

鋼繊維補強された超軽量 RC はりのせん断耐力評価に関する研究

九州大学大学院 正会員 ○山口浩平・日野伸一・貝沼重信・福井圭太

九州工業大学 正会員 合田寛基

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の巨大化などの改善策として軽量コンクリートの適用が検討されている．本研究では軽量 2 種の中で比重 1.5 程度のを超軽量コンクリートとして位置付けている．この超軽量コンクリートは軽量化が可能な反面，引張およびせん断強度が低下する．それらを改善する補強方法として，鋼繊維を混入する方法がある．しかしながら，RC はりのせん断耐力については，コンクリート標準示方書や鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）では一律の係数を乗じることと規定されている．しかし，これでは骨材種類や鋼繊維種類の違いを考慮することができない．また，鋼繊維補強された超軽量 RC はりの場合は軽量化と鋼繊維混入の 2 つの要素があるため，現在の算定方法ではせん断耐力の的確な算定ができない．そこで，本研究では，コンクリート種類，鋼繊維混入率をパラメータとして RC はりのせん断試験を行い，鋼繊維補強された超軽量 RC はりのせん断耐力向上効果を確認するとともに，せん断耐力評価方法を確立することを目的とし，既往の算定式の組み合わせと修正を行い，せん断耐力評価方法を提案した．

2. 実験概要

供試体は幅 150mm，高さ 200mm，有効高さ 170mm，せん断スパン比が 3.0 の単純RCはりとし，コンクリート種類，鋼繊維混入率をパラメータとしている．各種類を 2 体ずつ，計 16 体を作成した．使用した鉄筋はD16（SD345， $f_{sy}=370\text{N/mm}^2$ ， $f_t=560\text{N/mm}^2$ ）である．表-1 に供試体種類，表-2 に鋼繊維諸元，図-1 に供試体概略を示す．使用骨材の原料は膨張頁岩，載荷方法は静的 2 点線載荷とした．

3. せん断耐力評価方法の提案

軽量コンクリートによるRCはりの耐力低下（軽量項）と鋼繊維補強によるRCはりの耐力増加（繊維項）を，個別に評価した各算定式を組み合わせることを試みた．両項とも複数の算定式を検討したが，本報では軽量項はEurocodes¹⁾，繊維項は指針式²⁾を用いた．

[Eurocodes]

$$\eta = 0.40 + 0.60 \rho_c / 2400 \quad \cdots (1) \quad \rho_c: \text{コンクリートの単位容積質量} [\text{kg/m}^3]$$

[指針式]

$$V_{fd} = (f_{vd} / \tan \beta_u) \cdot b_w \cdot z / \gamma_b \quad \cdots (2)$$

$$\beta_u = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\tau}{\sigma'_{xu} - \sigma'_{yu}} \right) - \beta_0 \quad \cdots (3)$$

V_{fd} : 補強用繊維に受け持たれる設計せん断耐力[N]， f_{vd} : 斜めひび割れ直角方向

の設計平均引張強度[N/mm²]， β_u : 軸方向と斜めひび割れ面

のなす角度（ $\beta_u < 30$ 度）， β_0 : 軸力を受けない場合の斜めひ

び割れが部材軸から 45 度傾いた直線となす角度（一般に $\beta_0 = 5$

度としてよい）， τ : 設計断面力による平均せん断応力[N/mm²]，

σ'_{xu} ， σ'_{yu} : 軸方向および軸直角方向の平均圧縮応力[N/mm²]，

表-1 供試体種類

Type	コンクリート	混入率 (%)	単位容積質量 (g/cm ³)
N-00	普通	0	2.23
N-04		0.4	2.20
N-08		0.8	2.21
N-12		1.2	2.22
SL-00	超軽量 (軽量2種)	0	1.51
SL-04		0.4	1.56
SL-08		0.8	1.50
SL-12		1.2	1.55

表-2 鋼繊維諸元

種類	直径 (mm)	長さ (mm)	比重	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	形状
鋼	φ 0.62	30	7.85	1000	200	フックエンド

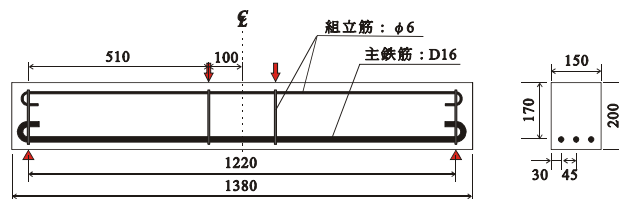


図-1 供試体概略図(単位: mm)

キーワード: 軽量コンクリート，短繊維補強，せん断耐力評価，RC はり

連絡先: 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6 丁目 10 番 1 号 TEL: 092-642-3309

z : 圧縮応力と合力の作用位置から引張鋼

材の図心まで距離で, 一般に $d/1.15$ として

よい, γ_b : 一般に 1.3 としてよい

指針式において, 残存引張強度 f_{vd} と斜めひび割れ角度 β_u は算定結果に大きく影響を与える要素である. その 2 つの要素を考察することでせん断耐力評価が可能であると考えられる. 残存引張強度は田口らの実験結果³⁾をもとに線形補完した近似式により求めた.

一方, せん断破壊における斜めひび割れは, 載荷点と支点到に挟まれる区間を貫通するように発生すると仮定し, 指針式において重要な要素である β_u を載荷点と支点を直線で結び, 幾何学的に β_u を仮定した. この条件により仮定した β_u は $a/d=2.0$ のときは約 40 度, $a/d=3.0$ のときは約 25 度となり, 実際のひび割れ角度と概ね一致していた. この定義を用いた式を以下に示す.

$$V_{fd} = (f_{vd} / \tan \beta_u) \cdot b_w \cdot z \quad \text{において,}$$

$$\tan \beta_u = \frac{h}{a'} \quad \text{より}$$

$$V_{fd} = f_{vd} \cdot \frac{b_w}{h} a' \cdot z \quad \cdots (4)$$

$f_{vd}=0.6753V_f$, a' : 載荷点と支点到に挟まれた区間

表-3, 図-2 に提案式による算定結果を示す. なお,

$a/d=2.0$ の試験結果を合わせて示している. 各々の供試体で精度良く評価できており, 特に鋼繊維補強効果が明確に表れる混入率 0.8% ~ 1.2% ではさらに精度良く評価できていることが確認される. 以上より, 鋼繊維補強された超軽量 RC はりのせん断耐力式として, 式 (5) を提案する.

$$V_d = \eta (V_{fd} + V_{cd}) \quad \cdots (5)$$

η : 式 (1) に示す低減係数, V_{fd} : 式 (4) に示す鋼繊維が受け持つせん断耐力, V_{cd} : コンクリートが受け持つせん断耐力

4. 結論

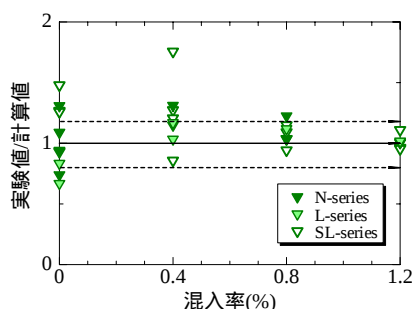
鋼繊維補強された超軽量 RC はりのせん断耐力は, 軽量項と繊維項を独立させて評価することができる. 本算定において軽量項として Eurocodes を, 繊維項として指針式を用いた組み合わせが最も軽量化かつ繊維補強の影響を考慮している組み合わせである. 斜めひび割れ角度を考慮したせん断耐力式で算定することにより, せん断耐力は平均 1.09, 変動係数 19.3% と精度良く評価できる. 特に繊維補強効果が明確な混入率 0.8% ~ 1.2% では平均 0.99, 変動係数 10.4% とさらに精度良く評価できる.

参考文献

- 1) European Committee for Standardization: European Standard EN 1992, Eurocodes 2, Design of concrete structures, No.prEN 1992-1-1, July 2002, 2) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), コンクリートライブラリー 113, pp.31-34, 2004, 3) 田口ら: PVA 短繊維の架橋効果による RC 梁のせん断耐力向上効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.283-288, 2005

表-3 提案式による算定結果

Type	圧縮強度 (N/mm ²)	a/d	実験値 (kN)	計算値		実験値/ 計算値	破壊形式	
				低減 係数	指針式(kN)			
					繊維			コンクリート
N-0.0	28.6	2.0	75.6	1.00	0	102.1	0.74	斜引張
N-0.0	31.3		102.1	1.00	0	108.5	0.94	せん断圧縮
L-0.0	39.2		89.4	0.85	0	126.0	0.83	斜引張
L-0.0	37.6		69.4	0.85	0	122.6	0.67	斜引張
L-0.4	37.0		130.7	0.85	9.6	121.3	1.17	斜引張
L-0.4	43.9		130.7	0.87	9.6	135.9	1.03	斜引張
L-0.8	38.3		138.3	0.86	19.2	124.1	1.12	斜引張
L-1.2	39.1		138.4	0.88	28.8	125.8	1.02	せん断圧縮
SL-0.0	32.7		80.3	0.77	0	111.7	0.93	斜引張
SL-0.0	36.8		122	0.80	0	120.8	1.27	せん断圧縮
SL-0.4	37.0		89.9	0.80	9.6	121.3	0.86	斜引張
SL-0.4	37.2		136.8	0.82	9.6	121.7	1.27	せん断圧縮
SL-0.8	38.9		121.8	0.81	19.2	125.4	1.04	斜引張
SL-0.8	40.9		115.2	0.82	19.2	129.7	0.94	斜引張
SL-1.2	48.0		138.7	0.83	28.8	144.3	0.96	斜引張
N-00 A	28.3	3.0	70.0	1.00	0	64.2	1.09	斜引張
N-00 B	25.9		81.6	1.00	0	62.4	1.31	斜引張
N-04 A	22.6		98.0	1.00	25.8	59.6	1.15	せん断圧縮
N-04 B	22.4		111.7	1.00	25.8	59.4	1.31	せん断圧縮
N-08 A	21.7		114.3	1.00	51.5	58.8	1.04	せん断圧縮
N-08 B	22.3		135.8	1.00	51.5	59.3	1.23	せん断圧縮
N-12 A	22.4		137.2	1.00	77.3	59.4	1.00	せん断圧縮
N-12 B	22.4		137.8	1.00	77.3	59.4	1.01	せん断圧縮
SL-00 A	26.4		62.0	0.78	0	62.7	1.26	斜引張
SL-00 B	23.8		69.2	0.77	0	60.6	1.48	斜引張
SL-04 A	23.1		81.6	0.79	25.8	60.0	1.21	せん断圧縮
SL-04 B	22.4		118.2	0.79	25.8	59.4	1.76	せん断圧縮
SL-08 A	20.4		97.3	0.78	51.5	57.6	1.15	せん断圧縮
SL-08 B	20.1		92.1	0.78	51.5	57.3	1.09	せん断圧縮
SL-12 A	22.3		102.5	0.79	77.3	59.3	0.95	せん断圧縮
SL-12 B	24.6		121.5	0.79	77.3	61.3	1.11	せん断圧縮



【全体】
平均: 1.09
変動係数: 19.3%
【0.8 ~ 1.2%】
平均: 0.99
変動係数: 10.4%

図-2 提案式による算定結果