

# 論文 PVA 短繊維混入による軽量コンクリート製 RC 版の押し抜きせん断耐力向上効果

岸 徳光<sup>\*1</sup>・三上 浩<sup>\*2</sup>・竹本 伸一<sup>\*3</sup>・栗橋 祐介<sup>\*4</sup>

**要旨:** ポリビニルアルコール (PVA) 短繊維混入による軽量コンクリート製 RC 版の押し抜きせん断耐力向上効果を検討することを目的に、短繊維混入率を 3 種類に変化させた軽量コンクリート製 RC 版の静載荷実験を行った。また、普通コンクリート製 RC 版についても同様の実験を行い、軽量コンクリート製 RC 版の押し抜きせん断耐力を普通コンクリート製 RC 版と同程度に改善するために必要な短繊維混入率について検討した。その結果、軽量コンクリート製 RC 版への短繊維混入率を 1.0 % 程度とすることにより、普通コンクリート製 RC 版以上の押し抜きせん断耐力が期待できることなどが明らかになった。

**キーワード:** PVA 短繊維, 軽量コンクリート, RC 版, 押し抜きせん断耐力

## 1. はじめに

近年、軽量骨材の高品質化やコンクリート用混和剤の高性能化に伴い、軽量コンクリートの構造部材への適用が積極的に進められている<sup>1)</sup>。しかしながら、軽量コンクリートの引張強度やせん断耐力は、普通コンクリートのそれよりも小さく、斜めひび割れや鉄筋に沿った付着割れひび割れを生じやすい。そのため、土木学会コンクリート標準示方書（以後、示方書）では、鉄筋コンクリート (RC) 棒部材のせん断耐力のコンクリート分担分  $V_{cd}$  を普通コンクリートの場合の 70 % に低減することを規定している<sup>2)</sup>。

著者らは、これまで軽量コンクリート製 RC 梁（以後、軽量 RC 梁）のせん断耐荷性能の改善を目的に、PVA 短繊維を混入した軽量 RC 梁の静的および衝撃載荷実験を実施してきた<sup>3)</sup>。その結果、PVA 短繊維を混入することにより軽量 RC 梁のせん断耐力は大幅に向上し、その効果は普通コンクリート製 RC 梁に適用する場合よりも大きいことなどを明らかにしている。従って、版部材のように押し抜きせん断破壊が卓越する部材に対しても、PVA 短繊維混入による耐

力向上効果が期待できるものと考えられる。

このような観点より、本研究では、PVA 短繊維混入による軽量コンクリート製 RC 版（以後、軽量 RC 版）の押し抜きせん断耐力向上効果の検討を目的に、PVA 短繊維を混入した軽量 RC 版の静載荷実験を実施した。また、普通コンクリート製 RC 版（以後、普通 RC 版）についても同様の実験を行い、軽量 RC 版との耐力比較を行うとともに、軽量 RC 版の押し抜きせん断耐力を普通 RC 版と同程度に改善するために必要な短繊維混入率について検討を行った。

## 2. 実験概要

**表-1** には、各コンクリートの配合および材料試験結果の一覧を示している。試験体数は、普通 RC 版、および短繊維混入率  $V_f$  を 3 種類 ( $V_f = 0, 0.5, 1.0 \%$ ) に変化させた軽量 RC 版の全 4 体である。試験体名の第 1 項目は、コンクリートの種類 (N: 普通, L: 軽量)、第 2 項目は短繊維混入率  $V_f$  (%) を示している。各コンクリートの配合は短繊維混入後も材料分離がなく、かつ十分に打設可能なスランプを有し、また圧縮強度

\*1 室蘭工業大学 建設システム工学科教授 工博 (正会員)

\*2 三井住友建設 (株) 技術研究所 主席研究員 博 (工) (正会員)

\*3 ドーピー建設工業 (株) 北海道本店 統括部長 博 (工) (正会員)

\*4 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ 研究員 博 (工) (正会員)

表-1 試験体名、コンクリートの配合および圧縮強度の一覧

試験体名	コンクリートの種類	短繊維混入率 $V_f$ (%)	W/C (%)	s/a (%)	単体量 ( $\text{kg/m}^3$ )				混和剤 ( $\text{kg/m}^3$ )		スランプ (cm)	圧縮強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)	割裂引張強度 (MPa)
					W	C	S	G	AE剤	高性能減水剤				
N-0	普通	0	50	45	171	342	808	994	0.075	0	19.0	40.1	23.7	3.33
L-0	軽量	0	55	46	152	276	869	529	0	1.10	6.0	35.7	19.7	2.80
L-0.5		0.5	53	49	165	314	884	486	0	1.26	6.5	38.9	20.1	-
L-1.0		1.0	43	49	170	393	848	463	0	1.97	7.0	38.9	20.4	-

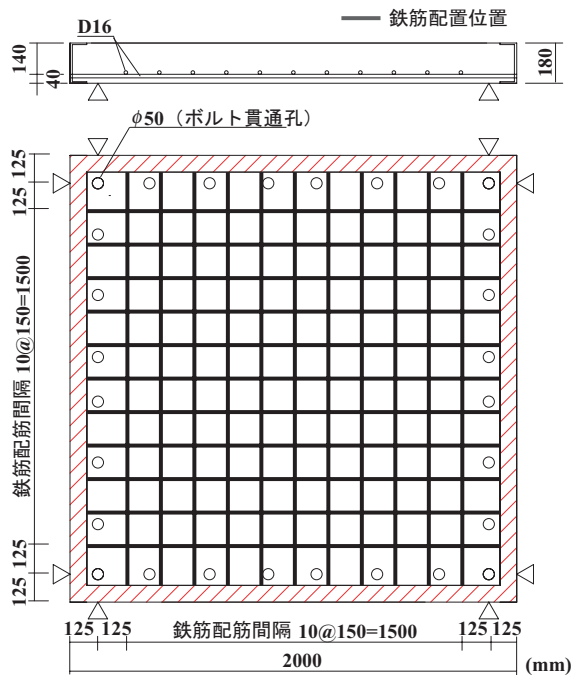


図-1 試験体の形状寸法および配筋状況

が同程度となるように決定した。なお、本実験に用いた軽量骨材は、比重 1.2、24 時間吸水率が 9 ~ 11 %、圧壊荷重が 1 kN 以上の焼成人工軽量骨材である。表-1 より、各コンクリートの圧縮強度は 35 ~ 40 MPa 程度である。また、引張強度に関しては割裂引張試験結果を用いることとし、N/L-0 試験体についてのみ示している。これは、短繊維を混入する場合にはその架橋効果により短繊維を混入しない場合とは異なった性状を示すため、同一尺度での比較が困難であると判断したためである。なお、N/L-0 試験体の引張強度は示方書式<sup>2)</sup> から得られる値よりも大きい、L-0 試験体の比率が N-0 試験体よりも小さいことを確認している。

表-2 PVA 短繊維の寸法および材料特性値

直径 (mm)	長さ (mm)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	破断ひずみ (%)
0.66	30	29.4	0.88	7.0

図-1 には、本実験に用いた RC 版の形状寸法および配筋状況を示している。RC 版の寸法は 2,000 × 2,000 × 180 mm であり、主鉄筋には SD345-D16 を用い、版中央部より 150 mm 間隔で下端のみに格子状に配置した。これらの鉄筋は RC 版の四辺に配置した溝型鋼に溶接し、定着を確保することとしている。なお、鉄筋の降伏強度は 380 MPa であった。

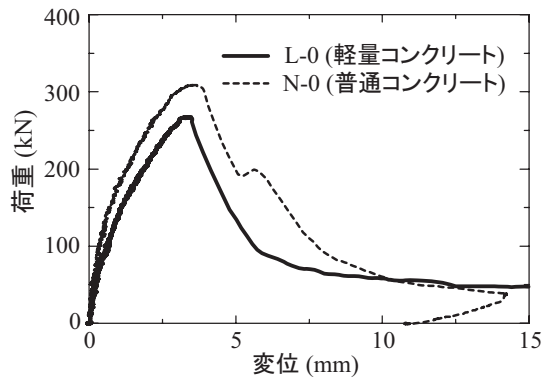
RC 版の支持条件は、純スパン長 1.75 m の四辺支持とし、四辺、四隅で RC 版の浮き上がりを拘束している。なお、載荷治具には直径 60 mm の鋼製円柱を用い、載荷点は版の中央部に限定した。載荷は RC 版が押し抜きせん断破壊に至り、荷重が十分に低下するまでとした。

表-2 には、PVA 短繊維の材料特性値一覧を示している。本実験における測定項目は、載荷荷重 (以後、荷重  $P$ )、版中央部変位 (以後、変位  $\delta$ ) である。また、実験終了後には版の底面を観察した後、版を中心線に沿って切断し押し抜きせん断面を観察した。

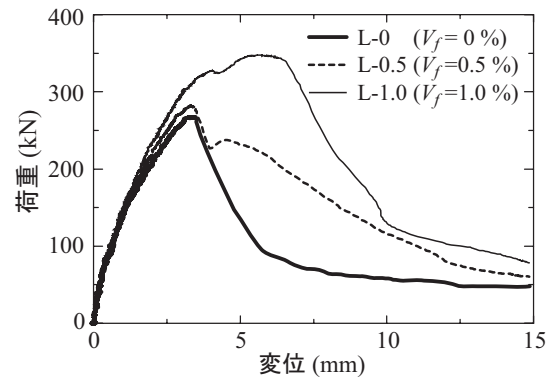
### 3. 実験結果

#### 3.1 荷重-変位関係

図-2 には、各試験体の荷重-変位関係を、(a)



(a) コンクリート種類の影響



(b) 短繊維混入率の影響

図-2 各試験体の荷重-変位曲線

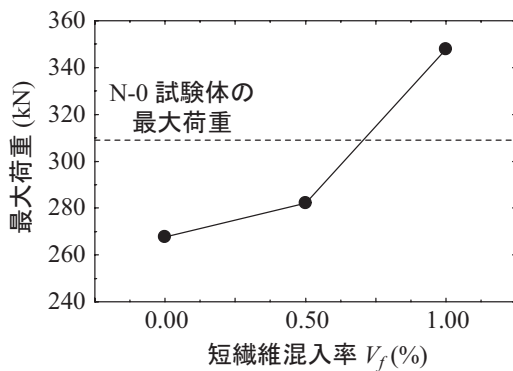


図-3 最大荷重と短繊維混入率との関係

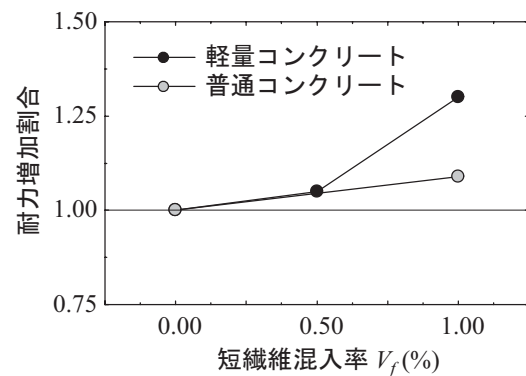


図-4 耐力増加割合と短繊維混入率との関係

コンクリート種類の影響、(b) 短繊維混入率の影響、について比較して示している。図-2(a)より、短繊維を混入しない RC 版の場合には、コンクリートの種類にかかわらず最大荷重到達後、荷重が急激に低下していることから、押し抜きせん断破壊により終局に至っていることが分かる。また、軽量コンクリートを用いる場合には、普通コンクリートを用いる場合よりも剛性勾配が小さく押し抜きせん断耐力も小さいことが分かる。

図-2(b)より、短繊維混入率が  $V_f = 0.5\%$  である L-0.5 試験体の場合には、最大荷重が増加しているものの、その増加割合は小さいことが分かる。しかしながら、最大荷重到達後において、除荷状態に至った後再度載荷状態の傾向を示し、その後緩やかに除荷する性状を示している。これは、短繊維の架橋効果により、押し抜きせん断ひび割れ発生後における脆性的な破壊が抑制されたことを示している。

短繊維混入率が  $V_f = 1.0\%$  である L-1.0 試験体の場合には、L-0.5 試験体の最大荷重値を上回った後、 $P = 325\text{ kN}$  程度において剛性勾配が低下し、 $P = 360\text{ kN}$  程度で終局に至っている。これは、剛性勾配の変化点において押し抜きせん断ひび割れが発生するものの、短繊維の架橋効果により大きな開口には至らず、さらに荷重が増加したことによるものと考えられる。

以上のことより、短繊維の混入により軽量 RC 版の押し抜きせん断耐力が向上するとともに、押し抜きせん断ひび割れ発生後における脆性的な破壊が抑制されることが明らかになった。また、これらの効果は短繊維混入率が高い場合ほど顕著であることが明らかになった。

### 3.2 最大荷重と短繊維混入率 $V_f$ との関係

図-3には、軽量 RC 版の最大荷重と短繊維混入率  $V_f$  との関係を示している。図中には N-0 試験体の最大荷重を破線で示している。図より、短繊維混入率の増大とともに軽量 RC 版の最大

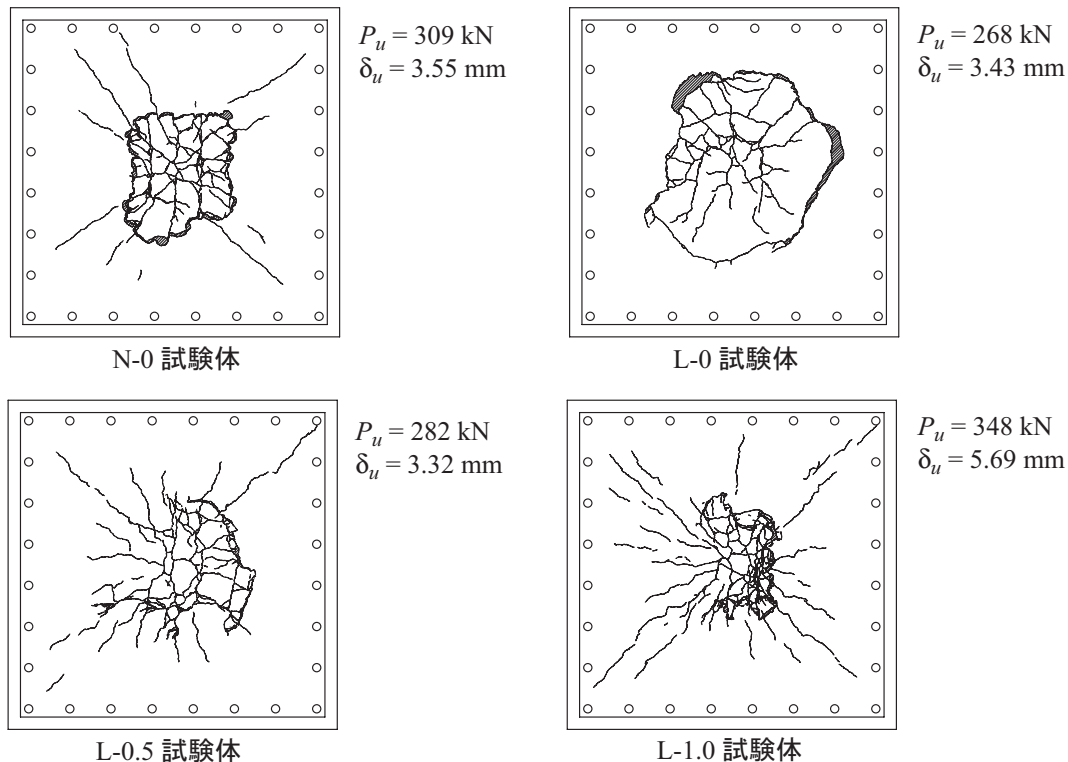


図-5 版裏面のひび割れ状況

荷重が増加していることが分かる。また、短繊維混入率が  $V_f = 1.0\%$  の場合には、N-0 試験体の最大荷重を大きく上回っている。なお、上述のように N-0 試験体の圧縮強度は L-0 試験体のそれよりも大きいことから、同等の圧縮強度を想定すると、軽量コンクリートに短繊維を  $V_f = 1.0\%$  混入することによって、普通 RC 版以上の押し抜きせん断耐力が期待できるものと考えられる。以上より、本実験では、 $V_f = 1.0\%$  とすることによって軽量 RC 版の押し抜きせん断耐力を普通 RC 版以上に改善可能であることが明らかになった。

図-4 には、短繊維混入による押し抜きせん断耐力の増加割合 (以後、耐力増加割合) と短繊維混入率  $V_f$  との関係を示している。図中、同一形状寸法および鉄筋量の普通 RC 版に関する実験結果<sup>4)</sup> も併せて示している。図より、 $V_f = 1.0\%$  の場合における短繊維混入による耐力向上効果は、軽量 RC 版が普通 RC 版よりも効率的に発揮されていることが分かる。これは、短繊維を混入しない場合において、軽量 RC 版の押し抜きせん断耐力が普通 RC 版に比較して小さい

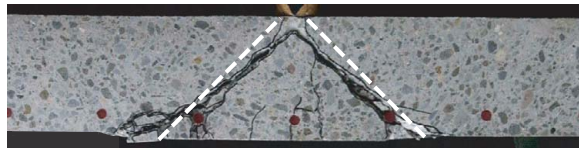
ため、短繊維の架橋効果による耐力改善効果がより効率的に発揮されるためと考えられる。このような傾向は、軽量 RC 梁の場合<sup>3)</sup> においても確認されている。

### 3.3 破壊性状

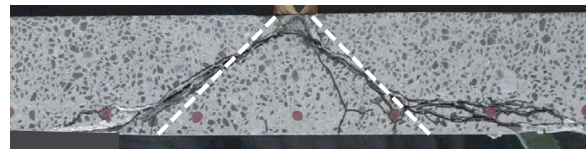
図-5 には、実験終了後における裏面のひび割れ分布を示している。図より、短繊維を混入していない N/L-0 試験体には、ほぼ円形状のひび割れ分布になっていることが分かる。また、その内側では、曲げひび割れと放射状のひび割れが混在した亀甲状のひび割れ分布となっている。なお、円形状のひび割れの半径は L-0 試験体が N-0 試験体より大きい。これは、L-0 試験体のコンクリートの引張強度や耐力が N-0 試験体より小さいことにより、L-0 試験体において押し抜きせん断ひび割れが下端鉄筋に沿う割裂ひび割れに進展する傾向を示すためと推察される。

短繊維を混入した L-0.5/1.0 試験体の場合には、L-0 試験体よりもひび割れが密に発生している。また、短繊維混入率が大きい場合ほど、押し抜きせん断破壊に伴う円形状のひび割れの半径が小さく、放射状のひび割れが卓越して発

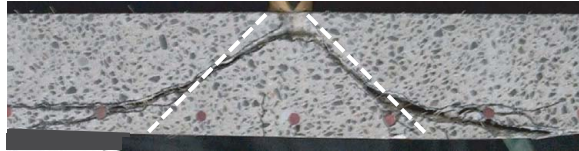




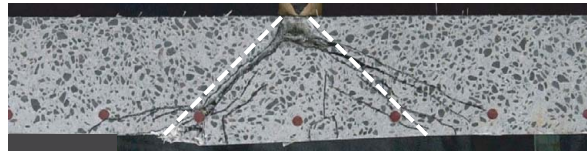
N-0 試験体



L-0 試験体



L-0.5 試験体



L-1.0 試験体

写真-1 荷点近傍における版切断面のひび割れ状況

生する傾向にあることが分かる。これは、短繊維の混入によってRC版の剛性や押し抜きせん断耐力が増大したことによるものと考えられる。

写真-1には、実験終了後のRC版中央部切断面のひび割れ分布状況を示している。なお、白破線は45度勾配を示している。写真より、有効高さ部に発生しているひび割れの角度は、左右の平均でほぼ45度程度であることが分かる。

一方、かぶり部のひび割れ角度は、L-0/0.5試験体がN-0やL-1.0試験体に比べて緩く、ひび割れが支点側に進展していることが分かる。なお、L-0/0.5試験体の場合には、実験時に最大荷重到達後の荷重が急激に低下した後に裏面のひび割れが顕在化したことを確認している。このことより、L-0/0.5試験体の場合には、N-0試験体よりもコンクリートの引張強度や耐力が低く、かつ短繊維混入率 $V_f = 1.0\%$ の場合に比して引張靱性能が小さいため、有効高さ部に発生した押し抜きせん断ひび割れが下端鉄筋に沿った割裂ひび割れに進展したのと考えられる。

また、短繊維混入率 $V_f$ が最も多いL-1.0試験体の場合には、スパン右側において間隔の小さい斜めひび割れが多数発生している。これは、短繊維の架橋効果により、ひび割れが分散して発生したことによるものと考えられる。

### 3.4 押し抜きせん断耐力の試算

RC梁のせん断耐力は、一軸引張試験から得られる短繊維混入コンクリートの残存引張強度を用いることにより比較的精度良く推定できる

ことが報告されている<sup>5)</sup>。これは、せん断ひび割れを交叉する短繊維が作用せん断力に抵抗するとの考え方に基づくものである。本節では、このような考え方をRC版にも適用し、下式により押し抜きせん断耐力の短繊維分担分 $V_{pf}$ を試算することとした。

$$V_{pf} = f_v \times u_p \times d \quad (1)$$

$$u_p = 2 \times \pi \times (r + d/2) \quad (2)$$

ここに、 $f_v$ ：残存引張強度、 $u_p$ ：設計断面の周長（荷点面から $d/2$ 離れた位置で算定）、 $d$ ：RC版の有効高さ、 $r$ ：荷点版の半径、である。なお、軽量コンクリートに短繊維を混入した場合の一軸引張試験を実施していないため、ここではその残存引張強度が普通コンクリートに短繊維を混入した場合と同程度であるものと仮定し、文献5)に基づいて $V_{pf}$ を試算した。

表-3には、軽量RC版の押し抜きせん断耐力に関する実験結果と計算結果の一覧を示している。なお、計算結果は部材係数を1.0として、1) L-0試験体の実測耐力に上述の $V_{pf}$ を加算する場合と、2) 示方書<sup>2)</sup>に基づいて求めた押し抜きせん断耐力 $V_{pc}$ に0.7を乗じた値 $0.7V_{pc}$ に $V_{pf}$ を加算する場合、について示している。また、L-0試験体に関しては、 $V_{uc}$ を $V_{pc}$ および $0.7V_{pc}$ とした場合の計算結果である。ここで、N-0試験体に関する実測耐力 $V_{ue}$ および計算せん断耐力 $V_{uc}$ は、部材係数を1.0とするとそれぞれ309 kN、300 kNとなり、本実験における計算せん断

表-3 実験結果と計算結果の一覧

試験体名	短繊維混入率 $V_f$ (%)	実測耐力 $V_{ue}$ (kN)	L-0 試験体に対する耐力増分 (kN)	コンクリートの残存引張強度 $f_v$ (MPa)	計算せん断耐力の短繊維分担分 $V_{pf}$ (kN)	計算せん断耐力 $V_{uc}$	$V_{ue}/V_{uc}$
L-0	0	268	-	-	-	300 (210)	0.89 (1.27)
L-0.5	0.5	282	14	0.36	31.7	299* (239)*	0.94* (1.18)*
L-1.0	1.0	348	80	0.66	58.1	326* (265)*	1.07* (1.31)*

\*上段：L-0 試験体の実測最大荷重と  $V_{pf}$  を加算した場合 ( $V_{uc} = V_{ue(L-0)} + V_{pf}$ )

下段：示方書による  $V_{pc}$  に 0.7 を乗じて  $V_{pf}$  を加算した場合 ( $V_{uc} = 0.7 V_{pc} + V_{pf}$ )

耐力の安全率は 1.03 程度と小さい。一方、L-0 試験体の場合には、表-3 より 1.27 程度の安全率が確保されていることが分かる。

短繊維を混入した場合において、L-0 試験体の実測耐力に  $V_{pf}$  を加算した場合の計算結果は、実験結果と 10% 以下の誤差でほぼ対応していることが分かる。一方、示方書による計算値を用いる場合の結果は、特に V-1.0 試験体において 30% 以上の安全余裕度を持って評価していることが分かる。

従って、短繊維混入軽量 RC 版の押し抜きせん断耐力は、コンクリートの残存引張強度を用いて大略推定できるものと考えられる。ただし、現状では試験体数が少ないため、設計法確立のためにはさらなる実験データの蓄積が必要であるものと判断される。

#### 4. まとめ

本研究では、PVA 短繊維混入による軽量コンクリート製 RC 版の押し抜きせん断耐力向上効果を検討することを目的に、短繊維混入率を変化させた軽量 RC 版の静載荷実験を実施した。また、普通コンクリート製 RC 版についても同様の実験を行い、軽量 RC 版の結果と比較検討を行った。本実験により得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- (1) PVA 短繊維の混入により、軽量 RC 版の押し抜きせん断耐力が向上するとともに、押し抜きせん断ひび割れ発生後における脆性

的な破壊も抑制される。

- (2) 軽量 RC 版への短繊維混入率を 1.0% とすることにより、普通 RC 版以上の押し抜きせん断耐力が期待できる。
- (3) PVA 短繊維混入コンクリートの残存引張強度を用いることにより、短繊維を混入した軽量 RC 版の押し抜きせん断耐力を大略推定可能である。

#### 参考文献

- 1) 佐々木敏也, 谷口俊一, 依田佐知子, 柳井修司: 東北新幹線沼宮内線への軽量コンクリートの適用, コンクリート工学, Vol.40, No.2, pp.47-55, 2002.2.
- 2) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 土木学会, 2002.
- 3) 三上 浩, 岸 徳光, 栗橋祐介, 竹本伸一: せん断破壊型軽量コンクリート製 RC 梁の耐衝撃性に及ぼす PVA 短繊維混入率の影響, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.1237-1242, 2006.
- 4) 栗橋祐介, 岸 徳光, 三上 浩, 田口史雄: PVA 短繊維混入による 4 辺支持 RC 版の耐衝撃性向上効果に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.1249-1260, 2006.
- 5) 田口史雄, 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: PVA 短繊維の架橋効果による RC 梁のせん断耐力向上効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.283-288, 2005.