

CFRP セン断補強筋および軽量 2 種コンクリートを用いた RC はりのせん断耐力評価

九州大学 学生会員 ○山中翔太 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 崔 智宣
九州大学大学院 学生会員 田北 翔 九州大学大学院 非会員 柴田博之

1. 目的

CFRP (炭素繊維強化プラスチック) 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。著者らは、鉄筋や PC 鋼材の代替材として CFRP ロッドを適用したコンクリート部材の評価法に関する研究を進めてきた。これまでの研究で、普通コンクリートを CFRP ロッドで補強した RC はりのせん断耐力は土木学会「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)」¹⁾ で評価できることを確認した。

本研究では CFRP の軽量性をさらに活用するために、CFRP セン断補強筋を用いるとともに普通コンクリートに替え軽量 2 種コンクリートとした場合の RC はりのせん断耐力評価について検討した。粗骨材および細骨材の全てを人工軽量骨材とした軽量 2 種コンクリートは骨材自体の強度が低いため、本研究では鋼繊維により補強した。

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。供試体は、 $a/d=3.0$ とする単純 RC はりとし、パラメータはせん断補強筋の種類および鋼繊維混入率とした。

使用した補強筋、軽量 2 種コンクリートの力学特性を表-2、表-3 に示す。主鉄筋は D25、圧縮鉄筋は D19、せん断補強筋は D6 (断面積 31.7mm^2) および矩形状の CFRP (断面積 5.66mm^2) を使用した。

3. セン断耐力の評価方法

本研究では、以下に示す計算式を用いてせん断耐力の計算値を算出した。

(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では、せん断耐力 V を、コンクリート負担分の V_c とせん断補強筋負担分の V_s の和で評価している。コンクリート標準示方書式を式 (1)、(2)、(3) に示す。

(2) 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¹⁾

式 (3) で、せん断補強筋に CFRP を使用する場合はせん断補強筋の降伏強度 f_{vyd} を式 (4) に示す隅角部強度に置き換える。ここで、 f_{fbk} : 隅角部強度 (N/mm^2)、 f_{fuk} : 直線部強度 (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。(以下、指針式)

(3) 鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートのせん断耐力²⁾

九州大学における研究において、提案した評価式を式 (5) に示す。この式は二羽式を基にし、軽量 2 種コンクリートおよび繊維補強による影響を、係数 α を乗じることで評価したものである。(以下、提案式)

表-1 供試体概要

Type	a/d	鉄筋	せん断補強筋	鋼繊維混入率
SL-00-S	3.0	2-D25	-	0%
SL-00-SS			D6	
SL-00-SC			CFRP	
SL-12-S			-	1.2%
SL-12-SS			D6	
SL-12-SC			CFRP	

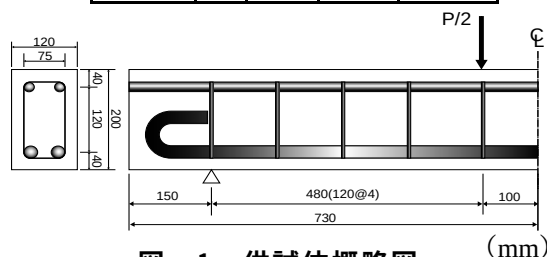


図-1 供試体概略図

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 (kN/mm^2)
D6	31.7	344	200
D19	287	407	200
D25	507	389	200
CFRP	5.66	2300	132

表-3 軽量 2 種コンクリートの力学特性

種類	繊維混入率 (%)	強度 (N/mm^2)			ヤング係数 (kN/mm^2)
		圧縮	引張	曲げ	
軽量	0	40.8	1.85	3.12	15.8
	1.2	43.5	3.55	7.00	15.9

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

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

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

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

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

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

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

$$V_c = \alpha \cdot f_{vcd} (0.75 + 1.4d/a) (1 + \beta_p + \beta_d) b_w d \quad (5)$$

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

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

$$\alpha = \frac{((0.135 \times V_{sf}) + 0.306) f'_{cd}{}^{2/3}}{0.429 f'_{cd}{}^{2/3}}$$

$$V_{sf}: \text{鋼繊維混入率}(\%)$$

表-4 試験結果

Type	No.	計算値 (kN)				実験値 (kN)	実験値 /計算値	破壊形式
		曲げ 耐力 P_u	せん断耐力 V					
			V_c	V_s				
				提案式	示方書			
SL-00-S	No.1	209	66			121	1.83	せん断圧縮
	No.2		66	-	-	110	1.66	
SL-00-SC	No.1		111			135	1.21	
	No.2		66	-	45	138	1.24	
	No.3					132	1.19	
SL-12-S	No.1		210	103			145	
	No.2	103		-	-	131	1.27	
	No.3					124	1.21	
SL-12-SC	No.1	148			172	1.16		
	No.2	103		-	45	170	1.15	
	No.3					164	1.11	

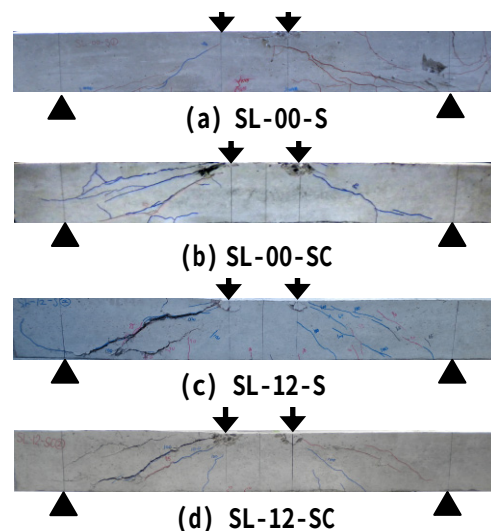


写真-1 ひび割れ状況

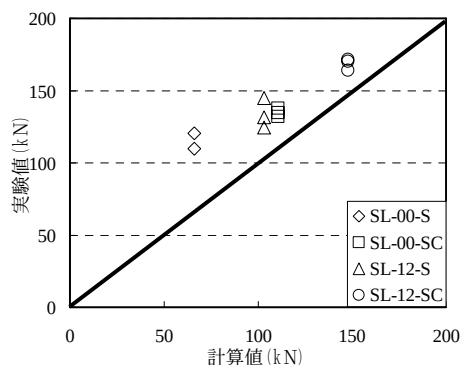


図-2 実験値と計算値の比較

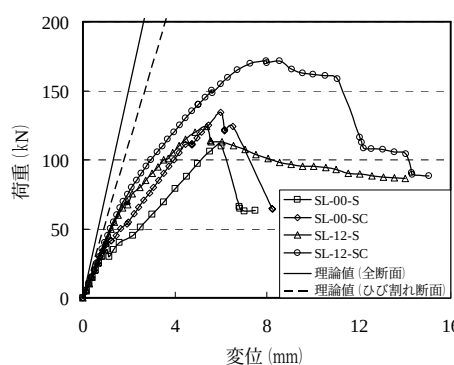


図-3 荷重-変位関係



写真-2 CFRP せん断補強筋の破断状況

4. 結果および考察

試験結果を表-4、実験値と計算値との比較を図-2 に示す。全ての供試体で計算値は実験値を安全側に評価した。SL-00-S は実験値と計算値の比が 1.83 および 1.66 と大きくなっているが、SL-00-SC, SL-12-S および SL-12-SC はばらつきが少なく、実験値と計算値の比も 1.11~1.40 となっており、計算値が実験値を概ね再現できている。荷重-変位関係を図-3 に示す。ひび割れ発生前の 5~10kN までは全断面有効の理論値と同一の荷重-変位関係を示し、ひび割れ発生後は、ひび割れ断面としての挙動を示している。SL-00-S, SL-00-SC は、最大荷重到達後荷重が急激に低下した。SL-12-S, SL-12-SC は最大荷重到達後、急激に荷重が低下せず、徐々に変位が増加している。これは繊維補強により、靱性が向上したためである。

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中央に発生した。その後ひび割れが支点および載荷点に向かって進展し、せん断破壊に至った。全ての供試体で同様の破壊形式であった。また、CFRP せん断補強筋を使用した供試体 (SL-00-SC, SL-12-SC) の 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 せん断補強筋は直線部では破断しておらず、隅角部のみが破断していた。よって、CFRP せん断補強筋を用いた RC はりのせん断耐力は、隅角部強度を用いた指針式により評価することが可能であると考えられる。

5. まとめ

軽量 2 種コンクリートおよび CFRP せん断補強筋を用いた RC はりは、(1) SL-00-SC, SL-12-S および SL-12-SC は、計算値が実験値を概ね再現できている。(2) 軽量 2 種コンクリートおよび CFRP せん断補強筋を用いた RC はりのせん断耐力は、提案式と指針式により評価することが可能である。

謝辞 本研究は日本管洗工業(株)との共同研究である。また、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) 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），1996，2) 崔智宣，日野伸一，山口浩平，園田崇智，梶原秀夫：鋼繊維補強軽量2種コンクリートRCはりのせん断耐力評価，土木学会第64回年次学術講演会講演概要集，V-519，pp1035-1036，