

## 鋼繊維補強された軽量2種コンクリート版の押抜きせん断耐力の評価

### Punching Shear Strength of Super-light Weight Concrete Slabs with Steel Fiber Reinforcement

郭 勝華<sup>\*1</sup>・日野 伸一<sup>\*2</sup>・山口 浩平<sup>\*3</sup>・崔 智宣<sup>\*4</sup>・山田 岳史<sup>\*5</sup>

Shenghua Guo, Shinichi Hino, Kohei Yamaguchi, Jisun Choi, Takeshi Yamada

\*<sup>1</sup>九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地)

\*<sup>2</sup>九州大学大学院 工学研究院建設デザイン部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地)

\*<sup>3</sup>九州大学大学院 工学研究院建設デザイン部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地)

\*<sup>4</sup>九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地)

\*<sup>5</sup>株式会社神戸製鋼所 技術開発本部 (〒651-8585 兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目 10 番 26 号)

Slabs of bridge have been increasing their thickness due to increase of the span between the main girders. This requires stronger and lighter slab decks. Super-light weight concrete which specific gravity is less than 1.6 using artificial lightweight aggregate may conform to this demand. However, with this aggregate the tensile strength and shear strength of concrete is decreasing. But, it is possible to improve these properties with steel short fiber reinforcement. On the other way, current punching shear capacity equation of reinforced concrete (RC) slabs with the normal concrete excessively estimates the punching shear capacities of RC slabs with the lightweight concrete. In this study, material tests and punching shear tests of using the Super-lightweight concrete with steel short fiber reinforcement were conducted to make clear the punching shear failure condition of RC slabs with Super-lightweight concrete. The results of tests proposed the predicting equation of the punching shear capacities of RC slabs with the Super-lightweight concrete. This equation can accurately evaluate the punching shear capacities of RC slabs with the Super-lightweight concrete as well as the concrete with steel short fiber reinforcement

Key words: Punching shear strength, Slab, Super-lightweight concrete, Short fiber

#### 1. 背景および目的

コンクリートは、構造材料として耐久性、耐火性などに優れ、鋼材と組み合わせることでお互いの長所を活かし、単独では得ることができない優れた特性を有することができる。近年、経済的な鋼少主桁橋の採用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。また、環境破壊が問題視される中、環境に優しいコンクリート構造物が必要となっている。コンクリートの軽量化は、構造物の小断面化、施工の簡略化から省資源・省エネルギーに結びつき、CO<sub>2</sub> 排出量の減少にもつながる<sup>1), 2)</sup>。

それらの改善策として道路橋上部工自重の6割以上を占めたコンクリート床版に軽量コンクリートの適用が有効である。しかしながら、既往の事例は比重1.9~2.2程度、粗骨材の一部または全てが人工軽量骨材、細骨材の全てに普通骨材を用いる軽量1種コンクリート<sup>3)</sup> (以下L)が対象であるため、大幅な自重低減効果があるとは言い難い。そこで、本研究では粗骨材、細骨材とも一部または全てに人工軽量骨材を用いると定義された軽量2種コンクリート<sup>3)</sup>の中で粗骨材、細骨材全てに人工軽量骨材を用いた軽量2種コンクリート<sup>4)</sup> (比重1.5~1.7, 以下SL)に着目した。軽量2種コンクリートは普通コンクリート (以下N) に比べ

約3割の軽量化が可能である。しかし、骨材自体の強度が小さいため、引張強度、せん断強度が普通コンクリートの7割程度に低下する。その補強方法として短繊維を混入する方法がある。

しかしながら、RC床版の押抜きせん断耐力については、土木学会 コンクリート標準示方書<sup>5)</sup> (以下示方書) では軽量コンクリートの種類に関わらず一律70%に低減すること、土木学会 鋼繊維補強コンクリート設計施工指針 (案)<sup>6)</sup> では、鋼繊維補強コンクリートの設計曲げ基準強度に応じて1.1~1.3の割増係数を乗じることと規定されているため、骨材種類や繊維種類の違いを考慮することができない。また、鋼繊維補強した軽量2種RC部材の場合は、軽量化と鋼繊維混入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。

そこで本研究では、鋼繊維補強された軽量2種コンクリートを対象とし、コンクリート種類、繊維混入率をパラメータとしたRC床版の押抜きせん断耐力評価について検討した。また、過去に九州大学で行った鋼繊維補強された普通コンクリートおよび軽量2種コンクリートの材料試験<sup>4), 7) ~11)</sup> から、鋼繊維補強された軽量2種コンクリートの強度評価式を提案し、軽量2種コンクリート床版の押抜きせん断耐力評価についての検討を行った。

## 2. 材料特性

### 2. 1 使用材料

RC床版の押抜きせん断試験の使用材料を表-1に示す。使用した骨材は、人工軽量骨材協会認定の「アサノライト」<sup>12)</sup>(図-1(a), (b))と呼ばれる膨張頁岩を原料とした人工軽量骨材である。この他にも、図-1(c), (d)に示す人工軽量骨材協会認定の膨張頁岩系人工軽量粗骨材「スーパーメサライト」, 「メサライト」<sup>12)</sup>などがあり、過去に実施した材料試験に使用されている。

本研究で用いた鋼繊維は「ドラミックス」(図-1(e))と呼ばれるフックエンド型の鋼繊維である。他にも「シンコーファイバー」(図-1(f))と呼ばれるインデント型の鋼繊維が過去実施した材料試験に使用されている。

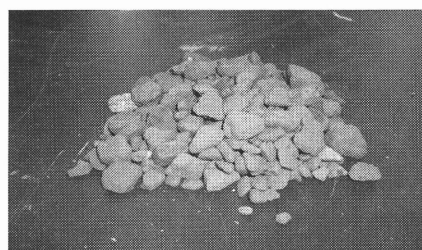
材料試験は、コンクリート標準示方書<sup>13), 14)</sup>に準じて圧縮、引張、曲げ、せん断試験を行い、供試体数は各タイプそれぞれ3体とした。普通骨材の最大寸法は20mm、軽量骨材の最大寸法は15mm、目標空気量はN4.5%, SL5.0%とした。なお、打設後28日以上養生し、試験を実施した。

### 2. 2 強度評価式

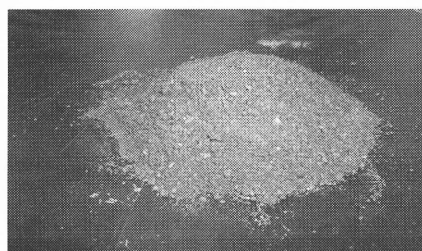
材料試験結果について、示方書<sup>13)</sup>に従い引張、曲げ、せん断強度が圧縮強度に比例するものとして $f = \alpha f_c^{2/3}$ として試験で得られた圧縮強度と引張、曲げ、せん断強度の関係を最小二乗法により回帰して係数 $\alpha$ を求めた強度評価式を表-2に示す。ここで示方書にはせん断-圧縮強度式がないため、3.4(3)の式(6)に示す東山らが提案している強度評価式<sup>15)</sup>を準用した。また、試験では鋼繊維混入率が多様であるため、繊維補強なし・ありとして区分した。ここでの鋼繊維混入率は0.4~1.5%である。

表-1 使用材料

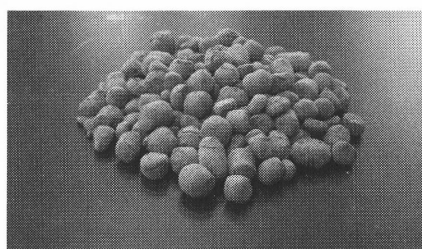
材料種類	詳細	記号	性質
セメント	高炉セメント	C	密度: 3.04g/cm <sup>3</sup> 比表面積: 3890cm <sup>2</sup> /g
普通 細骨材	海砂 (博多湾沖産)	普通S	表乾密度: 2.52g/cm <sup>3</sup> 24時間吸水率: 1.92% 実績率: 71.1% 粗粒率: 2.55
普通 粗骨材	碎石	普通G	表乾密度: 2.88g/cm <sup>3</sup> 24時間吸水率: 1.92%
人工軽量 粗骨材	アサノライト	G	絶乾密度: 1.55g/cm <sup>3</sup> 24時間吸水率: 9.7% 単位容積質量: 0.79g/cm <sup>3</sup> 実績率: 63.5%
人工軽量 細骨材		S	絶乾密度: 1.68g/cm <sup>3</sup> 24時間吸水率: 9.8% 単位容積質量: 1.11g/cm <sup>3</sup> 実績率: 53.7%
化学 混和剤	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 ビオポリマー
鋼繊維	ドラミックス	F	密度: 7.85g/cm <sup>3</sup>



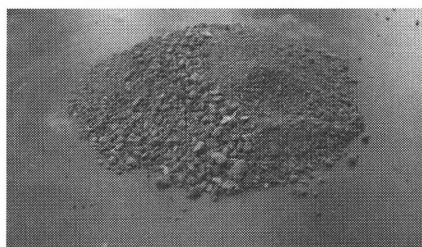
(a) 粗骨材(アサノライト)



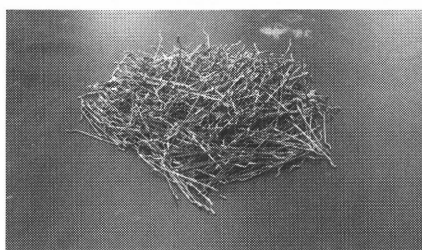
(b) 細骨材(アサノライト)



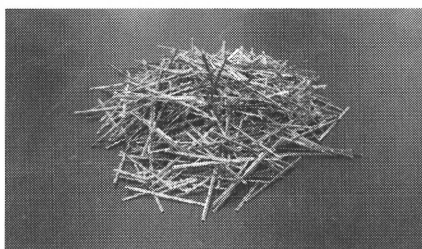
(c) 粗骨材(スーパーメサライト)



(d) 細骨材(メサライト)



(e) 鋼繊維(ドラミックス)



(f) 鋼繊維(シンコーファイバー)

図-1 使用材料

表-2 強度評価式

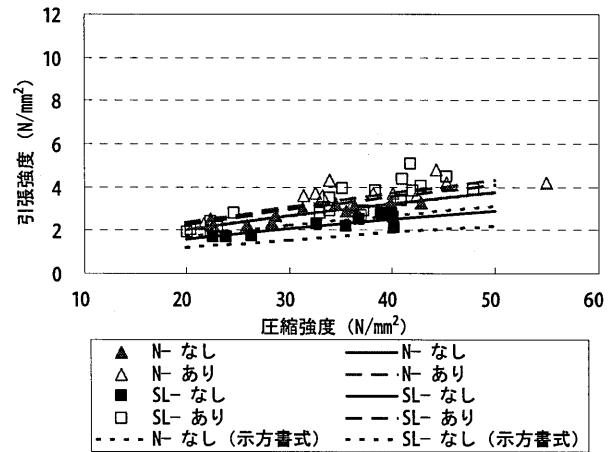
強度	コンクリート種類	データ数	繊維補強	コンクリート標準示方書式	提案式
引張	普通	36	なし	$f_t = 0.23f_c^{2/3}$	$f_t = 0.276f_c^{2/3}$
	普通	39	あり	-	$f_t = 0.316f_c^{2/3}$
	軽量2種	27	なし	$f_t = 0.7 \times 0.23f_c^{2/3}$	$f_t = 0.215f_c^{2/3}$
	軽量2種	63	あり	-	$f_t = 0.303f_c^{2/3}$
曲げ	普通	33	なし	$f_b = 0.42f_c^{2/3}$	$f_b = 0.485f_c^{2/3}$
	普通	21	あり	-	$f_b = 0.719f_c^{2/3}$
	軽量2種	18	なし	-	$f_b = 0.366f_c^{2/3}$
	軽量2種	39	あり	-	$f_b = 0.561f_c^{2/3}$
せん断	普通	12	なし	$*f_{cv} = 0.656f_c^{0.666}$	$f_{cv} = 0.453f_c^{2/3}$
	普通	15	あり	-	$f_{cv} = 0.603f_c^{2/3}$
	軽量2種	12	なし	-	$f_{cv} = 0.270f_c^{2/3}$
	軽量2種	21	あり	-	$f_{cv} = 0.428f_c^{2/3}$

表-3 試験体概要

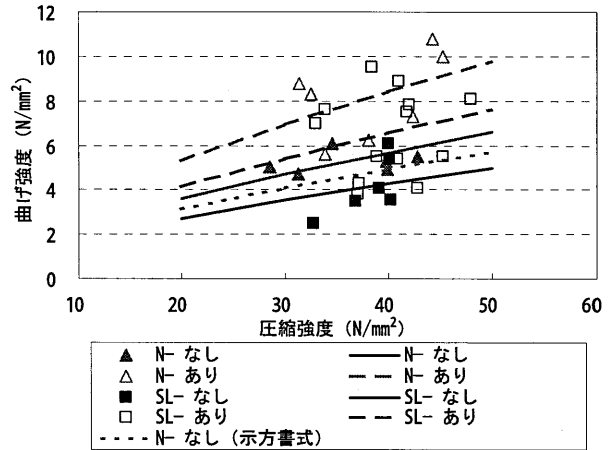
試験体	使用コンクリート	粗骨材	細骨材	鋼繊維混入率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
N-00	普通	普通	普通	0	2.33	36.3	32.8
L-00	軽量1種	人工軽量	普通	0	1.82	30.8	18.9
L-12	軽量1種		普通	1.2	2.04	41.8	20.9
SL-00	軽量2種		人工	0	1.53	22.6	11.8
SL-12	軽量2種		人工	1.2	1.78	35.2	14.9

引張強度と圧縮強度との関係を図-2(a)に示す。示方書では、軽量2種コンクリートの引張強度は同一の縮強度を有する普通コンクリートの引張強度の70%と規定されている。ここで、鋼繊維補強なしの場合、提案した同一圧縮強度の普通コンクリート(N-なし)と軽量2種コンクリート(SL-なし)の強度回帰式係数 $\alpha$ を示方書式と比較した結果、それぞれ1.20倍、1.34倍であり、示方書式の評価が安全側であることがわかる。また、提案式N-なしの強度回帰式係数 $\alpha$ に対して提案式SL-なしはその0.78倍となり、コンクリートの軽量化による引張強度の低下が確認された一方、鋼繊維補強された軽量2種コンクリート(SL-あり)はその1.10倍となり、N-なしと同等の引張強度があることが分かった。同様に鋼繊維補強なしに対して鋼繊維補強ありの場合、普通コンクリート(N-あり)は1.14倍、SL-ありは1.41倍となり、N-ありよりSL-ありの鋼繊維補強効果が顕著である。また、現段階におけるそれぞれの引張強度式の適用範囲は、本研究で収集したコンクリート圧縮強度の20.0N/mm<sup>2</sup>~55.1N/mm<sup>2</sup>である。

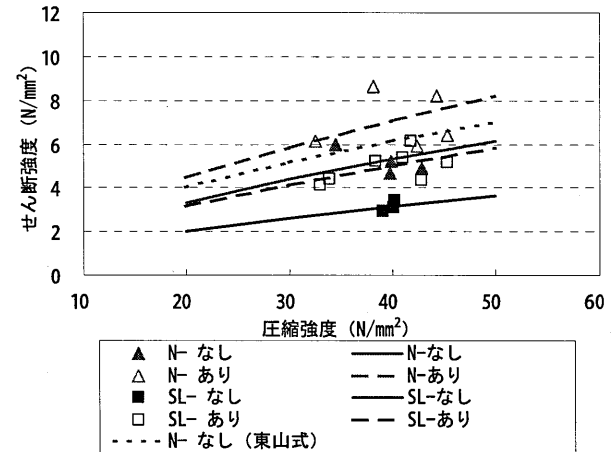
曲げ強度と圧縮強度との関係を図-2(b)に示す。鋼繊維補強なしの場合、提案式N-なし、SL-なしの強度回帰式係数 $\alpha$ はそれぞれ示方書式の1.15倍、0.87倍であり、コンクリートの軽量化による曲げ強度の低下が確認された。同様に提案式N-なしに対して提案式SL-ありはその1.16倍となり、N-なしと同等の曲げ強度があることが分かった。また、各タイプの曲げ強度は鋼繊維混入率の違いによるデータのバラツキが大きいものの、鋼繊維補強による増加率はN-あり、SL-ありで、それぞれ1.48倍、1.53倍となり、ほぼ同程度の効果がある。また、現段階におけるそれぞれの曲げ強度式の適用範囲は、本研究で収集したコンクリートの圧縮強度の28.6N/mm<sup>2</sup>~48.0N/mm<sup>2</sup>である。



(a) 引張強度



(b) 曲げ強度



(c) せん断強度

図-2 各強度と圧縮強度との関係

せん断強度と圧縮強度との関係を図-2(c)に示す。N-なしの東山式と提案式はほぼ一致している。提案式のN-なしの強度回帰式係数 $\alpha$ に対してSL-なしは0.60倍まで低下するに対してSL-ありはその0.94倍となり、コンクリートの軽量化によるせん断強度の低下に対して鋼繊維補強によるN-なしと同等のせん断強度があることが確認された。また、提案式のせん断強度は、鋼繊維補強によりN-ありは1.33倍、SL-ありは1.59倍であり、Nに比べてSLの鋼繊維補強効果

表-4 コンクリート配合

試験体	鋼繊維混入率 (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C	細骨材率 s/a	単位量 (kg)							
						W	C	S	G	F	SP	AE	B
N-00	0	20	5.0	0.44	41.6	179	407	961	514	0	4.07	0.00	0.00
L-00	0	15	5.0	0.48	49.8	167	347	849	420	0	3.47	3.47	1.00
L-12	1.2	15	5.0	0.48	55.0	188	392	871	349	94	7.06	0.00	1.00
SL-00	0	15	5.0	0.44	47.9	153	347	550	445	0	3.47	3.47	1.00
SL-12	1.2	15	5.0	0.44	55.0	174	395	586	457	94	7.11	0.00	1.00

が顕著である。しかし、せん断強度のデータが少ないため、今後試験データを蓄積する必要がある。また、現段階におけるそれぞれのせん断強度式の適用範囲は、本研究で収集したコンクリート圧縮強度の  $32.5\text{N/mm}^2 \sim 45.3\text{N/mm}^2$  である。

### 3. RC 床版の押抜きせん断耐力の評価

#### 3. 1 試験概要

試験体は、表-3 に示すようにコンクリート種類および鋼繊維混入率の異なる5種類各2体の計10体である。コンクリートは普通・軽量1種・軽量2種の3種類、鋼繊維混入率は体積比で0%、1.2%の2種類である。使用材料は表-1 に示す。試験体は辺長1200mm、厚さ100mmであり、鉄筋はD10 (SD295A) を14@80で配筋した。表-4 にコンクリート配合、図-3 に試験体概略図を示す。

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、図-4 に示すように4辺単純支持とした。載荷時、試験体中央に載荷板として150mm×150mm×50mmの鋼板を配置し、油圧ジャッキで載荷した。表-3 に載荷時の圧縮強度を示す。なお、鉄筋の降伏強度は  $373\text{N/mm}^2$  である。

#### 3. 2 変形性能

破壊形態は、全試験体とも押抜きせん断破壊であった。図-5に荷重-変位関係を示す。繊維無混入のN-00, L-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荷力を失った。これに比べて、繊維混入のL-12, SL-12は、繊維混入によるせん断強度の向上により、最大荷重が無混入に比べてそれぞれ1.34, 1.32倍増加した。また、ひび割れ位置の繊維の架橋効果により、最大荷重到達後の急激な荷重低下は見られず、高い変形性能を有することがわかった。

#### 3. 3 ひび割れ状況

試験体の破壊状況を観察するために、床版中央断面を切断した(図-6)。せん断破壊角度は、全試験体ともほぼ  $45^\circ$  であった。また、繊維無混入試験体は、引張鉄筋位置に沿ったひび割れが発生したが、鋼繊維混入試験体はその傾向は見られなかった。

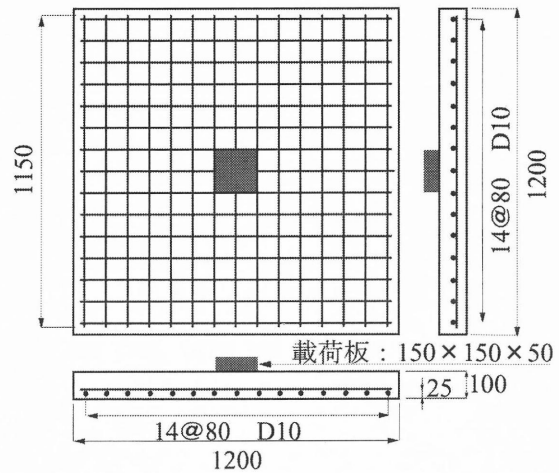


図-3 試験体概略図

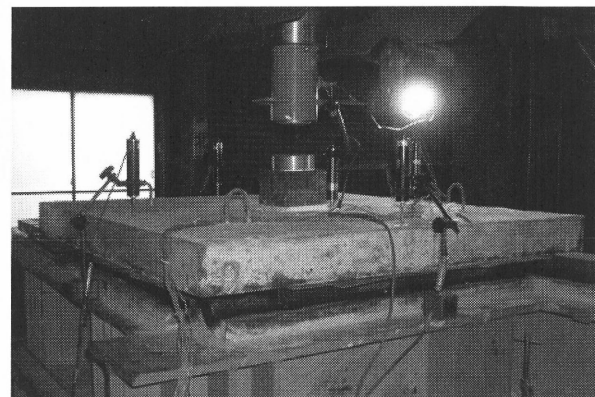


図-4 支持条件および載荷装置

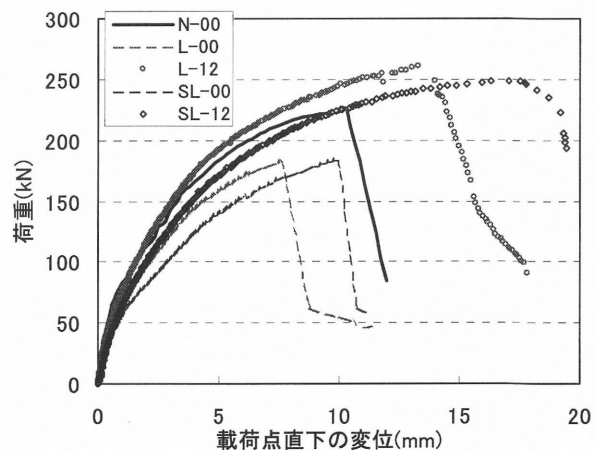


図-5 荷重-変位関係

#### 3. 4 押抜きせん断耐力の評価

##### (1) コンクリート標準示方書式<sup>5)</sup>

示方書に規定される押抜きせん断耐力式(1)は、統計学的解析を施した角田式を基としている。軽量コンクリートの場合、引張強度、付着力および支圧特

性値は普通コンクリートの値の70%としてよいと示されている。

$$P = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f'_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad (1)$$

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

$$\beta_d = \sqrt[3]{l/d} \quad (\text{d:m}) \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする.}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする.}$$

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

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度

$u$  : 載荷面の周長

$u_p$  : 設計断面の周長, 載荷面から  $d/2$  離れた位置で算定する.

$d$  : 有効高さで, 2軸方向の鉄筋に対する平均値とする.

$p$  : 鉄筋比で, 2軸方向の鉄筋に対する平均値とする.

$\gamma_b$  : 安全係数. 一般に 1.3 を用いる. (後述の算定では 1.0 とした.)

### (2) 松井式<sup>16)</sup>

松井氏らが提案した松井式(2)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.

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

$a, b$  : 載荷板の主鉄筋方向, 配力鉄筋方向の辺長 (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深さ (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, 引張応力度 ( $\text{kg/cm}^2$ )

$$\tau_{s,\max} = 0.252 \sigma_{ck} - 0.000256 \sigma_{ck}^2 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3)$$

$$\sigma_{t,\max} = 0.583 (\sigma_{ck})^{2/3} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (4)$$

### (3) 東山式<sup>17)</sup>

東山氏らが提案した押抜きせん断耐力評価式を式(5)に示す. この式は, 松井式を基にコンクリートの特性を変化させた場合の押抜きせん断耐力評価式を提案したもので, 試験より得られた低減係数を松井式に乘じるものである.

$$P = \alpha_{cv} \cdot f_{cv} \{2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m\} + \alpha_i \cdot f_i \{2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a + 2d_m)C_d\} \quad (5)$$

・普通コンクリート場合

低減係数は  $\alpha_{cv}=1.000, \alpha_i=1.000$  である.

$$f_{cv} = 0.656 f_c^{10.606} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (6)$$

$$f_i = 0.269 f_c^{10.667} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (7)$$

・N-0



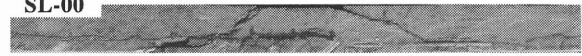
L-00



L-12



SL-00



SL-12



図-6 試験体中央のせん断破壊断面状況

表-5 試験値および計算値

試験体	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	実験値 (kN)	実験値の平均 (kN)	示方書式 (kN)	松井式 (kN)	東山式 (kN)	提案式 (kN)
N-00	36.3	215	219	134	215	214	201
		223					
L-00	30.8	190	186	86.6	-	144	-
		182					
L-12	41.8	244	249	101	-	219	-
		254					
SL-00	22.6	174	179	74.2	-	-	130
		184					
SL-12	35.2	226	237	92.6	-	-	247
		248					

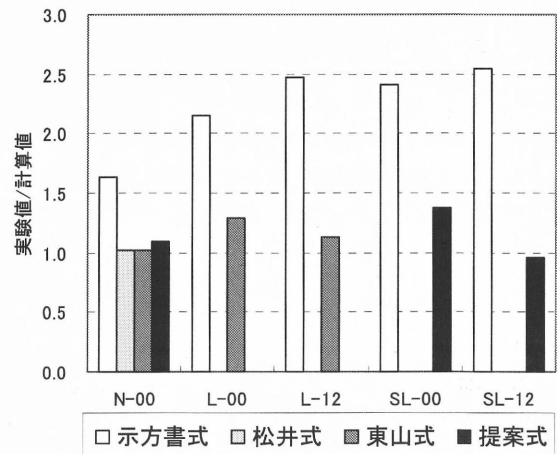


図-7 試験値と計算値の比較

・軽量1種コンクリート場合

低減係数は  $\alpha_{cv}=0.785, \alpha_i=0.703$  である.

$$f_{cv} = 0.528 f_c^{10.602} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (8)$$

$$f_i = 0.522 f_c^{10.447} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (9)$$

・鋼繊維補強された軽量1種コンクリート場合

低減係数は  $\alpha_{cv}=0.785, \alpha_i=0.703$  である.

$$f_{cv} = 0.618 f_c^{10.676} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (10)$$

$$f_i = 0.632 f_c^{10.405} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (11)$$

### (4) 提案式

本研究では表-2に示す強度評価式を松井式の第1, 第2項の  $\tau_{s,\max}, \sigma_{t,\max}$  に代入し, 軽量2種コンクリート床版の押抜きせん断耐力を評価した.

表-5に試験値および各評価式で算定した押抜きせん断耐力を示す. 図-7に試験値と各評価式の比を示す.

示方書式は、コンクリート種類、鋼繊維混入率の変化に関わらず、試験値 (L-00, L-12, SL-00, SL-12) に対して 2.1~2.6 倍と過小評価することがわかる。これは、軽量コンクリートを用いた場合に一律の低減係数 70%を用いることに起因している。

一方、東山式は試験値に対して、L-00 は 1.3 倍、L-12 は 1.1 倍となり、示方書式と比べて相対的に精度よく評価しているものの、わずかに過小評価することがわかる。これは、東山式は式(8)~(11)の材料強度式を用いており、本試験と東山らの試験では軽量骨材および繊維の種類、繊維混入率が異なるためであり、個々の材料特性を適切に反映した材料強度式の確立が必要となる。

最後に、本提案式による評価は N-00 と SL-12 をそれぞれ 1.09 倍、0.96 倍と精度よく評価しているが、SL-00 は 1.38 倍と過小評価している。これは本研究で提案したせん断-圧縮材料強度評価式の適用範囲は、コンクリート圧縮強度が  $32.5\text{N/mm}^2\sim 45.3\text{N/mm}^2$  であったのに対し、SL-00 の圧縮強度は  $22.6\text{N/mm}^2$  であり、本試験については適用外であったためと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 材料試験により、軽量 2 種コンクリートを鋼繊維補強することにより、引張、曲げ、せん断強度は、それぞれ 1.41 倍、1.53 倍、1.59 倍と増大することがわかった。また、普通コンクリートに対しても、それぞれ 1.10、1.16、0.94 倍の強度を有し、普通コンクリートと同等の強度があることがわかった。
- (2) 鋼繊維 1.2%混入により、軽量 1、2 種 RC 床版の押抜きせん断耐力は、それぞれ 1.34 倍、1.32 倍に増大し、高い変形性能を有することがわかった。
- (3) 既存の押抜きせん断耐力評価式は、軽量 2 種 RC 床版に対しても一定範囲内で安全側に評価できる。
- (4) 鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートの材料強度評価式を用いることにより、鋼繊維補強された軽量 2 種 RC 床版の押抜きせん断耐力を精度よく評価できた。しかし、繊維無補強軽量 2 種コンクリート床版の押抜きせん断耐力評価は、提案式の適用範囲外であるため評価できないが、今後さらに材料強度データを蓄積する必要がある。

#### 謝辞

太平洋マテリアル株式会社に、軽量骨材他を提供して頂きました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 港湾空港技術研究所資料：短繊維混入によるコンクリート構造物の力学性能改善効果の定量評価，No.1071，2004
- 2) 伊藤始，横田弘，岩波光保：短繊維補強コンクリートの港湾構造物への適用性評価に関する研究，港湾空港技術研究所報告，第 44 巻，第 3 号，2005
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 施工編，2005
- 4) 山口浩平ほか：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，pp.1489-1494，2006.7
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，2002
- 6) 土木学会：鋼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50，1983
- 7) 新屋孝文ほか：超軽量コンクリートを用いた鋼・コンクリート合成部材の力学特性，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.52-53，2000
- 8) 日野伸一ほか：短繊維補強された超軽量コンクリートを用いた鋼合成はりの曲げせん断性状に関する試験的研究，構造工学論文集，Vol.48A，pp.1399-1408，2002
- 9) 福井圭太ほか：短繊維補強した超軽量コンクリート RC はりのせん断特性，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.498-499，2004
- 10) 竹林知樹ほか：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，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.27-28，2005
- 11) 郭勝華ほか：鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリート版の押抜きせん断耐力の評価，土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集，5-570，pp.1139-1140，2007.9
- 12) 人工軽量骨材協会：人工軽量骨材協会技術資料 No.12，pp.1-2，1997.3
- 13) 土木学会：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，2002
- 14) 土木学会：コンクリート標準示方書 規準編，2005
- 15) 東山浩士ほか：PC 床版の押抜きせん断耐荷力算定式に関する検討，構造工学論文集，Vol.47A，pp.1347-1354，2001
- 16) 前田幸雄ほか：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
- 17) 東山浩士ほか：軽量コンクリートを用いた RC 床版の押抜きせん断耐荷力の評価とその実用性に関する研究，コンクリート工学論文集，第 16 巻，第 1 号，pp.45-54，2005