

PVA 短繊維の混入による RC 柱の靱性能向上効果

Upgrading effects of ductility of RC pier due to mixing PVA short-fiber

(独) 土木研究所寒地土木研究所 ○ 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)
(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 田口史雄 (Fumio Taguchi)

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の耐荷性能の向上やコンクリート片の剥落防止を目的に、種々の短繊維を混入したコンクリートに関する研究が進められている。最近では、鋼繊維の他、耐食性に優れる有機系短繊維も用いられるようになってきており、一部で実用化されている。特に、ポリビニルアルコール (PVA) 短繊維は、親水性がありセメントモルタルとの付着性に優れるため諸研究機関においてその効果や適用法に関する研究が進められている¹⁾。

著者らも、これまで PVA 短繊維を混入した RC 梁や RC 版の静載荷実験を行い、PVA 短繊維の架橋効果により RC 部材の曲げおよびせん断耐力が向上することを明らかにしている^{2),3)}。このような効果は、曲げやせん断を繰り返し受ける RC 柱の靱性能向上に対しても活用できるものと考えられる。既往の研究では、鋼繊維の混入による RC 柱の靱性能向上効果に関する研究が行われており、その効果が確認されている⁴⁾。しかしながら、PVA 短繊維などの有機系短繊維を用いる場合に関する研究は実施されていない。

このような背景より、本研究では、PVA 短繊維の混入による RC 柱の靱性能向上効果に関する基礎的資料の収集を目的に、PVA 短繊維を体積割合で 0 ~ 3 % 混入した RC 柱の水平交番載荷実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

表 - 1 には、本研究に用いた試験体のコンクリート強度および計算耐力の一覧を示している。試験体数は、短繊維混入率 V_f を 4 種類 ($V_f = 0, 1, 2, 3 \%$) に変化させた全 4 体である。試験体名は、英文字の V と短繊維混入率 V_f の組み合わせにより示している。

表中の圧縮靱性係数は、コンクリート標準示方書 [規

編]⁵⁾ に準拠して求めたものである。表より、圧縮強度は 46 ~ 49 MPa の範囲に分布しているのに対し、圧縮靱性係数は短繊維混入率 V_f の増加に伴って大きくなっていることが分かる。

計算曲げ耐力 P_{uc} は、各材料の材料特性値を用いて断面分割法により算出したものであり、計算せん断耐力 V_{uc} は、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]⁶⁾ に準拠して算出したものである。なお、これらの計算耐力は、PVA 短繊維の影響を考慮せずに算出したものである。せん断余裕度 α は、計算せん断耐力 V_{uc} を計算曲げ耐力 P_{uc} で除して算出したものである。表より、いずれの試験体においても、せん断余裕度 α が 1.0 以上となっていることより、曲げ破壊によって終局に至るものと考えられる。

図 - 1 には、試験体および載荷装置の概要を示している。本実験に用いた試験体は、断面寸法が 25 × 25 cm、柱部の高さが 1 m の単一 RC 柱である。軸方向鉄筋には、SD295D13 を 12 本用いており、軸方向鉄筋比は 2.43 % である。軸方向鉄筋の降伏強度は 387 MPa であった。また、4 隅の軸方

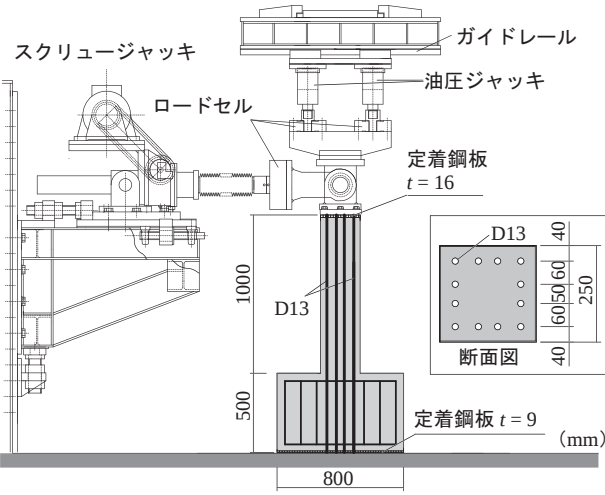


図 - 1 試験体および載荷装置の概要

表 - 2 PVA 短繊維の寸法および材料特性値

長さ l (mm)	直径 d (mm)	アスペクト比 l/d	弾性係数 (GPa)	引張強度 (GPa)	破断歪 (%)
30	0.66	45	29.4	0.88	7.0

表 - 1 試験体および計算耐力の一覧

試験体名	短繊維混入率 V_f (%)	圧縮強度 (MPa)	圧縮靱性係数 (MPa)	計算曲げ耐力 P_{uc} (kN)	計算せん断耐力 V_{uc} (kN)	せん断余裕度 α
V0	0	48.5	24.6	49.7	55.9	1.12
V1	1	48.9	29.8	49.8	56.1	1.13
V2	2	46.3	31.8	49.4	55.1	1.11
V3	3	48.2	34.5	49.7	55.8	1.12

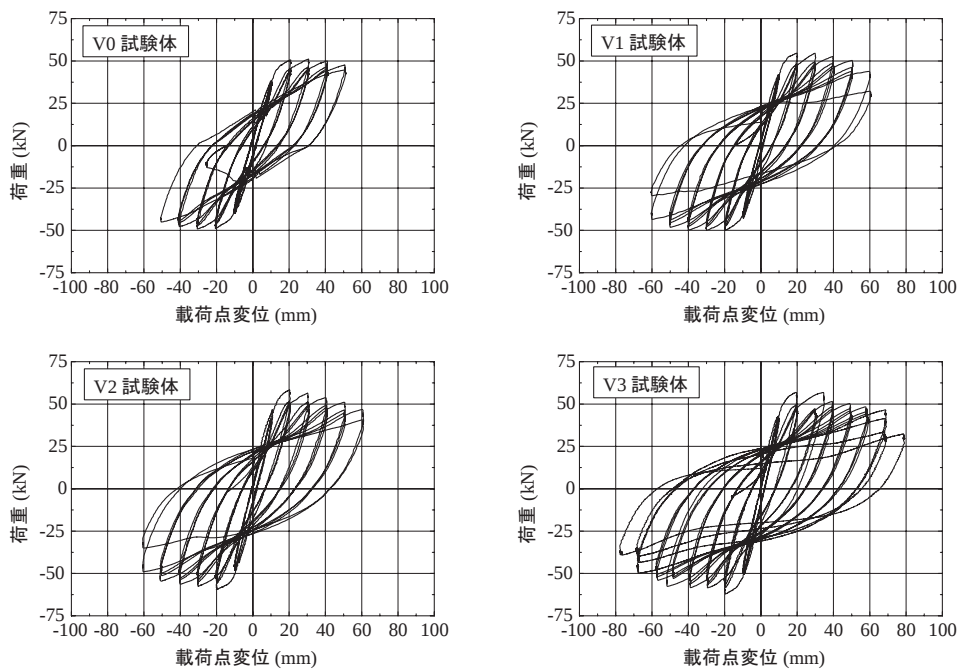


図 - 2 各試験体の荷重 - 変位曲線

向鉄筋には、ひずみゲージを RC 柱基部から高さ方向に 125 mm 間隔で 4 点ずつ貼付している。なお、本実験では、PVA 短繊維の効果を検討しやすくするため帯鉄筋は配置していない。

表 - 2 には、PVA 短繊維の材料特性値を示している。なお、各コンクリートの示方配合は、著者らによる既往の実験³⁾と同様である。

2.2 実験方法

実験は、油圧ジャッキを用いて所定の軸力を作用させながら、電動スクリージャッキにより水平荷重を作用させる形で実施した。前述の 図 - 1 に示しているように、RC 柱の頂部とスクリージャッキおよびガイドレールに取り付けられた 2 本の油圧ジャッキをピン結合しているため、RC 柱には常に水平力と軸力が作用する状態になっている。なお、軸力は 1 MPa (62.5 kN) とし、油圧ジャッキに取り付けたロードセルにより管理した。

本実験では、軸方向鉄筋が降伏に至る変位を降伏変位 δ_y として、変位振幅を δ_y の整数倍に $1\delta_y, 2\delta_y, \dots$ と漸増させて正負方向に繰り返し載荷を行った。各変位振幅における繰り返しサイクル数は 3 回とした。また、載荷は、各変位振幅における 1 サイクル目の荷重が主鉄筋降伏荷重 P_y を下回るまで実施した。測定項目は、水平荷重と載荷点変位および主鉄筋ひずみである。なお、載荷時にわずかに生じるフーチングのずれや浮き上がりも同時に測定して、載荷点変位を補正した。また、各変位振幅における RC 柱基部近傍の破壊進展状況を逐次的にデジタルカメラで撮影している。

3. 実験結果

3.1 荷重 - 変位関係

図 - 2 には、各試験体の荷重 - 変位関係を示している。図より、短繊維を混入していない V0 試験体の場合には、変位振幅 $4\delta_y$ まで各変位振幅における最大荷重の低下は

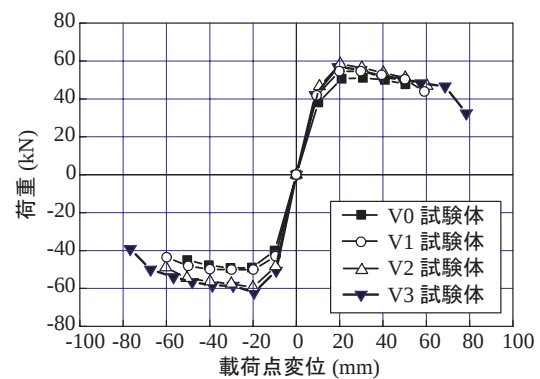


図 - 3 荷重 - 変位曲線に関する包絡線

見られず安定した耐荷性状を示していることが分かる。その後、 $5\delta_y$ の 1 サイクル目において荷重が若干低下し、2 サイクル目の負荷荷時に荷重が急激に低下して終局に至っている。実験時には、基部近傍における斜めひび割れが軸方向鉄筋に沿う割裂ひび割れに連結し大きく開口する形で終局に至った。

V1 試験体の場合には、変位振幅 $2\delta_y$ における最大荷重が V0 試験体のそれよりも大きくなっていることが分かる。また、 $2\delta_y$ 以降の載荷では、各変位振幅における最大荷重が徐々に低下している。これは、変位振幅 $2\delta_y$ において、短繊維の架橋効果により耐力が増大するものの、その後基部コンクリートの圧壊とひび割れの開口に伴う短繊維の破断および抜け出しが生じて耐力が徐々に低下したことによるものと考えられる。ただし、荷重が急激に低下するのは、変位振幅 $6\delta_y$ の 2 サイクル目であり、V0 試験体の場合よりも終局変位が増加している。これは、後述するように、短繊維の混入によって斜めひび割れや割裂ひび割れが抑制され、軸方向鉄筋の座屈が顕在化する破壊形式に移行したことによるものと考えられる。V2 試験体の場合は、V1 試験体の場合よりも変位振幅 $2\delta_y$ における最大荷重が大き

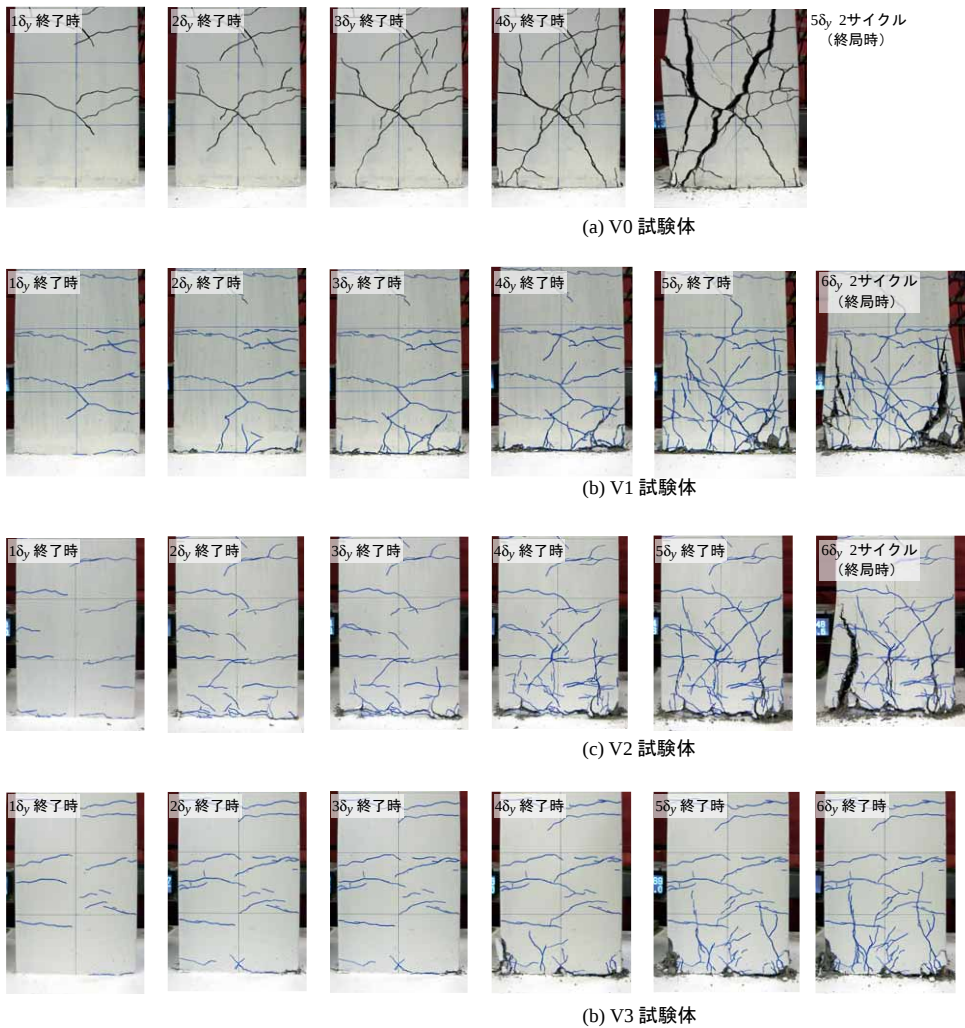


写真 - 1 各変位振幅終了後における基部近傍の破壊性状

くなっているものの、靱性能はほぼ同等である。

V3 試験体の場合には、変位振幅 $2\delta_y$ における最大荷重が最も大きく、また終局変位も最も大きい。これは、短繊維混入率の増加に伴って基部の曲げ耐力が大きくなるとともに、軸方向鉄筋の座屈が抑制されて靱性能が向上したことによるものと考えられる。

図 - 3 には、各試験体の荷重 - 変位曲線に関する包絡線を比較して示している。図より、短繊維混入率 V_f によらず降伏変位はほぼ同等であるものの、降伏荷重および最大荷重は短繊維混入率 V_f の増加に伴って大きくなっていることが分かる。また、終局変位も PVA 短繊維の混入によって増大しており、V0 試験体に比べて V1/2 試験体および V3 試験体の場合で、それぞれ 1.2 および 1.6 倍程度向上している。これらのことより、PVA 短繊維を混入することによって RC 柱の降伏荷重や最大荷重が増加するとともに、変形性能が向上することが明らかになった。

3.2 破壊性状

写真 - 1 には、各変位振幅終了後における基部近傍の破壊性状を示している。変位振幅 $1\delta_y$ 終了時の結果より、V0 試験体の場合には $1D$ (D : 断面高さ) 程度の位置に水平方向に生じた曲げひび割れが斜め方向に進展する曲げせん断ひび割れが発生していることが分かる。これに対し、短繊維を混入した場合には、曲げせん断ひび割れは見られず、

V0 試験体の場合よりも密な間隔で曲げひび割れが発生している。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。

変位振幅 $2\delta_y$ 以降では、V0 試験体の場合には、変位振幅の増加に伴って斜めひび割れが基部まで到達するとともにひび割れ幅が大きくなっている。最終的には、斜めひび割れが軸方向鉄筋に沿った割裂ひび割れに連結し、大きく開口して終局に至っている。

V1 試験体の場合には、変位振幅の増加に伴って微細なひび割れが多数発生している。また、変位振幅 $5\delta_y$ 終了時には、斜めひび割れの発生がわずかに見られるものの、終局時においても大きな開口には至っていない。最終的には、軸方向鉄筋の座屈に伴いかぶり部コンクリートが剥離して終局に至っている。なお、このような傾向は V2 試験体の場合においても同様である。

一方、V3 試験体の場合には、V1/2 試験体の場合よりも、全体的にひび割れ本数が少なく、斜めひび割れの発生も見られない。また、基部コンクリートの局所的な損傷が早期に見られ、損傷が基部に集中する傾向にあることが分かる。

3.3 軸方向鉄筋のひずみ分布性状

ここでは、各試験体の軸方向鉄筋のひずみ分布を比較して、RC 柱の基部近傍における軸方向鉄筋の座屈性状や塑性ヒンジ長に及ぼす短繊維混入率の影響について検討する。

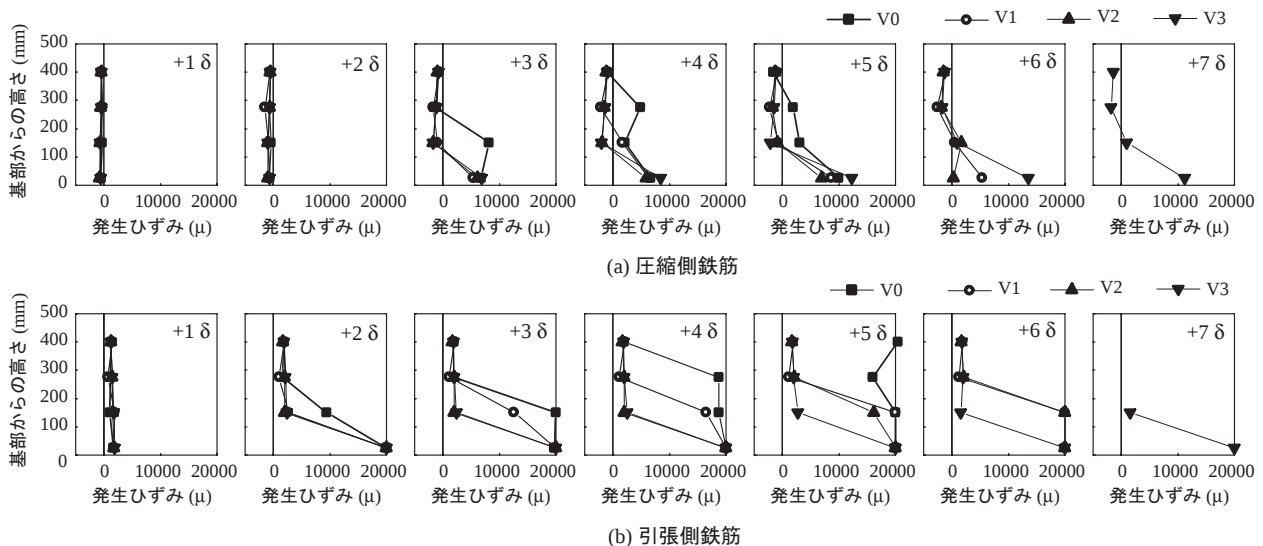


図 - 4 各試験体の基部近傍における軸方向鉄筋のひずみ分布性状

図 - 4 には、各試験体の基部近傍における軸方向鉄筋のひずみ分布性状を変位振幅毎に比較して示している。これらのひずみ値は、各変位振幅における1サイクル目正載荷時のものである。図の上段および下段には、それぞれ圧縮および引張側鉄筋のひずみ分布を示している。なお、発生ひずみが20,000 μ を越える場合には、20,000 μ として表示している。

図より、圧縮側鉄筋は、変位振幅 $2\delta_y$ までは、短繊維混入率 V_f にかかわらず全ての測定点において圧縮ひずみを生じていることが分かる。変位振幅 $3\delta_y$ 以降では、基部において10000 μ 程度の引張ひずみが生じており、圧縮側鉄筋が座屈し始めていることが分かる。なお、V0試験体の場合には、引張ひずみの発生領域が他の試験体よりも広い。これは、前述の破壊性状にも示しているように、変位振幅の増加とともに斜めひび割れや割裂ひび割れが発生し、損傷領域が大きくなったことによるものと考えられる。

一方、引張側鉄筋は、変位振幅 $1\delta_y$ においては、いずれの試験体も2,000 μ 程度の引張ひずみを生じている。変位振幅 $2\delta_y$ 以降では、基部において20,000 μ を越える大きな引張ひずみが生じている。また、変位振幅の増加に伴って大きなひずみの発生領域が柱高さ方向に拡大している。しかしながら、短繊維混入率 V_f が大きい場合ほどその領域は小さい。特に、V3試験体の場合には、終局時においても圧縮および引張側鉄筋ともに基部のひずみのみが大きく示されている。このことより、V3試験体の場合には他の試験体の場合よりも塑性ヒンジ長が小さくなっているものと考えられる。

以上のことより、PVA短繊維の混入によって、斜めひび割れや主鉄筋に沿う割裂ひび割れが抑制されるため、損傷が基部に集中する傾向になることが明らかになった。また、同時にコンクリートの圧縮靱性も向上し、基部コンクリートの圧縮破壊が抑制されるため、RC柱の靱性能が向上するものと考えられる。

今後は、実構造に対応して帯鉄筋を配置する場合の実験を行うとともに、短繊維混入コンクリートの圧縮および引張特性を考慮したRC柱の靱性能評価に関する検討を行う必要があるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、PVA短繊維の混入によるRC柱の靱性能向上効果を検討することを目的に、短繊維混入率 V_f を0～3%に変化させたRC柱の水平交番載荷実験を実施した。本実験において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、RC柱の降伏および最大荷重や終局変位が増大する。特に、終局変位は、短繊維無混入の場合に比べて、短繊維混入率が $V_f = 1, 2\%$ および 3% の場合でそれぞれ1.2および1.6倍程度向上する。
- 2) 短繊維混入率の増加により、斜めひび割れや割裂ひび割れが抑制されるとともに、損傷が基部に集中する傾向となる。
- 3) 同時にコンクリートの圧縮靱性も向上し、基部コンクリートの圧縮破壊が抑制されるため、RC柱の靱性能が向上する。

参考文献

- 1) コンクリート工学協会：高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う，2002。
- 2) 栗橋祐介，岸 徳光，田口史雄，三上 浩：PVA短繊維を混入したRC梁の曲げ耐荷性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.27，No.1，pp.277-282，2005。
- 3) 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報告集，Vol.27，No.1，pp.283-288，2005。
- 4) 芳賀祥晃，幸左賢二，内野裕士：鋼繊維混入量がRC橋脚の変形性能向上に及ぼす影響，第9回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.391-398，2006。
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書〔規準編〕，2002。
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕，2002。