短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実験的研究

九州大学大学院　学生会員　○福井圭太　　九州工業大学　　正会員　　合田寛基
九州大学大学院　正会員　　日野伸一　　貝沼重信　　山口浩平

1. 目的

近年，コンクリート構造物の巨大化，高層化による断面の複雑化，自重や環境負荷の低減から軽くて強いコンクリートが望まれている．その改善策として超軽量コンクリートの適用が検討されている．超軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ単位容積重量を 3 割程度低くすることが可能な反面，引張・せん断強度が低下してしまう．その補強方法として短繊維を混入する方法がある．これは短繊維がひび割れ間を繋ぐことで強度を増加させるものである．しかしながら，短繊維補強された超軽量 RC はりのせん断耐力評価手法は確立されていないのが現状である．そこで本研究では，コンクリート種類，短繊維混入率をパラメータとした実験を行い，短繊維補強された超軽量 RC はりのせん断耐力を評価することを目的とした．

2. 実験概要

短繊維は鋼繊維を使用し，混入率は体積比で普通コンクリートは 0.0，1.2%，軽量コンクリート（軽量 1 種）と超軽量コンクリート（軽量 2 種）は 0.0，0.4，0.8，1.2%とした．供試体は，せん断スパン a と有効高さ d の比 a/d が 2.0，スパン 980mm，幅 100mm，高さ 200mm の単純 RC はりとし，各種類を 2 体ずつ計 20 体作製した．使用した鉄筋は D16（SD345，f_{sy}=365N/mm^2，f_{su}=560N/mm^2）である．載荷方法は静的 2 点線載荷とした．表-1 に供試体の一覧，表-2 に使用した短繊維の力学的性質，図-1 にはりの諸元を示す．

表-3 に実験結果を示す．同表より一部曲げ破壊をしたものがあるが，混入率の増加とともに最大荷重が増加しており，短繊維の補強効果が確認された．

3. 評価手法の考察

本研究では軽量化による強度低下と短繊維による強度増加を独立させて考察した．まず，軽量項として前田らの式 [1] を用いた．そして繊維項として藤野らの式 [2]，原田らの式 [3]，指針式 [4] の 3 種類を用いた．

〔前田式〕

$$\eta = 0.84(\xi/\xi_N) + 0.32 \quad (1)$$

〔藤野式〕

$$\tau_c = V_c/b_w d = (1.1 + 1.4d/a) f_{ct} \quad (2)$$
$$f_{ct} = 0.05(V_f)^{1/3}(L/D)(1 + 0.57L/b_w)\sigma_c^{1/2}$$

〔原田式〕

$$V_C = \frac{0.244 f'^{2/3}_c \{1 + (100 p_w)^{1/2}\}(1 + 3.33r/d)}{1 + (a/d)^2} b_w d \quad (3)$$

〔指針式〕

$$V_F = 2 \times b \times (z/\tan\beta_u) \times f_V \quad (4)$$
$$\beta_u = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{2\tau}{\sigma_{xu} - \sigma_{yu}}\right) - \beta_0$$

ここで，ξ：脆度（圧縮強度/引張強度）の逆数，ξ_N：普通コンクリートの脆度の逆数，V_c：混入率（%），L：繊維長（mm）D：繊維直径（mm），σ_c：圧縮強度（kg/cm^2），r：支圧板の幅（mm），f_V：斜めひび割れ直角方向の設計平均強度，β_u：斜めひび割れ角度を示す．なお，斜めひび割れの角度は概ね 30~45° 程度であることより，β_u を 45° と仮定した．

表-1　試験体の一覧

Type	コンクリート種類	混入率 (%)	密度 (g/cm^3)
N-00	普通	0	2.36
N-12		1.2	2.32
L-00	軽量1種	0	1.79
L-04		0.4	1.85
L-08		0.8	1.89
L-12		1.2	1.94
SL-00	軽量2種	0	1.54
SL-04		0.4	1.64
SL-08		0.8	1.67
SL-12		1.2	1.71

表-2　短繊維の概要

種類	直径 (mm)	繊維長 (mm)	比重	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (×10^{5}N/mm^2)	形状
鋼	0.6	30	7.85	980	2.0	インデント

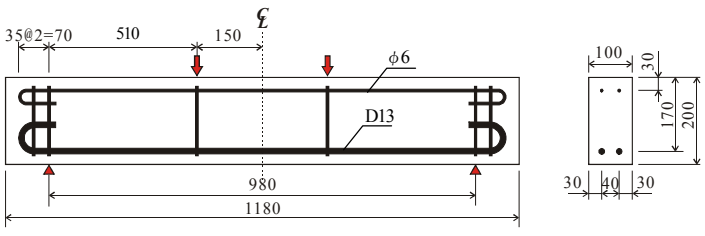
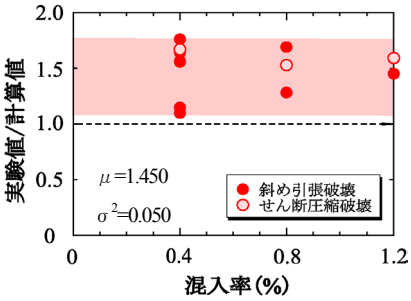


図-1　供試体一般図（単位：mm）

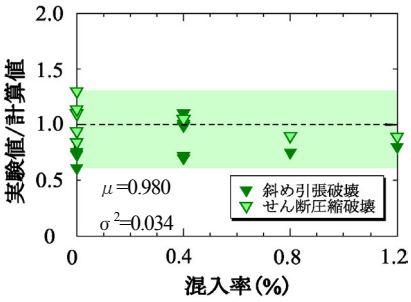
図-2 に各算定式を用いたときのせん断耐力比を示す．同図より藤野式では安全側の評価を，原田式および指針式は，平均値は 1.0 に近いものの若干危険側の評価を与えていることがわかる．また各々の式でばらつきがみられる．これは斜めひび割れ発生後すぐにせん断破壊に至る斜め引張破壊と斜めひび割れ発生後も耐力を失わず，最終的に圧縮部のコンクリート圧壊でせん断破壊に至るせん断圧縮破壊という異なったせん断破壊形式が関係しているものと考えられる．斜め引張破壊では藤野式，せん断圧縮破壊では原田式，指針式が 1.0 に近くなる傾向がみられるが，これは各々の算定式の特性であり，*a/d*=2 の場合，せん断圧縮破壊から斜め引張破壊に遷移する境界付近であるので，破壊形式が定まらずこのようなばらつきがでたものと考えられる．今回は鋼繊維，コンクリート種類は普通，軽量 2 種，はりの条件は *a/d*=2 という限られた場合のみの考察であるため，現在 *a/d*=3 についても検討中である．

表-3　実験結果

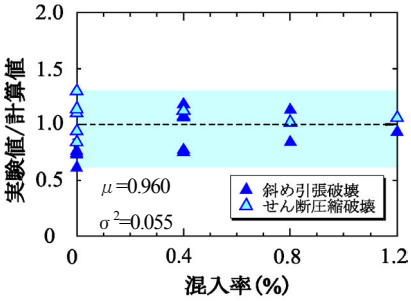
供試体 種類	供試体 名称	混入率 (%)	実験値 P(kN)	破壊形式	材料特性 圧縮強度 (N/mm²)	材料特性 引張強度 (N/mm²)	脆度	軽量項 前田式 η	繊維項 Ⅰ藤野式	繊維項 Ⅱ原田式	繊維項 Ⅲ指針式 (繊維)	繊維項 Ⅲ指針式 (コンクリート)	実験値/計算値 P/(η×Ⅰ)	実験値/計算値 P/(η×Ⅱ)	実験値/計算値 P/(η×Ⅲ)
普通	N-0.0	0	**75.6**	斜引張	28.6	2.7	10.6	1.00	-	102.1	0	102.1	-	**0.74**	**0.74**
			102.1	せん断圧	31.3	3.0	10.4	1.00	-	108.5	0	108.5	-	**0.94**	**0.94**
	N-0.0R		**98.7**	せん断圧	35.5	2.9	12.2	1.00	-	118.0	0	118.0	-	**0.84**	**0.84**
			128.7	曲げ	35.5	2.9	12.2	1.00	-	118.0	0	118.0	-	-	-
	N-1.2	1.2	**142.7**	曲げ	33.9	4.3	7.9	1.00	74.8	114.4	48.3	114.4	-	-	-
			147.9	曲げ	31.4	3.6	8.7	1.00	72.0	108.7	48.3	108.7	-	-	-
軽量1種	L-0.0	0	**89.4**	斜引張	39.2	2.9	13.5	0.97	-	126.0	0	126.0	-	**0.73**	**0.73**
			69.4	斜引張	37.6	2.6	14.5	0.93	-	122.6	0	122.6	-	**0.61**	**0.61**
	L-0.4	0.4	**130.7**	斜引張	37.0	2.5	14.8	0.92	81.2	121.3	16.0	121.3	**1.76**	**1.18**	**1.10**
			130.7	斜引張	43.9	2.9	15.1	0.90	88.5	135.9	16.0	135.9	**1.64**	**1.07**	**1.01**
	L-0.8	0.8	**138.3**	斜引張	38.3	2.9	13.2	0.99	82.6	124.1	31.9	124.1	**1.69**	**1.13**	**0.90**
			122.3	曲げ	44.1	3.4	13.0	1.00	88.7	136.3	31.9	136.3	-	-	-
	L-1.2	1.2	**155.7**	曲げ	45.8	3.7	12.4	1.03	90.4	139.8	47.9	139.8	-	-	-
			138.4	せん断圧	39.1	3.2	12.2	1.04	83.5	125.8	47.9	125.8	**1.59**	**1.06**	**0.89**
軽量2種	SL-0.0	0	**80.3**	斜引張	32.7	2.3	14.2	0.94	-	111.7	0	111.7	-	**0.76**	**0.76**
			122	せん断圧	36.8	2.5	14.7	0.92	-	120.8	0	120.8	-	**1.10**	**1.10**
	SL-0.0R		**132.9**	せん断圧	35.5	2.2	16.1	0.87	-	118.0	0	118.0	-	**1.30**	**1.30**
			116.3	せん断圧	35.5	2.2	16.1	0.87	-	118.0	0	118.0	-	**1.14**	**1.14**
	SL-0.4	0.4	**89.9**	斜引張	37.0	2.7	13.7	0.96	81.2	121.3	16.0	121.3	**1.15**	**0.77**	**0.72**
			136.8	せん断圧	37.2	2.9	12.8	1.01	81.5	121.7	16.0	121.7	**1.67**	**1.12**	**1.05**
	SL-0.4R		**91.9**	斜引張	33.9	2.9	11.7	1.07	77.8	114.4	16.0	114.4	**1.10**	**0.75**	**0.70**
			130.5	斜引張	33.9	2.9	11.7	1.07	77.8	114.4	16.0	114.4	**1.56**	**1.06**	**0.99**
	SL-0.8	0.8	**121.8**	せん断圧	38.9	2.8	13.9	0.95	83.3	125.4	31.9	125.4	**1.53**	**1.02**	**0.90**
			115.2	斜引張	40.9	3.4	12.0	1.05	85.4	129.7	31.9	129.7	**1.28**	**0.84**	**0.75**
	SL-1.2	1.2	**132.5**	曲げ	42.0	3.8	11.1	1.12	86.5	132.0	47.9	132.0	-	-	-
			138.7	斜引張	48.0	3.9	12.3	1.04	92.5	144.3	47.9	144.3	**1.45**	**0.93**	**0.80**



(a)　藤野式



(b)　原田式



(c)　指針式

図-2　せん断耐力比

（μ ：平均，σ^2：分散）

4.　結論

本研究で得られた結果を以下に示す．

① 短繊維補強された超軽量 RC はりのせん断耐力は，軽量項と短繊維補強項とを独立に評価して組み合わせることにより評価可能である．

② 斜め引張破壊の場合は藤野式，せん断圧縮破壊の場合は原田式，指針式が 1.0 に近くなる傾向を示す．これは各々の算定式の特性が関係していると考えられる．

③ 本実験より原田式および指針式が比較的精度良く評価可能であるが，限定された実験条件，破壊形式の下での結果であるため，今後は短繊維種類，コンクリート種類，はりの条件など様々な状況に応じた検討が必要となる．

謝辞

本研究の一部は，平成 16，17 年度科研費基盤研究(C)（代表：日野伸一）の補助を受けています．また，本実験を遂行するにあたり，太平洋マテリアル株式会社に軽量骨材を提供していただきました．ここに記して感謝の意を表します．

参考文献

1) 前田拓郎ほか：高品質軽量骨材を用いた RC はりのせん断特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.913-918，2001

2) 藤野秀夫ほか：鋼繊維補強コンクリートを用いた RC 梁のせん断特性に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，pp.361-364，1981

3) 原田修輔ほか：鋼繊維を用いた鉄筋コンクリートばりのせん断耐荷力，土木学会論文集，第 348 号，V-1，pp.87-93，1984

4) 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