

PVA 短繊維を混入した軽量コンクリート製 RC 版の押し抜きせん断耐荷性状

Punching shear behavior of light-weight RC slab mixed with PVA short-fiber

(独) 北海道開発土木研究所 ○正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
三井住友建設 (株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
ドーピー建設工業 (株) 正会員 竹本 伸一 (Shin-ich Takemoto)

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¹⁾。しかしながら、軽量コンクリートの引張強度は、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裂ひび割れを生じやすいことが知られている。そのため、土木学会コンクリート標準示方書では、軽量コンクリートを用いる場合には、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²⁾。

著者らは、これまで軽量コンクリート製 RC 梁のせん断耐荷性能の改善を目的に、ポリビニルアルコール (PVA) 短繊維を混入した軽量コンクリート製 RC 梁の静的および衝撃載荷実験を実施している³⁾。その結果、PVA 短繊維を混入することにより軽量コンクリート製 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、RC 版等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 短繊維の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した。

2. 実験概要

表-1 には、試験体名、各コンクリートの配合および

圧縮強度の一覧を示している。試験体数は、短繊維を混入していない普通 RC 版、および短繊維混入率 V_f を 3 種類 ($V_f = 0, 0.5, 1.0$ %) に変化した軽量 RC 版の全 4 体である。試験体名の第 1 項目は、用いたコンクリートの種類 (N : 普通コンクリート, L : 軽量コンクリート)、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、また各コンクリートの圧縮強度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、24 時間吸水率が 9 ~ 11 %, 圧壊荷重は 1 kN 以上の焼成人工軽量骨材である。

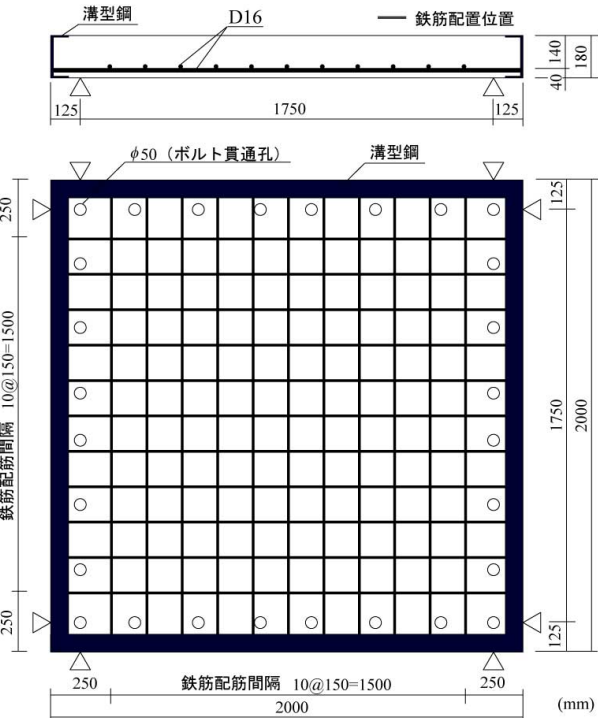
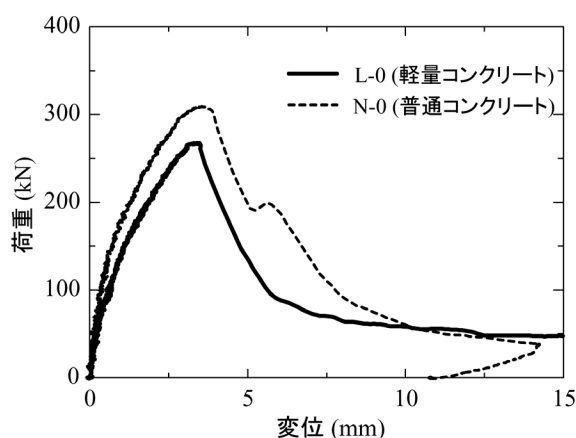


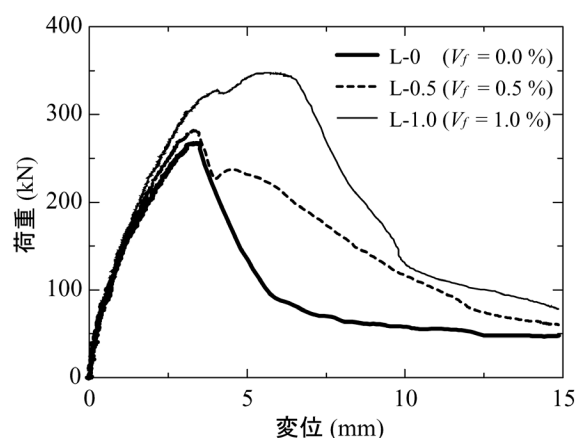
図-1 試験体の形状寸法および配筋状況

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 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (kg/m ³)		スランプ (cm)	圧縮強度 (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
L-0	軽量	0	55	46	152	276	869	529	0	1.10	6.0	35.7
L-0.5		0.5	53	49	165	314	884	486	0	1.26	6.5	38.9
L-1.0		1.0	43	49	170	393	848	463	0	1.97	7.0	38.9



(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

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 歪み (%)
0.66	30	29.4	0.88	7.0

表-1より、各コンクリートの圧縮強度は35～40 MPa程度であることが分かる。

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 である。鉄筋には 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 *,*** MPa であった。

RC 版の支持条件は、純スパン長 1.75 m の四辺支持とした。支点部は回転を許容し浮き上がりを拘束するピン支持に近い構造となっている。なお、載荷治具には直径 60 mm の鋼製円柱を用い、載荷点は RC 版の中央部とした。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 δ) であり、アンプ内蔵のメモリレコーダを用いて一括収録している。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) 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、コンクリートの種類にかかわらず、短繊維を混入しない場合には最大荷重到達後、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た場合には、普通コンク

リートを用いた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。これは、軽量コンクリートの引張強度が普通コンクリートの場合よりも小さいことによるものと考えられる。

図-2(b)より、短繊維混入率 $V_f = 0.5\%$ の L-0.5 試験体の場合は、短繊維混入による最大荷重の増分が 20 kN 程度と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は、荷重が低下した後再度若干増加して、その後緩やかに低下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 $V_f = 1.0\%$ の 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、 $P = 325$ kN 程度において剛性勾配が低下し、 $P = 360$ kN 程度で終局に至っていることが分かる。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、荷重がさらに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大き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。また、図中には普通コンクリートを用いた N-0 試験体の最大荷重値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 版の最大荷重が増加しており、短繊維混入率 $V_f = 1.0\%$ 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ことが分かる。従って、本実験においては、 $V_f = 1.0\%$ 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 版のレベル以上に改善可能であることが明らかになった。

図-4には、短繊維の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。また、著者らの既往の研究⁴⁾よ

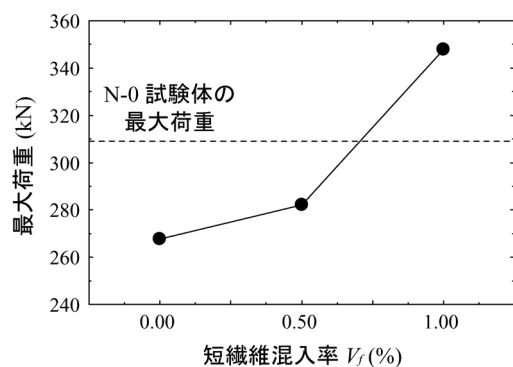


図-3 軽量 RC 版の最大荷重と短繊維混入率との関係

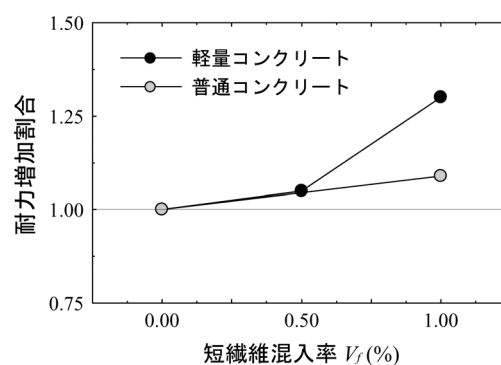
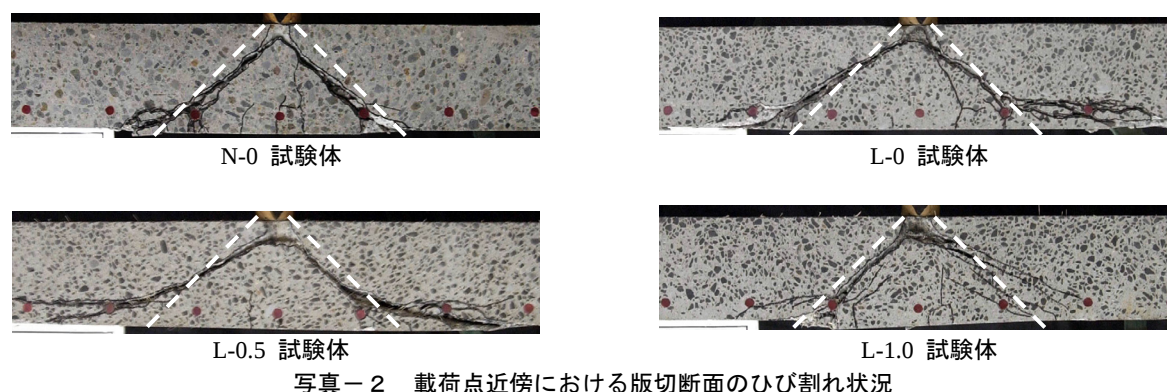
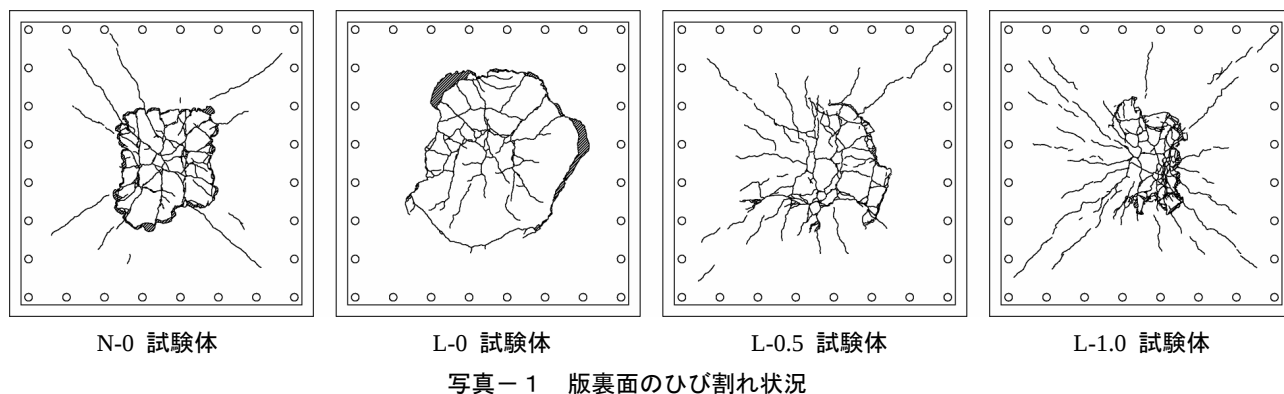


図-4 耐力増加割合と短繊維混入率との関係



り、同一形状寸法および鉄筋量の普通 RC 版の結果についても併せて示している。図より、軽量 RC 版の場合の方が、普通 RC 版の場合よりも、短繊維混入による耐力向上効果が効率的に発揮されていることが分かる。これは、軽量コンクリートは普通コンクリートに比較して圧縮強度に対する引張強度の比が小さいため、短繊維混入による引張性能の改善効果がより効率的に発揮されるためと考えられる。また、既往の研究³⁾より、このような傾向は軽量コンクリート製 RC 梁の場合においても同様であることが確認されている。

3.3 破壊性状

写真-1には、実験終了後における各 RC 版裏面のひび割れ状況を示している。写真より、短繊維の混入されていない N-0 および L-0 試験体の場合には、押し抜きせん断破壊に伴って円形状のひび割れが発生し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 試験体の方が大きい。これは、軽量 RC 版の場合には下端鉄筋に沿った割裂ひび割れが生じやすいためと考えられる。

短繊維を混入した L-0.5/1.0 試験体の場合には、L-0 試験体の場合よりもひび割れが密な間隔で発生している。また、短繊維混入率が高い場合ほど、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 版の剛性が増大したことに関連するものと考えられる。

写真-2には、実験終了後における各 RC 版中央部切断面のひび割れ状況を示している。なお、白色の破線は 45 度を示す線である。写真より、スパン右および左側で偏りがあるものの、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、かぶりコンクリート部のひび割れ角度は、L-

表－4 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_{pc} (kN)	計算せん断 耐力* V_{uc}	V_{ue}/V_{uc} *
L-0	0	268	-	-	-	268 (199)	1.00 (1.35)
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} を加算した値下段：示方書による V_{pc} に 0.7 を乗じて V_{pf} を加算した値

0/0.5 試験体の方が、N-0 や L-1.0 試験体に比べて緩やかになっていることが分かる。実験時において、L-0/0.5 試験体は、最大荷重到達後、荷重が急激に低下した後に、版裏面にひび割れが発生し始める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、コンクリートの引張強度や引張靱性能が小さいため、有効高さ部に押し抜きせん断ひび割れが発生し荷重が低下した後、下端鉄筋に沿った割裂ひび割れが生じたものと考えられる。

また、L-1.0 試験体の場合には、スパン右側において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

著者らによる既往の研究では、一軸引張試験により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て、RC 梁のせん断耐力を推定する方法を提案している⁵⁾。これは、せん断ひび割れ発生部におけ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 版にも適用することとし、押し抜きせん断面の短繊維が作用せん断力に抵抗するものと考え、下式により押し抜きせん断耐力の短繊維分担分 V_{pf} を試算した。すなわち、

$$V_{pf} = 2 \times \pi \times (r + d/2) \times f_v \quad (1)$$

ここに、 r ：載荷版の半径、 d ：RC 版の有効高さ、 f_v ：残存引張強度、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は未だ実施されていないため、ここでは軽量コンクリートの残存引張強度と普通コンクリートのそれは同等であるものと仮定して V_{pf} を算出した。

表－4 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、1) L-0 試験体の実測耐力と上述の V_{pf} を加算する場合と、2) 示方書²⁾に基づいて求めた押し抜きせん断耐力 V_{pc} に 0.7 を乗じた値と V_{pf} を加算する場合、について示している。表より、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 1 割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に V_{pf} を加算した場合の計算結果は、2 ～ 3 割程度の安全余裕度を持って RC 版の耐力を評価している。

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。

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した。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) 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。
- 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) 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 PVA 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できる。

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〕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.52, 2006.（投稿中）
- 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.52, 2006.（投稿中）
- 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