

PVA短繊維を混入した RC 片持ち梁のせん断耐荷性状

Shear load-carrying behavior of RC cantilever beams mixed with 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

1995 年に発生した兵庫県南部地震を契機に道路橋等の耐震設計に関する規準類が大きく改訂された。また、兵庫県南部地震以降も、北海道十勝沖地震 (2003 年)、新潟県中越地震 (2004 年) および同中越沖地震 (2007 年) などの大規模地震が発生しており、全国各地で道路橋橋脚の耐震補強や落橋防止対策が進められている。ここで、落橋防止システムの 1 つである変位制限構造は、地震時における上部工の水平移動の制御を目的に、橋台や橋脚の上面に設置される片持ち梁部材であり、限られた断面寸法で大きな外力に抵抗することが必要となる。従って、鉄筋コンクリート (RC) 構造とする場合には過密配筋となる傾向にあり、適切な施工が困難と考えられる場合には鋼製のブラケットが適用され、建設コストが増加する場合もある。

一方、これまで著者らは、RC 部材の耐荷性能や耐衝撃性能の向上を目的に、ポリビニルアルコール (PVA) 短繊維を混入する方法に着目し、RC 部材の静的および衝撃荷重載荷実験を行ってきた^{1),2)}。その結果、PVA 短繊維の混入により、RC 梁のせん断耐力や耐衝撃性が飛躍的に向上することを明らかにしている。このような効果を上述の RC 製変位制限構造に適用することにより過密配筋が軽減され、施工性の向上や鋼製ブラケットへの構造変更を回避することができるため、コンクリートの品質確保や経済性の改善が可能になるものと考えられる。

しかしながら、これまでの著者らの研究では、短繊維混入コンクリートを変位制限構造のようなせん断スパン比が小さい片持ち梁に適用することを想定した検討は行っていない。また、伊藤らの研究³⁾では、コンクリートケーソン下部の張り出し部へ PVA 短繊維混入コンクリートを適用することを想定した片持ち梁の静載荷実験を行っているが、短繊維とせん断補強筋を併用する場合のせん断耐力向上効果については検討されていない。

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 片持ち梁のせん断耐力向上効果を検討することを目的に、短繊維混入やせん断補強筋の有無をパラメータとした静載荷実験を行い、PVA 短繊維やせん断補強筋、およびこれらを併用する場合のせん断耐力向上効果を検討した。

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とコンクリート圧縮強度および計算耐力の一覧を示している。試験体数は、PVA 短繊維の混入やせん断補強筋の有無を変化させた全 4 体である。試験体名は、短繊維の体積混入率 (以後、短繊維混入率 V_f) およびせん断補強筋の有無 (N, S) の組み合わせとしている。なお、本実験では短繊維を混入する場合の V_f を 1% と設定しているが、これは現場施工において PVA 短繊維をアジテータ車のドラムに投入して攪拌する場合の作業性やポンプ圧送性、および既往の研究²⁾における短繊維のせん断耐力向上効果を考慮して決定したものである。また、せん断補強筋を配置した試験体は、短繊維混入によるせん断耐力向上効果との比較やせん断補強筋と短繊維を併用した場合の効果を検討するために製作したものである。なお、後述のとおり、せん断補強鉄筋には SD295D6 を用い、断面の有効高さ d の 1/2 の間隔で配置したため、せん断補強筋比 p_w は 0.25% となっている。

コンクリートの圧縮強度は、短繊維混入の有無によって多少異なっているものの、計算曲げ耐力 P_{uc} や計算せん断耐力 V_{uc} に及ぼす影響は小さいものと考えられる。これらの計算耐力は、短繊維の効果を考慮せず、コンクリートおよび鉄筋の材料試験値を用いて土木学会コンクリート標準示方書⁴⁾に準拠して算出したものである。なお、計算せん断耐力 V_{uc} の算出には、ディープビームの式を用いた。

計算せん断耐力 V_{uc} を計算曲げ耐力 P_{uc} で除したせん断

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 (%)	せん断補強筋比 p_w (%)	圧縮強度 (MPa)	計算曲げ耐力 P_{uc} (kN) (1)	計算せん断耐力 V_{uc} (kN) (2)	せん断余裕度 α (2)/(1)
F0-N	0	0	45.4	371	310	0.84
F0-S		0.25			351	0.95
F1-N	1	0	51.1	375	329	0.88
F1-S		0.25			370	0.99

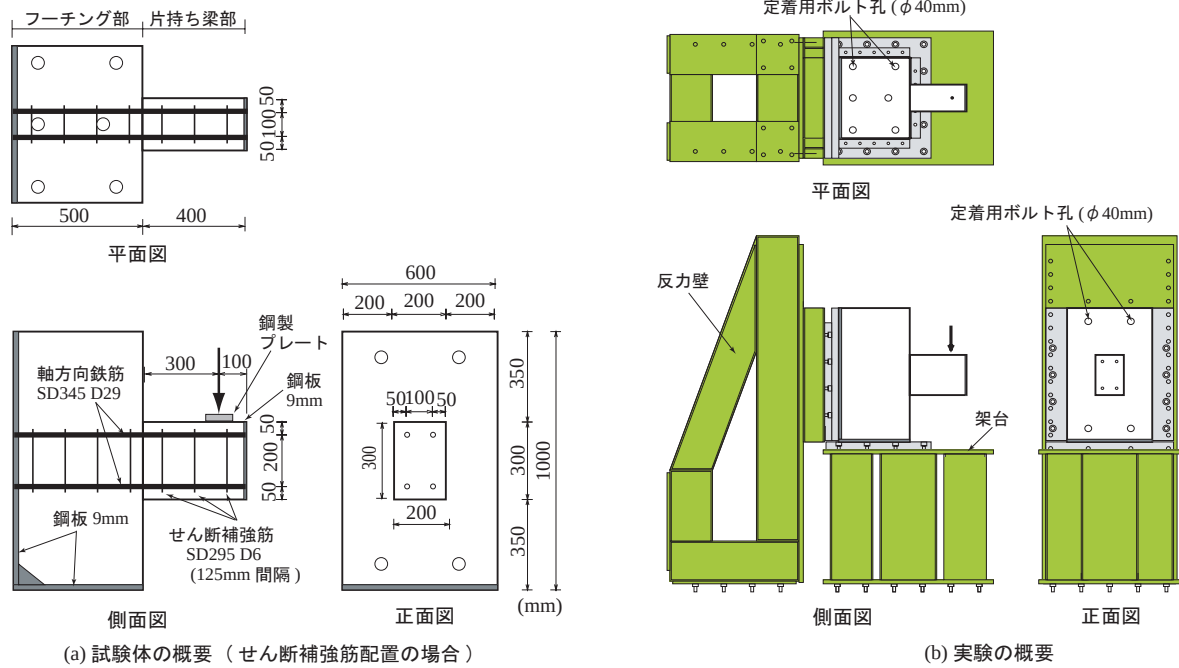


図-1 試験体と静載荷実験の概要

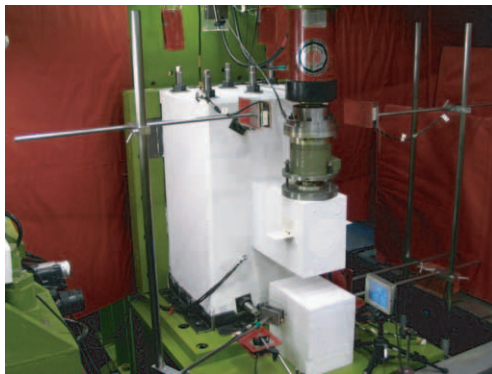


写真-1 実験状況

余裕度 α は、0.84～0.99 となっていることから、設計上、短繊維を混入しない場合にはせん断破壊により終局に至ることが予想される。

図-1には、試験体および静載荷実験の概要を示している。試験体は、フーチング部と片持ち梁部から構成されており、それぞれ、橋台や橋脚などの既設コンクリート部および変位制限構造部をモデル化したものである。なお、フーチング部には一般的なレディーミクストコンクリートを用い、片持ち梁部には圧縮強度が同程度の普通もしくは短繊維混入コンクリートを用いた。

本試験体の片持ち梁部の長さは400 mm、断面寸法(幅×高さ)は200×300 mmである。軸方向鉄筋にはSD345D29を4本用い、片持ち梁端部に設置した鋼板に溶接固定している。また、せん断補強筋を用いる場合には、SD295D6を125 mm間隔で配置した。

実験は、図-1(b)に示しているように、試験体を鋼製の架台および反力壁にPC鋼棒($\phi=32$ mm)を10本用いて固定して実施した。載荷は、片持ち梁端部から100 mmフーチング側の位置に幅100 mmの鋼製プレートを設置し、油

表-2 コンクリートの配合一覧

V_f (vol.%)	W/C (%)	W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	SP C×(%)
0	48	162	337	887	1015	-
1.0	50	170	338	1150	729	1.13

SP: 高性能減水剤

表-3 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

圧ジャッキを用いて行った。写真-1には、実験状況を示している。

表-2には、普通および短繊維混入コンクリートの配合を示している。また、表-3には、用いたPVA短繊維の寸法および材料特性値を示している。鉄筋の降伏強度は、SD295D6およびSD345D29においてそれぞれ369, 393 MPaであった。

本実験における測定項目は、荷重、載荷点変位(以後、変位)および軸方向鉄筋ひずみであり、それぞれ、静荷重測定用ロードセル、非接触式レーザ変位計およびひずみゲージにより測定している。なお、これらの計測機器からの出力データは、デジタルメモリに一括収録している。

3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

図-2には、F0-S, F1-NおよびF1-S試験体の荷重-変位関係に関する実験結果をF0-N試験体の結果と比較して示している。図より、F0-N試験体は軸方向鉄筋が降伏する

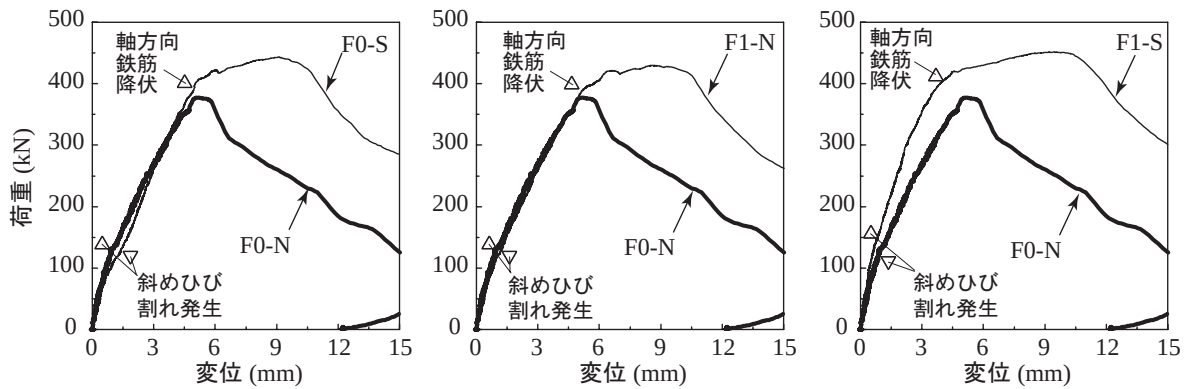


図-2 荷重-変位関係 (F0-N 試験体との比較)

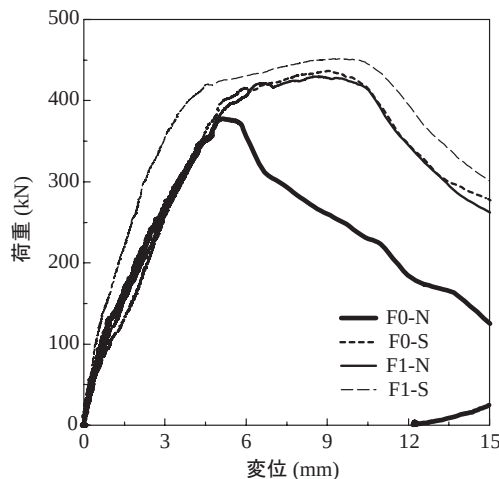


図-3 荷重-変位関係 (全試験体の比較)

前に最大荷重に至り、その後荷重が急激に低下してせん断破壊に至っていることが分かる。これに対し、F0-S, F1-N および F1-S 試験体の場合には、変位 4～5 mm 以降で軸方向鉄筋の降伏に伴う剛性低下が見られるものの、その後も荷重が増加し、変位 10～11 mm で荷重が低下している。このことから、短繊維やせん断補強筋およびこれらの併用によって RC 片持ち梁のせん断耐力が向上し、破壊モードが軸方向鉄筋の降伏を伴わないせん断破壊から降伏後のせん断破壊に移行していることが分かる。なお、これらの試験体の最大荷重は、表-1 に示した計算曲げ耐力を十分に上回っている。

図-3 には、各試験体の荷重-変位関係を比較して示している。図より、F0-S 試験体と F1-N 試験体は、ほぼ同様の耐荷性状を示していることが分かる。このことから、短繊維混入率 $V_f = 1\%$ の場合のせん断耐力向上効果は、せん断補強筋比 0.25% の場合の効果とほぼ同様であるものと考えられる。また、F1-S 試験体の場合には、他の試験体よりも剛性が高く、かつ最大荷重も大きいことより、短繊維とせん断補強筋がともにせん断耐力向上効果を発揮していることが分かる。

3.2 破壊性状

写真-2 には、各試験体の最大荷重時および終局時におけるひび割れ分布性状を示している。なお、F0-N 試験体は他の試験体よりも小さな荷重でせん断破壊により終局に至っていることから、F0-N 試験体の最大荷重時における各試験体のひび割れ分布性状についても比較した。また、

終局時としては、各試験体のひび割れの開口が顕著となる変位 15 mm 時の状況を示した。

写真より、F0-N 試験体の最大荷重時には、いずれの試験体においても鋼製プレートの端部からフーチング側に向かって斜めひび割れが発生していることが分かる。各試験体のひび割れ性状を比較すると、F0-N, F0-S, F1-N, F1-S 試験体の順に斜めひび割れの本数が多いことが分かる。

次に、F0-S, F1-N および F1-S 試験体の最大荷重時のひび割れ性状を見ると、F0-N 試験体の最大荷重時よりもひび割れ幅が大きく、斜めひび割れの本数も多くなっていることが分かる。なお、片持ち梁の固定端上部には曲げひび割れの開口も見られる。

終局時 (変位 15 mm) の結果より、F0-N 試験体の場合には、1本の斜めひび割れが大きく開口していることが分かる。F0-S 試験体の場合には、比較的幅の広いひび割れが 2～3本発生している。また、F1-N 試験体の場合には、斜めひび割れの周辺に微細なひび割れが多数発生していることが分かる。F1-S 試験体の場合には、比較的幅の広いひび割れと微細なひび割れが複合的に発生しており、短繊維とせん断ひび割れがともにせん断耐力に抵抗していることが伺われる。

3.3 せん断耐力向上効果の評価

表-3 には、短繊維およびせん断補強筋による耐力向上効果に関する実験結果を計算結果と比較して示している。せん断耐力の短繊維分担分 V_F は、著者らの既往の研究²⁾を参考に、式(1)により算定した。

$$V_F = b \times (z/\tan\theta) \times f_v \quad (1)$$

ここに、 b : ウェブ幅、 $z = d/1.15$ 、 d : 有効高さ、 θ : 斜めひび割れの角度、 f_v : 短繊維混入コンクリートの残存引張強度、である。ここで、残存引張強度 f_v は、既往の研究²⁾を参考に 0.66 MPa とした。また、斜めひび割れの角度 θ は、写真-2 を参考に 45° とした。

表中の実験結果を見ると、せん断補強筋によるせん断耐力向上効果が短繊維混入の場合よりも若干大きく、せん断補強筋と短繊維を併用する場合が最も大きい。また、実験結果を計算結果と比較すると、F0-S および F1-N 試験体の場合には実験結果が計算結果よりも大きく安全側で評価されていることが分かる。また、F1-S 試験体の場合には、実験結果が計算結果とほぼ同様なものとなっている。

このことから、既往の PVA 短繊維混入による RC 部材のせん断耐力向上効果の算定式は、せん断スパン比の小さい

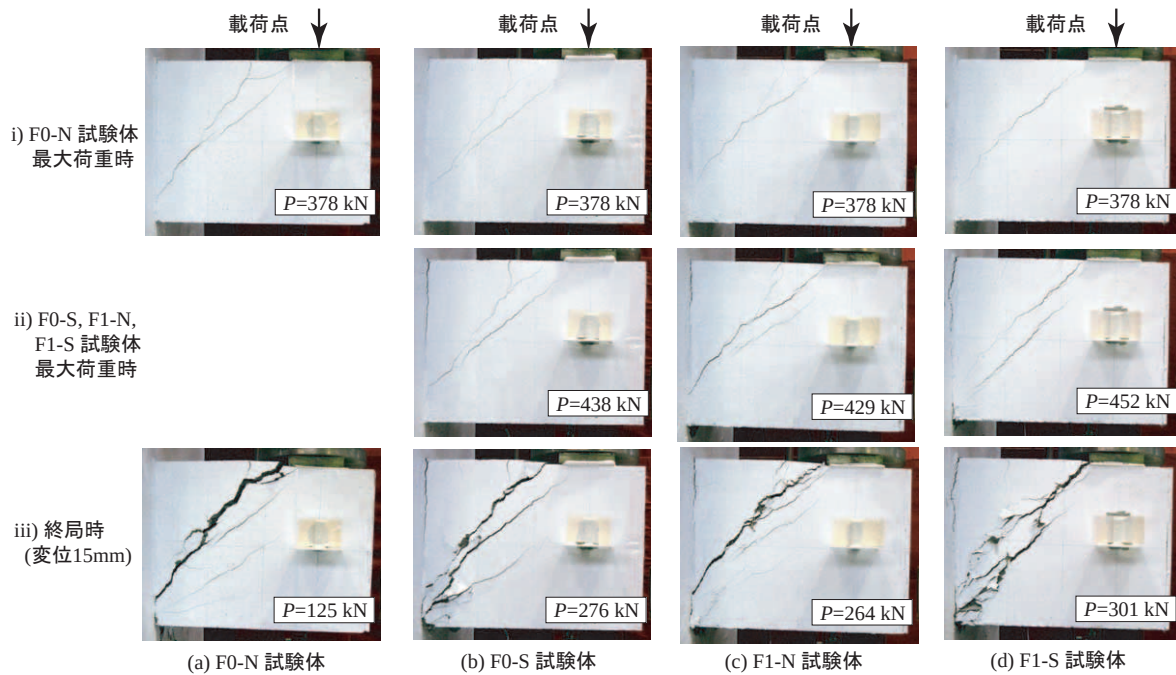


写真-2 各試験体のひび割れ進展状況

表-4 実験結果と計算結果の一覧

試験 体名	実験結果		計算結果			(1)/(2)
	最大荷重 (kN)	F0-N に対する 荷重増分 (kN) (1)	せん断補強筋 分担 V_s (kN)	短繊維分担 V_F (kN)	せん断耐力 増分 (kN) (2)	
F0-N	378	-	-	-	-	-
F0-S	438	60	41	-	41	1.46
F1-N	430	52	-	29	29	1.79
F1-S	452	74	41	29	70	1.06

RC片持ち梁に対して、安全側の評価を与えることが明らかになった。ただし、F0-Nを除く全ての試験体は、軸方向鉄筋降伏後にせん断破壊しているため、せん断耐力の向上効果が小さく評価されている可能性があることに留意する必要がある。

4. まとめ

本研究では、PVA短繊維混入によるせん断スパン長の短いRC片持ち梁のせん断耐力向上効果を検討することを目的に、短繊維混入率およびせん断補強筋比を変化させたRC片持ち梁の静荷重実験を行った。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、RC片持ち梁のせん断耐力が向上する。本実験においては、短繊維混入率を1%とすることにより、破壊モードが軸方向鉄筋降伏前のせん断破壊から降伏後のせん断破壊に移行した。
- 2) 短繊維混入率 $V_f = 1\%$ の場合には、せん断補強筋比 $p_w = 0.25\%$ の場合と同程度のせん断耐力向上効果が期待できる。
- 3) PVA短繊維混入によるRC片持ち梁のせん断耐力向上効果は、既往の残存引張強度を用いた式により、安全側に評価可能である。

なお、本実験において、短繊維やせん断補強筋を用いた試験体は、軸方向鉄筋の降伏を伴ってせん断破壊したことから、今後は、短繊維およびせん断補強筋使用時においても、軸方向鉄筋降伏前にせん断破壊するRC片持ち梁の実験を実施し、せん断耐力の向上効果を適切に評価検討する必要がある。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 田口史雄, 三上 浩, 栗橋祐介: ビニロン短繊維を混入したRC梁の耐衝撃性に及ぼす短繊維混入率の影響, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.1337-1348, 2004.
- 2) 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.
- 3) 伊藤 始, 岩波光保, 加藤絵万, 横田 弘: PVA短繊維を混入したRCフーチングのせん断耐力, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.2, pp.1363-1368, 2006.
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 2002