

せん断破壊型 PVA 短繊維混入軽量コンクリート RC 梁の耐衝撃性状

Impact resistant behavior of shear-failure type LW RC beams mixed with PVA short fiber

室蘭工業大学

ドービー建設工業(株)

三井住友建設(株)

室蘭工業大学

フェロー

正員

フェロー

○学生員

岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

竹本 伸一 (Shin-ichi Takemoto)

三上 浩 (Hiroshi Mikami)

津田 裕介 (Yusuke Tsuda)

1. はじめに

近年、道路橋や鉄道橋等の上部構造の軽量化を目的として、軽量コンクリートの適用が検討され¹⁾、一部で実用化されている。軽量コンクリートは、使用する粗骨材の強度が小さいことから、引張強度やせん断強度が普通コンクリートに比べて小さくなることが知られている。そのため、RC 棒部材のせん断耐力は、普通コンクリートを用いる場合に対して 70 % に低減することが土木学会コンクリート標準示方書（以後、示方書）²⁾において規定されている。軽量コンクリートの靱性能を改善する対策として、著者らは軽量コンクリートに PVA 短繊維（以後、短繊維）を混入させる方法を採用し、短繊維を混入した軽量コンクリート RC 梁に関する重錘落下衝撃実験を行った。その結果、短繊維の架橋効果によって梁のせん断耐力が飛躍的に向上することが明らかとなった³⁾。しかしながら、既往の研究では RC 梁のせん断耐力が短繊維によって向上し、曲げ耐力を超えてしまったため、短繊維の体積混入率（以後、短繊維混入率 V_f ）を 1.0 % 以上とした場合の動的せん断耐力向上効果を把握するには至らなかった。

このような背景より、本研究では短繊維を混入した場合にもせん断破壊により終局に至る軽量コンクリート RC 梁の耐衝撃性能向上効果の検討を目的として、PVA 短繊維を混入したせん断破壊型軽量コンクリート RC 梁の重錘落下衝撃実験を行った。本実験では、せん断破壊型軽量コンクリート RC 梁の耐衝撃性状に及ぼす短繊維混入率 V_f の影響に着目して検討を行った。

2. 実験概要

2.1 RC 梁の形状寸法および実験方法

図-1 には、RC 梁の形状寸法および配筋状況を示している。本実験に用いた試験体は、断面寸法（幅×高さ）が 15×35 cm、純スパン長が 3 m の複鉄筋矩形 RC 梁である。下端鉄筋には大きな曲げ耐力を得るために直径 23 mm の総ネジ PC 鋼棒を使用した。なお、PC 鋼棒の降伏強度は 1071 MPa であった。

衝撃実験は、跳ね上がり防止用治具付の支点治具上に設置した RC 梁のスパン中央部に、所定の高さから重錘を自由落下させることにより実施している。なお、支点治具全体は RC 梁の回転のみを許容するピン支持に近い構造となっている。用いた重錘は質量が 300 kg で載荷点部の直径が 150 mm の円柱状鋼製重錘であり、その底部には衝突時の片当たりを防止するため高さ 2 mm のテーパが施されている。載荷方法は、重錘を所定の高さから一度だけ自由落下させる単一載荷である。測定項目は重錘衝撃力 P 、合支点反力（以後、支点反力） R および載荷点変位（以後、変位） δ である。また、実験終了後には、RC 梁側面に生じたひび割れをトレースしてひび割れ分布図を作成している。

2.2 RC 梁の静的設計値

表-1 には本実験に用いた試験体の一覧を示している。なお、表には各軽量コンクリートの圧縮強度も併せて示している。本実験は RC 梁の計算耐力を合わせるために、軽量コンクリートの圧縮強度をほぼ同程度となるように配合設計を行った。なお、軽量骨材には焼成人工軽量骨材（含水率：10 %）を使用した。試験体は短繊維混入率 V_f を 4 種類（ $V_f = 0, 0.5, 1.0, 1.5$ %）に変化させた軽量コンクリート RC 梁である。試験体名は短繊維混入率の少ない順に F0, F0.5, F1.0, F1.5 として示している。表中のせん断余裕度 α は、計算曲げ耐力 P_{usc} に対する計算せん断耐力 V_{usc} の比として算出している。ここで、 P_{usc} 、 V_{usc} は示方書に準拠して算出しており、短繊維を混入していない軽量コンクリート RC 梁と同様の方法で算定している。なお、各梁の V_{usc} は、示方書に基づき普通コンクリートの場合の 70 % に低減して評価している。せん断余裕度 α は、いずれの梁も $\alpha < 1.0$ であることより、静載荷時にはせん断破壊することが予想される。表中には別途実施した静載荷実験より得られた実測せん断耐力 P_{us} 、および P_{us} を P_{usc} で除して算定した実せん断余裕度 α' も合わせて示している。静載荷実験では、すべての梁がせん断破壊によって終局に至った。なお、衝突速度 V は、RC 梁の弾塑性域から終局状態に至るまでの耐衝撃性を比較するため、各試験体で異なってい

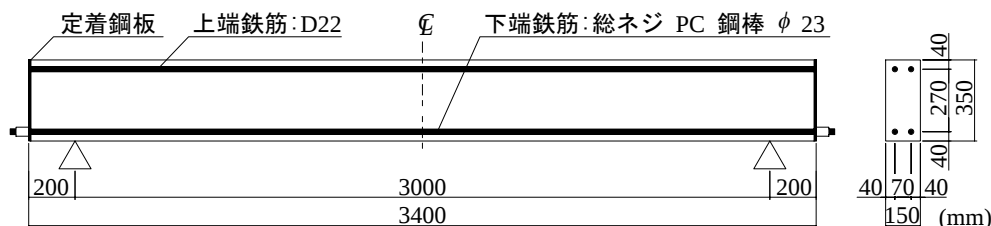


図-1 RC 梁の形状寸法および配筋状況

表-1 試験体の一覧

試験体名	短繊維混入率 V_f (vol. %)	軽量コンクリートの圧縮強度 f'_c (MPa)	計算せん断耐力 V_{usc} (kN)	計算曲げ耐力 P_{usc} (kN)	せん断余裕度 α	実測せん断耐力 P_{us} (kN)	実せん断余裕度 α'	衝突速度 V
F0	0	31.1	66.6	247.2	0.27	87.9	0.36	2, 2.5, 3, 3.5
F0.5	0.5	31.4	66.8	248.0	0.27	123.3	0.50	3.5, 4, 4.5, 5
F1.0	1.0	35.1	69.3	261.3	0.27	173.8	0.67	4.5, 5, 5.5, 6
F1.5	1.5	34.8	69.1	260.4	0.27	195.7	0.75	5, 5.5, 6, 6.5

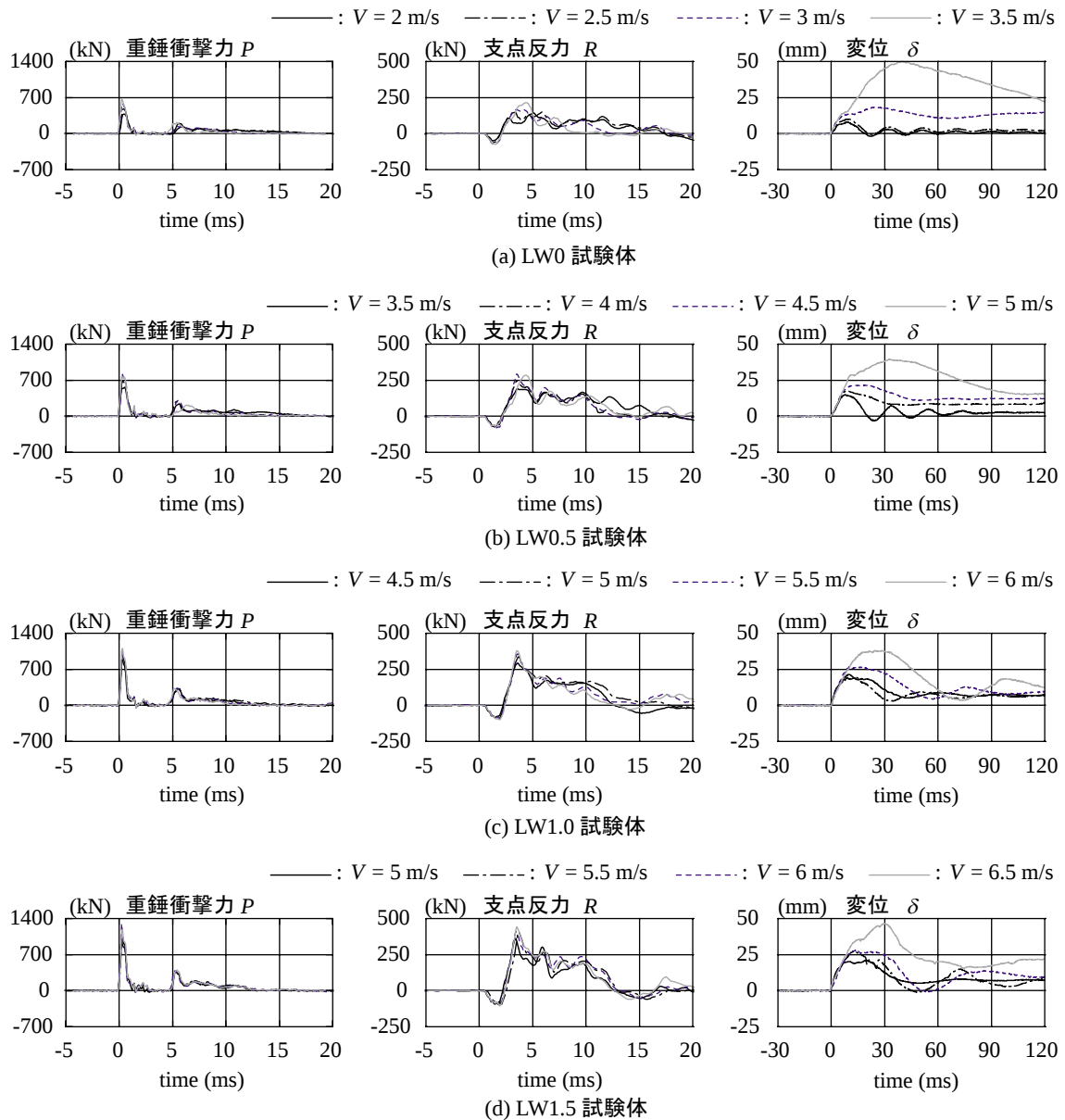


図-2 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

る。試験体数は、衝突速度欄に示した衝突速度に対応した全16体である。

3. 実験結果および考察

3.1 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

図-2には、各梁の重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 δ に関する各応答波形を試験体ごとに示している。なお、時間軸は重錘衝撃力が励起した時刻を0 msとして整理している。

重錘衝撃力波形 P は、各梁ともに衝撃初期の振幅が大きく周期の短い第1波とその後の振幅が小さく周期の長い第2波から構成されている。また、各波形の最大振幅は短繊維混入率や衝突速度が増大するに伴い大きくなっている。

支点反力波形 R は、各梁ともに継続時間が5~15 ms程度の三角形波と周期が数ms程度の波形が合成された波形を示している。F0梁では衝突速度の増大に伴い振幅が大きく継続時間が短くなっている。これは、衝突速度の増大に対応して斜めひび割れや割裂ひび割れが卓越し、梁が分

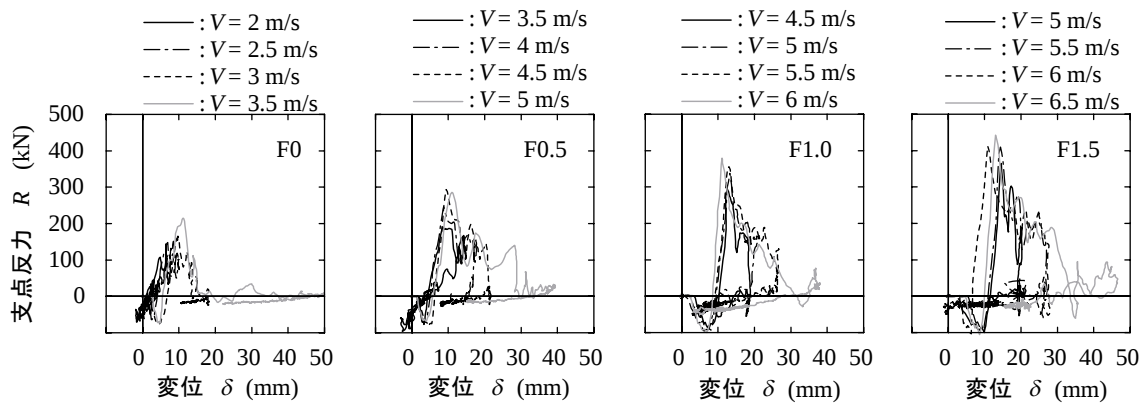


図-3 支点反力-変位履歴曲線

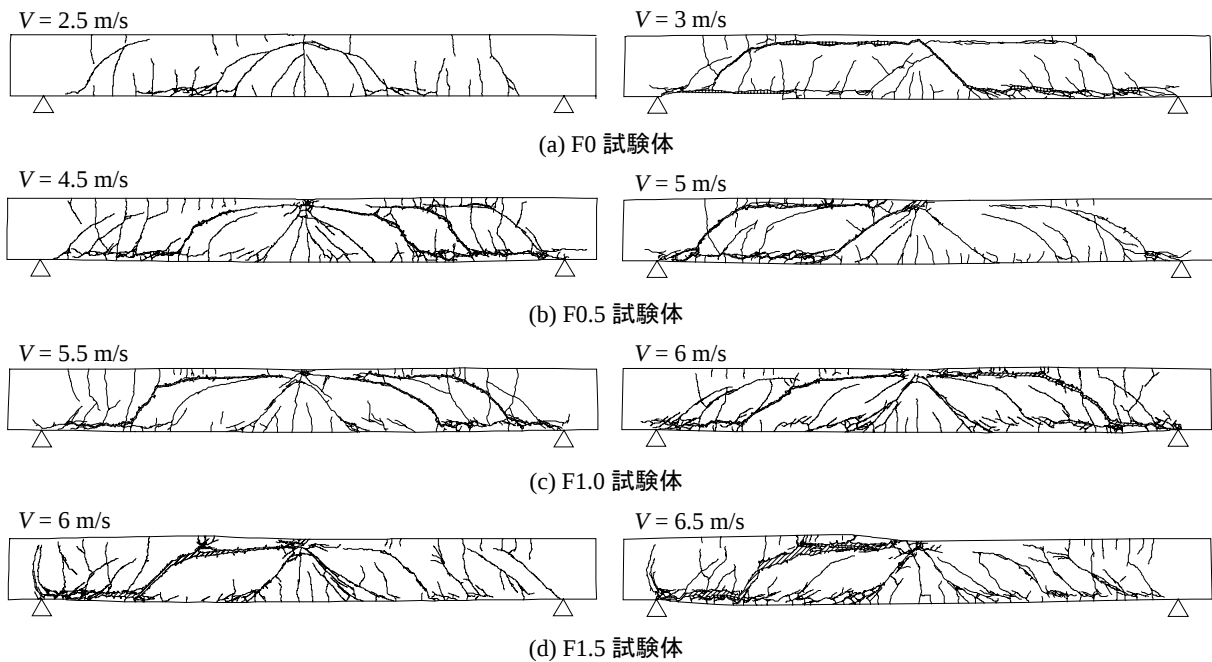


図-4 ひび割れ分布性状

離して局所応答が支配的になるためと推察される。一方、F0.5/1.0/1.5 梁の波形性状は、いずれの衝突速度においてもほぼ同様となっている。このことから、短繊維を混入した RC 梁では急激なせん断破壊は抑制されていることが分かる。

変位波形 δ を見ると、各梁ともに正弦波状の波形性状を示している。F0 梁では衝突速度の小さい段階では周期が短い振動状態を示しているが、 $V=3$ m/s 以降では振動状態を示さなくなっている。このことから、F0 梁は $V=3$ m/s において塑性化が進行していることが推察される。F0.5 梁は $V=3.5$ m/s では振動状態を示しているが、 $V=4$ m/s 以降では振動状態は見受けられない。F1.0/1.5 梁の場合は、両梁とも周期の比較的に長い振動状態を示している。また、最大衝突速度以下の波形性状はほぼ同様となっている。以上のことから、短繊維を混入した RC 梁は破壊に至らない段階の衝突速度では、急激な塑性化が抑制されていることが分かる。

3.2 支点反力-変位履歴曲線

図-3 には、各梁の支点反力 (R) - 変位 (δ) 履歴曲線を各試験体ごとに示している。図より、F0 梁の $V=2, 2.5$ m/s

および F0.5 梁の $V=3.5$ m/s では弾性的な挙動を示していることが分かる。これらを除いた履歴曲線は、いずれもせん断破壊時特有の三角形の分布を示している。なお、各梁の最大衝突速度時には、三角形の分布を示すものの再度載荷状態となり、変位も増加していることが分かる。これは、せん断破壊によってエネルギーが吸収された後も余剰エネルギーによって主鉄筋を介して梁の振動が励起されたためと考えられる。

3.3 ひび割れ分布性状

図-4 には、各 RC 梁の衝撃載荷実験後のひび割れ分布性状を示している。(a) 図より、F0 梁において、 $V=2.5$ m/s ではせん断破壊型特有のひび割れ分布を示すものの、ひび割れの開口等は見られない。 $V=3$ m/s ではアーチ状のひび割れの開口、下縁かぶり部の剥落が生じており、せん断破壊による終局に近い状態であることが分かる。(b), (c), (d) 図より、F0.5/1.0/1.5 梁ではいずれの衝突速度においてもアーチ状のひび割れの開口が確認できる。また、衝突速度の増加に伴いアーチ状のひび割れがさらに開口していく様子がうかがえる。ここで、F0.5/1.0/1.5 梁は本実験ではいずれの衝突速度においても類似のひび割れ性状を示

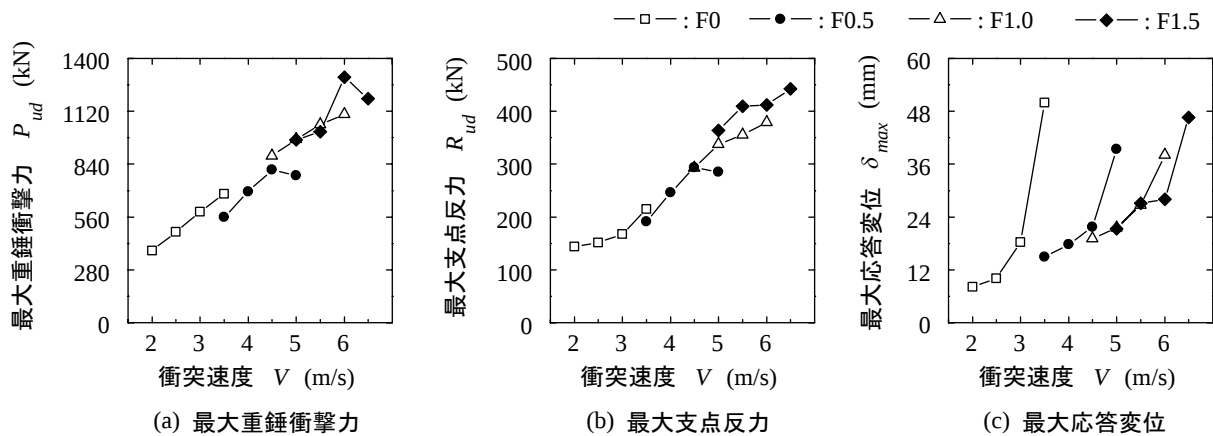


図-5 各種応答値

すことから、終局をひび割れ分布性状から特定することは不可能である。また、F0 梁ではコンクリートの剥落が見られるが、短繊維を混入した RC 梁では衝突速度が大きいにもかかわらず剥落は見られない。以上から、短繊維の混入によって衝突速度に関わらず類似のひび割れ性状を示すこと、コンクリート片の剥落が抑制されることが分かる。

3.4 各種応答値の比較

図-5 には、最大重錘衝撃力 P_{ud} 、最大支点反力 R_{ud} および最大応答変位 δ_{max} と衝突速度 V との関係を示している。

(a), (b) 図より、最大重錘衝撃力 P_{ud} および最大支点反力 R_{ud} は各梁とも衝突速度の増大に伴いほぼ線形的に増大していることが分かる。

(c) 図より、最大応答変位 δ_{max} はいずれの梁も最大衝突速度で大きく増大し、その傾向は F0 梁で最も顕著であることが分かる。また、各梁の最大衝突速度は短繊維混入率の増加に対応して増大していることから、短繊維の混入によって壊滅的な破壊が抑制されていることが分かる。

図-6 には、短繊維混入率 V_f と F0 梁を基準とした最大支点反力比の関係を示している。なお、最大支点反力は衝突速度に関わらず、各梁の最大値とした。図より、短繊維混入率の増加に対応して動的耐力比（最大支点反力比）がほぼ線形的に増大することが分かる。

3.5 動的応答倍率

図-7 には、短繊維混入率 V_f と動的応答倍率 R_{ud} / P_{us} との関係を示している。動的応答倍率とは最大支点反力 R_{ud} を実測せん断耐力 P_{us} で除した値である。なお、図中にはそれぞれの動的応答倍率を記載した。図より、動的応答倍率は 2.2~2.4 程度に分布していることが分かる。以上のことから、動的応答倍率を 2.0 程度とすることで PVA 短繊維を混入したせん断破壊型軽量コンクリート RC 梁の耐衝撃性を安全側に評価することが可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究より得られた結果を整理すると、

- (1) PVA 短繊維を軽量コンクリートに混入することにより、壊滅的なせん断破壊が抑制され、コンクリートの剥落も防止できる。
- (2) 短繊維混入率の増加に対応して、ほぼ線形的に動的耐力は増大する。
- (3) 各梁の動的応答倍率は PVA 短繊維混入率にかかわら

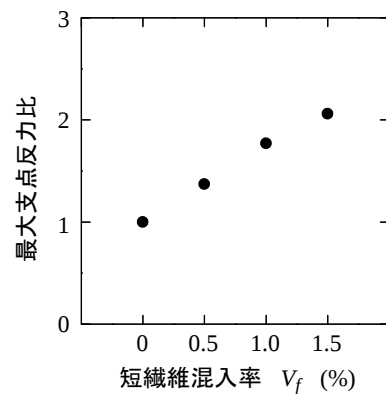


図-6 最大支点反力比と短繊維混入率の関係

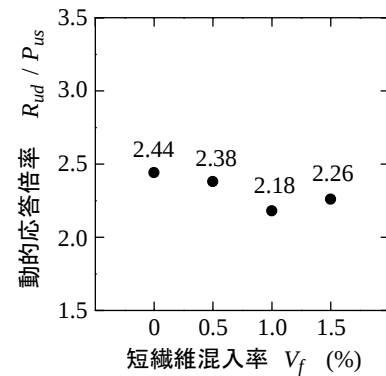


図-7 動的応答倍率と短繊維混入率の関係

ず 2.0 程度である。

参考文献

- 1) 二羽淳一郎, 岡本享久, 前堀伸平: 高品質軽量コンクリートの構造部材への適用, コンクリート工学, Vol.38, No.12, pp.3-9, 2000.12
- 2) コンクリート標準示方書 (2002 年制定) 構造性能照査編, 土木学会, 2002.
- 3) 竹本 伸一, 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋 祐介: ビニロン短繊維混入軽量コンクリートを用いた RC 梁の繰返し衝撃載荷実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.1644-1650, 2004.