

# 鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC 版の押抜きせん断耐力評価

九州大学大学院 学生会員 梶原秀夫 園田崇智 崔智宣  
九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一 正会員 山口浩平 柴田博之

## 1. 目的

軽量コンクリートは骨材自体の強度が小さいため、普通コンクリート(以下、N)と比較して一部の力学特性が劣るが、鋼繊維等の短繊維の補強により耐力の向上が期待される。しかし、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート(細骨材および粗骨材ともに人工軽量骨材) RC 版の押抜きせん断耐力の評価については殆ど報告がされていない。そこで本研究では、コンクリート種類および鋼繊維混入率をパラメータとした押抜きせん断試験を行い、鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC 版の押抜きせん断耐力の評価式を提案した。

## 2. 押抜きせん断試験

### 2.1 試験概要

表 - 1 に使用材料を示す。試験体は、表 - 2 に示すようにコンクリート種類を N および軽量 2 種コンクリート(以下、SL)とした。また、各コンクリートに鋼繊維を体積比で 0% および 1.2% 混入した 4 タイプを各 3 体作製して計 12 体とした。同表には各コンクリートの材料特性値も示している。なお、各強度試験は最少試験体数を 3 体とした。図 - 1 は試験体概略図を示す。有効高さは 75mm とした。荷重方法は試験体の支間長を 1000mm とした 4 辺単純支持とし、試験体中央に 150 × 150 × 50mm の荷重版を設置して漸増荷重を行った。

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:3.890cm <sup>2</sup> /g
普通骨材	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
	粗骨材 普通G	表乾密度:2.90t/m <sup>3</sup> 吸水率:1.92%
人工軽量骨材	細骨材 軽量S	絶乾密度:1.68t/m <sup>3</sup> 24時間吸水率:9.8%
	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	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 試験体諸元

Type	コンクリート種類	鋼繊維混入率 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強度 (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	0	30.3	3.08	2.59	21.9
N-12		1.2	38.6	5.09	4.52	30.7
SL-00	軽量2種	0	42.0	3.65	2.66	14.9
SL-12		1.2	41.3	4.89	3.94	15.6

## 2.2 結果および考察

荷重と載荷面直下のたわみ関係を図 - 2 に示す。繊維無補強の N および SL は最大耐力に達すると同時にせん断破壊により急激に耐力が低下している。一方、鋼繊維を補強した場合、無補強と比較して約 25% の最大耐力の向上が見られた。また、急激な耐力の低下はなく、鋼繊維補強による靱性の向上が見られた。

## 3. 押抜きせん断耐力の評価

### 3.1 既往研究による評価

コンクリート標準示方書式<sup>1)</sup>(以下、示方書式、式(1))では、軽量コンクリートの押抜きせん断耐力を算定する際の引張強度、付着力および支圧特性値は普通コンクリートの値の 70% と規定している。

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

$$f'_{pcd} = 0.20 f'_{cd}{}^{1/2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ ただし, } f'_{pcd} \leq 1.2 \text{ N/mm}^2$$

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

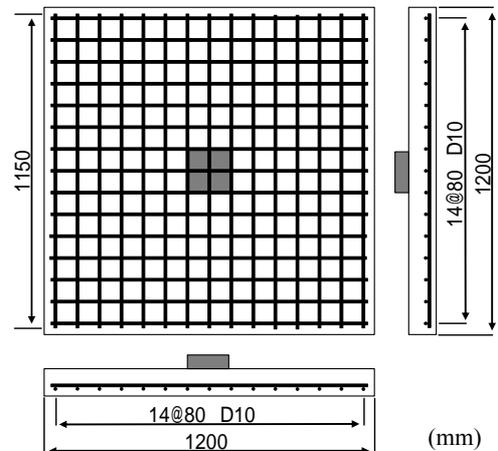


図 - 1 試験体概略図

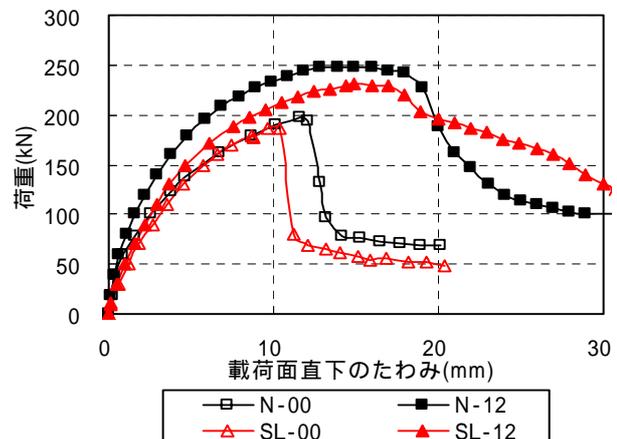


図 - 2 荷重 - たわみ関係

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

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

$u$  : 載荷面の周長(mm)

$u_p$  : 載荷面から  $d/2$  離れた位置の設計断面の周長(mm)

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$p$  : 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(mm)

$\gamma_b$  : 安全係数, 一般に 1.3(本研究では 1.0 とした)

また, 松井ら<sup>2)</sup>は床版の押抜きせん断破壊状況から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, 普通コンクリートを対象とした評価式を提案している. 以下に松井式(2)を示す .

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

$a, b$  : 載荷板の主鉄筋方向, 配力鉄筋方向の辺長(cm)

$x_m, x_d$  : 主鉄筋及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)

$\tau_{s,max}, \sigma_{t,max}$  : コンクリート最大せん断, 引張応力(kg/cm<sup>2</sup>)

ここで,  $\tau_{s,max}, \sigma_{t,max}$  は式(3), (4)に示す伊東, 岡村の実験式より算定する .

$$\tau_{s,max}=0.252\sigma_{ck}-0.000246\sigma_{ck}^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3)$$

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

$\sigma_{ck}$  : コンクリート圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

### 3.2 提案式による評価

軽量 2 種コンクリートの使用および鋼繊維補強する場合には各々の材料特性を適切に反映した評価式の確立が必要となる. 本研究では式(2)に示す松井式を基にして,  $\tau_{s,max}, \sigma_{t,max}$  に著者らが提案した鋼繊維混入率を考慮した式(5)~式(8)に示す強度評価式<sup>3)</sup>を用いて算定を行った. 表-3 に強度試験から得られた実験値と強度評価式による計算値の比を示すが, 引張強度は 0.96~1.12 と, 概ね評価できているが, せん断強度は N-00 および N-12 は危険側に評価している. これは, 強度評価式に用いたデータ数が少ないためと考えられ, さらにデータを増やして検証する必要がある .

(a)普通コンクリートの場合

$$\tau_{s,max}=(0.161V_{sf}+0.426)f'_c{}^{2/3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5)$$

$$\sigma_{t,max}=(0.071V_{sf}+0.267)f'_c{}^{2/3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (6)$$

(b)軽量 2 種コンクリートの場合

$$\tau_{s,max}=(0.128V_{sf}+0.307)f'_c{}^{2/3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (7)$$

$$\sigma_{t,max}=(0.118V_{sf}+0.203)f'_c{}^{2/3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (8)$$

$V_{sf}$  : 鋼繊維混入率(%)

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

各タイプの押抜きせん断耐力を示方書式, 松井式, 提案式を用いて算定した結果を表-4 に示す. まず, 示方

表 - 3 強度評価式による引張強度およびせん断強度

Type	実験値(N/mm <sup>2</sup> )		強度評価式による計算値(N/mm <sup>2</sup> )		実験値/計算値	
	$\tau_{s,max}$	$\sigma_{t,max}$	$\tau_{s,max}$	$\sigma_{t,max}$	$\tau_{s,max}$	$\sigma_{t,max}$
N-00	3.08	2.59	4.14	2.60	0.74	1.00
N-12	5.09	4.52	7.07	4.02	0.72	1.12
SL-00	3.65	2.66	3.71	2.45	0.98	1.09
SL-12	4.89	3.94	5.50	4.12	0.89	0.96

表 - 4 各算定式による押抜きせん断耐力の評価

Type	実験値 (kN)	計算値			実験値/示方書式	実験値/松井式	実験値/提案式	
		示方書式 (kN)	松井式 (kN)	提案式 (kN)				
N-00	1	189	148	218	189	1.31	0.89	1.03
	2	197						
	3	195						
	平均	194						
N-12	1	248	161	-	283	1.51	-	0.86
	2	229						
	3	251						
	平均	243						
SL-00	1	187	113	-	192	1.63	-	0.96
	2	193						
	3	171						
	平均	184						
SL-12	1	232	113	-	298	2.05	-	0.78
	2	231						
	3	233						
	平均	232						

書式による評価は, 1.31~2.05 と過大に安全側であり, 適切に評価できていないことがわかる. また, 松井式は 1 割程度危険側に評価している. 提案式による評価は, 繊維無補強の N-00 および SL-00 は概ね評価ができていると考えられる. 一方で 鋼繊維補強の N-12 および SL-12 は危険側に評価している. この要因として, 本研究においては繊維の引張応力負担による中立軸位置の変化を考慮していないこと, 繊維補強による押抜きせん断破壊面の角度の変化等が考えられ, 今後の検討が必要である .

### 4. まとめ

本研究では松井式を基に著者らが提案した強度評価式を用いて軽量化および繊維補強効果を考慮した RC 版の押し抜きせん断耐力式を提案した. 提案式による押抜きせん断耐力の評価は, 繊維無補強は概ね評価できているものの, 繊維補強した場合, 2 割程度危険側に評価する結果となった. この要因として, 繊維補強時の中立軸の位置や押し抜きせん断破壊面の角度等が明らかになっていないことが挙げられる. 今後, 強度評価式の精度向上も含め, 検討していく予定である .

### 参考文献

- 1)土木学会:コンクリート標準示方書 構造性能照査編,2002
- 2)前田幸雄,松井繁之:鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐力の評価式,土木学会論文集,第 348/V-1,pp.113-141,1984.8
- 3)山口浩平,日野伸一,園田崇智,崔智宣: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 版の押し抜きせん断耐力評価,コンクリート工学年次論文集,31 巻,2 号,pp.1321-1326,2009 年