

(5) 連続繊維補強材を用いて斜めプレストレスを導入したはりのせん断効果

オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 ○近藤 順
九州工業大学 設計生産工学科 正会員 出光 隆
同 上 山崎竹博
オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 手塚正道

1. はじめに

近年、連続繊維補強材を利用する研究が盛んになされている。しかし、これら研究のうち曲げ補強材として使用する場合、補強材を緊張して用いる方が緊張しないで用いるより、材料の特性を生かし有利な設計を行えることがわかってきた。一方、せん断補強材として利用する場合には、連続繊維補強材を緊張せずに用いているため、補強材が引張破断する前に、構造部材のせん断破壊が生じ、材料強度が十分に発揮されていない。これに対し、筆者らは連続繊維補強材を緊張して、はりに、鉛直プレストレスを与えると、せん断ひびわれの抑制とせん断耐力の向上に有効な効果があることを確認することができた。本研究では、さらに進めて連続繊維補強材に角度を設けて配置すれば、せん断に対する効果がさらに大きくなると考え試験を行った。その結果、連続繊維補強材を斜め配置し、はりにプレストレスを導入すると、補強材の種類に関係なくプレストレスの効果に加え、斜め配置したことによる効果が、せん断耐力の向上およびせん断ひびわれの抑制に対し予測通り認められた。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用したせん断補強筋は、
φ10.4mm, φ9.0mmの組紐状アラミド繊維
およびφ9.0mm 7本よりストランドで、
これらの材料特性値を表一1に示す。な
お、はりのせん断補強効果を明らかにす
るため、曲げ補強材には、連続繊維補強
材を用いず、異形PC鋼棒φ32を緊張し
ないで用いた。コンクリートの圧縮強度は500kg/cm²とした。

表一1 補強材の特性値

緊張材 繊維の 種類	公称直径 (mm)	緊張材 断面積 (mm ²)	保証破断荷重 (tf)	破断荷重 (tf)	弾性係数 (kgf/mm ²)	伸び率 (%)
アラミド	10.4	85.0	12.8	17.0	8140	2.39
	9.0	63.0	9.6	11.0	7150	2.45
炭素	10.5	55.7	9.8	13.0	14300	1.70

2.2 供試体

供試体は表一2に示すように、補強材に角度を設けて配置したものおよびその比較供試体で、連続繊維補強材の種類、プレストレスの有無、せん断補強の配置角度、を要因とした9種類とした。アラミド繊維補強材で角度を設けたA6-60およびA6-45供試体については、他のアラミド繊維を用いた供試体と同じφ10.5mmの補強材を用いた方が供試体どうしを直接比較できるが、φ10.5mmを用いると計算耐力値が試験装置の能力を上回るため、それより小さいφ9mmのものを用いた。供試体はすべて220×400×300mmの矩形はりで、その形状寸法を図一1に示す。せん断補強筋は、供試体の片側半分に5本配置し、他方半分は鉄筋で十分せん断補強を行った。

表一2 供試体の種類

供試体名	せん断補強筋	緊張力(tf)	補強材角度 (度)
N	なし	0	なし
A0-90	アラミド φ10.4	0	90
A6-90	アラミド φ10.4	12.8×0.6	90
A6-60	アラミド φ9.0	9.6×0.6	60
A6-45	アラミド φ9.0	9.6×0.6	45
C0-90	炭素 φ10.5	0	90
C6-90	炭素 φ10.5	9.8×0.6	90
C6-60	炭素 φ10.5	9.8×0.6	60
C6-45	炭素 φ10.5	9.8×0.6	45

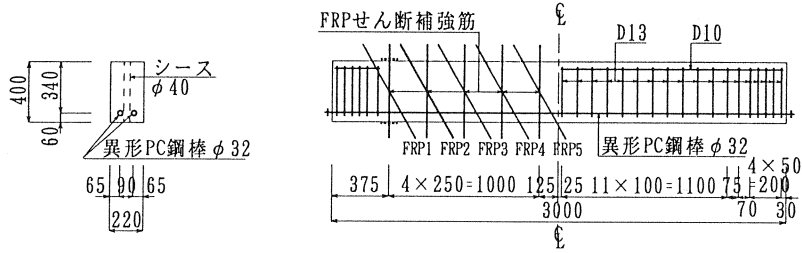


図-1 供試体の形状寸法および配筋

2.3 試験方法

載荷方法は単純ローラー支持の対称二点載荷とし、スパンを2540mm, せん断スパン比 $a/d=3.0$ で試験を行った。また、5tf毎にひびわれ幅の測定をクラックスケールにより行った。

3. 実験結果および考察

3.1 せん断耐力

(1) せん断耐力の算定

せん断耐力等の実験結果をまとめたものを表-3に示す。表中のせん断耐力の計算値の算定に当たっては、コンクリートの受け持つせん断力 V_c の算出には、石橋らの式(1)を用い、せん断補強筋の受け持つせん断耐力 V_s の計算値の算出に当たっては鳥取らの式(2)を用いた。せん断耐力は、 V_c と V_s の和で算出される。

$$V_c = 0.94 (f_c \cdot p)^{1/3} \cdot (100/d)^{1/4} \cdot \{0.75 + \frac{1.4}{(a/d)}\} b \cdot d \quad (1)$$

$$V_s = \frac{A_{sf} \cdot E_{sf} \cdot \epsilon_{sf}}{s} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot \frac{d}{1.15} \quad (2)$$

ここに f_c :コンクリートの試験圧縮強度, a :せん断スパン, b, d :はりの幅, 有効高さ, p :引張鉄筋比
 $A_{sf}, E_{sf}, \epsilon_{sf}$:せん断補強筋の断面積, 弾性係数, 0から引張破断までの補強材のひずみ
 s, α :せん断補強材の間隔, 配置角度

鳥取らの報告によると連続繊維補強材を緊張しないで用いた場合ひずみ ϵ_{sf} が10000 μ を越えるとせん断耐

表-3 試験結果一覧

供試体名	コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm ²)	せん断 ひびわれ 発生荷重 (tf)	$P = \times (V_c + V_s) \quad (tf)$					※2 V_s の等価 耐力比 試験値	破壊形式
			試験値			P_{cal} 計算値	$\frac{P_{test}}{P_{cal}}$ ※1		
			V_c	V_s	P_{test}				
N	599	26.4	24.3	—	26.4	24.3	1.09 (1.09)	—	せん断圧縮
A0-90	599	28.6	24.3	27.5	51.8	40.6	1.28 (1.28)	1.00	せん断圧縮
A6-90	599	34.1	24.3	47.4	71.7	54.6	1.11 (1.31)	1.72	せん断圧縮
A6-60	428	37.5	21.7	43.4	65.1	52.7	1.14 (1.24)	2.44	せん断圧縮
A6-45	370	37.5	20.7	46.7	67.4	52.8	1.17 (1.28)	2.62	曲げ圧縮
C0-90	559	24.5	23.7	22.6	46.3	42.5	1.09 (1.09)	1.07 (1.00)	せん断圧縮
C6-90	684	32.5	25.4	34.4	62.8	48.6	1.12 (1.29)	1.78 (1.66)	せん断圧縮
C6-60	522	41.5	23.2	54.6	77.8	54.9	1.19 (1.42)	2.59 (2.42)	せん断圧縮
C6-45	510	42.5	23.0	57.2	80.2	55.8	1.21 (1.44)	2.73 (2.55)	曲げ圧縮

※1()内の数値は緊張材の保証荷重で計算したもの。 ※2()内の数値はC0-90を基準としたもの

力値は増加しないとあるので緊張しない供試体の計算はそれに従った。緊張を行った供試体については、補強による補強材のひずみに10000 μ を加えると(1)式の $A_s f_s \cdot E_s f_s \cdot \epsilon_s$ の値が補強材の破断荷重を越えるので、その値を破断荷重とした。また、表-3に示す V_s の等価耐力比は、各供試体のせん断補強筋の種類が異なり破断荷重が異なることおよびせん断補強筋のみの耐力比較を行いたいことにより、ノンプレストレスト供試体A0-90を基準値 1.0として各供試体のせん断耐力 V_s の比較が容易にできるように(3)式によって求めた。

$$V_s \text{の等価耐力比} = (P_{\text{test}} - 2 \times V_c) \cdot (f_{uA0} / f_u) / (P_{A0} - 2 \times V_{cA0}) \quad (3)$$

P_{test} , P_{A0} :各供試体, A0-90供試体の最大せん断耐力値 f_u , f_{uA0} :各供試体, A0-90供試体の補強材の試験破断荷重 V_c , V_{cA0} :各供試体, A0供試体の圧縮強度結果を用いて式(1)で計算

(2) せん断耐力

表-3の結果からせん断耐力の計算値に対する試験値の比をみると A0-90供試体を除き試験値は計算値より約1~2割大きい。しかしこの値は、材料や試験におけるばらつきの範囲で、試験体の種類の違いによる特異な値は得られておらず、試験値は計算値にほぼ一致していると言うことができる。したがって、式(2)は、連続補強材を緊張しないでせん断補強した場合の算定式であるが、この式を用いてせん断耐力の計算を行えば、補強材に角度を設けて緊張した場合も、計算結果と試験結果とは比較的合うことがわかった。また、設計に用いられる保証破断荷重は補強材の実破断より小さく設定されているが、この値を用いて計算した試験値と計算値の比は、せん断補強筋のない供試体を除き1.24~1.44と大きな値を示している。このことから、設計でせん断耐力を計算する場合、保証破断荷重を用いて式(2)により算出を行えば十分安全と言える。

(3) 角度を設けた効果

補強材に角度を設けて配置した場合の効果は、表-2より V_s の等価耐力比が緊張していないものが1.0に対し角度配置したものは約 2.5であった。このことは緊張していないものに対し角度を設けて緊張したものが2.5倍のせん断筋の受け持つせん断耐力があったことを意味している。また、角度60度と45度の差は若干45度の方が大きいがほとんど差はなかった。(2)式の $(\sin \alpha + \cos \alpha)$ を60度と45度についてそれぞれ計算すると1.37, 1.41であり、45度に対する60度の比は1.03である。表-3のせん断耐力結果からせん断補強筋の受け持つせん断力の試験値の比を求めると、アラミド繊維補強材を用いた供試体 1.08, 炭素繊維補強材を用いた供試体 1.05, でほぼ理論通りの結果が得られている。せん断補強材を鉛直配置し緊張した場合、 $(\sin \alpha + \cos \alpha)$ の値は1.0であるが、角度を45度, 60度にして緊張した場合、 $(\sin \alpha + \cos \alpha)$ の値は約1.4となり、鉛直配置したものに対し4割程度のせん断耐力増が期待できることがわかる。

3.2 ひびわれ発生荷重

せん断に対する設計を行う場合、終局限界状態時のせん断耐力と使用状態時のひびわれの発生荷重の二つについて検討を行うのでひびわれ発生荷重は重要な意味を持つ。表-3の結果から角度を設けて緊張配置した供試体のひびわれ発生荷重は、緊張しないものに対しアラミドで1.31倍、炭素で1.71倍あった。また、鉛直配置したものに対しては、アラミドで1.1倍、炭素で1.3倍あった。炭素繊維補強材を用いた供試体の方がアラミド繊維補強材を用いた供試体よりも角度を設けて配置した効果が大きい、これは炭素繊維補強材の弾性係数が大きいためと思われる。ひびわれ発生荷重の結果から連続繊維補強材を緊張しないより緊張して用いた方が、また角度を設けて緊張した方が、よりせん断ひびわれを抑制できることがわかった。

3.3 せん断ひびわれ幅

図-2に荷重とひびわれ幅の関係を示す。この図から繊維の種類にかかわらず、補強筋のないもの、補強筋を緊張しないもの、補強筋を緊張したのものにはっきりと差が認められており、連続補強材を緊張してせん断補強を行うと荷重に対するひびわれ幅の抑制に大きな効果があることが確認されている。補強材に角度を設けた場合、炭素繊維補強材を用いた供試体については、鉛直配置して緊張したものが、40tf付近からひび

われ幅が増大しているが、角度配置したものは高荷重までひびわれ幅は増大していない。一方、アラミド繊維補強材を用いた供試体については、補強筋に角度を設けたものと鉛直のものに差がないように思われるが、これは、前述したように補強材の径がことなるため、補強材の破断荷重を考慮すると補強筋に角度を設けたものの荷重40tfは、鉛直のものに換算すると60tfに相当する。角度を設けた供試体の40tの時のひびわれ幅は、60度の供試体で0.15mm、45度の供試体で0.02mmであるのに対し鉛直配置したもの60tのひびわれ幅は、1.4mmで明らかに角度を設けて、補強材を配置した方がひびわれの抑制に効果があることがわかった。

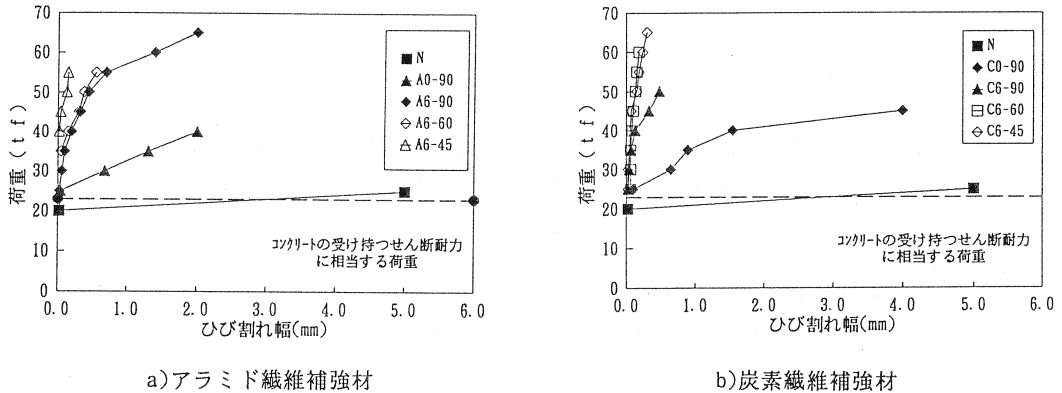


図-2 荷重とせん断ひびわれの関係

4. おわりに

本論文は、角度を設けて連続繊維補強材を配置し斜めプレストレスを導入したはりのせん断効果について検討したものであるが、本研究によって得られた成果をまとめると次のことが言える。

- ①せん断耐力の試験値は、計算値を約1~2割上回ったが、ばらつきの範囲であり、試験値は、計算値にほぼ一致していると言える。
- ②角度を設けて連続繊維補強材を配置したもののせん断補強筋の受け持つせん断耐力は、連続繊維補強材を緊張しないで用いたものに対し、補強材の種類にかかわらず約2.5倍あり、鉛直配置したものに対し1.1~1.3倍あることがわかった。
- ③角度を設けて連続繊維補強材を配置したはりのせん断耐力の試験値は、角度を考慮した理論値とほぼ等しく、角度を設けることにより、鉛直配置したものの $(\sin \alpha + \cos \alpha)$ 倍のせん断耐力増が期待できることがわかった。
- ④荷重とひびわれ幅の関係の結果から、角度を設けて連続繊維を配置し緊張したはりのせん断力に対するひびわれの抑制は、鉛直配置し緊張したものより優れた効果を示した。

以上のことから、はりに角度を設けて連続繊維補強材を配置し斜めプレストレスを導入すると、せん断耐力の向上とせん断ひびわれの抑制に効果があり、有効な方法であることがわかった。

参考文献

- 1) 石橋忠良・斉藤啓一：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、セメント技術年報40, pp. 495~497, 1986
- 2) 鳥取誠一・佐藤勉：連続繊維補強材を用いた側壁ビーム方式ガイドウェイの設計方に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol135, No. 1, pp. 59~67, 1993. 2