論文

[1199] FRP棒材をらせん状せん断補強筋として用いた場合のコンク リートはりのせん断補強効果 正会員 涌井 一(鉄道総合技術研究所) 正会員〇鳥取載一(鉄道総合技術研究所)

1. まえがき

近年、炭素繊維、アラミド繊維等を強化材とするFRP棒材に関する研究が数多く実施され、 既に試験的な実構施工もなされつつある。しかし、現段階において設計手法として確立されたも のがなく、今後、本格的な実用化を図る上では、FRP棒材を用いたコンクリート部材の力学的 特性を明らかにし、設計手法を確立することが重要である。

これまでの研究により、FRP棒材を鉄筋あるいは緊張材の代替として用いたRC、PCはり の曲げに関する挙動は、変形および耐力の面において相当な部分が明らかにされているが、せん 断に関しては十分に現象が解明されておらず、今後なお研究が必要と考えられる。こうしたこと から、本論ではFRP棒材を緊張材ならびにらせん状せん断補強筋として用いたコンクリートは りのせん断試験を行い、特にせん断補強筋の効果について検討することとする。

2. 試験の概要

2.1 使用材料

試験に使用したFRP棒材の特性を表-1に示す。緊張材に用いたFRP棒材は、PAN系炭 素繊維を強化材とするものである。緊張材は7本より線で、同径のPC鋼より線とほぼ同程度の 付着性能が得られている"。また、らせん状せん断補強筋には表-1に示す4種類のFRP棒材 を用いた。このうち、ガラス繊維と炭素繊維を組合せたFRP棒材の表面は滑らかである"。他 の3種類のFRP棒材は組紐またはより線であり^{1,3)}、断面積も鉄筋に比べ相当に小さいので付 着性能は良好であると考えられる。なお、らせん筋の曲げ加工部は応力集中の影響を極力小さく するため、曲げ内半径を30mmとした⁴⁾。また、本試験では比較のため、通常の鋼材を用いたはり のせん断試験も行い、これらの供試体には鋼より線SWPR 7A(12.4mm) および鉄筋SD 30A(D10) を 用いた。コンクリートには、早強ポルトランドセメントを使用し、粗骨材の最大寸法は13mmとし た。

2.2 供試体の製作

コンクリートはりのせん断試験では、プレストレス力、せん断補強筋の材質と有無、ピッチ等 をパラメータとして図-1、表-2に示す22体の供試体を製作した。緊張材は図-1に示すよ うに2段に配置し、コンクリートの圧縮強度が250kgf/cm²以上になった段階でプレテンション方 式によりプレストレスを導入した。

補	強	材	織椎	繊維の体積 含有率(%)	断面積 (mm²)	引張強度 (kgf/mm²)	破断ひずみ (%)	弾性係数 (×10 ³ kgf/mm ²)
栗	張	材	炭素	6 5	76	211	1.5	14.0
	GF	/CF	がえ、炭素	43	37	71	2.3	3.9
せん断	AF		792F	51	18	154	2.2	7.0
補強筋	CF	(1)	炭素	49	17	144	1.3	11.2
	CF	(2)	炭素	65	10	208	1.5	14.7

表-1 試験に用いたFRP棒材の強度特性

2.3 載荷試験

供試体のせん断スパン比を3として載荷試験を行った。測定項目は、破壊時の最大荷重、スパ ン中央のたわみ、緊張材およびせん断補強筋のひずみ、ひびわれ幅等である。載荷方法は2点集 中載荷とし、1tfピッチに荷重を単調に増加させ破壊に至らしめた。

3. コンクリートはりのせん断試験

3.1 破壞性状

表-2 供試体一覧

表-2中に供試体破壊時 の荷重およびトラス理論に 基づき算定したせん断補強 筋の補強効率(算定法は後 述)、図-2にプレストレ スの大きさ、せん断補強の 有無に着目した代表的な供 試体のひびわれ発生状況、 図-3に供試体の高さの中 央付近で測定したせん断ひ びわれ幅を示す。これらか ら以下の点が把握された。 i) せん断補強筋がなく、 プレストレス力が0の場合 の供試体の破壊形式は斜め 引張破壊であり、せん断補 強のある場合もほぼ同様の 破壊形式を示した。しかし、 鋼材を用いたPCはりのせ ん断試験の結果と同様に5%、 プレストレス力の増大に伴 って破壊形式はせん断圧縮 破壊に変化する傾向が認め られた。

ii) せん断ひびわれは荷重 が 9~24tfの範囲で発生し、

		コンクリ ート強度 f c' (kgf/cm ²)	有効プレ	実験値		計算值	せん断	せん町
NO.	供試体名称			Pser	Ptest	Pcal	補強筋	補理動の戦時
			(tf)	(tf)	(tf)	(tf)	の効率	の有素
1	C-0-0	454	·	9.0	12.5	11.8		—
2	C-0-1	443	12.8	18.0	22.3	21.1		
3	C-0-2	468	17.7	20.0	30.0	24.9		
4	S-0-1	535	12.9	16.0	27.0	24.7	—	
5	C-G2-0	453		12.0	21.0	22.3	0.88	0
6	C-G2-1	395	12.6	18.0	33.0	31.0	1.19	0
7	C-G1-1	394	12.8	18.0	32.1	36.1	0.74	0
8	C-G2-2	521	18.2	24.0	36.9	36.1	1.07	0
9	C-G1-2	475	18.3	24.0	40.6	40.8	0.99	0
10	C-A2-0	458		12.0	17.3	25.3	0.40	×
11	C-A2-1	393	12.8	18.0	30.8	34.1	0.76	0
12	C-A1-1	387	12.7	18.0	34.7	40.3	0.72	0
13	C-A2-2	468	18.0	22.0	37.8	38.6	0.94	0
14	C-A1-2	617	18.1	24.0	40.8	46.1	0.73	×
15	C-C2-0	457		12.0	17.0	23.5	0.44	×
16	C-C2-1	454	12.9	20.0	32.0	32.8	0.93	×
17	C-C1-1	420	12.3	20.0	31.0	37.6	0.62	×
18	C-C2-2	534	18.2	22.0	37.1	37.4	0.98	×
19	C-C1-2	521	18.0	22.0	39.5	42.6	0.82	0
20	C-CS2-0	459		14.0	20.0	20.2	0.97	×
21	C-CS2-2	534	17.9	22.0	36.3	30.6	1.60	0
22	S-S2-1	557	13.4	20.0	39.0	39.3	0.98	0

1)供試体名称 プレストレス力 0:緊張力 0 1:緊張力 14tf 2:緊張力 21tf 堅張材兼類 らせん筋種類 ピッチ 2:25 cm 1:17.5 cm 5 U A M HE M 0 : 素し G : 表 - 1 中のGF/CF A : 表 - 1 中のAF C : 表 - 1 中のCF(1) CS : 表 - 1 中のCF(2) FRP棒材 細上り線 2) せん新補確節の効率

次式により算定した。 効率= { Ptest-

 $= 2V_{e}, P_{eal, p} = 2V_{p}, P_{eal, s} = 2V_{s}$ Pealse 3)せん断補強筋破断の有無 〇・・・破断箇所無し ×・・・確断箇所有り





図-2 ひびわれ発生状況

プレストレス力の大きい場合ほどひび われ発生荷重が大きい。せん断ひびわ れの伸展は全般的にはせん断補強筋に より抑制され、ひびわれの分散性も高 まるが、破壊形式がせん断圧縮破壊に 移行するにつれてその効果は小さくな る。らせん筋の種類がせん断ひびわれ 幅に与える影響については結果を図示 していないが、各々の軸剛性、付着性 能等が異なるためせん断ひびわれ幅の 大きさは若干異なるようであった。ま た、らせん状のせん断補強筋は左右で 非対称な配置となるが、ひびわれ、た わみおよび破壊性状においてその影響 は特に認められなかった。

iii)試験後、コンクリートをはつりFRP 棒材を観察した。いずれの供試体にお



いても緊張材の破断は認められなかった。せん断補強筋の破断の有無は表-2に示すとおりで、 GFRP棒材、一部の供試体を除いたAFRP棒材は破断していなかったが、CFRP棒材は比 較的多数の供試体において破断していた。

3.2 たわみ性状

図-4の左側にせん断補強の有無に着目した供試体の荷重-たわみ曲線の一例を示す。図示し ていない結果も含め、せん断補強を施した供試体のひびわれ発生後の剛性低下の割合はせん断補 強のない供試体より若干小さい傾向にあった。図-4右側には、緊張材に鋼より線を用いた場合 とFRP棒材を用いた場合の結果を比較して示す。この場合には鋼より線の軸剛性がFRP棒材 より高いため、鋼より線を用いた供試体の方が剛性低下の小さいことがわかる。また、これらの 実測たわみをBranson 式より求まる曲率からたわみを計算した結果と比較すると両者の値はほぼ 等しかったが、破壊近傍では実測値の方が計算値より若干大きくなるようであった。

3.3 せん断補強筋のひずみ

図-5にプレストレス力の大きさ、せん断補強筋の種類に着目した代表的な供試体のせん断補



図-4 荷重-たわみ曲線

強筋のひずみと荷重の関係、図-6にせん断補強筋の軸剛性と供試体破壊時のせん断補強筋の最 大ひずみの関係を示す。また、図-5中には次式に示すようにトラス理論に基づき求めたせん断 補強筋のひずみετを点線で示している。

 $\varepsilon_f = 0.5 \{P-2(V_c + V_p)\} / \{E_f A_f z (\sin \alpha + \cos \alpha)/s\} \cdots \cdots \cdots (1)$ CCK

P : 荷重

V c:コンクリートの負担するせん断力

♥ ┏ : プレストレスの効果

$$V_{P} = 2 M_{o}/a$$
 (M_{0} : \vec{r} = $2 V_{v}/a$ (M_{0}) (M_{0} : \vec{r} = $2 V_{v}/a$ (M_{0} : \vec{r} = $2 V_{v}/a$ (M_{0}) (M_{0} : \vec{r} = $2 V_{v}/a$ (M_{0}) (M_{0} : \vec{r} = $2 V_{v}/a$ (M_{0}) (M_{0} : \vec{r} = $2 V_{v}/a$ (M_{0}) (M_{0})

E : : せん断補強筋の弾性係数 A : : せん断補強筋の断面積

α : せん断補強筋と部材軸のなす角度 z : (=d/1.15) s : せん断補強筋の間隔
図-5および図-6に示す結果から以下の点が把握された。

i) いずれの供試体においても、せん断補強筋のひずみはコンクリートの負担するせん断力V。 およびプレストレスの効果V p の和の2倍の荷重レベル前後から増大する傾向にある。

ii) せん断補強筋のひずみの増加傾向は全般的には(1) 式によって示されるが、プレストレス力が0の場合には実測ひずみは(1) 式の値を上回り、プレストレス力が増大するにつれてひずみの 増加傾向が鈍くなる。これは前述したように、プレストレス力が大きくなると破壊形式が変化す ることに関連しているためと考えられる。

iii)図-6は供試体破壊時のせん断補強筋の軸剛性とせん断補強筋の最大ひずみの関係を示したものである。これより、せん断補強筋の最大ひずみは0.9~1.8%程度でFRP棒材自体の伸びより小さいこと、一部のデータを除きひずみは軸剛性が大きくなるほど低下する傾向にあることがわかる。従って、前述したFRP棒材の破断は一軸状態における引張による破断でなく、供試体が破壊する際の付加的な影響、供試体中における引張とずれを伴う複合的な影響または局所的な応力集中による影響によるものと考えられる。



4. せん断耐力

せん断耐力をコンクリートの負担するせん断耐力V c 、プレストレスの効果V P およびせん断 補強筋の負担するせん断力V 。の和と考え、次式により評価することとする。

 $V_s = A_f E_f e_f (sin \alpha + cos \alpha) z/s = Kbz e_f (K=A_f E_f (sin \alpha + cos \alpha)/(bs)) \cdot (6)$ 表-2中にせん断補強筋の効率としてV_{s,test} (載荷試験から求まるせん断耐力から(2)~(4)式 により算定されるV_c およびV_P を差引

により昇足されるく におよび く とうなび く と と f いた値)を V s. cal (6)式中のE f e f を F R P棒材の引張強度に置換した場合 の値)で除した値を示した。せん断補強 筋の効率は一般に1以下であり、これは 前述したように供試体破壊時のせん断補 強筋のひずみが F R P棒材自体の伸びよ り小さいことに関連があると考えられる。 図-7に V s. testとKの関係を示す。な お、同図中には、本試験のデータの他に ビニロン繊維を強化材とする F R P棒材 をせん断補強筋として用いた結果も併せ て示した^{s)}。これらの供試体の条件は図 中に示すとおりで、破壊形式は斜め引張 破壊であった。図-7から、供試体の破





FRP棒材を緊張材なら

びにらせん状せん断補強筋として用いた R C, P C はりのせん断試験の結果より以下の点が把握 された。

i)供試体の破壊形式はプレストレスが増大するにつれて、斜め引張破壊からせん断圧縮破壊に 変化することが認められた。

ii) せん断補強筋のひずみは概ねトラス理論に基づく算定が可能である。しかし、破壊形式がせん断圧縮破壊となる場合のせん断補強筋のひずみはトラス理論に基づく値を下回る。

iii)せん断耐力のうちせん断補強筋の負担するせん断力は、破壊形式が斜め引張破壊となる場合 にはほぼ K $(=A_{\alpha}E_{\alpha}(\sin\alpha + \cos\alpha)/(bs))$ に比例する。また、せん断圧縮破壊の場合には、 K の値に大きく影響されずほぼ一定値となる。

〔参考文献〕

1) 犬飼晴雄:炭素繊維複合材による緊張材の実用化研究、ルストレストコンクリート Vol.30 No.5,1988 2) 関島謙三他:格子状緊張材を用いたルストレストコンクリートの開発、ルストレストコンクリート Vol.30 No.5, 1988

3) 三上浩他:組紐状FRP ロッF によるスハイラル 筋を用いたRC梁の曲げ・せん断性状、JCI 年講 11-1,1989

4) 宮田尚彦他:曲げ加工したFRP 筋の引張耐力に関する実験的研究、JCI 年講11-1,1989

5) 六車熈他: ルストレスト 鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗挙動に関する実験的研究、JCI 年講5,1983

6) 涌井一他:FRP 棒材を緊張材ならびに螺旋状せん断補強筋として用いたはりのせん断試験、

JCI 年講11-1,1989

7) 寺田年夫他:FRP 棒材を緊張材に用いたコンクリートはりのせん断耐力について、土木学会第44回 年講、第5部、1989

8) 手塚正道他:ビニロンFRP ロッド をスターラッフとして用いたはりのせん断試験、JCI 年講 12, 1990