

CFRP 製せん断補強筋を用いた RC はりのせん断耐力評価

九州大学大学院 学生会員 田北 翔 正会員 山口 浩平 フェロー会員 日野 伸一
 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社 正会員 鳥巢 陽平

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 CFRP ロッドの開発を独自に進めており、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 RC はりの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。主鉄筋は D22、圧縮鉄筋は D10 を使用した。表 - 1 中の S はせん断補強筋を用いない供試体であり、SS はせん断補強筋に D6 (断面積 31.7mm²) を用いた供試体である。また、SC-a および SC-b はせん断補強筋に CFRP (断面積 11.2mm²) を用いた供試体である。補強筋およびコンクリートの力学特性を表 - 2、表 - 3 に示す。

3. せん断耐力の評価方法

(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。

$$V = V_c + V_s \tag{1}$$

$$V_c = f_{vcd} \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot b_w \cdot d \tag{2}$$

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

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

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

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

ここで、 f'_{cd} : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)、 b_w : ウェブ幅(mm)、 d : 有効高さ(mm)、 A_s : 引張鋼材の断面積(mm²)、 A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積(mm²)、 α : せん断補強筋と部材軸とのなす角度、 f_{vyd} :

せん断補強筋の降伏強度(N/mm²)、 $z = d/1.15$ 、 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評価式^{1), 2)}

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かけて主筋およびせん断補強筋を換算断面積として扱う。

(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)³⁾

主筋に 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かけて主筋を換算断面積として扱う。せん断補強筋に CFRP を使用している場合、せん断補強筋の降伏強度 f_{vyd} を式(4)に示す曲げ成形部強度に置き換える。

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

ここで、 f_{fbk} : 曲げ成形部強度(N/mm²)、 f_{fuk} : 一軸引張強度の特性値(N/mm²)、 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、幅は 2.54mm であり、曲げ成形部強度は 2067 N/mm² となり直線部強度の約 52%となる。

4. 結果および考察

結果を表 - 4 に示す。示方書式では S および SS は安全側に評価できているが、SC-a および SC-b では全供試体で実験値が理論値を下回った。一方、実験値とヤング係数比を考慮した方法および指針式で算出した理論値の比より、安全側に評価できたことが確認された。

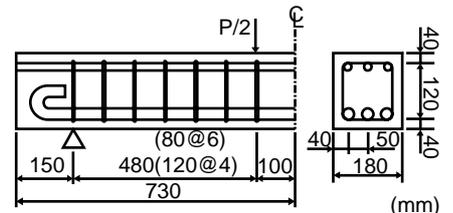


図 - 1 供試体概略図

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 - 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				

表 - 3 コンクリートの力学特性

セメント	強度(N/mm ²)		ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
	圧縮	引張		
普通	35.6	3.09	4.57	2.80 × 10 ⁻⁴

キーワード CFRP, せん断補強筋, RC はり, せん断耐力

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 電話: 092-802-3392 FAX: 092-802-3391

表 - 4 試験結果

Type	曲げ	理論値(kN)			実験値 (kN)	実験値/理論値			破壊形式
		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	233	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	233	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	233	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

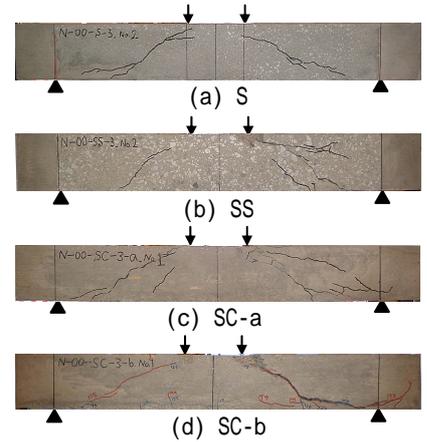


写真 - 1 ひび割れ状況

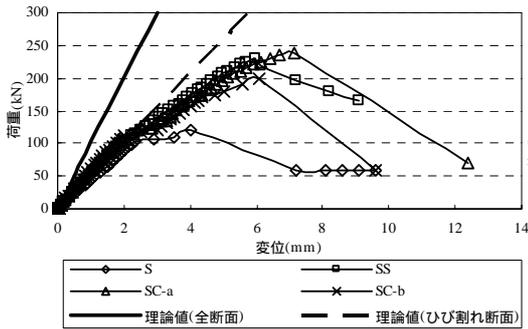


図 - 2 荷重 - 変位関係

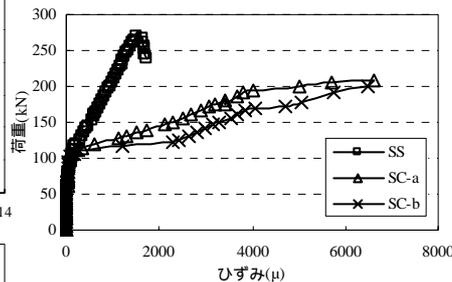


図 - 3 荷重 - ひずみ関係

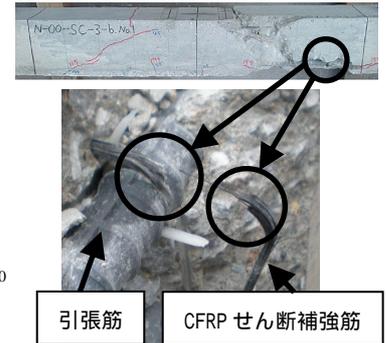


写真 - 2 CFRP 破断状況(SC-a)

図 - 2 に供試体中央部の荷重 - 変位関係を示す。S No.2 および SS No.1 ~ No.3 は荷重が徐々に減少する破壊形式であったため、せん断圧縮破壊と考えられる。また、CFRP せん断補強筋はせん断破壊と同時に曲げ成形部が破断するため、SCa および SCb は SS に比べて急激に破壊すると考えられる。

図 - 3 にせん断補強筋の荷重 - ひずみ関係を示す。全供試体において載荷直後にはひずみはほとんど発生していなかったが、100 ~ 130kN の範囲でひずみが急増した。これは、100kN 付近まではコンクリートが荷重を受け持っており、ひずみが急増する点において荷重を受け持つ部材がせん断補強筋に移行したためと考えられる。せん断補強筋を配置していない S の最大荷重はコンクリート負担せん断耐力 V_c であり 116kN であった。この結果からも、せん断補強筋ひずみの急増する点で、せん断耐力の分担がコンクリートからせん断補強筋へ移行していると考えられる。また、ひずみ急増点以降、SCa および SCb のせん断補強筋ひずみは SS と比較すると大きく出ている。これは CFRP の剛性 (EA) が鉄筋に比べて約 1/4 であるため、同じ荷重時のひずみは CFRP の方が大きくなるためであると考えられる。

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

(せん断補強筋)

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、写真 - 2 に示すように CFRP せん断補強筋は曲げ成形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、曲げ成形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形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形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形部で破断する。(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形部で破断していることを考慮すると、指針式で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