

報 告

[1142] 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

正会員 涌井 一 (鉄道総合技術研究所)

正会員○鳥取 誠一 (鉄道総合技術研究所)

正会員 寺田 年夫 (鉄道総合技術研究所)

正会員 原 千里 (ピー・エス・コンクリート)

1. まえがき

近年、コンクリート補強用の種々のFRP棒材の開発が精力的になされている。これらのFRP棒材の強度、付着特性等は用いる繊維の種類および量、棒材の表面形状、成形方法等により異なる。FRP棒材を使用したコンクリートはりの曲げ性状は、概ね通常の曲げ理論に適合することが認められているが<sup>1)</sup>、せん断性状に関してはまだその研究も少なく、今後実用化を図るためにはその性状を明らかにし、設計法を確立する必要がある。

そこで、本論ではFRP棒材として代表的なCFRP棒材を緊張材および螺旋状せん断補強筋として用いたコンクリートはりの載荷試験を行い、その性状を把握することとした。なお、螺旋状せん断補強筋はFRP棒材の成形性、コンクリートはりの施工性等を考慮して用いたものである。

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、せん断補強筋として用いたFRP棒材は、いずれもPAN系炭素繊維を強化材とするものである。緊張材は7本よりストランドで、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<sup>2)</sup>。また、せん断補強筋は組紐状の棒材で、表面には砂を接着させて付着性能を高めている<sup>3)</sup>。コンクリートはりには、この組紐状CFRP棒材を螺旋状に成形したものをを用いている。なお、この場合、螺旋筋の曲げ加工部での応力集中の影響を極力小さくするため、らせん筋の曲げ内半径を30mmとした<sup>4)</sup>。また、本試験では比較のため、通常の鋼材を用いたはりの載荷試験も行い、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。また、コンクリートはり載荷試験時の圧縮強度は420~557 Kgf/cm<sup>2</sup>であった。

2. 2 供試体の製作

コンクリートはりのせん断試験では、a/d、緊張材の材質、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16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、材令3日(圧縮強度 250Kgf/cm<sup>2</sup>以上)でプレテンション方式によりプレストレスを導入した。

表-1 試験に用いたFRP棒材の強度特性

補強材	繊維	繊維の体積含有率(%)	断面積(mm <sup>2</sup> )	引張強度(Kgf/mm <sup>2</sup> )	破断ひずみ(%)	弾性係数(×10 <sup>3</sup> Kgf/mm <sup>2</sup> )	備考
緊張材(CFRPストランド)	PAN系炭素繊維	65	76	211	1.5	14.0	
螺旋状補強筋(組紐状CFRP)	同上	49	17	144	1.3	11.2	表面砂付き

### 2. 3 載荷試験

載荷試験においては、破壊時の最大荷重、スパン中央のたわみ、緊張材、せん断補強筋のひずみ、ひびわれ幅等を測定した。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 ひびわれ性状

表-2に示したいずれの供試体も最初に曲げひびわれが発生し、ある荷重段階からせん断ひびわれが発生し、最終的にはせん断破壊する供試体と圧縮部で曲げ破壊する供試体があった。載荷試験後の代表的な供試体のひびわれ状況を図-2に示す。これらの供試体はいずれもせん断破壊したもので、以下の事柄が把握された。

①せん断補強筋がなく、緊張材の性質の異なる供試体 (No.3,7) を比較すると、FRP棒材を用いた場合の方がひびわれ幅が若干大きいのが、ひびわれの分散性等全般的なひびわれ性状には大きな差は見られなかった。

②せん断補強筋がある供試体では、せん断ひびわれの分散性が高まる。また、螺旋状のせん断補強筋は左右で非対称な配置となるが、たわみ、ひびわれおよび破壊性状について特にその影響は

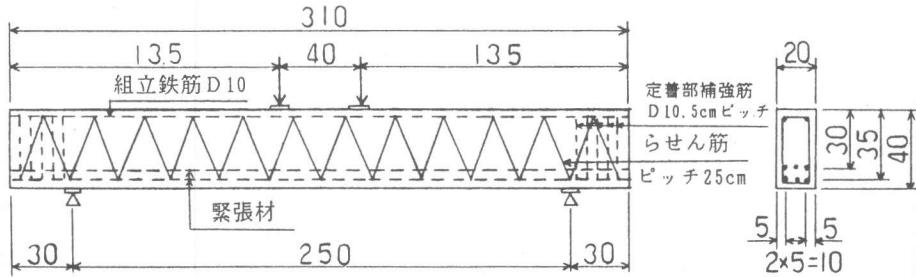


図-1 供試体配筋図 (単位: cm)

表-2 供試体一覧

NO.	供試体名称	コンクリート強度 $f'_c$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	有効プレストレストレス力 $P_e$ (tf)	実験値		計算値 $P_{cal}$ (tf)	$\frac{P_{test}}{P_{cal}}$	破壊形式
				$P_{scr}$ (tf)	$P_{test}$ (tf)			
1	C-0-2-0	455	—	16.0	20.0	18.9	1.059	せん断
2	C-0-3-0	454	—	9.0	12.5	13.5	0.924	せん断
3	C-0-3-1	443	12.8	18.0	22.3	22.8	0.979	せん断
4	C-0-3-2	468	17.7	20.0	30.0	26.6	1.128	せん断
5	C-0-4-0	459	—	9.0	12.0	12.3	0.977	せん断
6	S-0-3-0	456	—	13.0	15.0	14.5	1.032	せん断
7	S-0-3-1	535	12.9	16.0	27.0	24.7	1.092	せん断
8	S-0-3-2	535	18.7	20.0	32.0	29.0	1.104	せん断
9	C-C2-2-0	455	—	16.0	33.0	30.5	1.083	せん断
10	C-C2-3-0	457	—	12.0	17.0	25.2	0.676	せん断
11	C-C2-3-1	454	12.9	20.0	32.0	34.5	0.928	せん断
12	C-C1-3-1	420	12.3	20.0	31.0	39.2	0.791	せん断
13	C-C2-3-2	534	18.2	22.0	37.1	39.1	0.948	せん断
14	C-C1-3-2	521	18.0	22.0	39.5	—	—	曲げ
15	C-C2-4-0	455	—	12.0	15.0	23.8	0.629	せん断
16	S-S2-3-1	557	13.4	20.0	39.0	35.1	1.111	せん断

注) 供試体名称の説明

緊張材種類	—	らせん筋種類	—	せん断スパン比	—	プレストレスト力	—
C:FRP材	0:無し	C:FRP材	2:25cm	2:a/d=2.0	0:緊張力無し	1:緊張力 14.0t	2:緊張力 21.0t
S:PC鋼材	S:鉄筋	S:鉄筋	1:17.5cm	3:a/d=3.0	1:緊張力 14.0t	2:緊張力 21.0t	
				4:a/d=4.0	2:緊張力 21.0t		

認められなかった。なお、せん断補強筋としてFRP棒材を用いた場合には鉄筋を用いた場合よりせん断ひびわれ幅は大きくなるようであった。

③試験後、コンクリートをはつりFRP棒材を観察したところ、一部の供試体ではFRP棒材の曲げ加工部が破断していた。

### 3.2 せん断耐力

載荷試験の結果を表-2にまとめて示した。表中の計算値は以下の算定式により求めたせん断耐力Vを2倍した値である。

$$V = V_c + V_s + V_p \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに V : せん断耐力                      V<sub>c</sub> : コンクリートのせん断耐力

          V<sub>s</sub> : せん断補強筋の効果          V<sub>p</sub> : プレストレスの効果

V<sub>c</sub>には以下に示す石橋らが提案したせん断補強鉄筋のない部材のせん断耐力式を用いた<sup>5)</sup>。本式は引張側主筋を鋼材とした場合の実験式であるが、ここでは比較、検討のためFRP棒材を用いた場合についても適用することとする。

$$V_c = \begin{cases} 0.94 f_c^{1/3} p_c^{1/3} d^{-1/4} \{0.75 + 1.4/(a/d)\} bd & (a/d \geq 2.5) \\ 3.58 f_c^{1/3} p_c^{1/3} d^{-1/4} (a/d)^{-1.166} bd & (1.0 \leq a/d < 2.5) \end{cases} \dots (2)$$

せん断補強筋の効果についてはトラス理論によって評価することとする。なお、せん断補強筋にFRP棒材を用いた場合の耐力算定において、補強筋の強度には直線状のFRP棒材の破断強度を用いた。

V<sub>p</sub>は通常、デコンプレションモーメントM<sub>0</sub>により評価されており、本試験のようなM<sub>0</sub>/aの範囲では、ほぼ(2)式により評価が可能であるとされている<sup>6)</sup>。

$$V_p = 2 (M_0 / a) \quad \dots \dots \dots (3)$$

#### (1) せん断補強筋がない部材のせん断耐力

せん断補強筋がない供試体の破壊荷重とプレストレス力の関係を図-3に示す。これより、緊張材にPC鋼より線、FRP棒材のいずれを用いた場合もせん断耐力は計算値にほぼ一致することがわかる。なお、格子状FRPを用いたRCはりの実験において主筋の弾性係数が小さい場合には、せん断耐力の低下することが報告されているが<sup>7, 8)</sup>、本試験で用いた緊張材程度の弾性係数を有する場合には上述の傾向は小さいようである。

#### (2) せん断補強筋の効果

せん断補強筋の効果について検討した結果を図-4に示す。緊張材にPC鋼材を用い、せん断補強がない場合の耐力(▲)にトラス理論より求めるせん断補強鉄筋の効果を加えた値(△)は、PC鋼材とせん断補強鉄筋を用いた供試体の耐力(△)にほぼ等しく、鋼材を用いた場合トラス理

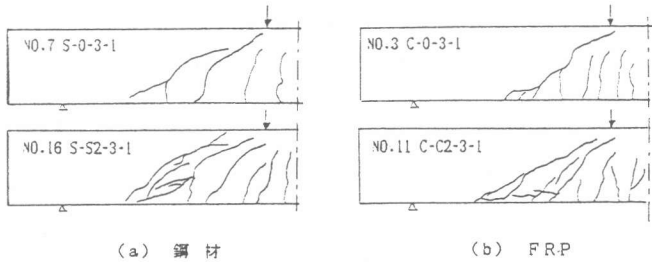


図-2 ひびわれ状況

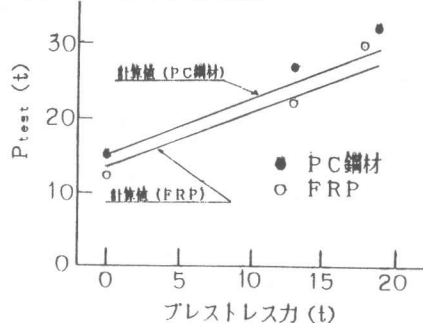


図3 せん断補強のない供試体の破壊荷重

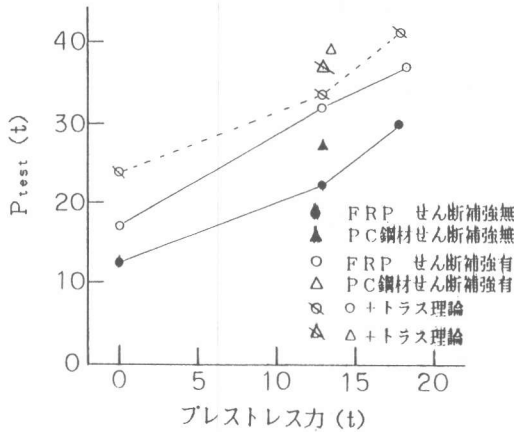


図-4 せん断補強の効果

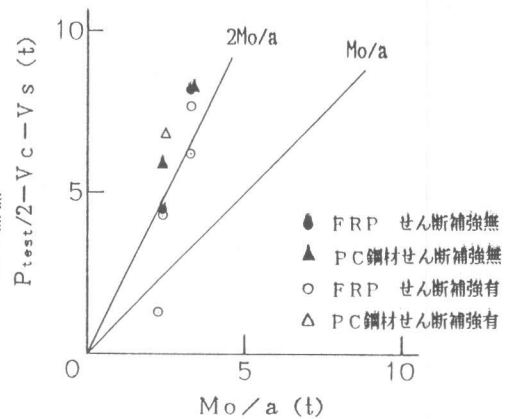


図-5 プレストレスの効果

論により求まるせん断補強の効果はほぼ妥当と考えられる。

上記と同様の手法によりFRP棒材を用いた場合を検討すると実線あるいは点線で示した結果が得られる。この結果によれば、せん断補強にFRP棒材を用いた場合、その効果はトラス理論により求まる値の50~80%程度となっており、これは筆者らが行ったRCはり部材(引張側の主筋に鉄筋を用い、スターラップにFRP棒材を用いたはり)についての試験と同様な結果であった<sup>2)</sup>。この耐力低下の原因には、FRP棒材の曲げ加工の影響、耐力算定上のせん断補強筋の強度の取り方等が考えられる。すなわち、前者については曲げ加工部の応力集中による強度の低下、後者についてはコンクリートはりの中のFRP棒材には引張力だけでなく、せん断力も作用するため強度が一軸引張試験から求まる値より小さくなるのが考えられるのである。

### (3) プレストレスの効果

せん断耐力の試験結果から $V_c$ 、 $V_s$ を差し引いた値をプレストレスによる効果と考え、これと $M_o/a$ との関係を図-5に示す。なお、この場合 $V_c$ には(2)式、 $V_s$ には上述した実験から求まるせん断補強筋の効果を用いた。

### 4. まとめ

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コンクリートはりのせん断性状に関し、鋼材を用いた場合と比較、検討して得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 緊張材、せん断補強筋がせん断ひびわれ幅に与える影響は若干認められたが、ひびわれの分散性等全般的なひびわれ性状には特に差は認められなかった。
- (2) FRP棒材を用いた場合のせん断耐力 $V$ を $V_c$ 、 $V_s$ および $V_p$ に区分して分析した結果、 $V_s$ はトラス理論より求まる値の50~80%程度の値であったが、 $V_c$ および $V_p$ は鋼材を用いた場合の耐力算定式より求まる値にほぼ等しかった。

#### [参考文献]

- 1) 石田他：FRPロッドを用いたプレストレスコンクリート構造に関する研究、第8回JCI年講
- 2) 犬飼晴男：炭素繊維複合材による緊張材の実用化研究、プレストレスコンクリート Vol. 30 No. 5 1988
- 3) 岡本他：アラミド繊維による組紐状棒材の基本的特性、第10回JCI年講
- 4) 宮田他：曲げ加工したFRP筋の引張耐力に関する実験的研究、第11回JCI年講
- 5) 石橋他：RCはりの腹部に配置された軸方向鉄筋のせん断破壊性状に及ぼす影響について、七技年報40
- 6) 佐藤他：プレストレスコンクリートはりのせん断強度、鉄道総研報告 Vol. 2 No. 8 1988
- 7) 辻他：FRPで補強したコンクリートはりの曲げおよびせん断性状、第10回JCI年講
- 8) 寺田他：FRPで補強したRCはりの破壊性状について、第10回JCI年講