

建設省土木研究所	正員	西川 和廣
同	正員	神田 昌幸
建設省関東地方建設局	正員	杉山 純
建設省土木研究所	正員	○内田 賢一

1. まえがき FRPケーブルを緊張材に用いたPC部材は、FRPの特殊な性能のために、通常のPC鋼材を用いた場合と異なった耐荷特性を示すものと考えられる。本研究では、終局荷重作用時にFRPを緊張材に用いたはりのコンクリートが負担できるせん断力を明らかにするために、せん断破壊を生じさせる設計条件を与えたプレテンションはり供試体によるせん断実験を行った。また、道路橋示方書に準拠して設計したポストテンションはり供試体を用いて静的載荷実験を行い、FRPを緊張材に用いた場合の破壊性状を調べ、設計手法の確認を行った。以下にその結果の概要について述べる。なお、本研究は(株)大林組、オリエンタル建設(株)、五洋建設(株)、清水建設(株)、住友建設(株)、(株)竹中工務店、(株)竹中土木、日本鋼弦コンクリート(株)、(株)ビー・エス、三井建設(株)と共同で行ったものである。

2. 試験方法 プレテンションはり供試体の形状・寸法および載荷方法を図-1に示す。供試体は、高さ40cm、幅15cmの矩形断面で長さ330cmのはり状の供試体に各緊張材をプレテンション方式で配置した。載荷方法は、供試体を支間240cmで単純支持し、せん断スパン比を2.75とした2点に静的に荷重を加えた。実験は、緊張材5種類(炭素繊維2種類、アラミド繊維2種類、比較用にPC鋼材)、有効プレストレス3段階(各緊張材の保証引張強度の0%,30%,60%)の計15体に対して行った。

ポストテンションはり供試体の形状・寸法および載荷方法を図-2に示す。供試体は、高さ80cm、ウェブ厚さ30cm、上フランジ幅80cmのT形断面で長さ850cmのはり状の供試体に各緊張材をポストテンション方式で配置した。載荷方法は、供試体を支間670cmで単純支持し、せん断スパン比を2.5とした2点に静的に荷重を加えた。実験は、緊張材を5種類(炭素繊維2種類、アラミド繊維2種類、比較用にPC鋼材)の各1体計5体に対して行った。

3. 試験結果

曲げ破壊性状 図-3に参考としてプレテンションけた供試体CRBN1-00~60(00~60は、それぞれ有効プレストレスを示す)の荷重-変位関係のグラフを示す。ここで、炭素繊維FRPは伸び性能が小さく、かつ、せん断変形に追従しにくい性質を有しており、CRBN1およびCRBN2供試体ではせん断ひび割れ部での緊張材の破断によるせん断破壊、もしくは破断型の曲げ破壊が生じる傾向が見られた。一方、伸び性能が大きく、比較的せん断変形に追従できるアラミド繊維FRPを用いたARM1およびARM2供試体では、コンクリート上縁の圧縮破壊により耐力を失う傾向が見られた。これらより緊張材の

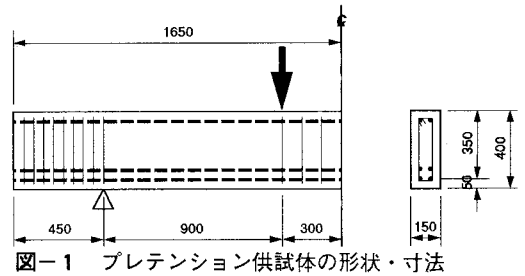


図-1 プレテンション供試体の形状・寸法

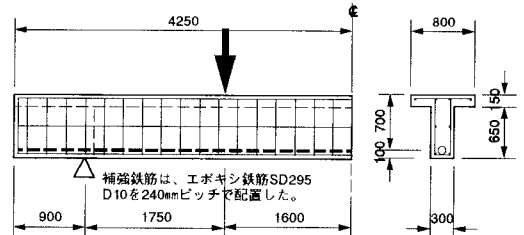


図-2 ポストテンション供試体の形状・寸法

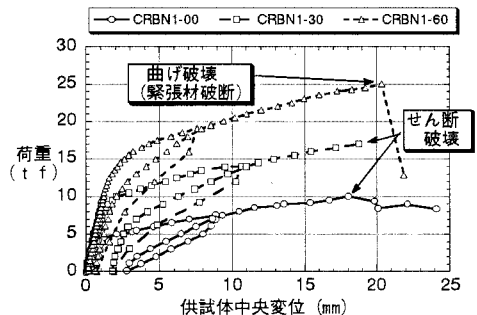


図-3 荷重-変位関係(CRBN1-00~60)

伸び性能およびせん断変形能がせん断破壊形式に影響を与えることが理解される。

道路橋示方書に基づき設計したポストテンションはり供試体の破壊性状は、CRBN1供試体以外ではせん断ひび割れは生じず、FRP緊張材を用いた供試体は破断型の曲げ破壊、PC鋼棒を用いた供試体は、コンクリートの圧縮破壊を伴う曲げ破壊にて耐力を失った。

破壊荷重の実測値と計算値 プレテンションはり供試体の破壊荷重の実測値および計算値を表一に、ポストテンション供試体の破壊荷重の実測値および計算値を表二に示す。ここでせん断破壊荷重の計算値(Pu^{*1})は道路橋示方書による式(1)で、せん断破壊荷重の計算値(Pu^{*2})は、既往の研究¹⁾を参考に式(2)で計算した。

$$Pu^{*1} = 2 \left\{ \tau_c \left(1 + \frac{M_0}{M_d} \right) bwd + \frac{A_{ufwd} d}{1.15s_s} \right\} \dots (1)$$

$$Pu^{*2} = 2 \left\{ 0.94f_c^{1/3} \left(\frac{100As}{bd} \right)^{1/3} \left(\frac{100}{d} \right)^{1/4} \left(0.75 + \frac{1.4}{a/d} \right) b_w d + \frac{A_{ufwd} d}{1.15s_s} + 2 \frac{M_0}{a} \right\} \dots (2)$$

なお、曲げ破壊荷重の計算値は、最も引張側にある緊張材の応力が実験に先立ち引張試験によって求められた平均引張強度に達した時、または上縁のコンクリートの歪みが0.0035に到った時の値とした。

プレテンションはり供試体の式(1)によるせん断破壊荷重の計算値は、破壊荷重の実測値に対して大きく下回り、また緊張力の増加に対しても耐力の増加は少なく、緊張力の増加によるコンクリートの負担するせん断耐力の増加を小さく評価しており、安全側の値を与えていることがわかる。一方、式(2)によるせん断破壊荷重の計算値は破壊荷重の実測値および緊張力の増加に対しても概ね評価出来ることがわかった。プレテンションはり供試体の破壊荷重の実測値と計算値の比較を図一に示す。ここで、破壊荷重の実測値は緊張力の増加に伴い増加していることが理解できる。緊張力の高い供試体のせん断破壊荷重の計算値は曲げ破壊荷重の計算値を上回っており、これは実験での破壊性状がせん断ひび割れを伴う曲げ破壊に移行したと一致する。

ポストテンションはり供試体の破壊荷重の実測値は、曲げ破壊荷重の計算値にほぼ一致しており、全ての供試体が曲げ破壊したと整合する。また、式(1)によるせん断破壊荷重の計算値は安全側の値を与えている。

4. まとめ FRPケーブルを緊張材に用いたPC部材に関するせん断破壊荷重の計算値は、式(1)を用いる場合ほぼ全ての供試体で安全側の値を与えている。また、式(2)に関しては、実測値と式(2)によるせん断破壊荷重の計算値との比および実験値と曲げ破壊荷重の計算値との比が共に1を超える場合には、せん断ひび割れの発達を伴う曲げ破壊、後者が1以下の場合にはせん断破壊、前者が1以下で後者が1を超える場合は、せん断ひび割れの発達があまり生じない曲げ破壊となった。実験結果より直接的なせん断耐力の評価において式(2)は有効であると考えられる。

参考文献 1) 鳥取誠一・堀井一・戸谷地誠一「FRPロッドを引張補強筋およびせん断補強筋として用いたRC、PCはりのせん断試験」『コンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文報告集JSCE, Apr. 1992, PP199-204

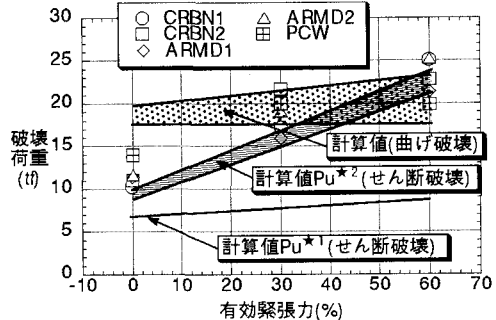
表一 プレテンション供試体のせん断試験

供試体名	曲げひび割れ発生荷重 実測値	破壊荷重						備考	
		計算値							
		せん断 Pu*1 実測値	せん断 Pu*2 計算値	せん断 Pu*2 実測値	せん断 Pu*2 計算値	曲げ 実測値	曲げ 計算値 (破壊形式)		
1-00	3.56	10.23	6.83	1.50	9.49	1.08	18.79	0.54	A
CRBN1-30	7.05	17.20	7.91	2.17	15.51	1.11	19.26	0.89	A
1-60	10.01	25.12	8.95	2.81	21.91	1.15	19.75	1.27	C
2-00	2.01	11.02	6.83	1.61	9.18	1.20	19.92	0.55	A
CRBN2-30	7.01	21.69	7.86	2.76	15.60	1.39	20.35	1.07	A
2-60	12.46	22.82	8.86	2.58	21.88	1.04	20.59	1.11	C
1-00	3.04	11.39	6.83	1.67	9.70	1.17	17.61	0.65	A
ARMD1-30	6.06	15.95	7.96	2.09	15.58	1.02	17.61	0.91	A
1-60	8.53	21.39	9.11	2.35	21.37	1.00	17.55	1.22	AB
2-00	3.52	11.62	6.83	1.70	9.20	1.26	18.37	0.63	AB
ARMD2-30	8.00	19.04	8.01	2.38	16.84	1.13	21.37	0.89	AB
2-60	12.55	25.21	8.99	2.80	24.20	1.04	23.48	1.07	B
0-00	3.54	14.00	6.83	2.05	8.64	1.62	18.12	0.77	A
PCW-30	6.49	20.01	7.93	2.52	14.61	1.37	18.24	1.10	B
-60	10.06	19.90	9.02	2.21	20.55	0.97	18.30	1.09	B

表二 ポストテンション供試体のせん断試験

供試体名	曲げひび割れ発生荷重 実測値	破壊荷重						備考
		実測値	せん断 計算値		せん断 計算値		曲げ 実測値 計算値	
			Pu*1 実測値	Pu*2 計算値	Pu*2 実測値	Pu*2 計算値		
CRBN I	39.00	82.07	62.11	1.32	104.28	0.79	75.36	1.09 C
CRBN II	41.16	100.05	61.28	1.63	115.50	0.87	98.15	1.02 C
ARMD I	33.76	65.08	62.87	1.04	97.67	0.67	55.21	1.18 C
ARMD II	35.80	61.69	64.10	0.96	103.90	0.59	60.05	1.03 C
PCBAR	42.70	87.55	62.23	1.41	114.67	0.76	81.67	1.07 B

A:せん断破壊
B:曲げ破壊 (コンクリート圧壊)
C:曲げ破壊 (緊張材破断)



図一 破壊荷重の実測値と計算値の比較(プレテンション)