

# 論文 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に関する一考察

崔智宣\*1, 山口浩平\*2, 日野伸一\*3, 園田崇智\*4

**要旨:** 鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートはりのせん断耐力評価は軽量化や繊維補強の二つの要素があるため、現在の算定方法では対応できない状況である。そこで本研究では、まず、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートの材料力学特性を把握し、圧縮強度と混入率から各種強度を求められる強度評価式を提案した。次に、その強度評価式を用いて軽量化と繊維補強ともに考慮できる RC はりのせん断耐力の評価法について検討した。

**キーワード:** 軽量 2 種コンクリート, 鋼繊維, RC はり, せん断耐力, 強度評価式

## 1. はじめに

近年、天然骨材の枯渇により人工骨材の必要性が高まっている。人工軽量骨材は火力発電所より発生するフライアッシュ等で作成されており、資源を再利用できると考えられる。さらに、自重の軽減、構造物断面の縮小を目的として、軽量コンクリートの研究開発が進み、徐々に実用に供されている。そこで、本研究では粗骨材に加えて細骨材の全てに人工軽量骨材を用いた軽量 2 種コンクリート（以下、SL）を対象とした。SL は普通コンクリート（以下、N）に比べて約 3 割の軽量化が可能である。しかし、骨材自体の強度が低く、引張、せん断強度が普通コンクリートの 7 割程度まで低下するため、その補強方法の 1 つとして、短繊維を混入する方法がある。これは、短繊維の架橋効果<sup>1)</sup>により、ひび割れ発生後も短繊維が引張力を受け持つため、引張、せん断強度および靱性向上<sup>2)</sup>の効果が期待できる。

短繊維補強軽量 2 種コンクリート部材の曲げ耐力は、軽量化や繊維補強の影響はなく普通コンクリートと同程度の圧縮強度を有するため、既往の方法で評価できる。しかし、せん断耐力の評価法は軽量化と短繊維混入の二つの要素があるため、現在の算定方法では対応できない状況である。そこで本研究では、まず鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートの材料力学特性を把握し、次に RC はりのせん断耐力の評価法について検討した。

## 2. RC はりのせん断耐力に関する既往研究のレビュー

コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>では、RC はりのせん断耐力はコンクリートが受け持つ  $V_c$  とせん断補強筋が受け持つ  $V_s$  の和で評価されている。軽量および鋼繊維補強コンクリートは  $V_c$  に軽量化や鋼繊維補強を考慮する必要があるとされている。そこで、本研究では  $V_c$  について検討

を行う。以下にコンクリート標準示方書に記載されている RC はりのせん断耐力式  $V$ （以下、示方書式）および既往研究で提案された式  $V_c$  を列記する。

### (1) 普通コンクリート

a) 示方書式<sup>3)</sup>

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

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

$$f_{vcd} = 0.20 f'_c{}^{1/3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ ただし, } f_{vcd} \leq 0.72$$

$$\beta_d = 1/d^{1/4} \text{ (} d \text{: m)}, \beta_p = 100 p_w^{1/3}$$

但し,  $\beta_d, \beta_p > 1.5$  となる場合は 1.5 とする

$\beta_n$ : 軸力が作用しない部材については 1.0 である

$b_w$ : 腹部の幅(mm),  $d$ : 有効高さ,  $p_w$ : 主鉄筋比

$f'_c$ : コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$$V_s = [A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s] z \quad (3)$$

$A_w$ : 区間  $s_s$  におけるせん断補強筋の総断面積(mm<sup>2</sup>)

$f_{wyd}$ : せん断補強筋の設計降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha_s$ : せん断補強筋が部材軸となす角度(°)

$z$ : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材重心からの距離で、一般に  $d/1.15$  としてよい(mm)

b) 二羽式<sup>4)</sup>

$$V_c = 0.2(0.75 + 1.4d/a) f'_c{}^{1/3} (\beta_d + \beta_p + 1) b_w d \quad (4)$$

$a/d$ : せん断スパン有効高さ比

$d$ : はりの有効高さ(m)

$$\beta_d = (1/d)^{1/4} - 1 \text{ (} d \leq 1.1\text{)}$$

$$\beta_p = (100 p_w)^{1.2} - 1 \text{ (} \leq 0.732\text{)}$$

### (2) 軽量コンクリート

Eurocode<sup>5)</sup>ではコンクリートの単位容積質量を用いて、普通コンクリートに対する軽量コンクリートの低減係数  $\eta$  を規定している。

$$\eta = 0.40 + 0.60 \rho_c / 2400 \quad (5)$$

$\rho_c$ : 単位容積質量(g/cm<sup>3</sup>)

\*1 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (正会員)

\*2 九州大学大学院 工学研究院建設デザイン部門助教 博(工) (正会員)

\*3 九州大学大学院 工学研究院建設デザイン部門教授 工博 (正会員)

\*4 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻

### (3) 鋼繊維補強コンクリート

「鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案)」(以下、指針式)<sup>6)</sup>において示方書式のコンクリートが受け持つ $V_c$ (式(2))中の $f_{ved}$ に鋼繊維補強の影響を考慮して評価している。

$$f_{ved} = 0.20(1 + \kappa)f'_c{}^{1/3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (6)$$

ここで、 $\kappa$  : 鋼繊維混入によるせん断強度の増加を考慮する係数であり、1.0としてよい。(混入率は1.0%以上1.5%以下を対象とする。)

本研究では、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を示方書式の基となっている通常のRCはりの二羽式を基準として行った。

## 3. 試験概要

### 3.1 試験体

表-1に使用材料を示す。鋼繊維は長さ30mmのフックエンド型を用いた。試験体は表-2に示すようにN, SLにそれぞれ混入率を0, 1.2%としたものを用意した。N, SLのハイフン後の数字は混入率を示し, 00は混入率0%, 12は混入率1.2%を示す。その後のSはせん断補強した試験体を示す。強度試験は圧縮, 割裂引張, 静弾性係数試験を行った。図-1に試験体概略図を示す。(a)はせん断補強筋のない試験体を, (b)はせん断補強筋のある試験体を示す。試験体は幅180mm, 高さ200mm, 有効高さ160mm, 長さ1460mm, スパン1160mm, a/dを3とした単純RCはりとし, 試験体数は各3体とした。

また, 鉄筋はD22(SD345, 降伏強度386N/mm<sup>2</sup>, 引張強度565N/mm<sup>2</sup>, ヤング係数202kN/mm<sup>2</sup>)を引張側に3本配置し, D10(SD295, 降伏強度354N/mm<sup>2</sup>, 引張強度502N/mm<sup>2</sup>, ヤング係数189kN/mm<sup>2</sup>)を圧縮側に3本配置した。せん断補強筋はD6(SD295, 降伏強度404N/mm<sup>2</sup>, 引張強度536N/mm<sup>2</sup>, ヤング係数175kN/mm<sup>2</sup>)を有効高さの1/2(80mm)の間隔で配置した。

### 3.2 コンクリート配合

表-3に配合表を示す。普通骨材の最大寸法は20mm, 人工軽量骨材の最大寸法は15mmとした。繊維補強した場合の配合は流動性を確保するため単位水量を200kg/m<sup>3</sup>以上とし, 目標スランプ値は18cmとした。また, 繊維補強していない場合でも圧縮強度が全タイプ40N/mm<sup>2</sup>と一定となるようにこの配合を基準とした。

### 3.3 荷重方法および測定項目

RCはりの荷重試験は荷重能力500kNの門型荷重装置を用いて行った。荷重形式は等曲げ区間200mmの静的2点荷重とした。変位の測定はスパン中央部で, ひずみの測定はスパン中央部におけるコンクリート, 主鉄筋で行った。

表-1 使用材料

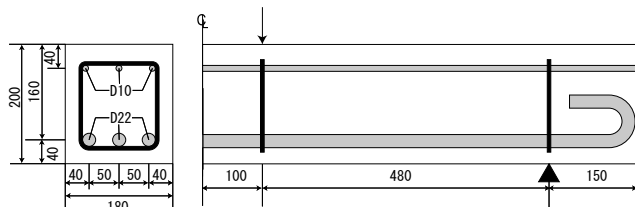
種類	記号	性質
普通ポルトランドセメント	C	密度:3.16t/m <sup>3</sup> 比表面積:3890cm <sup>2</sup> /g
普通細骨材	普通S	表乾密度:2.55t/m <sup>3</sup> 吸水率:1.92%, 粗粒率:2.55
普通粗骨材	普通G	表乾密度:2.90t/m <sup>3</sup> 吸水率:1.92%
人工軽量細骨材	軽量S	絶乾密度:1.68t/m <sup>3</sup> 24時間吸水率:9.8%
人工軽量粗骨材	軽量G	絶乾密度:1.55t/m <sup>3</sup> 24時間吸水率:9.7%
高性能AE減水剤	SP	減水率:19% ポリカルボン酸系化合物
AE助剤	AE	密度:1.06~1.10t/m <sup>3</sup>
増粘剤	B	グルカン系
鋼繊維	F	密度:7.85t/m <sup>3</sup>

表-2 試験体の種類

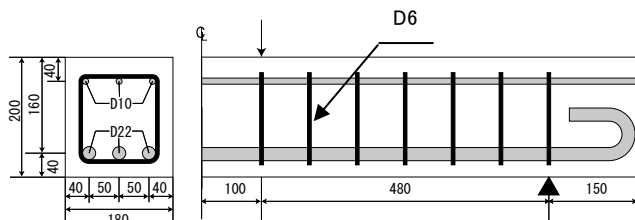
タイプ	コンクリート種類	混入率(%)	せん断補強筋	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )	単位容積質量(g/cm <sup>3</sup> )
N-00	普通(N)	0	—	35.6	2.09	32.7	2.24
N-00-S			D6				
N-12		1.2	—	36.8	3.86	30.6	2.39
N-12-S	D6		32.5	3.84	27.0	2.35	
SL-00	軽量2種(SL)	0	—	40.3	1.89	14.5	1.65
SL-00-S			D6				
SL-12		1.2	—	26.2	2.85	13.2	1.56
SL-12-S	D6						

表-3 配合表 (単位 kg/m<sup>3</sup>)

タイプ	W/C	W	C	S	G	SP	AE	B	F
N-00	50.0	211	422	898	862	0.65	1.00	0	0
N-00-S				875	852	2.41	0	0	94.2
N-12				875	852	2.41	0	0	94.2
N-12-S	47.5	220	489	564	449	0	0	1.00	0
SL-00				564	449	0	0	1.00	0
SL-00-S				564	449	0	0	1.00	0
SL-12	47.5	220	489	542	449	1.24	0	1.00	94.2
SL-12-S				542	449	1.24	0	1.00	94.2



(a) せん断補強筋のない試験体



(b) せん断補強筋のある試験体

図-1 試験体概略図 (単位 mm)

#### 4. 試験結果およびせん断耐力式の提案

##### 4.1 強度試験

###### (1) 結果

表-2 に強度試験結果 (3 本の平均値) を示す。SL-12, SL-12-S の圧縮強度は配合設計値  $40\text{N/mm}^2$  と比べて  $26.2\text{N/mm}^2$  と小さい値となった。これは打設時の空気量が 7.5%と大きくなったためであると考えられる。また、繊維補強することで、引張強度が増加した。単位容積質量について、N は  $2.24\sim 2.39\text{g/cm}^3$ , SL は  $1.56, 1.65\text{g/cm}^3$  となり、N に比べて SL の方が非常に軽いことが確認された。

###### (2) 強度評価式の提案

コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>では、引張、曲げ強度を圧縮強度の関数で規定している。その式を以下に示す。

$$f_t = 0.23f_c^{2/3}, \quad f_b = 0.42f_c^{2/3}$$

ここで、 $f_t$  : 引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )、 $f_b$  : 曲げ強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

本研究ではコンクリート標準示方書に従い、これらの式を基に引張、曲げ、せん断強度の特性式を  $f = af_c^{2/3}$  という形で求めた。今回行った強度試験結果を含め、著者らがこれまで行った一連の強度試験結果 (引張 : N-29 (数字はデータ数), SL-40, 曲げ : N-15, SL-26, せん断 : N-12, SL-18) を用いて、各強度と鋼繊維混入率 (以下、混入率,  $V_{sf}$ ) の関係を求めた結果を図-2 に示す。なお、全データの正規分布 80%以内のデータのみを用いた。また、その傾きを先述の  $a$  とし、特定の混入率だけでなく、0~1.2%の任意の混入率においても適用できる強度評価式を求めた。表-4 に各強度評価式、決定係数、混入率および圧縮強度の適用範囲を示す。この強度評価式は適用範囲内の圧縮強度、混入率がわかれば、鋼繊維補強 0~1.2%の範囲内での N, SL の引張、曲げ、せん断強度を求めることができる。強度評価式の  $V_{sf}$  の係数は混入率の効果を表すが、引張、曲げ強度評価式に関しては SL のそれは N よりもいずれも大きく、混入率の増加による強度の向上効果は SL の方が顕著であることがわかった。

##### 4.2 RC はりのせん断試験

###### (1) 変形性状および破壊形式

図-3 に各試験体のスパン中央部の荷重-変位関係 (一例) を示す。N-00, SL-00, SL-00-S, SL-12 は最大荷重到達後、荷重が急激に低下した。N-12 は同様に荷重が急激に低下するが、ある程度の荷重を保持したまま変位が増加することがわかる。N-12-S, SL-12-S はせん断補強筋に加えて鋼繊維補強したために、最大荷重到達後、荷重が急激に低下せず、変位が徐々に増加して曲げ破壊したことがわかる。

表-5 に試験結果の一覧を示す。なお、最大荷重および破壊形式を確認できない試験体は除外した。

文献<sup>7)</sup>によりせん断破壊の中でも斜めひび割れが入ると同時に急激に耐力を低下し、破壊に至る破壊形式を斜め引張破壊、斜めひび割れ発生後、一度荷重が低下する

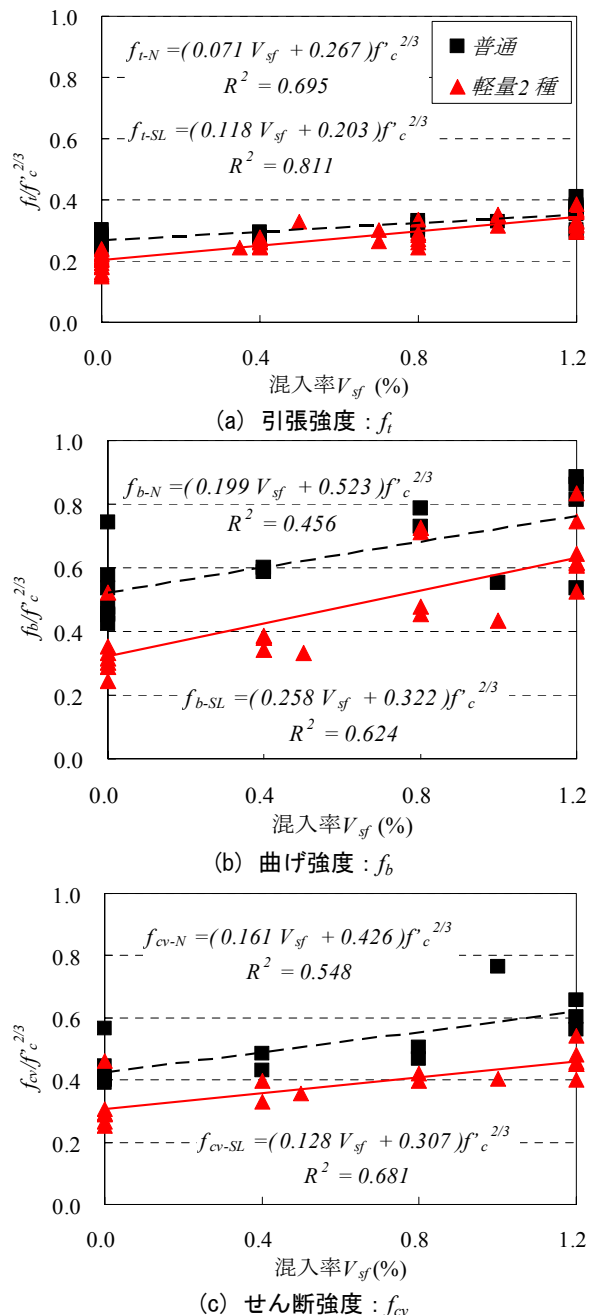


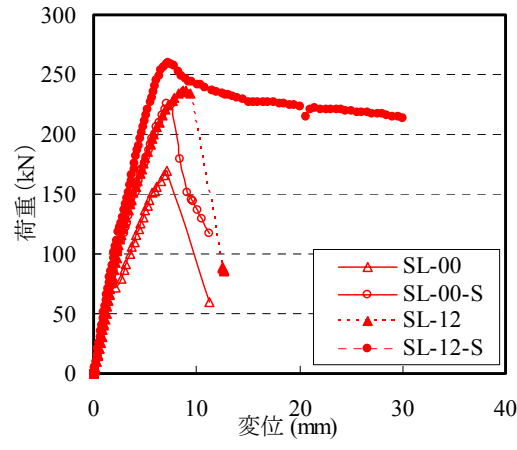
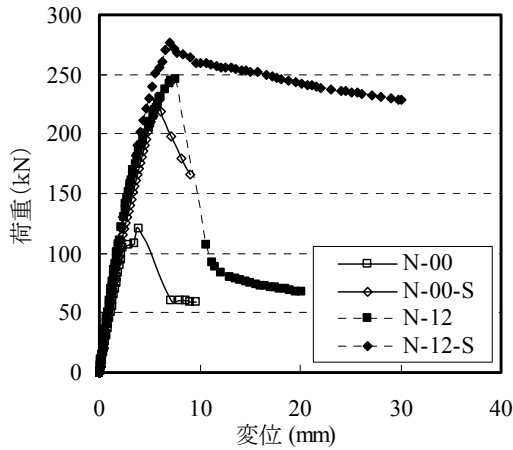
図-2 強度比-混入率関係

表-4 強度評価式

種類	強度評価式	決定係数 $R^2$	適用範囲	
			混入率 %	圧縮強度 $\text{N/mm}^2$
N	引張 $f_t = (0.071 \times V_{sf} + 0.267) \times f_c^{2/3}$	0.695	0 ~ 1.2	21.7 ~ 45.3
	曲げ $f_b = (0.199 \times V_{sf} + 0.523) \times f_c^{2/3}$	0.456		28.6 ~ 45.3
	せん断 $f_{cv} = (0.161 \times V_{sf} + 0.426) \times f_c^{2/3}$	0.548		32.5 ~ 45.3
SL	引張 $f_t = (0.118 \times V_{sf} + 0.203) \times f_c^{2/3}$	0.811		20.1 ~ 48.0
	曲げ $f_b = (0.258 \times V_{sf} + 0.322) \times f_c^{2/3}$	0.624		25.1 ~ 48.0
	せん断 $f_{cv} = (0.128 \times V_{sf} + 0.307) \times f_c^{2/3}$	0.681		25.1 ~ 47.3

$V_{sf}$ : 混入率,  $f_c$ : 圧縮強度

ものの、耐力を失うには至らず、最終的には載荷点部のコンクリートが圧壊することによって斜めひび割れが貫通して破壊に至る破壊形式をせん断圧縮破壊と定義され



(a) 普通 (N)

(b) 軽量 2 種 (SL)

図-3 荷重-変位関係 (一例)

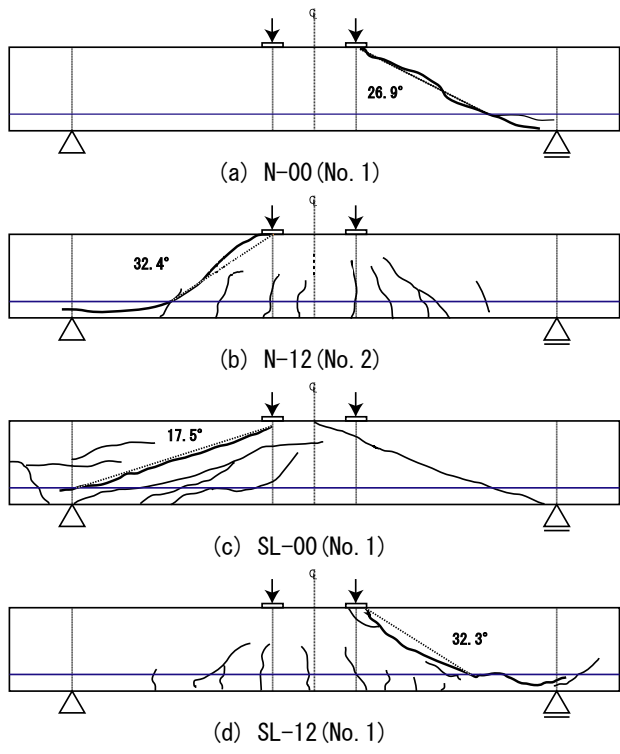


図-4 ひび割れ図

表-5 試験結果

試験体	No.	ひび割れ荷重 (kN)	設計荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	最大荷重 Pmax(kN)		斜めひび割れ角度 (°)		破壊形式
					平均		平均		
N-00	1	15.3	109	-	121	118	26.9	27.8	斜め引張
	2	19.3	105	-	123		-		せん断圧縮
	3	14.5	110	-	111		28.7		斜め引張
N-00-S	2	10.1	111	211	226	228	-	-	せん断圧縮
	3	15.1	121	-	229				せん断圧縮
N-12	2	9.90	126	243	248	247	32.4	30.4	せん断圧縮
	3	9.90	122	243	245		28.5		斜め引張
N-12-S	1	10.1	131	256	276	274	-	-	曲げ
	2	9.90	140	273	280				曲げ
	3	15.3	139	251	266				曲げ
SL-00	1	16.3	136	-	202	171	17.5	19.9	せん断圧縮
	2	16.1	130	-	170		22.3		せん断圧縮
	3	20.9	130	-	141		-		せん断圧縮
SL-00-S	1	15.1	126	-	225	224	-	-	せん断圧縮
	3	20.9	131	-	222				せん断圧縮
SL-12	1	15.3	130	-	180	230	32.3	32.0	せん断圧縮
	2	15.0	131	-	237		31.7		せん断圧縮
	3	15.3	139	-	274		-		せん断圧縮
SL-12-S	1	15.3	137	257	259	270	-	-	曲げ
	2	15.3	135	261	280				曲げ

ている。本試験でも同様に破壊形式を定義した。その結果、本試験での破壊形式は主にせん断破壊であったが、N-00, N-12 の一部は斜め引張破壊、曲げ破壊していない SL の試験体、N-00-S についてはせん断圧縮破壊であった。

また、SL-00 は圧縮強度が高いため、N-00 に比べて最大荷重が大きい。N, SL とともに繊維やせん断補強筋を補強した場合、最大荷重が大きくなることが確認された。N-00-S, N-12 を比較すると、同程度の圧縮強度にもかかわらず、N-12 の最大荷重が大きいことから、コンクリートにせん断補強筋を配置するよりも鋼繊維を 1.2% 補強する方が、せん断耐力の向上が大きいと考えられる。

しかし、SL-00-S, SL-12 の最大荷重に差は現れなかつ

た。これは繊維補強した試験体 (SL-12, SL-12-S) の圧縮強度が非常に小さかったためであり、同程度であればせん断補強筋よりも鋼繊維の補強効果が優れると考えられる。

(2) ひび割れ性状

木村ら<sup>8)</sup>の文献では斜めひび割れ角度を、斜めひび割れ先端と斜めひび割れが軸方向鉄筋と交わる点とを結んだ線の角度として定義し検討した結果、混入率およびせん断補強筋比の増加に伴い角度が大きくなる傾向にあることが報告されている。本研究では、木村らの研究と同様にひび割れ角度を定義し、コンクリートの種類、混入率による変化を検討することとした。

図-4 に代表的な試験体（一例）の載荷後のひび割れ図と角度を示す。同図の点線は斜めひび割れを示し、数字はその角度を示す。また、その角度を表-5 に示す。せん断補強筋のある試験体については主な斜めひび割れが確認できなかった。また、せん断補強筋のない試験体の中でも斜めひび割れ角度が正確に確認できない試験体は除外した。

同図、同表より、N-00 に比べて SL-00 の斜めひび割れ角度は小さく（比は 0.72）なることがわかる。また、鋼繊維を 1.2% 補強した試験体 (N-12, SL-12) は N-00, SL-00 に比べてそれぞれ 1.09 倍、1.61 倍となり、後者の角度の増大が顕著であることが確認された。これは、木村ら<sup>8)</sup>の報告と同様の結果となっているが、小野ら<sup>9)</sup>の報告では、鋼繊維補強によって角度が小さくなるという結果が報告されており、繊維補強が破壊面角度に及ぼす影響は不明確であるため、今後ひび割れ角度については更なる検討が必要である。

### (3) 既往式によるせん断耐力の評価

各算定式から検討した結果および試験値との比較を表-6 に示す。計算値は示方書に示されている  $V=V_c+V_s$  より、せん断補強筋のない試験体は  $V_c$  のみ、せん断補強筋のある試験体は  $V_c+V_s$  で算定している。ここで、 $V_s$  は示方書式 (式(3)) を用いて算定した。

まず、示方書式 (1)、二羽式 (2) を用いて全試験体の計算を行った。これらは N を対象としているので、軽量、繊維補強の影響は含まれていない。次に、Eurocode (3) での算定は、本研究で基準としている二羽式の  $V_c$  に低減係数  $\eta$  を乗じることで算定した。N の低減係数は考慮する必要がないため、1.00 とし、SL-00, SL-12 はそれぞれ単位容積質量から求めた  $\eta=0.81, 0.79$  (表-6) を用いた。また、SL-12 は軽量については考慮しているが、鋼繊維補強については考慮していない。指針式 (4) は式(6) により鋼繊維補強していない試験体は  $\kappa$  を考慮せず、鋼繊維を補強した試験体 (N-12, SL-12) については  $\kappa=1$  として算定した。

示方書式、二羽式はほぼ全試験体安全側で評価しているが、軽量および鋼繊維補強が考慮されていないため、N-12, SL-12 の試験値と計算値の比が 2 以上となっている。低減係数  $\eta$  を用いた Eurocode 式で計算した場合、ほぼ全試験体安全側で評価している。しかし、SL-12 については軽量コンクリートのみ適用できる式であり、鋼繊維補強した場合、適用できない。指針式は鋼繊維を 1.0 ~ 1.5% 混入した場合、示方書式のコンクリート項  $V_c$  に  $\kappa$  を考慮することで評価されている。しかし、 $\kappa$  は一律 1 を用いており、正確な評価ができないと考えられる。ほとんどの既往式は試験結果に対して安全側となっているが、SL-12 については軽量化および繊維補強の二つを考

表-6 計算値 (単位 kN)

試験体	低減係数 $\eta$	示方書式 (1)	二羽式 (2)	Eurocode (3)	指針式 (4)	提案式 (5)
N-00	1.00	117 (1.01)	119 (0.99)	119 (0.99)	105 (1.12)	119 (0.99)
N-00-S		186 (1.22)	186 (1.22)	186 (1.22)	172 (1.32)	186 (1.22)
N-12		118 (2.09)	121 (2.04)	121 (2.04)	107** (2.32)	270** (0.91)
N-12-S		曲げ破壊				
SL-00	0.81	122 (1.41)	124 (1.37)	112* (1.52)	110 (1.56)	138* (1.24)
SL-00-S		188 (1.19)	191 (1.17)	179* (1.25)	177 (1.27)	205* (1.09)
SL-12	0.79	105 (2.19)	108 (2.14)	85* (2.70)	190** (1.21)	180*** (1.28)
SL-12-S		曲げ破壊				

\*軽量を考慮, \*\*鋼繊維を考慮, \*\*\*軽量, 鋼繊維とも考慮  
( ) は試験値と計算値の比較を表す

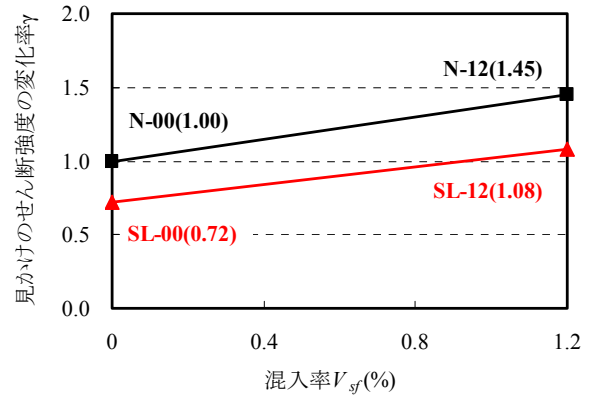


図-5 見かけのせん断強度の変化率  $\gamma$  と混入率の関係

慮する必要があるため、適切には評価されていない。以上より、次節では軽量化および繊維補強を考慮できるせん断耐力式を提案する。

### 4.3 せん断耐力式の提案

軽量化および繊維補強が考慮されている強度評価式を二羽式のコンクリート項に乗じることではりのせん断耐力式を提案する。二羽式で用いられている  $0.2f'_c$ <sup>1/3</sup> は見かけのせん断強度と呼ばれ、せん断強度を表す項であり、強度試験から得られたせん断強度と絶対値は異なるが軽量化および繊維補強による N-00 に対しての比は同程度であると考えられる。そこで軽量化および繊維補強による見かけのせん断強度の変化率を係数  $\gamma$  と表現した。 $\gamma$  は表-4 に示す強度評価式から求めた各試験体のせん断強度を N-00 のせん断強度で除した値とした。 $\gamma$  を式(8), (9)に示す。この  $\gamma$  を、基準とした二羽式に乗じることで、軽量および繊維補強を評価した。

式(7)に提案式を示す。

$$V_c = \gamma 0.2 f'_c{}^{1/3} (0.75 + 1.4d/a) (\beta_d + \beta_p + 1) b_w d \quad (7)$$

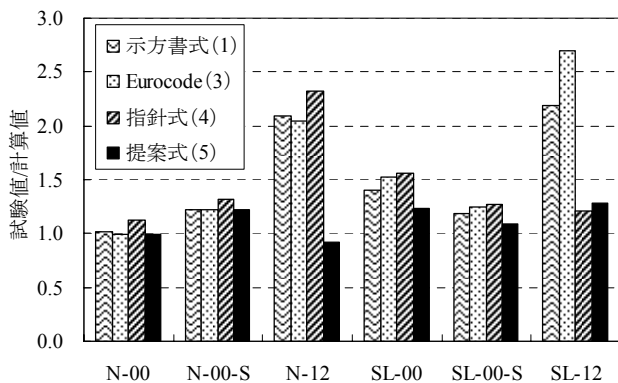


図-6 試験値と計算値の比較

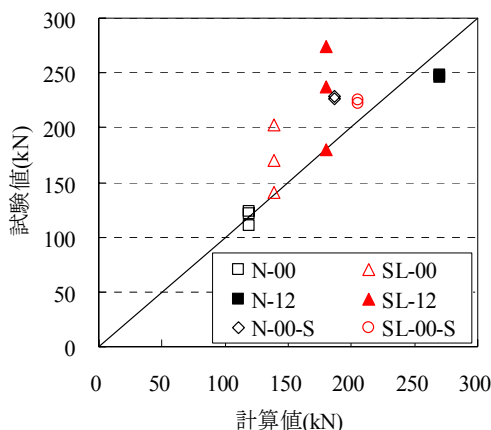


図-7 提案式による比較

ここで、 $\gamma$ は

鋼繊維補強普通コンクリートの場合

$$\gamma_N = \frac{0.161 \times V_{sf} + 0.426}{0.426} \quad (8)$$

鋼繊維補強軽量2種コンクリートの場合

$$\gamma_{SL} = \frac{0.128 \times V_{sf} + 0.307}{0.426} \quad (9)$$

強度評価式による見かけのせん断強度の変化率 $\gamma$ と混入率の関係を図-5に示す。( )中の数字は本試験の $\gamma$ である。本試験では混入率0, 1.2%のみであるが、同図より、 $\gamma$ は0~1.2%内の任意の混入率においても算出することができ、汎用性に優れるものである。

また、試験値と提案式による算定値の比較を表-6提案式(5)に、示方書式(1)、Eurocode式(3)、指針式(4)との比較を図-6に示す。同表、同図より、既往式より提案式で算定した結果が試験値とほぼ一致し、精度よく評価できたことが確認された。また、図-7に提案式による比較を示す。同図よりN-00, SL-00-Sは試験値と計算値がほぼ一致し、N-00-Sは20%程度安全側であった。N-12については0.91となり若干危険側となった。SL-00, SL-12はばらつきが大きい、平均するとそれぞれ試験値と計算値の比は1.24, 1.28となり、20~30%程度の安全側に評価できた。

## 5. まとめ

本研究では、コンクリート種類、混入率、せん断補強筋の有無をパラメータとしたRCはりの静的荷重試験を行い、そのせん断耐力評価に対する既往式の各種評価式の適用性について検討するとともに提案式の妥当性について考察した。その結果を以下に示す。

- (1) 強度試験から適用範囲内の圧縮強度および混入率がわかれば、N, SLの引張、曲げ、せん断強度を求めることができる強度評価式を求めた。
- (2) 軽量および繊維補強によるせん断耐力の適切な評価を行うため、既往式の見かけのせん断強度の変化率を、提案した強度評価式を用いて各タイプの比から算定し、係数 $\gamma$ として表現した。
- (3) コンクリート標準示方書式の基となっている二羽式を基準式とし、係数 $\gamma$ を乗じたせん断耐力式を提案した。結果、一部ばらつきがあったが、提案式で精度よく評価できた。

## 謝辞

本研究は、太平洋セメント株式会社から使用材料、科学研究費若手研究(B)(代表者 山口浩平)による補助を受けて実施しました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 田口史雄ほか：ビニロン短繊維混入RC梁の耐荷性状に及ぼす短繊維混入率の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.25, No.1, pp.287-292, 2003.
- 2) 人工軽量骨材協会：技術情報・土木編，pp.9, 2002.
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，2002.
- 4) 二羽淳一郎ほか：せん断補強鉄筋を用いないRC梁のせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第372号/V-5, pp.167-176, 1986.8.
- 5) European Committee for Standardization: European Standard EN 1992, Eurocode 2, Design of concrete structure, No.prEN1992-1-1.2002.7.
- 6) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート柱部材の設計指針(案)，コンクリートライブラリー97, 2000.
- 7) 古川弘道：鉄筋コンクリートの解析と設計「限界状態設計法の考え方と適用」，pp.128-129, 1995.6.
- 8) 木村利秀ほか：鋼繊維とスターラップによりせん断補強されたRCはりのせん断耐力に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.3, pp.1417-1422, 2007.
- 9) 小野聖久ほか：繊維補強材を用いた軽量コンクリート梁のせん断耐荷力に関する試験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26, No.2, pp.1639-1644, 2004.