の関係を示したのが図-7である。せん断耐力はせん断補強筋比と弾性係数の平方根との積  $P_w\sqrt{E_w}$  を増せば直線的に増大する傾向が見られる。

(5) せん断耐力時の補強筋負担分

耐力に支配的となったせん断ひび割れに注目し、最大耐力時にそれを横切る補強筋のもつ応力の合計をせん断補強筋負担分とし、表-1に実測値として示す。実測値は実験時に試験体内部のせん断補強筋に貼付けたひずみゲージの実測値から求めたものである。他方、大野・荒川式より求めた補強筋負担分を計算値として同表に示す。両者の比較から、大野・荒川式では補強筋の耐力の評価が困難であると考えられる。そこで、最大耐力の実験値から実測による補強筋負担分を差し引いたものをコンクリート負担分として算出し、表-4に示す。この表からほとんどの試験体について、耐力の大部分を補強筋負担分が占めることになり、炭素繊維スパン60cmでせん断補強筋比0.5, 1.0%の試験体 (C0560-03, C1060-04)、(ガラス+炭素) 繊維の試験体 (N0590-12, N1090-13) を除けば、コンクリート負担分は非常に小さくなる結果が得られている。(ガラス+炭素) 繊維は破断応力に達しても、ある程度変形するのが可能であり、そのような特性が何らかの形で関与したと思われるが、その抵抗機構は現在のところ不明である。

表-4 せん断耐力時の補強筋負担分

試験体名	せん断耐力 $Q_u$ (tf)	コンクリート負担分 $Q_c$ (tf)	せん断補強筋負担分 $Q_v$ (tf)
A0090-01	11.50	11.50	-
S0090-02	10.82	10.82	-
C0560-03	25.20	5.25	19.95 (0.792)
C1060-04	31.69	7.33	24.36 (0.796)
C1560-05	36.57	0.98	35.59 (0.973)
C0590-06	20.78	2.39	18.39 (0.885)
C1090-07	28.20	1.10	27.10 (0.961)
C1590-08	28.78	0.03	28.75 (0.999)
C0512-09	16.16	1.78	14.38 (0.890)
C1012-10	23.41	2.54	20.87 (0.891)
C1512-11	26.81	0.33	26.48 (0.988)
N0590-12	17.27	6.13	11.14 (0.645)
N1090-13	24.77	5.34	19.43 (0.784)
A0590-14	20.46	2.84	17.62 (0.861)
A1090-15	27.67	1.84	25.83 (0.934)
G0590-16	17.85	2.34	15.51 (0.869)
G1090-17	23.33	1.38	21.95 (0.941)
S1090-18	29.45	9.29	20.16 (0.685)

[注] せん断補強筋負担分の ( ) はせん断耐力に対する比を表す。

#### (6) せん断補強筋の平均引張応力度

最大耐力がせん断補強筋破断と定まる場合、耐力に支配的となるひび割れを横切る補強筋に関してその平均応力度とスパン  $l_0$  との関係を示したのが図-8である。平均応力度はせん断補強筋の種類に応じて、ばらつきは大きいがほぼ一定の値に見られ、炭素繊維では4000kgf/cm<sup>2</sup>、アラミド繊維では4350kgf/cm<sup>2</sup>、(ガラス+炭素)繊維では3200kgf/cm<sup>2</sup>、ガラス繊維では4000kgf/cm<sup>2</sup>という結果となった。これから、(ガラス+炭素)繊維のみ3200kgf/cm<sup>2</sup>となり、それ以外のものはおよそ4000kgf/cm<sup>2</sup>の値をもつと考えられ、せん断補強筋比にはよらず、スパンについてはばらつきは大きな結果となった。

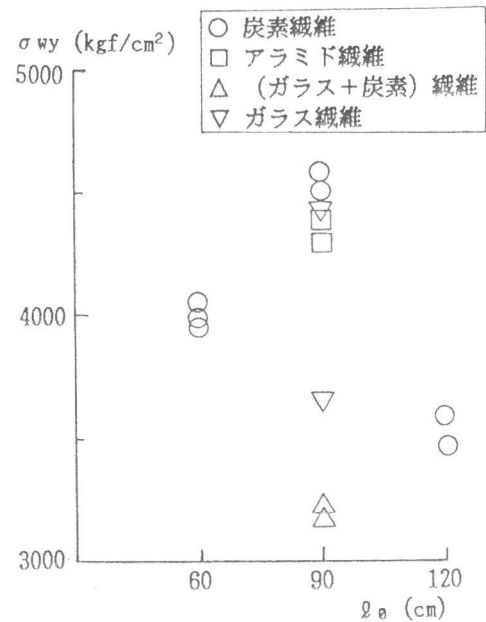


図-8 平均応力度  $\sigma_{wy}$  とスパン  $l_0$  の関係

#### 4. まとめ

本実験で得られたことをここに要約する。

- 1) せん断耐力はスパンを増せばほぼ直線的に低下する。
- 2) せん断耐力はせん断補強筋比を増せばほぼ直線的に増大し、弾性係数の平方根を増せば直線的に増大する。すなわち、両者の積を増せば直線的に増大する。
- 3) 繊維補強コンクリート梁の場合、炭素繊維スパン60cmのせん断補強筋比0.5, 1.0%、ガラス+炭素の複合繊維を除けば、コンクリート負担分は極めてわずかであった。
- 4) せん断補強筋破断による最大耐力時の平均応力度はその種類に応じてほぼ一定の値となり、せん断補強筋比にはほとんど関係しない。

<謝辞>本研究は、建設省新素材総プロ長繊維補強コンクリートWG(委員長:園部泰寿 筑波大学教授)の一環として行われた。なお、その一部については三井建設㈱との共同研究を含むものである。特に同建設技術研究所、谷垣正治氏には実験計画にあたって多大の協力を得た。また、高周波熱錬㈱には高強度鉄筋の提供を受けた。ここに謝意を表します。実験に際しては、卒研生、磯崎良一君、神馬匠君、浜田国治君、庄司透君、宮沢康朗君、志津野真武君の協力を得た。併せてここに謝意を表します。

#### <参考文献>

- [1] 平田他: 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,pp1129~1134
- [2] 木村他: 炭素繊維およびアラミド繊維を補強筋としたはり部材のせん断実験、コンクリート工学年次論文報告集12-1,1990,pp1135~1140