

# 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

山口 浩平\*1, 崔 智宣\*2, 日野 伸一\*3, 田北 翔\*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 種コンクリートにおける各種強度評価式、引張軟化特性および RC はりせん断耐力評価方法を提案した。次に、RC はり曲げせん断試験および提案した引張軟化曲線を用いた 2 次元非線形 FEM 解析を行い、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを対象とした RC はりの変形性状およびせん断耐力評価について検討した。

**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, 引張軟化特性, FEM 解析

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物における自重の低減、断面および施工の簡略化の必要性が高まっている。その改善手法のひとつとして軽量コンクリートの適用が検討されている。粗骨材、細骨材ともに人工軽量骨材を用いた軽量 2 種コンクリート（以下、SL）をコンクリート構造物に適用することで、従来の普通コンクリート（以下、N）と比較して 3 割程度の軽量化およびそれによる下部工の負荷低減が期待される。しかし、SL は骨材自体の強度が小さいため、引張強度およびせん断強度が N の 7 割程度に低下し、脆性的に破壊することが知られている。このような特性を改善するための方法の一つとして、短繊維により補強する方法がある。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、引張強度、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 種コンクリートを構造物に用いた場合、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、せん断耐力には軽量化および短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。

本研究では、強度特性に優れる鋼繊維を用いた鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを対象とし、材料力学特性の把握および RC はりのせん断耐力の評価方法の検討を行った。まず鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを対象とした各種強度評価式、引張軟化特性および軽量化、鋼繊維補強による影響を考慮できる RC はりせん断耐力評価方法を提案する。次に、RC はりの曲げせん断試験および非線形 FEM 解析から鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを用いた RC はりの変形性状およびせん断耐力評価について検討した。

## 2. 既往の RC はりのせん断耐力評価

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。そこで、本研究では  $V_c$  について検討を行う。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を式(1)~(3)に示す。

また、式(2)の基となった二羽式を式(4)に示す。二羽は既往の RC はりせん断試験結果から式(4)を提案した。式(4)の各項は実験結果の回帰により定められており、 $0.20 f'_c{}^{1/3}$  は見かけのコンクリートのせん断強度を表す。本研究では RC はりのせん断耐力評価を検討するにあたり、二羽式を基準として行った。

(1) 示方書式<sup>3)</sup>

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

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

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

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

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,  $p_v$  : 主鉄筋比

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

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

$A_w$  : 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図心

までの距離で、一般に  $d/1.15$  としよよい(mm)

(2) 二羽式<sup>4)</sup>

$$V_c = 0.20 f'_c{}^{1/3} \cdot (100 p_v^{1/3}) \cdot (d/1000)^{-1/4} \cdot$$

$$(0.75 + 1.4d/a) b_w d \tag{4}$$

\*1 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)

\*2 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)

\*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

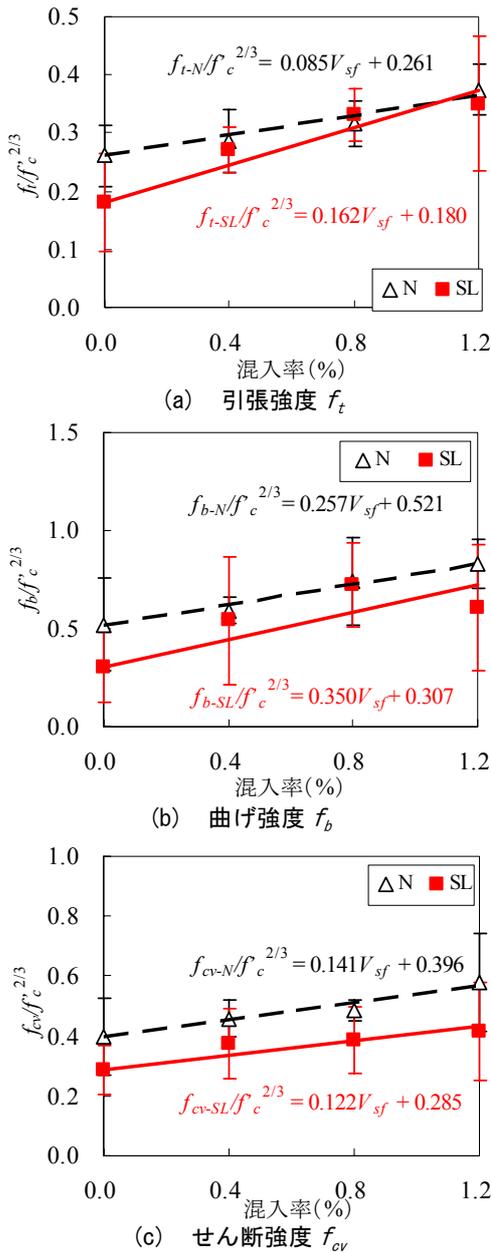


図-1 各強度と混入率の関係

表-1 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 (N/mm <sup>2</sup> )
N	引張 $f_t = (0.085V_{sf} + 0.261) f_c^{2/3}$	0.951	0~1.2	29.4~46.8
	曲げ $f_b = (0.257V_{sf} + 0.521) f_c^{2/3}$	0.979		
	せん断 $f_{cv} = (0.141V_{sf} + 0.396) f_c^{2/3}$	0.960		
SL	引張 $f_t = (0.162V_{sf} + 0.180) f_c^{2/3}$	0.899	0~1.2	31.8~48.8
	曲げ $f_b = (0.350V_{sf} + 0.307) f_c^{2/3}$	0.554		
	せん断 $f_{cv} = (0.122V_{sf} + 0.285) f_c^{2/3}$	0.812		

表-2 引張軟化曲線モデル式

タイプ	コンクリート	$\sigma_{BP1}$	$W_1$	$\sigma_{BP2}$	$W_2$
N-00	普通	$f_t/3$	$0.3G_f/f_t$	0	$5.1G_f/f_t$
N-12		$(0.25V_f + 1/3)f_t$		$(0.13V_f + 0.23)f_t$	$(-0.25V_f + 5.1G_f)/f_t$
SL-00	軽量2種	$f_t/2$	$0.2G_f/f_t$	0	$3.6G_f/f_t$
SL-12		$(0.10V_f + 1/2)f_t$		$0.4V_f/f_t$	$(-0.14V_f + 3.6G_f)/f_t$

### 3. 鋼繊維補強軽量2種コンクリートの材料特性

#### 3.1 強度評価式

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(5)および(6)を以下に示す。

$$f_t = 0.23 f_c^{2/3} \quad (5)$$

$$f_b = 0.42 f_c^{2/3} \quad (6)$$

本研究ではコンクリート標準示方書に従い、式(5)および(6)を基に引張強度、曲げ強度およびせん断強度の特性式を  $f = \alpha f_c^{2/3}$  という形で求めた。著者らがこれまで行った一連の強度試験結果(引張: N-59(数字はデータ数), SL-89, 曲げ: N-31, SL-55, せん断: N-43, SL-66)を用いて、各強度と混入率の関係を図-1に示す。ここで、 $f_c$ は圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $f_t$ は引張強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $f_b$ は曲げ強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $f_{cv}$ はせん断強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $V_{sf}$ は混入率(%)を表している。また、その傾きを先述の  $\alpha$  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-1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、混入率が分かれば、鋼繊維補強0~1.2%の範囲内のN, SLの引張強度、曲げ強度およびせん断強度を求めることができる。

#### 3.2 引張軟化特性

コンクリートの引張軟化特性はコンクリート標準示方書<sup>3)</sup>に定義されているが、これはNを対象としたものであり、軽量化および鋼繊維補強に対応した引張軟化特性は定義されていない。そこで、鋼繊維補強軽量2種コンクリートを対象とした引張軟化特性を検討した<sup>5)</sup>。表-2に提案した引張軟化曲線モデル式を、図-2に引張軟化曲線モデルを示す。同モデルは切欠きはりを用いた3点曲げ試験を行い、その結果を用いた多直線近似法による逆解析結果を定式化したものである。繊維無補強の場合は2直線、繊維補強の場合は3直線でモデル化した。詳細は参考文献<sup>5)</sup>を参照されたい。

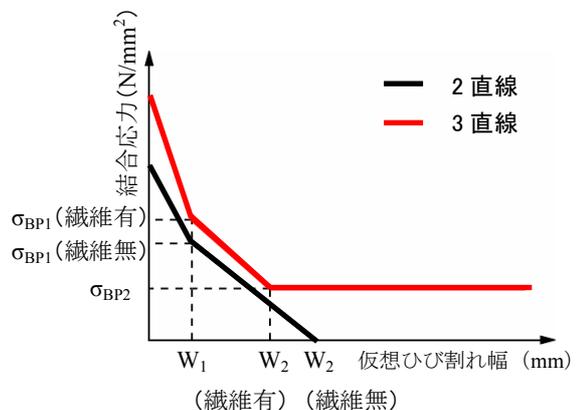
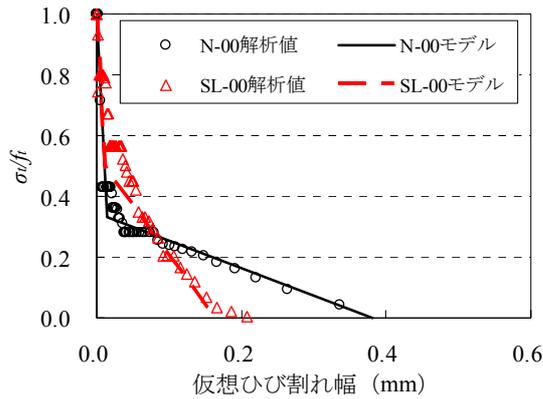
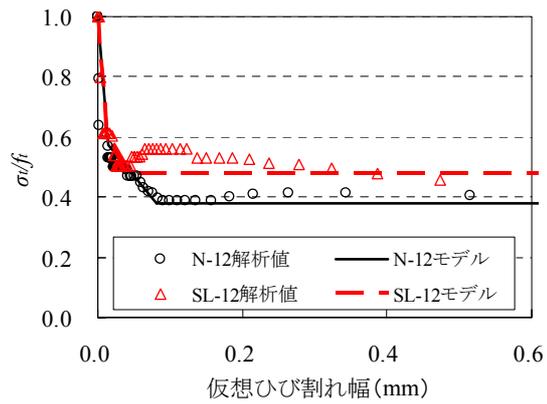


図-2 引張軟化曲線モデル



(a) 混入率 0%



(b) 混入率 1.2%

図-3 モデル化した引張軟化曲線

表-3 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-4 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									
N-12	50.0	211	422	875	852	2.41	0	0	94.2
N-12-S									
SL-00	47.5	220	489	564	449	0	0	1.00	0
SL-00-S									
SL-12	47.5	220	489	542	449	1.24	0	1.00	94.2
SL-12-S									

図-3 に引張軟化曲線の一例を示す。ここで、解析値は切欠きはりをを用いた3点曲げ試験結果を用いた逆解析結果を、モデルは表-2 および図-2 から求めた引張軟化曲線モデルを示す。同図から、提案した引張軟化特性モデルは逆解析結果と一致していることが見てとれる。

#### 4. RC はりの曲げせん断試験および FEM 解析概要

##### 4.1 供試体

表-3 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。表-4 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

表-5 供試体の種類

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> )
N-00	普通 (N)	0	—	35.6	2.09	32.7
N-00-S			D6			
N-12		1.2	—	36.8	3.86	30.6
N-12-S	D6					
SL-00	軽量2種 (SL)	0	—	40.8	1.85	15.8
SL-00-S			D6			
SL-12		1.2	—	43.5	3.55	15.9
SL-12-S	D6					

表-6 使用鉄筋

種類	種類	断面積 (mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
引張筋	N	D22	387	565
	SL	D25	507	547
圧縮筋	N	D10	71.3	502
	SL	D19	287	566
せん断補強筋	N	D6	31.7	303
	SL		344	486

18cm とした。また、繊維無補強の場合でも硬化コンクリートの強度特性に着目し、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。

供試体は表-5 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 はせん断補強したタイプを示す。強度試験は圧縮強度, 割裂引張強度, 静弾性係数試験を行い, 供試体数は各 3 本とした。図-4 に供試体の概略図を示す。供試体は幅 180mm (N シリーズ) または 120mm (SL シリーズ), 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, 供試体数は各 3 体とした。なお, SL シリーズはせん断破壊先行型となるように設計した。使用鉄筋は表-6 に示す。せん断補強筋は d/1.5 および d/1.2 配置した。

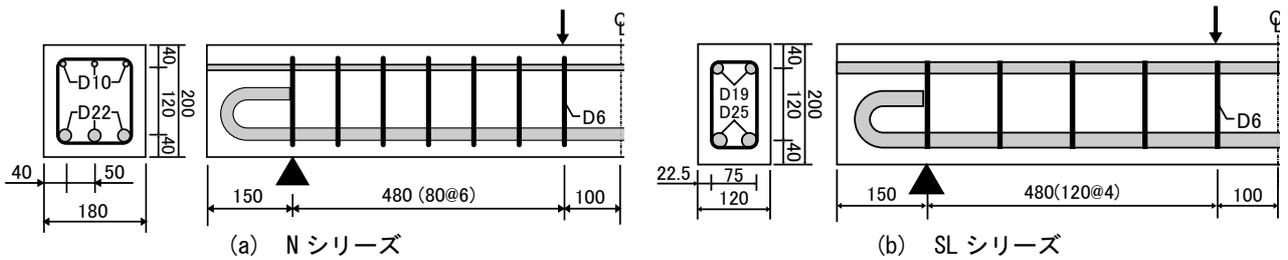


図-4 供試体概略図一例 (単位 mm)

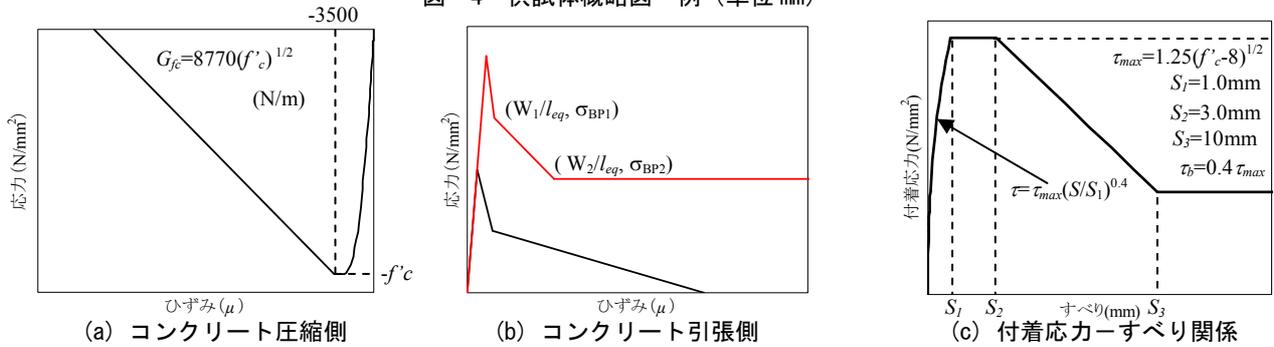


図-5 材料構成則

## 4.2 FEM 解析概要

解析プログラムは DIANA ver.9.4 を用いた。解析モデルは対称性を考慮した 1/2 モデルとし、支点および荷点は実験と同様の支圧板および荷荷板を剛体として定義した。

コンクリートは 4 節点平面応力要素を用いた。コンクリート圧縮域における材料構成則を図-5(a)に示す。コンクリート圧縮域は圧縮強度試験の最大荷重までの結果を用い、それ以降は線形に低下<sup>6)</sup>するものとした。

コンクリート引張域は 3.2 に示した引張軟化曲線から求めた。コンクリート引張域における材料構成則を図-5(b)に示す。同図中の  $\sigma_{BP}$  および  $W$  は引張軟化曲線における応力折れ曲がり点および仮想ひび割れ幅である。引張応力は表-2 に示す引張軟化曲線モデル式における  $\sigma_{BP}$  から求めた。ひずみは同表から求めた  $W$  を要素の等価長さ  $l_{eq}(=\sqrt{2A})$  で除した値を用いた。また、ひび割れモデルは回転ひび割れモデルを用いた。

鉄筋は、主筋および圧縮筋はトラス要素、せん断補強筋は埋込鉄筋要素を用いた。構成則は、降伏強度到達後は応力一定となるバイリニアモデルとし、VonMises の降伏条件を用いた。また、コンクリートと鉄筋との間には図-5(c)に示す付着-すべり関係<sup>7)</sup>を定義した。

## 5. 結果および考察

### 5.1 変形状および破壊形式

#### (1) 変形状

図-6 にスパン中央部の荷重-変位関係 (一例) を示す。N-00, SL-00 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-00-S, SL-00-S, SL-12, SL-12-S は最大荷重到達後、徐々

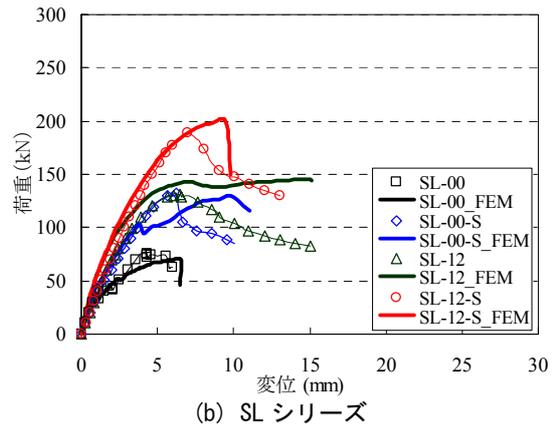
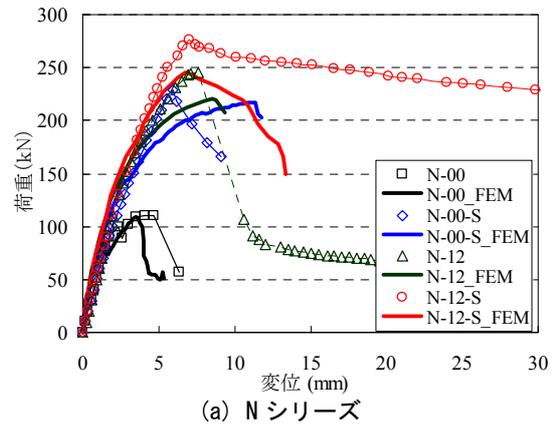
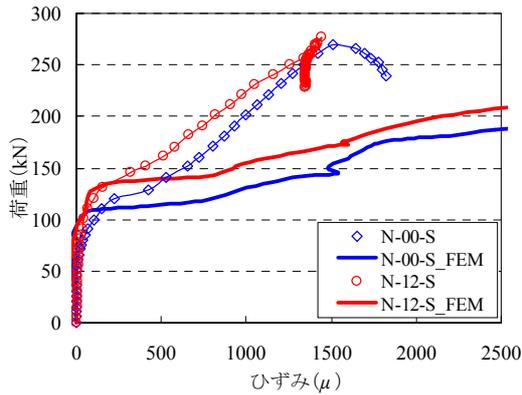


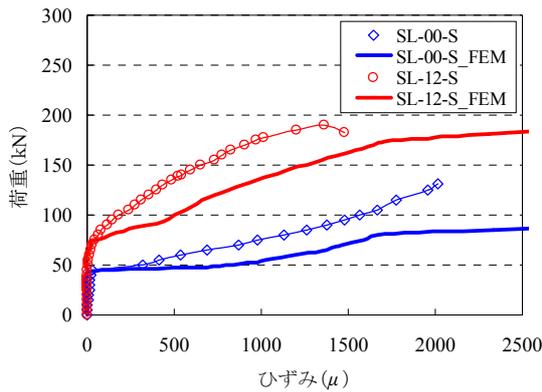
図-6 荷重-変位関係 (一例)

に荷重が低下した。N-12-S はせん断補強筋に加えて鋼織維補強したために、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。

図-7 にせん断補強筋を配置したタイプにおけるせん断補強筋発生ひずみを示す。せん断補強筋ひずみは支点と荷点とを結ぶ線上中央部で計測した。N-00-S は 80kN 付近、N-12-S は 100kN 付近でひずみが増大した。これは



(a) N シリーズ



(b) SL シリーズ

図-7 荷重-ひずみ関係 (せん断補強筋)

表-7 最大荷重および計算値との比較

タイプ	最大荷重(kN)					$V_{exp}/V_{cal}$		$V_{FEM}/V_{exp}$	破壊形式
	$V_{exp}$		$V_{FEM}$	$V_{cal}$		二羽式	提案式		
	平均			二羽式	提案式				
N-00	121	116	109	116	116	1.00	1.00	0.94	斜め引張 斜め引張
	110								
N-00-S	226	228	217	183	183	1.24	1.24	0.95	せん断圧縮 せん断圧縮 せん断圧縮
	229								
	248								
N-12	248	245	220	117	167	2.11	1.48	0.89	せん断圧縮 斜め引張 曲げ
	245								
	276								
N-12-S	280	274	246	179	228	1.53	1.20	0.90	曲げ 曲げ 曲げ
	266								
	110								
SL-00	121	116	71	89	64	1.30	1.81	0.61	せん断圧縮 せん断圧縮
	76								
SL-00-S	132	136	130	139	114	0.98	1.19	0.96	せん断圧縮 せん断圧縮 せん断圧縮
	131								
	145								
SL-12	145	133	145	90	99	1.47	1.35	1.09	せん断圧縮 せん断圧縮 せん断圧縮
	131								
	124								
SL-12-S	189	172	199	141	149	1.22	1.15	1.16	せん断圧縮 せん断圧縮 せん断圧縮
	156								
	171								
平均						1.32	1.28	0.92	
変動係数(%)						25.8	17.4	15.6	

斜めひび割れの発生により、せん断補強筋が荷重を受け持ち始めたためである。SL-00-S は斜めひび割れの発生により 50kN 付近でひずみが増大しており、N-00-S と比較して小さい荷重であった。SL-12-S は 75kN 付近でひずみが増大しており、N および SL の両タイプにおいて鋼繊維補強による斜めひび割れ発生荷重の増大が確認できた。また、鋼繊維補強による斜めひび割れ発生荷重の増大は N より SL が顕著であることから、SL の方が鋼繊維補強効果が大いことがわかる。

また、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 の最大荷重が大きくなることが確認された。SL-00-S、SL-12 の最大荷重は同程度であったことから、鋼繊維を 1.2% 補強すると、せん断補強筋を配置した場合と同等以上の補強効果があると考えられる。

FEM 解析における荷重-変位関係を図-6 に、試験結果と比較して示す。せん断補強筋を配置したすべてのモデルにおいて試験結果より小さい荷重で剛性が変化しているが、これらは図-7 に示すように、その付近においてせん断補強筋が降伏したためである。しかし、N、SL ともにせん断補強筋ひずみが増大し始める荷重は試験結果とほぼ一致していた。また、図-6 よりすべてのタイプにおいて剛性は試験結果とほぼ一致していた。

## (2) 破壊形式

表-7 に試験結果を示す。文献<sup>8)</sup>によりせん断破壊の中でも斜めひび割れが発生すると同時に急激に荷重が低下し、破壊に至る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形式をせん断圧縮破壊と定義されている。本試験では同様に破壊形式を定義した。その結果、N-12-S を除くタイプはせん断破壊であったが、N-00 および SL-00 は斜め引張破壊、せん断補強筋を配置、鋼繊維補強した N-00-S、N-12、SL-00-S、SL-12、SL-12-S はせん断圧縮破壊であった。

FEM 解析における破壊形式は N-12-S を除くすべてのタイプで試験と同様であった。N-12-S は最大荷重到達時に主筋が降伏したにもかかわらずせん断破壊となり、試験による最大荷重より小さくなった。また、SL-12-S は最大荷重後急激に荷重が低下しているが、最大荷重到達後、載荷点付近でひび割れひずみが増大しており、載荷点の圧壊によるものと考えられる。

## 5.2 せん断耐力評価

### (1) せん断耐力評価式の提案

軽量化および鋼繊維補強を考慮できる評価式を提案する際、二羽式を基準とした。しかし、二羽式は N を対象としているため、3.1 に示した強度評価式を二羽式に乗じることで鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを用いた RC はりのせん断耐力評価式を提案する。二羽式における  $0.2 f'_c{}^{1/3}$  はコンクリートの見かけのせん断強度を表す項である。そこで軽量化および鋼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-1 に示す強度評価式から求めたせん断強度を 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  $\gamma$  を二羽式に乗じることで、軽量コンクリートおよび繊維補強コンクリートを評価することができる。式(7)にその提案式を示す。 $\gamma$  は 0~1.2% 内の任意の混入率において

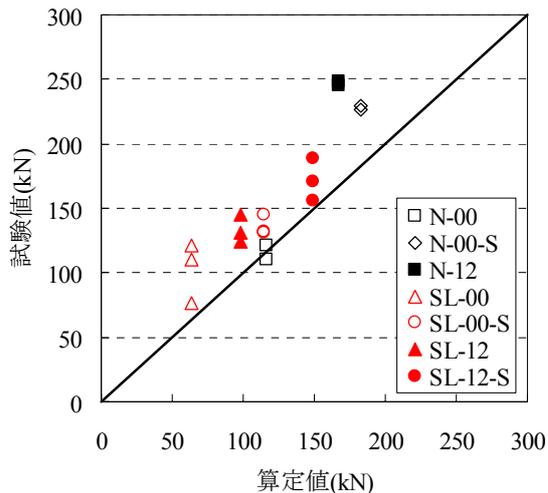


図-8 試験値と算定値との比較 (提案式)

も算出することができ、汎用性に優れるものである。

$$V_c = \gamma \cdot 0.2 f'_c{}^{1/3} \cdot (100 p_v{}^{1/3}) \cdot (d/1000)^{-1/4} \cdot (0.75 + 1.4d/a) b_w d \quad (7)$$

ここで  $\gamma$  は、  
鋼繊維補強普通コンクリートの場合

$$\gamma_N = \frac{0.141 \times V_{sf} + 0.396}{0.396} \quad (8)$$

鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートの場合

$$\gamma_{SL} = \frac{0.122 \times V_{sf} + 0.285}{0.396} \quad (9)$$

## (2) RC はりせん断耐力の検討

表-7 および図-8 に試験による最大荷重と算定値との比較を示す。ここで、同じタイプにおいて破壊形式が異なるものは、破壊形式ごとに算定値と比較した。二羽式には軽量化および鋼繊維補強が考慮されていないため、二羽式を用いた場合、SL-00 の斜め引張破壊した供試体および SL-00-S は危険側に、N-12 および N-12-S はかなり安全側に評価している。そこで、軽量化および鋼繊維補強を考慮した提案式を用いて比較すると、全てのタイプで安全側に評価できる。また、提案式は平均 1.28、変動係数 17.4%、二羽式は平均 1.32、変動係数 25.8%となり、提案式は二羽式と比較して数値のばらつきが抑えられていることから、RC はりのせん断耐力を精度よく評価可能であることがわかった。しかし、SL-00 のせん断圧縮破壊した供試体については提案式を用いることで安全側に評価する。これは二羽式が斜め引張破壊を対象としているためであると考えられ、せん断圧縮破壊に対する評価方法については別途、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを用いた RC はりのせん断耐力評価方法について検討する必要があると考えられる。

表-6 に FEM 解析における最大荷重を試験結果と比較して示す。全てのタイプにおいて繊維補強による耐力の増加を再現できた。また、解析値と試験結果との比  $V_{FEM}/V_{exp}$  が 0.89~1.16 となり、解析は試験における最大

荷重を概ね再現できているといえる。以上の結果より、提案した引張軟化曲線を FEM 解析に用いることで、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリートを用いたことによるコンクリートの軽量化および鋼繊維補強がせん断耐力に与える影響を再現できることがわかった。

## 6. まとめ

本研究では RC はり曲げせん断試験および提案した引張軟化曲線を用いた 2 次元非線形 FEM 解析を行い、提案した軽量化および鋼繊維補強を考慮できる RC はりせん断耐力評価方法および引張軟化特性の適用性を検討した。本研究で得られた結果は次の通りである。

- (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 の引張強度、曲げ強度、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) 切欠きはりを用いた 3 点曲げ試験から引張強度および混入率がわかれば、引張軟化曲線が求められるモデルを定式化した。
- (3) 二羽式を基準とし、せん断強度の変化率  $\gamma$  を乗じることで軽量化および鋼繊維補強による影響を考慮できるせん断耐力式を提案した。結果、提案式を用いることにより安全側に評価できた。
- (4) 提案した引張軟化曲線を FEM 解析に用いた結果、軽量化および鋼繊維補強による影響を FEM 解析上でも再現できた。

謝辞 本研究は、太平洋セメント株式会社から使用材料を頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 田口史雄, 三上浩, 栗橋祐介: 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[設計編], 2007.
- 4) 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡村甫: 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) 梶原秀夫, 崔智宣, 日野伸一, 山口浩平, 柴田博之: 短繊維補強軽量 2 種コンクリートの引張軟化特性, 平成 22 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2011
- 6) 山谷敦, 中村光, 檜貝勇: 回転ひび割れモデルによる RC 梁のせん断挙動解析, 土木学会論文集, No.620, V-43, pp.187-199, 1999.5.
- 7) CEB-FIP Model Code 1990, Thomas Telford, 1990
- 8) 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.