

CFRP をせん断補強筋に用いた RC はりのせん断耐力評価

九州大学 学生会員 ○田北 翔

九州大学大学院 正会員 山口浩平 九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一

九州大学大学院 学生会員 鳥巢陽平 九州大学大学院 正会員 柴田博之

1. 目的

近年新素材として注目されている CFRP は、高強度・軽量・高耐食性などの特徴を有し、コンクリート構造物における補強材としての適用に関する研究が行われている。九州大学では独自に CFRP ロッドの開発を進めており、鉄筋や PC 鋼材の代替材として用いた場合の検討を行っている。本研究では、CFRP をせん断補強筋として用いた場合のせん断耐力評価について検討した。

2. 供試体概要

供試体概要を表 - 1 に、供試体概略図を図 - 1 に示す。本研究で用いる供試体は、 $a/d=3.0$ とする単純 RC はりとし、パラメータとして、せん断補強筋の種類および配置間隔を取り上げた。

使用した補強筋、コンクリートの力学特性を表 - 2、表 - 3 に示す。主鉄筋は D22、圧縮鉄筋は D10、せん断補強筋は D6 (断面積 31.7mm^2) および矩形形状の CFRP (断面積 11.2mm^2) を使用した。

3. せん断耐力の評価方法

本研究では、以下に示す 3 種類の計算式を用いてせん断耐力の理論値を算出した。

(1) コンクリート標準示方書式

コンクリート標準示方書式を式(1)、(2)、(3)に示す。ここで、 f'_{cd} ：コンクリートの圧縮強度(N/mm^2)、 b_w ：ウェブ幅(mm)、 d ：有効高さ(mm)、 A_s ：引張鋼材の断面積(mm^2)、 A_w ：区間 s におけるせん断補強筋の総断面積(mm^2)、 α ：せん断補強筋と部材軸とのなす角度、 f_{wyd} ：せん断補強筋の降伏強度(N/mm^2)、 z ： $z=d/1.15$ 、 s ：せん断補強筋の配置間隔(mm)である。

(2) 連続繊維補強材と鉄筋のヤング係数比を考慮した RC はりのせん断耐力評価方法^{1), 2)}

式(1)で、主筋またはせん断補強筋に CFRP を使用している場合、断面積に CFRP と鉄筋のヤング係数比を掛けて主筋およびせん断補強筋の断面積を換算断面積として計算を行う。

(3) 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)によるせん断耐力評価方法³⁾

式(1)で、主筋に CFRP を使用している場合は断面積に CFRP と鉄筋のヤング係数比を掛けて主筋の断面積を換算断面積とし、せん断補強筋に CFRP を使用している場合はせん断補強筋の降伏強度 f_{wyd} を式(4)に示す曲げ成型部強度に置き換える。

$$f_{fbk} = (0.05r/h + 0.3)f_{fuk} \quad (4)$$

ここで、 f_{fbk} ：曲げ成型部強度(N/mm^2)、 f_{fuk} ：一軸引張強度の特性値(N/mm^2)、 r ：曲げ内半径(mm)、 h ：連続繊維補強材の断面高さ(mm)である。なお、今回用いた CFRP せん断補強筋の曲げ半径は 11mm であり、断面高さは使用した CF の断面を正方形と見なし、一辺の幅と考え 2.54mm とした。この値を用いて算出すると、曲げ成型部強度は 2067 N/mm^2 となり、直線部強度の約 52%となる。

表 - 1 供試体概要

Type	a/d	主筋	せん断補強筋	せん断補強筋配置間隔(mm)
S	3.0	3-D22	-	-
SS			D6	80(d/2)
SC-a			CFRP	120(d/1.33)
SC-b				

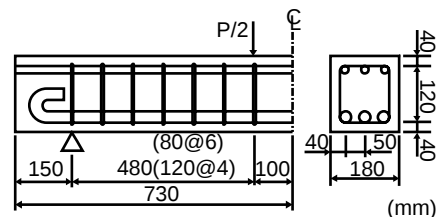


図 - 1 供試体概略図

表 - 2 補強筋の力学特性

種類	断面積 (mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)
D6	31.7	303	1.75×10^5
D10	71.3	354	1.89×10^5
D22	387	386	2.02×10^5
CF	6.44	4000	2.30×10^5
CFRP	11.2	2300	1.32×10^5

表 - 3 コンクリートの力学特性

種類	強度(N/mm^2)			ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
	圧縮	引張	曲げ		
普通	35.6	3.09	4.57	2.80×10^4	0.22

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

$$V_c = f_{vcd} \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot b_w \cdot d \quad (2)$$

$$f_{vcd} = 0.20 \cdot f'_{cd}{}^{1/3} \quad 0.72 (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = (l/d)^{1/4} \quad (d : m)$$

$$\beta_p = (100 \cdot A_s / (b_w \cdot d))^{1/3}$$

$$V_s = A_w \cdot f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) z / s \quad (3)$$

表 - 4 試験結果

Type	理論値(kN)				実験値 (kN)	実験値/理論値			破壊形式
	曲げ	せん断				示方書	係数比	指針	
		示方書	係数比	指針					
S	233	85	-	-	121	1.42	-	-	斜め引張
					123	1.45	-	-	せん断圧縮
					111	1.30	-	-	斜め引張
SS		152	-	-	269	1.77	-	-	せん断圧縮
					226	1.48	-	-	せん断圧縮
					229	1.50	-	-	せん断圧縮
SC-a		264	204	178	209	0.79	1.03	1.17	斜め引張
					237	0.90	1.17	1.33	斜め引張
					177	0.67	0.87	0.99	斜め引張
SC-b		220	164	147	199	0.91	1.21	1.35	斜め引張
					144	0.66	0.88	0.98	斜め引張
					194	0.88	1.18	1.32	斜め引張

4. 結果および考察

結果を表 - 4 に、実験値と理論値との比較を図 - 2 に示す。コンクリート標準示方書式では、S および SS は安全側に評価できているが、せん断補強筋に CFRP を用いた SC-a および SC-b では全供試体において実験値が理論値を下回った。これは CFRP せん断補強筋が曲げ成型部で破断した一方で、理論値のせん断補強筋負担分せん断耐力の算出には直線部引張強度を用いたためと考えられる。また、ヤング係数比を考慮した方法は、コンクリート標準示方書式を用いた場合と比較して、安全側に評価できている。しかしこの評価方法でも十分であるとは言えない。そこで、連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案）による指針式を用いて算出した理論値と実験値とを比較すると、最も安全側に評価できることがわかる。

供試体のひび割れ状況を写真 - 1 に示す。ひび割れは載荷点と支点を結ぶ線上に発生した。SC-a および SC-b 供試体については、主要なせん断ひび割れが発生した後、破壊と同時に引張筋上に大きなひび割れが発生した。また、SC-a および SC-b について CFRP せん断補強筋の破断状況を確認したところ、いずれの供試体においても、写真 - 2 に示すように CFRP せん断補強筋は曲げ成型部において破断していた。CFRP せん断補強筋は直線部では破断しておらず、曲げ成型部のみが破断していたため、供試体のせん断破壊と同時に曲げ成型部が破断したと考えられる。以上より、CFRP せん断補強筋を用いた RC はりのせん断耐力は、せん断補強筋曲げ成型部の破断を考慮した指針式により評価することが適切であると言える。

5. まとめ

CFRP をせん断補強筋に用いた場合、(1)せん断補強筋は曲げ成型部で破断する。(2)せん断耐力はヤング係数比を考慮する方法と指針式により評価可能であるが、CFRP せん断補強筋が曲げ成型部で破断していることを考慮すると、指針式により評価することが適切である。

謝辞

本研究は日本管洗工業(株)との共同研究であるとともに、一部は科学研究費若手研究(B)による補助を受けています。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1)小林俊彦，丸山久一，清水敬二，金倉正三：CFRP ロッドを主筋およびスターラップ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，Vol.14，No.2，pp.701-706，1992，2)白砂和昭，丸山久一，清水敬二，山本康之：CFRP ロッドで補強したコンクリートの曲げ・せん断性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13，No.2，pp.783-788，1991，3)土木学会：連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案），1996

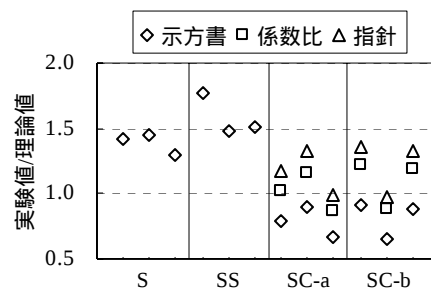
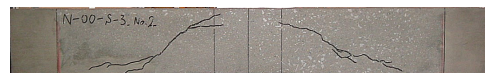


図 - 2 実験値と理論値との比較



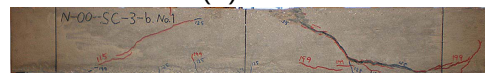
(a) S



(b) SS



(c) SC-a



(d) SC-b

写真 - 1 ひび割れ状況



引張筋

CFRP せん断補強筋

写真 - 2 CFRP せん断補強筋の破断状況