

論文 鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートの繊維混入率を考慮した強度評価式および RC 版の押抜きせん断耐力評価

山口 浩平^{*1}・日野 伸一^{*2}・園田 崇智^{*3}・崔 智宣^{*3}

要旨：鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリート RC 版の押抜きせん断耐力は軽量化と鋼繊維補強の二つの要素を考慮する必要があるが、現在の算定方法では適切な評価ができない。そこで、鋼繊維補強された普通、軽量 2 種コンクリートの各種強度試験を行い、繊維混入率を考慮した強度評価式を提案した。次に、提案した強度評価式を用いて、鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリート RC 版の押抜きせん断耐力の算定を試みた。その結果、算定値が 1～2 割程度危険側に評価するものの、軽量 2 種コンクリートに鋼繊維を 1.2%混入することにより、普通コンクリート以上の耐力、靱性を有する性能を発揮できることがわかった。

キーワード：軽量 2 種コンクリート、鋼繊維、強度評価式、RC 版、押抜きせん断耐力

1. はじめに

軽量 2 種コンクリート（以下 SL）は、粗骨材に加え細骨材の全てまたは一部に人工軽量骨材を用いたコンクリートであり、普通コンクリート（以下 N）に比べ約 3 割の軽量化が可能である。しかし、SL は骨材自体の強度が小さいため、引張およびせん断強度が低下する。その改善策として、短繊維補強が一般的である。繊維の架橋効果^{1),2)}により、ひび割れ発生後も繊維が引張力を受け持つため、コンクリートの引張、せん断耐力が上昇し、靱性向上効果³⁾が期待できる。架橋効果はコンクリート種類や繊維混入率（以下混入率）により変化すると考えられ、それらの関係を明確にすることは繊維補強された軽量 2 種コンクリート RC 版の押抜きせん断耐力算定には重要な検討項目として挙げられる。

そこで本研究では、強度特性に優れた鋼繊維補強による N, SL の強度試験を行い、混入率を考慮した強度評価式を提案した。次に、RC 版の押抜きせん断耐力は土木学会コンクリート標準示方書⁴⁾で規定されているが、鋼繊維補強された軽量 2 種 RC 版の押抜きせん断耐力は軽量化と鋼繊維補強の二つの要素があるため、現在の算定方法では明確な評価ができない。そのため、提案した強度評価式を用いて RC 版の押抜きせん断耐力の評価について検討した。

混入率を 0, 0.4, 0.8, 1.2(%)とした計 8 タイプであり、供試体数はそれぞれ 3 体とした。強度試験はコンクリート標準示方書⁵⁾に従い、圧縮、割裂引張、曲げ、せん断、静弾性係数試験を行った。

表 - 1 使用材料の一例

材料種類	記号	性質
普通ポルトランドセメント	C	密度:3.16g/cm ³ 比表面積:3890cm ² /g
普通細骨材	普通S	表乾密度:2.55g/cm ³ 吸水率:1.92% 実績率:71.1% 粗粒率:2.55
普通粗骨材	普通G	表乾密度:2.90g/cm ³ 吸水率:1.92%
人工軽量細骨材	軽量S	絶乾密度:1.68g/cm ³ 24時間吸水率:9.8% 単位容積質量:1.11g/cm ³ 実績率:53.7%
人工軽量粗骨材	軽量G	絶乾密度:1.55g/cm ³ 24時間吸水率:9.7% 単位容積質量:0.79g/cm ³ 実績率:63.5%
高性能AE減水剤	SP	(株)フローリック製 フローリックSF500S (ポリカルボン酸化合物)
AE助剤	AE	フローリック製AE-4
増粘剤	B	武田キリン食品(株)製 ビオポリー
鋼繊維	F	フックエンド型、密度:7.85g/cm ³

表 - 2 コンクリート配合の一例

タイプ	コンクリート種類	混入率 (%)	kg/m ³								スランブ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	G	SP	AE	B	F		
N-00	普通	0	213	427	870	862	1.08	1.00	0	0	20.7	3.9
N-04		0.4	213	425	868	859	1.50	0	0	31.3	18.1	2.2
N-08		0.8	212	423	864	855	2.00	0	0	62.7	18.5	3.8
N-12		1.2	211	422	860	852	2.40	0	0	94.0	19.1	3.6
SL-00	軽量2種	0	233	490	542	408	0	0	1.00	0	20.0	6.8
SL-04		0.4	232	487	539	406	0	0	1.00	31.3	18.8	7.8
SL-08		0.8	230	484	535	403	1.63	0	1.00	62.7	20.5	7.4
SL-12		1.2	228	480	531	400	3.00	0	1.00	94.0	18.2	4.6

2. 強度試験

2.1 供試体

表 - 1 に使用材料の一例、表 - 2 にコンクリート配合の一例を示す。強度試験は、種々の圧縮強度を検討するため、表 - 3 に示す異なる配合の A～G の 7 シリーズで行った。表 - 2 に示すように、供試体は N, SL にそれぞれ

*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 工学研究院建設デザイン部門教授 工博（正会員）

*3 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻

2.2 配合

表 - 2 に配合の一例（シリーズ F）を示す。普通骨材の最大寸法は 20mm，膨張頁岩を原料とした軽量 2 種骨材³⁾のそれは 15mm である。目標スランプ値は 18cm，目標空気量は N 4.5%，SL 5.0%とした。圧縮強度は全タイプ一定となるよう配合した。スランプ値は N，SL ともに 18～20cm であり，空気量は N 2～4%，SL 5～8%となった。

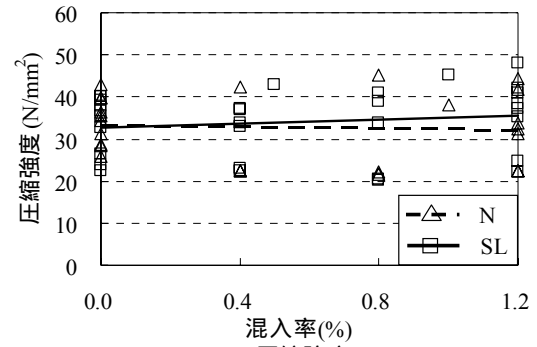
2.3 結果

表 - 3 に強度試験結果を示す。同表中の (I) はインデント型，(F) はフックエンド型を示す。

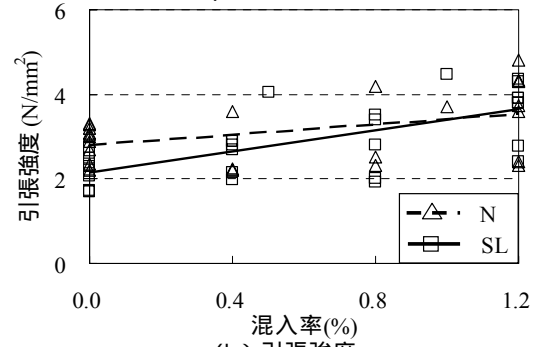
全データの各強度と混入率の関係を図 - 1 に示す。同

表 - 3 強度試験結果^{6)～8)}

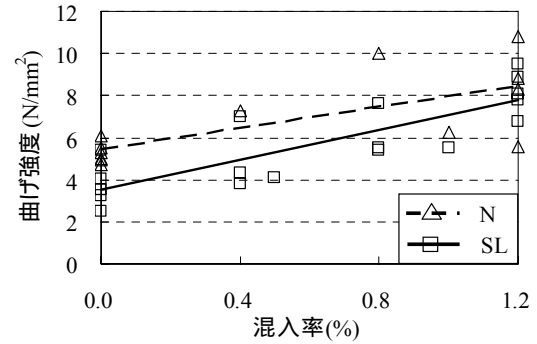
シリーズ	コンクリート	繊維種類	混入率 (%)	単位 容積質量 (g/cm ³)	圧縮 強度 (N/mm ²)	引張 強度 (N/mm ²)	曲げ 強度 (N/mm ²)	せん断 強度 (N/mm ²)	ヤング 係数 (kN/mm ²)	
A	普通	なし	0	2.33	34.5	3.2	6.1	6.0	31.6	
B	普通	なし	0	2.40	39.9	3.3	4.9	5.2	34.6	
		銅(F)	1.0	2.37	38.1	3.7	6.3	8.7	30.4	
		なし	0	1.52	39.1	2.7	4.1	2.9	15.8	
		銅 (1)	0.5	1.54	42.8	4.0	4.1	4.4	16.5	
C	普通	なし	0	1.0	1.63	45.3	4.5	5.5	5.1	18.3
				2.34	28.6	2.7	5.0	-	28.9	
				2.38	31.3	3.0	4.7	-	29.3	
				2.38	35.5	2.9	-	-	-	
	普通	銅 (1)	1.2	2.31	33.9	4.3	5.6	-	28.4	
				2.32	31.4	3.6	8.8	-	27.0	
				1.49	32.7	2.3	2.5	-	13.5	
				1.59	36.8	2.5	3.5	-	13.9	
	軽量2 種	なし	0	1.69	35.5	2.2	-	-	-	
				1.60	37.0	2.7	3.8	-	14.7	
				1.67	37.2	2.9	4.3	-	15.1	
				1.73	33.9	2.9	-	-	-	
				1.65	38.9	2.8	5.5	-	15.9	
				1.68	40.9	3.4	5.4	-	15.7	
				1.68	42.0	3.8	7.8	-	15.6	
				1.73	48.0	3.9	8.1	-	18.0	
D	普通	なし	0	2.24	28.3	2.3	-	-	25.9	
				2.23	25.9	2.2	-	-	24.2	
				2.20	22.6	2.2	-	-	19.8	
				2.21	22.4	2.2	-	-	22.4	
				2.19	21.7	2.3	-	-	23.0	
				2.24	22.3	2.5	-	-	23.0	
				2.22	22.4	2.4	-	-	22.3	
				2.23	22.4	2.3	-	-	21.0	
	軽量2 種	なし	0	1.54	26.4	1.7	-	-	12.6	
				1.49	23.8	1.7	-	-	12.0	
				1.55	23.1	2.2	-	-	12.1	
				1.56	22.4	2.0	-	-	12.3	
				1.50	20.4	2.0	-	-	11.6	
				1.50	20.1	1.9	-	-	11.3	
				1.55	22.3	2.4	-	-	12.8	
				1.56	24.6	2.8	-	-	13.2	
E	普通	なし	0	2.33	36.3	3.1	-	-	32.8	
	軽量2 種	なし	0	1.53	22.6	1.7	-	-	11.8	
F	普通	銅(F)	1.2	1.78	35.2	3.9	-	-	14.9	
				2.39	42.8	3.3	5.5	4.9	29.9	
				2.34	39.8	3.1	5.3	4.7	28.1	
				2.43	42.4	3.6	7.3	5.9	31.2	
				2.40	45.3	4.2	10.0	6.4	31.0	
				2.45	44.3	4.8	10.8	8.2	30.8	
				2.38	32.5	3.7	8.3	6.2	26.0	
				1.74	40.1	2.6	5.4	3.1	15.0	
	軽量2 種	銅(F)	1.2	0.4	1.71	33.0	2.8	7.0	4.1	14.5
				0.8	1.75	33.9	3.5	7.6	4.4	14.9
				1.2	1.76	38.4	3.8	9.5	5.2	14.7
				1.64	40.2	2.1	3.5	3.4	15.2	
	軽量2 種	銅(F)	1.2	1.58	37.7	2.1	3.2	3.3	14.4	
				1.81	41.0	4.4	8.9	5.4	17.4	
				1.68	37.2	4.3	6.8	5.0	16.0	
				2.28	34.4	2.7	7.9	4.3	26.9	
G	普通	なし	0	2.33	35.2	2.6	-	-	32.7	
				0.4	2.33	32.7	2.8	6.0	4.4	29.7
				0.8	2.31	35.0	3.3	7.8	5.0	30.3
				2.35	32.5	3.8	-	-	27.0	
				2.39	36.8	3.9	-	-	30.6	
				1.65	40.3	1.9	-	-	14.5	
				1.60	47.3	2.3	4.4	3.8	16.2	
				0.4	1.66	40.7	3.1	4.5	3.9	16.8
	軽量2 種	銅(F)	1.2	1.51	25.1	2.5	6.1	3.4	12.7	
				1.71	44.5	4.5	7.7	6.8	15.6	
				1.63	45.8	4.8	6.7	6.2	16.5	
				1.56	26.2	2.8	-	-	13.2	



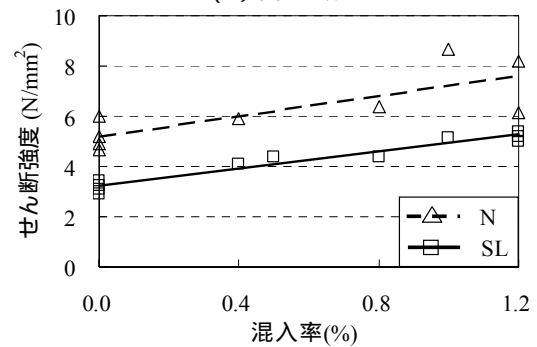
(a) 圧縮強度



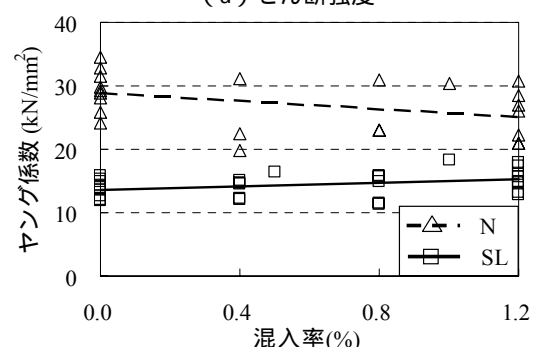
(b) 引張強度



(c) 曲げ強度



(d) せん断強度



(e) ヤング係数

図 - 1 強度 - 混入率関係

図(a)よりNおよびSLは混入率が増加しても圧縮強度はほとんど変化しないことがわかる。(b)よりNおよびSLの引張強度は混入率の増加とともに増加する傾向がある。特にSLの方が繊維の効果が発著であることがわかる。(c)より混入率の増加に伴い曲げ強度も増加することがわかる。しかし、0.4、0.8%の場合はバラツキが大きい。(d)より混入率の増加に伴いせん断強度も増加することがわかる。(e)よりSLのヤング係数はNに比べて50%程度小さいが、混入率が増加してもほとんど変化がないことから、ヤング係数については混入率の影響はほとんどないと考えられる。

3. 強度評価式の提案

3.1 実験式

コンクリート標準示方書⁴⁾において、引張および曲げ強度は式(1)、(2)で規定されている。

$$f_t = 0.23 f_c^{2/3} \quad (1)$$

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

ここで、 f_c : 圧縮強度 (N/mm²)

f_t : 引張強度 (N/mm²)

f_b : 曲げ強度 (N/mm²)

式(1)、(2)を基に各強度評価式を $f = \alpha f_c^{2/3}$ の形で求めた。導出した実験式を表-4に示す。引張強度のN、SLの実験式の係数 α を比較すると、N-12はN-00の1.31倍、SL-12はSL-00の1.69倍となった。曲げ強度は、N-12はN-00の1.48倍、SL-12はSL-00の1.94倍となった。せん断強度は、N-12はN-00の1.42倍、SL-12はSL-00の1.55倍となり、SLがNに比べて鋼繊維補強による効果が大きいことがわかる。ヤング係数は、一般にヤング係数と圧縮強度の関係は定式化されていないため、本研究ではヤング係数に関する式は提案していない。

3.2 混入率を考慮した強度評価式

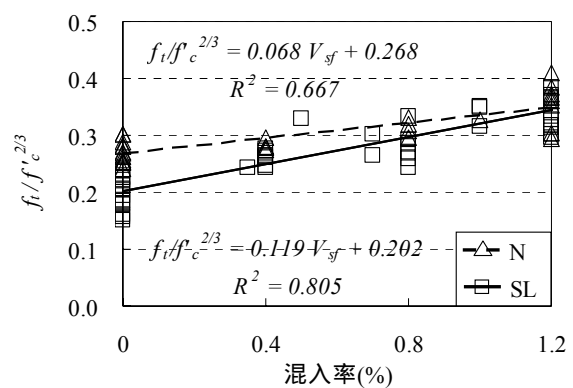
表-4の実験式は混入率0、0.4、0.8、1.2%に限定されている。そこで特定の混入率だけでなく、混入率を変数とした式を求めた。圧縮強度を考慮した各強度と混入率の関係を図-2に示す。表-5に全シリーズから導出したN、SLの強度評価式、決定係数、混入率、圧縮強度の適用範囲を示す。SL-aはシリーズC~Gであり、人工軽量骨材の種類が同一のものである。同表より、N、SLの決定係数は、それぞれ0.456~0.667、0.624~0.805である。一方、SL-aは決定係数が0.746~0.896でありSLより少し大きい。この結果から骨材種類が同一のものの強度評価式の方が、精度が高いと言える。なお、これらの式は混入率は0~1.2%、引張強度は圧縮強度20~50N/mm²、曲げおよびせん断強度は同じく25~50N/mm²程度の範囲に適用できる。しかし、曲げ、せん断強度はN、SLともにデータ数が少ないため、データのさらなる蓄積が必要である。

3.3 実験式と強度評価式の比較

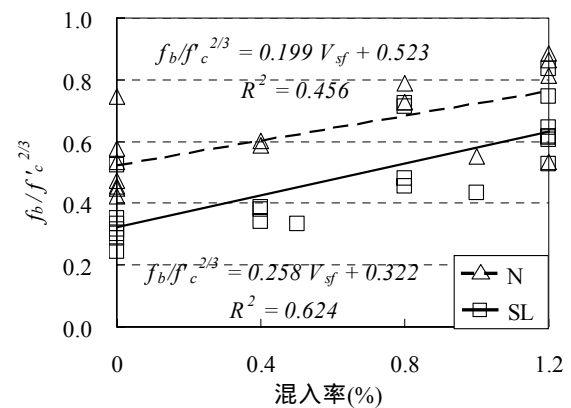
表-4の実験式の係数 α と表-5の強度評価式に混入率(0、

表-4 実験式

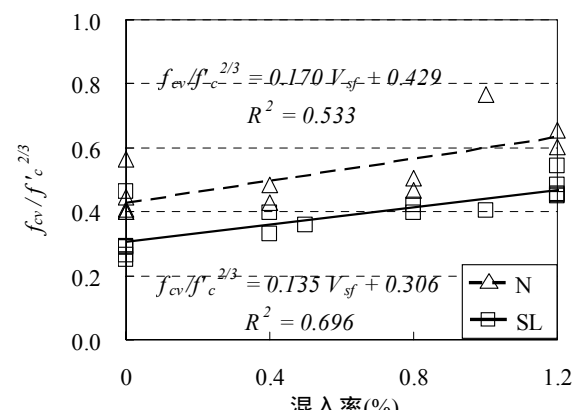
強度	混入率 (%)	N	SL
引張	0	$f_t = 0.272 f_c^{2/3}$	$f_t = 0.199 f_c^{2/3}$
	0.4	$f_t = 0.282 f_c^{2/3}$	$f_t = 0.262 f_c^{2/3}$
	0.8	$f_t = 0.314 f_c^{2/3}$	$f_t = 0.281 f_c^{2/3}$
	1.2	$f_t = 0.356 f_c^{2/3}$	$f_t = 0.336 f_c^{2/3}$
曲げ	0	$f_b = 0.522 f_c^{2/3}$	$f_b = 0.337 f_c^{2/3}$
	0.4	$f_b = 0.594 f_c^{2/3}$	$f_b = 0.369 f_c^{2/3}$
	0.8	$f_b = 0.758 f_c^{2/3}$	$f_b = 0.593 f_c^{2/3}$
	1.2	$f_b = 0.774 f_c^{2/3}$	$f_b = 0.655 f_c^{2/3}$
せん断	0	$f_{cv} = 0.444 f_c^{2/3}$	$f_{cv} = 0.308 f_c^{2/3}$
	0.4	$f_{cv} = 0.458 f_c^{2/3}$	$f_{cv} = 0.364 f_c^{2/3}$
	0.8	$f_{cv} = 0.485 f_c^{2/3}$	$f_{cv} = 0.408 f_c^{2/3}$
	1.2	$f_{cv} = 0.629 f_c^{2/3}$	$f_{cv} = 0.477 f_c^{2/3}$



(a) 引張強度



(b) 曲げ強度



(c) せん断強度

図-2 強度比 - 混入率関係

表 - 5 強度評価式

種類, 強度	強度評価式	決定係数 R^2	適用範囲	
			混入率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
N	引張 $f_t = (0.068 V_{sf} + 0.268) f_c^{2/3}$	0.667	0 ~ 1.2	21.7 ~ 45.3
	曲げ $f_b = (0.199 V_{sf} + 0.523) f_c^{2/3}$	0.456		28.6 ~ 45.3
	せん断 $f_{cv} = (0.170 V_{sf} + 0.429) f_c^{2/3}$	0.533		32.5 ~ 45.3
SL	引張 $f_t = (0.119 V_{sf} + 0.202) f_c^{2/3}$	0.805		20.1 ~ 48.0
	曲げ $f_b = (0.258 V_{sf} + 0.322) f_c^{2/3}$	0.624		25.1 ~ 48.0
	せん断 $f_{cv} = (0.135 V_{sf} + 0.306) f_c^{2/3}$	0.696		25.1 ~ 47.3
SL - a	引張 $f_t = (0.086 V_{sf} + 0.217) f_c^{2/3}$	0.770		20.1 ~ 48.0
	曲げ $f_b = (0.314 V_{sf} + 0.291) f_c^{2/3}$	0.746		25.1 ~ 48.0
	せん断 $f_{cv} = (0.158 V_{sf} + 0.287) f_c^{2/3}$	0.896		25.1 ~ 47.3

V_{sf} : 混入率, f_c : 圧縮強度

表 - 6 係数 α の比較

種類	混入率 (%)	実験式 α / 強度評価式 α	
		N	SL
引張	0	1.01	0.98
	0.4	0.96	1.05
	0.8	0.97	0.95
	1.2	1.02	0.97
曲げ	0	1.00	1.05
	0.4	0.98	0.87
	0.8	1.11	1.12
	1.2	1.02	1.04
せん断	0	1.04	1.01
	0.4	0.92	1.01
	0.8	0.86	0.99
	1.2	0.99	1.02

0.4, 0.8, 1.2%) を代入して係数 α を算出して比較した。表 - 6 に実験式の係数と強度評価式の係数の比を示す。同表より比は 1 程度であり、強度評価式は実験式を精度良く表していることがわかる。

4. RC 版の押抜きせん断耐力の評価

4.1 試験概要

図 - 3 に試験体概略図を示す。試験体は、表 - 7 に示すようにコンクリート種類、混入率をパラメータとした 3 タイプとした。N-00 は 2 体、SL-00, SL-12 は 3 体の計 8 体とした。試験体は辺長 1200mm、厚さ 100mm であり、鉄筋は D10 (SD295A) を 14@80 で配筋し、有効高さは 75mm とした。鉄筋には、版中央から 120mm の位置にひずみゲージを貼付した。載荷条件は、試験体の支間長が 1000mm と短いことから、四隅の浮き上がり防止装置を取り付けず 4 辺単純支持とした。試験体中央には幅 150×長さ 150×高さ 50mm の載荷版を配置し、油圧ジャッキを用いて漸増載荷した。なお、鉄筋の降伏強度は 373N/mm² である。

4.2 結果

荷重と載荷面直下のたわみ関係の一例を図 - 4 に示す。鋼繊維無混入の試験体 N-00, SL-00 は最大荷重に達すると同時に押抜きせん断破壊による急激な荷重低下を呈して耐力を失った。これに対して、鋼繊維混入の SL-12 の最大荷重は SL-00 と比較すると 1.5 倍程度増加しており、最大荷重に達しても急激な荷重低下は見られず、架橋効果により靱性を有していた。また、SL-12 No.3 は曲げ圧縮破壊に近い挙動を呈していた。

図 - 5 に荷重 - 鉄筋ひずみ関係の一例を示す。鉄筋ひずみが最初に急増した点 (20 ~ 30kN 程度) をひび割れ発生とし、ひび割れが発生するまでは、全タイプで同様の傾向を示した。しかし、ひびわれ発生以降、鋼繊維無混入の N-00, SL-00 と鋼繊維混入の SL-12 のひずみに差が生じ始めている。これは伊藤らの研究⁹⁾によっても同様の結果が得られており、架橋効果により鉄筋に生じる引

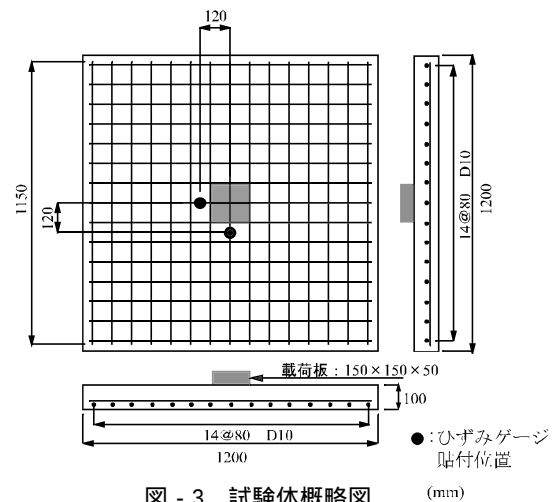


図 - 3 試験体概略図

表 - 7 RC 版試験体の概要

タイプ	コンクリート種類	混入率 (%)	密度 (g/cm ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
N-00	普通	0	2.33	36.3	3.09	—*	32.8
SL-00	軽量2種	0	1.60	47.3	2.33	3.77	16.2
SL-12		1.2	1.63	45.8	4.75	6.18	16.5

*サンプリング不良

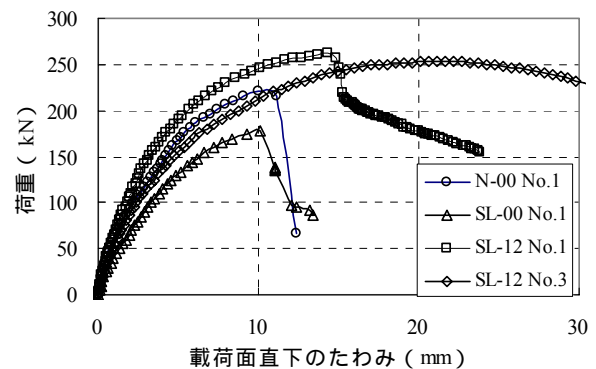


図 - 4 荷重 - たわみ関係

張力の一部を鋼繊維が負担しているためであり、繊維混入の SL-12 の鉄筋ひずみが小さくなっている。

表 - 8 , 図 - 6 に荷重 - たわみ関係の面積で評価される吸収エネルギー量を示す。ここで、吸収エネルギー量は最大荷重到達後、荷重が最大荷重時の 60% に達した時点までの面積とした。なお、SL-12 No.3 は 4.2 でも述べたように破壊形式が異なり、同 No.1, 2 に比べ非常に大きいため平均値から除外した。同図より、SL-00, N-00, SL-12 の順に吸収エネルギー量が増大していることがわかる。特に、SL-12 の吸収エネルギー量は SL-00 の 4 倍程度であり、繊維による靱性向上効果が顕著であることが明らかとなった。

4.3 押抜きせん断耐力の評価方法

3. で提案した強度評価式の RC 部材への適用性を検討するために、強度評価式を用いて既往の RC 版の押抜きせん断耐力式を評価した。

(1) コンクリート標準示方書式による評価

コンクリート標準示方書⁴⁾に規定されている押抜きせん断耐力式は式(3)である。軽量コンクリートの場合は、引張強度、付着力および支圧特性値は普通コンクリート値の 70% としてよいと示されている。

$$P = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f'_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad (3)$$

$$f'_{pcd} = 0.20 f'_{cd}{}^{1/2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = (1/d)^{1/4} \quad (d: \text{m}) \quad \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする。}$$

$$\beta_p = (100p)^{1/3} \quad \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする。}$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25u/d)$$

u_p : 設計断面の周長で載荷面から $d/2$ 離れた位置で算定する。(mm)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²)

p : 鉄筋比で 2 軸方向の鉄筋に対する平均値

d : 有効高さで 2 軸方向の鉄筋に対する平均値

u : 載荷面の周長

γ_b : 安全係数、一般に 1.3 (後述の算定では 1.0)

(2) 松井式による評価

松井らが提案した式(4)¹⁰⁾は、押抜きせん断破壊モデルを仮定し、圧縮域コンクリートのせん断耐力と鉄筋のダボ効果による剥離効果を考慮して提案した評価式であり、普通コンクリートを対象としている。なお、単位は参考文献に準拠し、重力単位を用いている。

$$P = \tau_{s,max} \{ 2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m \} + \sigma_{t,max} \{ 2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a + 2d_m)C_d \} \quad (4)$$

a, b : 載荷板の主鉄筋方向、配力鉄筋方向の周長 (cm)

x_m, x_d : 主鉄筋および配力鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸 (cm)

d_m, d_d : 主鉄筋および配力鉄筋の有効高さ (cm)

C_m, C_d : 主鉄筋および配力鉄筋からのかぶり厚さ (cm)

$\tau_{s,max}, \sigma_{t,max}$: コンクリートの最大せん断応力、最大引張応力 (kgf/cm²)

$$\tau_{s,max} = 0.252\sigma_{ck} - 0.000256\sigma_{ck}^2 \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

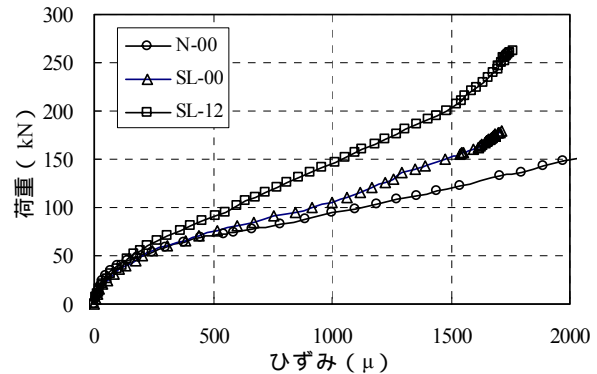


図 - 5 荷重 - 鉄筋ひずみ関係

表 - 8 せん断耐力算定結果および吸収エネルギー量

タイプ	No.	実験値		計算値(最大荷重)			
		最大荷重(kN)	吸収エネルギー量(kN・mm)	示方書式		松井式	
				実験値/計算値	(kN)	実験値/計算値	提案式
N-00	1	213	1890	134	1.63	215	1.02
	2	223	1991				
	平均	218	1941				
SL-00	1	178	1446	99.6	1.77	-	-
	2	180	1208				
	平均	176	1220				
SL-12	1	263	4554	98.0	2.62	-	-
	2	253	4344				
	平均	257	4449				

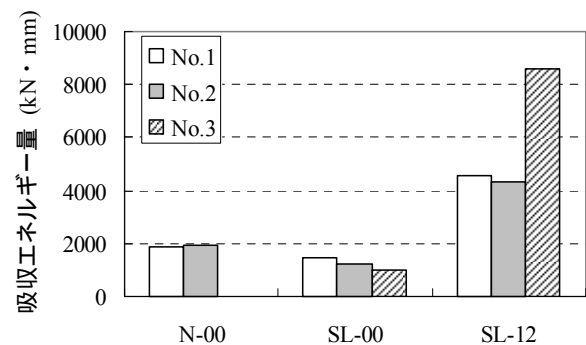


図 - 6 吸収エネルギー量

$$\sigma_{t,max} = 0.583\sigma_{ck}^{2/3} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\sigma_{ck}: \text{コンクリート圧縮強度} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

(3) 強度評価式を適用した提案式による評価

本研究では表 - 5 に示す強度評価式のせん断、引張強度を松井式の $\tau_{s,max}, \sigma_{t,max}$ に代入し、軽量 2 種コンクリート RC 版の押抜きせん断耐力の評価を試みた。その際、中立軸位置には 繊維の架橋効果を考慮せずに検討した。表 - 9 に強度試験から得られた実験値(引張、せん断強度)と圧縮強度を基にした強度評価式による算定値の比較を示す。同表より、強度評価式は 10% 以内の範囲で強度を評価していることがわかる。

4.4 算定結果

押抜きせん断耐力をコンクリート標準示方書式、松井式、強度評価式を適用した提案式を用いて算定した。表

- 8 に試験結果および算定結果（計算値）を示す。実験値/計算値を図-7に示す。示方書式では実験値と計算値の比が1.63～2.62と全て安全側である。N-00は、松井式と提案式の計算値は1割程度安全側に評価している。また表-9に示すように、SL-00の $\tau_{s,max}$ 、 $\sigma_{t,max}$ の実験値/算定値は0.88、0.94と1割程度危険側に評価しているため、提案式による押抜きせん断耐力も0.88と危険側評価している。一方、SL-12の $\tau_{s,max}$ 、 $\sigma_{t,max}$ の実験値/算定値は1.08、1.03と安全側評価をしているにも関わらず押抜きせん断耐力の実験値/計算値は0.81と危険側に評価する結果となった。今後は、松井式では破壊面を45°と定義しているが、鋼繊維補強軽量2種コンクリートRC版の場合の破壊面の角度を適切に評価する必要がある。

5. まとめ

本研究では、コンクリート種類と混入率をパラメータとして強度試験を行い、混入率を考慮した強度評価式を提案した。また、鋼繊維補強された軽量2種コンクリートRC版の押抜きせん断試験を行い、強度評価式を適用して、押抜きせん断耐力を算定した。以下に得られた知見を示す。

- 1) 圧縮強度およびヤング係数は混入率によらず一定であるが、引張、曲げ、せん断強度は混入率の増加とともに増大する。繊維補強の効果は普通より軽量2種コンクリートの方が大きい。
- 2) コンクリート標準示方書に規定されている強度式を基準として、混入率を考慮した強度評価式を提案した。
- 3) 軽量2種コンクリートRC版の押抜きせん断耐力は、普通コンクリートのものよりも2割程度低下するが、鋼繊維を1.2%混入することにより1.5倍程度増大し、架橋効果による靱性を有する。
- 4) 繊維を混入することにより、無混入よりも鉄筋に生じるひずみが小さくなる。
- 5) 強度評価式を適用して軽量2種コンクリートRC版の押抜きせん断耐力を算定した結果、1～2割程度危険側に評価した。この要因として、押抜きせん断破壊面の角度が影響していると考えられるため今後検討する必要がある。

謝辞

本研究は、太平洋マテリアル株式会社、一部は科学研究費若手研究(B)による補助を受けて実施した。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 田口史雄，三上浩，栗橋祐介，岸徳光：ビニロン短繊維混入RC梁の耐力性状に及ぼす短繊維混入率の影響，

表-9 強度評価式による引張およびせん断強度

タイプ	実験値(N/mm ²)		強度評価式による算定値(N/mm ²)		実験値/算定値	
	$\sigma_{t,max}$	$\tau_{s,max}$	$\sigma_{t,max}$	$\tau_{s,max}$	$\sigma_{t,max}$	$\tau_{s,max}$
N-00	3.09	—*	2.94	4.70	1.05	—
SL-00	2.33	3.77	2.64	4.00	0.88	0.94
SL-12	4.75	6.18	4.41	5.99	1.08	1.03

*サンプリング不良

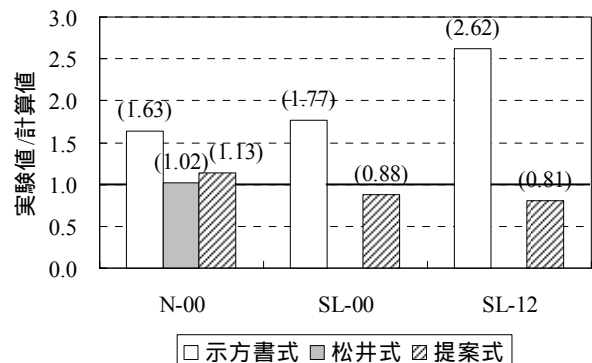


図-7 押抜きせん断耐力の実験値/計算値の比較

コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.287-292, 2003

- 2) 三上浩，岸徳光，田口史雄，栗橋祐介：ビニロン短繊維混入四辺支持RC版の押し抜きせん断性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.2，pp.1555-1560，2004
- 3) 人工軽量骨材協会：技術情報・土木編，pp.9，2002.
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，2002
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書[規準編]，2005
- 6) 合田寛基，日野伸一，田村一美，太田俊昭：鋼およびビニロン短繊維補強された超軽量コンクリートの強度特性，土木学会第56回年次学術講演会，V-275，pp.550-551，2001.10
- 7) 山口浩平，日野伸一，竹林知樹，福井圭太，合田寛基：短繊維補強された超軽量コンクリートを用いたRCはりのせん断耐力評価，土木学会第60回年次学術講演会，5-368，pp.735-736，2005.9
- 8) 崔智宣，郭勝華，園田崇智，日野伸一，山口浩平，柴田博之：鋼繊維補強された軽量2種コンクリートの繊維混入率を考慮した材料強度評価式，土木学会第63回年次学術講演会，V-259，2008.9
- 9) 伊藤始，岩波光保，横田弘：軽量コンクリートスラブの押抜きせん断特性に及ぼすPVA短繊維の影響，構造工学論文集，Vol.51A，pp.1321-1330，2005.3
- 10) 前田幸雄，松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式，土木学会論文集，第348/V-1，pp.113-141，1984.8