

PVA短繊維を混入したRC梁のせん断耐荷性状

Shear carrying behavior of RC beams mixed with PVA short fiber

北海道開発土木研究所 ○正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
 北海道開発土木研究所 正会員 田口 史雄 (Fumio Taguchi)
 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)

1. はじめに

コンクリートの引張性能の向上を目的として、種々の短繊維を用いる方法が古くから検討されている。最近では、従来用いられてきた鋼繊維の他、耐食性に優れる合成繊維を使用する場合に関しても検討されており、その実用化が進められている。特に、ポリビニルアルコール (PVA) 繊維は、親水性がありモルタルとの付着性に優れることから、今後さらなる適用範囲の拡大が期待される材料である¹⁾。

著者らはこれまで、PVA短繊維混入によるRC構造物の耐力向上および高靱性化を目的として、短繊維を混入したRC梁および版の静載荷実験を実施し、短繊維のひび割れ架橋効果による耐荷性能の向上効果を確認している^{2),3)}。特に、RC梁に関してはPVA短繊維を混入することによりせん断耐力が最大で2倍程度にまで増大し、せん断破壊型の梁が曲げ破壊型に移行すること等を明らかにしている。しかしながら、これまでの検討は実験ケースが少なく、また破壊形式が曲げ破壊型に移行しているため短繊維混入によるせん断耐力向上効果を定量的に評価するに至っていないのが現状である。

従って、本研究では、PVA短繊維混入によるRC梁のせん断耐力向上効果の評価法を確立することを目的として、普通コンクリート使用時にせん断破壊するRC梁を対象に、短繊維混入率を0.5%きざみで2.0%まで変化させたRC梁の静載荷実験を行った。また、別途行った短繊維混入コンクリートの一軸引張試験により得られた引張応力-開口変位関係を用いることにより、短繊維の混入によるRC梁のせん断耐力増分の推定を試みた。

2. 実験概要

2.1 RC梁の静載荷実験の概要

表-1には、本実験に用いたRC梁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試験体および短繊維混入率を4種類に変化させた全5体である。表には、各試験体に用いたコンクリートの圧縮強度 f'_c 、計算曲げ耐力 P_{uc} 、計算せん断耐力 V_c およびせん断余裕度 α も合わせて示している。ここで、計算曲げ耐力 P_{uc} および計算せん断耐力 V_c は、コンクリート標準示方書⁴⁾に準拠して求めたものであり、短繊維の影響を考慮せずに算定したものである。また、せん断余裕度 α は、 V_c を P_{uc} で除した値である。表より、いずれの梁も $\alpha = 0.3$ 程度(≤ 1.0)となっていることより、短繊維を考慮しない場合にはせん断破壊する設計になっていることが分かる。

図-1には、RC梁の形状寸法を示している。用いたRC梁は、断面寸法が 15×25 cm、純スパン長が2.2 mの複鉄筋RC梁である。また、試験体の設計においては、主鉄筋比を過大にすることなく、かつできるだけ計算曲げ耐力 P_{uc} が計算せん断耐力 V_c よりも大きくなるように、降伏強度の高い総ネジPC鋼棒を用いることとした。なお、せん断補強鉄筋は配置していない。実験時には、載荷点間隔を50 cmと設定していることより、せん断スパン比 a/d (a :セ

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 f'_c (MPa)	計算曲げ耐力 P_{uc} (kN)	計算せん断耐力 V_c (kN)	せん断余裕度 α
F0	0	59.7	335.1	100.5	0.30
F0.5	0.5	53.4	318.0	96.9	0.30
F1.0	1.0	60.4	337.0	100.9	0.30
F1.5	1.5	47.9	301.8	93.4	0.31
F2.0	2.0	52.3	314.9	96.2	0.31

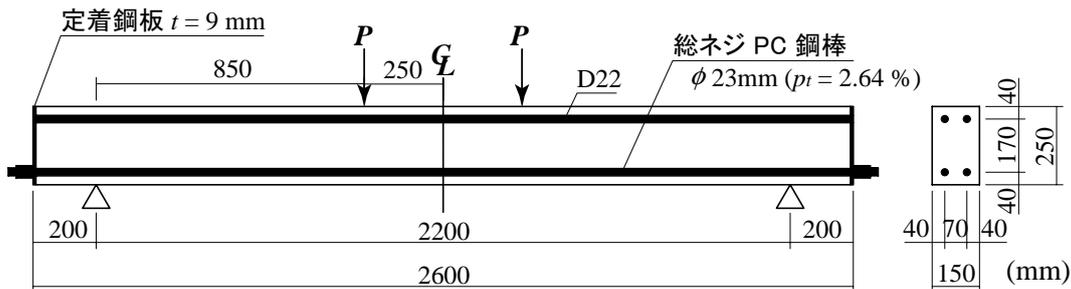


図-1 試験体の概要

表-2 各コンクリートの配合一覧

V_f (vol.%)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	高性能減水剤 C × (%)	AE 剤 C × (%)	スランプ (cm)
0	48	45	140	290	850	1060	0.8		13.0
0.5	52	60	170	330	1085	735	0.6		7.5
1.0	52	60	170	330	1085	735	1.0		9.5
1.5	53	70	190	360	1210	530	0.5	0.001	10.0
2.0	53	70	190	360	1210	530	0.7	0.0005	8.5

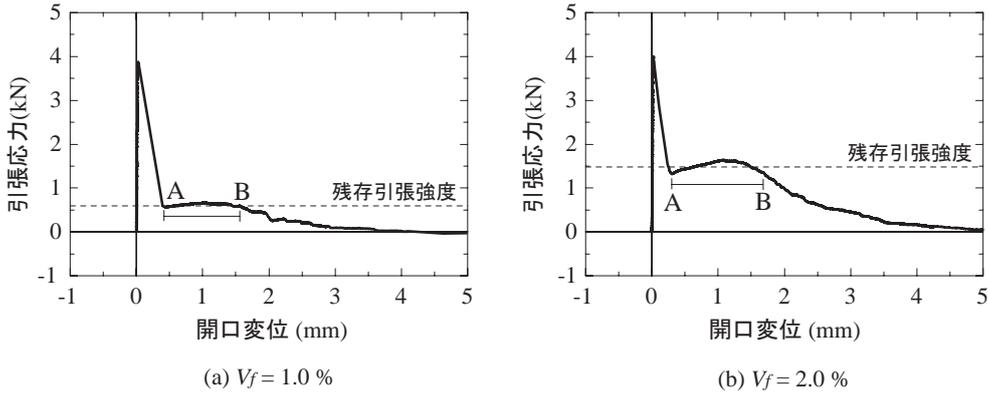


図-2 一軸引張試験による短繊維混入コンクリートの引張応力-開口変位関係

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

ん断スパン長, d :有効高さ)は4.03となっている。PC鋼棒の降伏強度は、1,071 MPaであった。表-2には、各短繊維混入コンクリートの配合一覧を示している。また、表-3には、PVA短繊維の寸法および材料特性値の一覧を示している。

本実験の測定項目は、載荷荷重およびスパン中央部変位(以後、変位)であり、それぞれ静荷重測定用ロードセルおよび非接触式レーザ変位計を用いて測定した。また、実験終了後には、梁側面に発生したひび割れをトレースし、ひび割れ分布図を作成している。

2.2 短繊維混入コンクリートの残存引張強度

短繊維混入コンクリートの引張特性は、まずひび割れが発生した時点でコンクリート自体が分担する引張強度が消失し、その後ひび割れを架橋している短繊維が引張応力を受け持つものと考えられる。そこで、本研究では、ひび割れ発生後において短繊維混入コンクリートが保持している引張強度を残存引張強度と定義し、この値を用いて短繊維によるRC梁のせん断耐力向上効果の評価を試みることにした。以下に、各コンクリートの一軸引張特性および残存引張強度について述べる。

図-2には、短繊維混入コンクリートの引張特性の例と

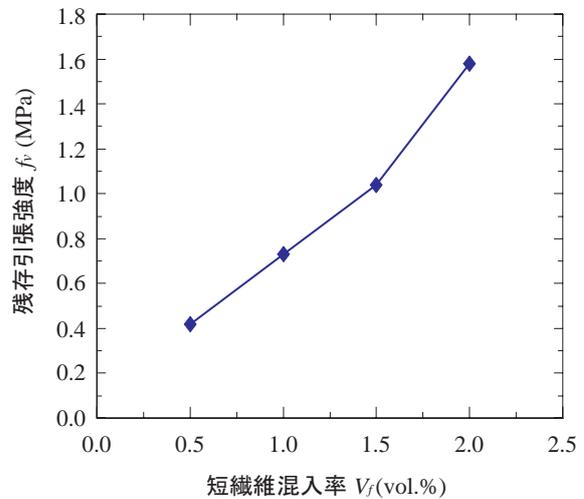


図-3 短繊維混入率と残存引張強度との関係

して、短繊維混入率 $V_f = 1.0$ および 2.0% の場合における一軸引張試験の代表的な結果を示している。本試験は、圧縮強度試験と同一寸法の円柱供試体 ($\phi 10$ cm, 高さ 20 cm) を用い、両端部に引張力を作用させて行ったものである。図より、いずれの場合も引張応力が最大値に到達した直後、ひび割れの発生により急激に低下していることが分かる。しかしながら、引張応力は短繊維の架橋効果により零までは低下せず、再度緩やかに応力が増加してピークを向かえた後、短繊維の破断もしくは抜け出しにより変位の増大とともに応力が徐々に低下している。

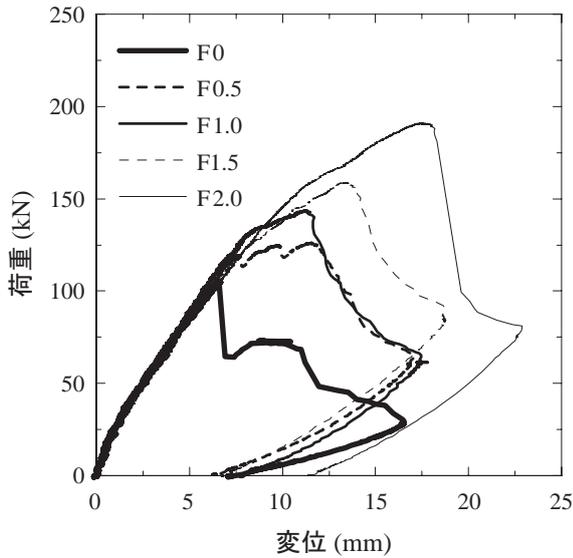


図-4 荷重-変位関係

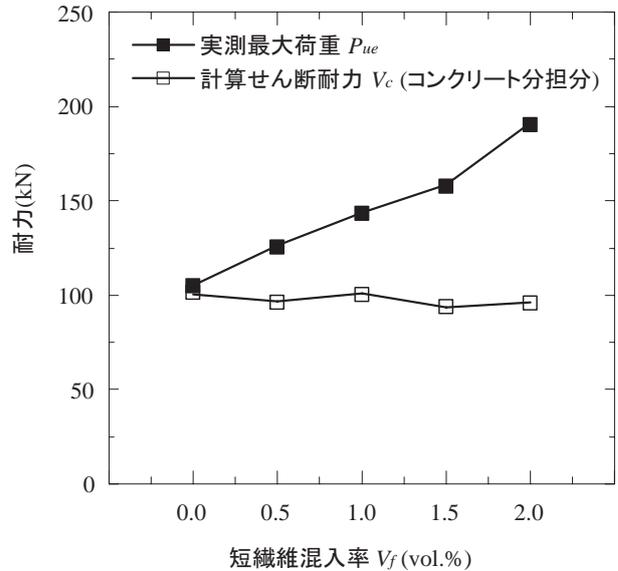


図-5 実測最大荷重 P_{ue} と短繊維混入率 V_f の関係

本研究において、残存引張強度は、引張応力が急激に低下した時点(図-2中、A点)からA点における引張応力と同程度の応力に低下する時点(図-2中、B点)までの範囲の平均値として求めている。図-3には、短繊維混入率 V_f と各コンクリートの残存引張強度との関係を示している。図より、残存引張強度は短繊維混入率の増加に伴ってほぼ線形に増大していることが分かる。

3. RC梁の静荷重実験結果

3.1 荷重-変位関係

図-4には、各試験体の荷重-変位関係の実験結果を示している。図より、いずれの試験体もF0試験体の最大荷重時($P=105$ kN)程度までは、ほぼ線形に荷重が増大していることが分かる。その後、F0試験体では荷重が急激に低下するのに対し、短繊維を混入した試験体ではさらに荷重が増大している。また、その耐力増分は、短繊維混入率が大きい場合ほど大きい。なお、短繊維を混入した試験体では、最大荷重到達前に若干の剛性勾配の低下が見受けられる。これは、斜めひび割れが発生するものの、短繊維の架橋効果によりひび割れの開口が抑制されていることを暗示しているものと考えられる。

図-5には、各試験体の実測最大荷重 P_{ue} と短繊維混入率 V_f との関係を示している。なお、図には参考のため、表-1に示した各試験体の計算せん断耐力 V_c も合わせて示している。図より、短繊維を混入していないF0試験体では、実測最大耐力 P_{uc} と計算せん断耐力 V_c がほぼ対応していることが分かる。一方、短繊維を混入した試験体では、 V_f が大きいほど実測最大荷重 P_{uc} が V_c を大きく上回る傾向にある。また、 P_{uc} は、 V_f の増大に伴いほぼ線形に増大していることが分かる。ここで、前述の残存引張強度 f_t も、短繊維混入率 V_f の増加に伴ってほぼ線形に増加していることから、短繊維混入によるRC梁のせん断耐力の増加は、コンクリートの残存引張強度の増加と密接に関連しているものと考えられる。

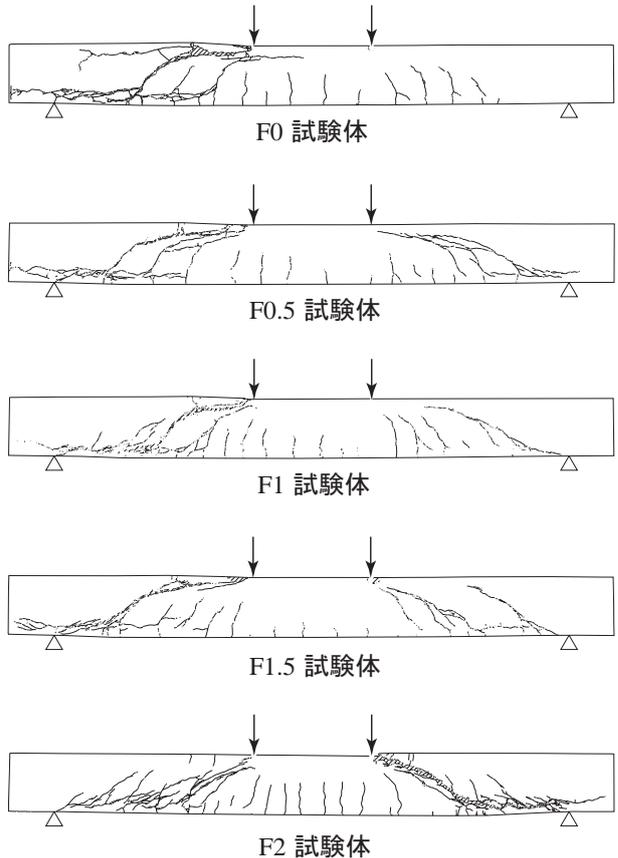


図-6 ひび割れ分布性状

3.2 ひび割れ分布性状

図-6には、実験終了後における各試験体のひび割れ分布性状を示している。図より、F0試験体では左側スパンにおいてアーチ状のひび割れと上下端鉄筋に沿う割裂ひび割れが連結し、これらが大きく開口していることが分かる。このような性状は、短繊維を混入した試験体において

表-4 実測最大荷重 P_{ue} と計算せん断耐力 V_F の比較

短繊維混入率 V_f (vol.%)	残存引張強度 f_v (MPa)	せん断耐力の短繊維 分担分 V_F (kN)	計算せん断耐力 V_{uc} (kN) (= $V_c + V_F$)	実測最大荷重 P_{ue} (kN)	P_{ue}/V_{uc}
0	-	-	100.5	105.1	1.05
0.5	0.42	23.1	120.0	126.1	1.05
1.0	0.73	40.2	141.1	143.6	1.02
1.5	1.04	57.0	150.4	158.7	1.06
2.0	1.58	86.8	183.0	191.2	1.04

もほぼ同様に見られるが、短繊維混入率 V_f の増加に伴ってアーチ状のひび割れが直線状のひび割れに移行する傾向にあることが分かる。特に、F2 試験体では上端鉄筋に沿う割裂ひび割れは見られず、荷重点から支点に向かってほぼ直線状のひび割れが卓越して発生している。

4. 短繊維混入によるせん断耐力増分の評価

前章までの検討から、短繊維混入による RC 梁のせん断耐力の増分が、コンクリートの残存引張強度と密接に関連している可能性のあることが示唆された。ここでは、斜めひび割れ発生後、そのひび割れを架橋する短繊維がせん断耐力を分担するとの考え方にに基づき、せん断耐力の短繊維分担分 V_F の評価に関する検討を行う。ここで、土木学会の「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」⁵⁾では、上述のような考え方によりせん断耐力の短繊維分担分 V_F の算定式を提案している。本研究では、その算定式を準用し下式により検討することとした。

$$V_F = 2 \times b \times (z / \tan\theta) \times f_v$$

ここに、 b : ウェブ幅、 $z = d / 1.15$ 、 d : 有効高さ、 f_v : 短繊維混入コンクリートの残存引張強度、である。なお、ひび割れ角度 θ については、指針⁵⁾ではせん断応力および軸方向の圧縮応力の値を用いて主応力面を算出する形で推定することとしている。しかしながら、本研究では、スターラップを配置した RC 梁に関する検討も念頭に置いていることより、ひび割れ角度 θ をせん断耐力のスターラップ分担分 V_s の算定において仮定されている θ と対応させる必要があるものと考えられる。従って、ここでは θ を一義的に 45 度と仮定して V_F の評価を行うこととした。なお、前述のひび割れ分布図より、斜めひび割れの角度は概ね 30 ~ 45 度程度であり、また、 θ を 45 度とすることは V_F を安全側に評価することとなる。

表-4 には、実測最大荷重 P_{ue} と計算せん断耐力 V_{uc} の一覧を示している。計算せん断耐力 V_{uc} は、表-1 に示されている V_c に V_F を加算した値である。表より、計算せん断耐力 V_{uc} は、実測最大荷重 P_{ue} と良好に対応していることが分かる。このことから、PVA 短繊維混入によるせん断耐力の向上効果は、一軸引張試験により得られる残存引張強度を用いることで概ね評価可能であることが明らかになった。

今後は、RC 梁の断面寸法が異なる場合やスターラップを配置した場合等に関する検討を行い、汎用性の高い評価

手法を確立することが肝要であるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、PVA 短繊維混入による RC 梁のせん断耐力向上効果の評価法を確立することを目的として、普通コンクリート使用時にせん断破壊する RC 梁を対象に、短繊維混入率を 0.5 % きざみで 2.0 % まで変化させた RC 梁の静荷重実験を行った。また、別途行った短繊維混入コンクリートの一軸引張試験により得られた引張応力-開口変位関係を用いることにより、せん断耐力の短繊維分担分の評価を試みた。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) 短繊維混入コンクリートは、ひび割れ発生後においても短繊維のひび割れ架橋効果により、ひび割れ幅 1.5 mm 程度まではある程度の引張強度(残存引張強度)を保持している。また、残存引張強度は、短繊維混入率 V_f にほぼ比例して増大する。
- 2) 短繊維混入による RC 梁のせん断耐力向上効果は、短繊維混入率の増加に対応してほぼ線形に増大する。
- 3) RC 梁側面に発生するひび割れは、短繊維混入率の増加に伴い、アーチ状のひび割れから直線的なひび割れに移行する。
- 4) PVA 短繊維混入によるせん断耐力の向上効果は、コンクリートの一軸引張試験により得られる残存引張強度を用いた算定式により概ね評価可能である。

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) 田口史雄，三上 浩，栗橋祐介，岸 徳光：ピニロン短繊維混入 RC 梁の耐荷性状に及ぼす短繊維混入率の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.25, No.1, pp.287-292, 2003。
- 3) 三上 浩，岸 徳光，田口史雄，栗橋祐介：ピニロン短繊維を混入した四辺支持 RC 版の押し抜きせん断性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26, No.2, pp.1555-1560, 2004。
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書(2002 制定)【構造型態照査編】，2002。
- 5) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー 113, 2004。