

ポリビニルアルコール短繊維を混入した鉄筋コンクリート柱のせん断抵抗機構

正会員 ○小坂 英生*1
同 北山 和宏*2
同 岸田 慎司*3

ポリビニルアルコール短繊維、繊維混入、鉄筋コンクリート、柱、せん断

1.0 ■はじめに

前報[1]では、ポリビニルアルコール（以下 PVA）短繊維混入鉄筋コンクリート（以下 PVA-FRC）柱の曲げ・せん断加力実験を行った結果、PVA短繊維を1%混入することで最大耐力は10%増大し、最大耐力後の靱性が改善されることを示した。本報では、前報に引き続きPVA-FRC柱のせん断実験結果について詳細に検討を行い、せん断抵抗機構を明らかにすることを旨とした。

2.0 ■実験概要

図-1に試験体配筋図、表-1に試験体一覧を示す。No.1試験体を基準として、横補強筋比、軸力、繊維混入の有無を実験変数とした。加力には建研式加力装置を用い、パンタグラフで上下スタブを平行に維持することによって逆対称曲げ・せん断加力した。

3.0 ■実験結果の検討

3.1 ■荷重-開口変位関係

使用した各コンクリートの荷重-開口変位関係を図-1に示す。これは文献[2]に示されており、本研究と同バッチで混練したコンクリートを用いて100x100x400mmの供試体を作成し、その中央下部に50mmの切り欠きをいれ、中央部の荷重と切り欠き部の開口変位との関係を示したものである。RCの供試体では最大荷重後に急激に荷重が低下したが、PVA-FRCの供試体は高強度と普通強度で差があるものの最大荷重後も最大荷重の5割を維持すると考えられる。一般にコンクリートはひび割れ発生後は引張力を負担しないと考えるが、PVA短繊維を混入することでひび割れ後も引張力を伝達することができる。

3.2 ■繊維の影響を考慮したせん断抵抗機構の提案

繊維混入コンクリートのひび割れ後の引張抵抗を含むトラスによるせん断抵抗機構を図-2に示す。図-2のトラス機構による負担せん断力は、ひび割れ面に平行に圧縮主応力が働くのでそれと直交する方向に引張主応力が作用すると考え(1)式のように理論的に求められる。

的に求められる。

$$V_t = b j_c \{ p_w \sigma_{ws} + \sigma_{cs} \cos^2 \phi \} \cot \phi \quad (1)$$

ここに、 V_t :トラス機構の負担せん断力、 b :柱幅、 j_c :主筋間距離、 p_w :横補強筋比、 σ_{ws} :横補強筋応力、 σ_{cs} :コンクリート引張応力、 ϕ :トラス機構のコンクリート圧縮束の角度である。

3.3 ■繊維混入鉄筋コンクリート柱のせん断耐力式の提案

既往の文献[3]等によって繊維混入されたセメント系材料による柱部材のせん断耐力式の提案がなされている。ここでは、前述した繊維の影響を考慮したせん断抵抗機構を用いて終局強度型耐震設計法指針[4]による式を修正したせん断耐力式を提案した。(1)式中の σ_{ws} を σ_{wy} (降伏応力)とし、コンクリート引張応力 σ_{cs} は2.1節の結果からコンクリート引張割裂強度 σ_{cr} の1/2とした。

$$V_u = V_t + V_a \quad (2)$$

$$V_t = b j_c \{ p_w \sigma_{wy} + 0.5 \sigma_{cr} \cos^2 \phi \} \cot \phi \quad (3)$$

$$V_a = \tan \theta (1 - \beta) b D v \sigma_B / 2 \quad (4)$$

$$\cot \phi = \min. \{ 2.0, j_c / (D \tan \theta), \sqrt{v \sigma_B / (p_w \sigma_{wy} + 0.5 \sigma_{cr} \cos^2 \phi) - 1} \}$$

$$\tan \theta = \sqrt{(L/D)^2 + 1} - L/D$$

$$\beta = \{ (1 + \cot^2 \phi) (p_w \sigma_{wy} + 0.5 \sigma_{cr} \cos^2 \phi) \} / v \sigma_B$$

$$v = 0.7 - \sigma_B / 200$$

ここに、 V_u :せん断耐力、 V_a :アーチ負担せん断耐力、 σ_B :コンクリート圧縮基準強度、 D :柱せい、 θ :アーチ機構の角度、 L :柱内法高さである。

図-3に(2)式によって算出したせん断耐力と実験値の比較を示す。また、参考のために繊維の影響を考慮しない終局強度指針式および荒川mean式による値を併せて示す。既往のせん断強度式は実験値を過小評価しており、修正したせん断耐力式は実験値に近づいた。せん断耐力は、コンクリート引張強度 σ_{cr} の係数(0.5)や

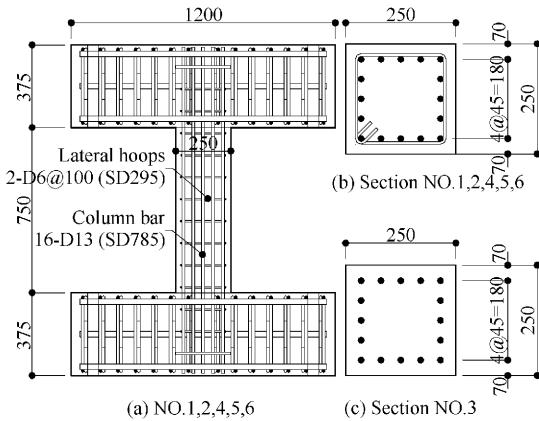


図-1 試験体配筋詳細

表-1 試験体一覧

試験体 No.		1	3	4	5
コンクリート	種類	PVA-FRC	PVA-FRC	PVA-FRC	RC
	圧縮強度 [MPa]	39.7	40.5	40.5	37.1
	引張強度 [MPa]	3.4	3.4	3.4	2.8
	ヤング率 [GPa]	30.0	29.0	29.0	27.6
主筋	配筋	16-D13			
	降伏強度 [MPa]	885			
	引張鉄筋比 [%]	1.016			
補強筋	配筋	2-D6@100	-	2-D6@100	-
	降伏強度 [MPa]	343.4	-	343.4	-
	補強筋比 [%]	0.260	0.000	0.260	-
軸力(圧縮正)	N [kN]	784	784	-392	735
	軸力比 η	0.32	0.31	-0.15	0.32

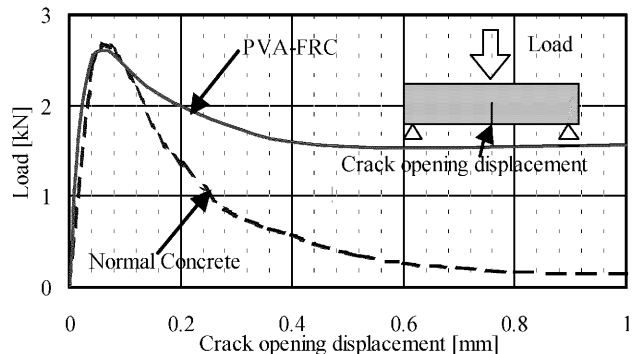


図-2 各コンクリートの荷重-開口変位関係

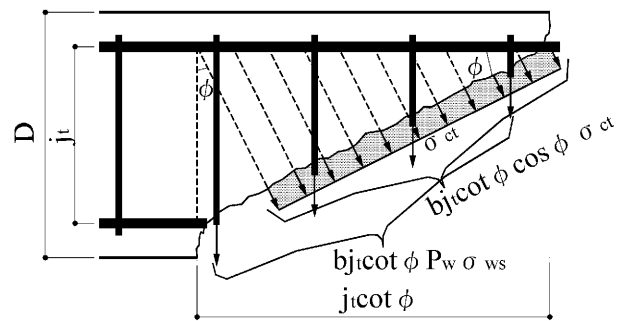


図-3 コンクリート引張力を含むトラス機構

Shear Resisting Mechanism of Polyvinyl Alcohol Fiber Reinforced Concrete Column

KOSAKA Hideo, KITAYAMA Kazuhiro, KISHIDA Shinji

圧縮強度低減係数 ν の値の取り方により左右されるため、これらの係数の取り方は今後の研究課題である。

3.4 ■ トラス・アーチ理論によるせん断抵抗機構

平均付着応力度から(5)式および(6)式により算出されるトラス機構およびアーチ機構の負担せん断力の各サイクルピーク時を結んだ包絡線を図-5、図-6に示す。

$$Q_t = n \psi \tau_j \quad (5)$$

$$Q_a = Q_s - Q_t \quad (6)$$

ここに、 Q_t : トラス機構の負担せん断力、 Q_a : アーチ機構の負担せん断力、 Q_s : 実験による柱せん断力、 n : 主筋本数(5本)、 ψ : 主筋周長(40mm)、 τ_j : 測定された主筋の平均付着応力度、 j : 主筋間距離(180mm)である。各試験体において、トラス機構の負担せん断力に大きな相違は現れなかった。一方、アーチ機構の負担せん断力では、繊維を混入したNo.1とNo.3試験体が普通RCのNo.5試験体を上回り、さらに、No.1試験体はNo.5試験体よりも最大耐力後の靱性が優れていることから、前報[1]によって示した横方向への膨張の抑制効果がアーチの負担せん断力の増加に寄与したものと思われる。

3.5 ■ 繊維の影響によるひび割れ後のコンクリート引張応力度

ここで、(3)式と(5)式によるトラス機構の負担せん断力を等値する。歪みゲージより測定した横補強筋に作用する応力 σ_{wt} とトラス角度 ϕ がわかれば、コンクリートがトラス機構において負担する引張力 σ_{ct} を算出できる。 ϕ をひび割れ角度と同一と考え、ひび割れ図よりNo.1試験体では $\phi = 26.6$ 度 ($\cot \phi = 2.0$)、No.4試験体では $\phi = 39.8$ 度 ($\cot \phi = 1.2$) で変形角に関わらず一定として、トラスのコンクリートが負担する引張力 σ_{ct} を算出した結果を図-6に示す。圧縮一定軸力のNo.1試験体は最大0.9 MPa、引張一定軸力のNo.4試験体は最大1.8 MPaの引張力を負担しており、PVA短繊維のブリッジング作用によりコンクリートひび割れ発生後も最大で引張強度(3.4 MPa)の1/2まで伝達した。さらに、両試験体は軸力以外は全く同一の試験体であるが、圧縮軸力を受けるNo.1試験体は層間変形角0.5%から1%に至るまでに横補強筋が降伏してひび割れが開口し、それとともにコンクリートの負担する引張力も急激に減少した。それに対し、引張軸力のNo.4試験体は横補強筋が降伏してひび割れが開口する1.5%の変形角までコンクリート引張力を維持続けた。つまり、ひび割れを介してピニロン短繊維によって伝達される引張力はひび割れが大きく開口するとその能力を失うが、No.4試験体のように横補強筋がひび割れの開口を抑えているとピニロン短繊維の働きは持続することになる。よって、ピニロン短繊維は横補強筋と共同でせん断抵抗機構を形成する場合に最大の効果が得られると思われる。

4.0 ■ まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) PVA短繊維の混入はかぶりコンクリートの剥落を防止し、ひび割れ幅を抑制し、コアコンクリートを拘束する効果があり、その拘束効果によりせん断耐力を増加させることができる。
- (2) PVA短繊維のブリッジング作用によりコンクリートひび割れ発生後も最大で引張強度の1/2まで伝達でき、せん断耐力の増加に寄与する。
- (3) PVA短繊維のブリッジング作用は横補強筋と共同で抵抗機構を形成すると効果的である。
- (4) PVA短繊維の混入により最大耐力後の靱性が改善される。

[謝辞] 本研究は文部科学省および日本学術振興会の科学研究費(特定領域研究B: 計画研究代表- 壁谷澤寿海東京大学教授、および基盤研究B: 代表者- 橋高義典東京都立大学教授)によって実施した。

[参考文献] [1] 小坂英生、北山和宏、岸田慎司: 繊維混入コンクリートを用いたRC柱のせん断性能に関する研究(実験概要および実験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.45、2001 [2] 神山力、橋高義典、田村雅紀: 各種コンクリートの破壊特性の試験方法に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.23、No.3、2001.6 [3] 関田徹志、渡部茂雄、Li, Victor C.: PVA繊維を用いた高靱性FRCによる短スパンはりのせん断挙動に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、No.3、2000.6 [4] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990.11

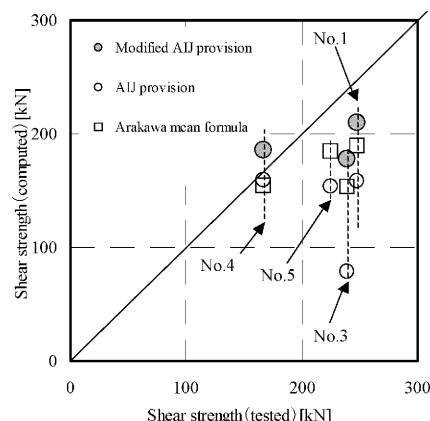


図-4 計算値と実験値の比較

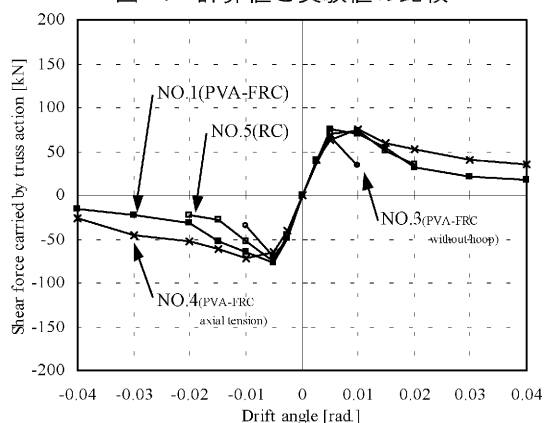


図-5 トラス機構が負担するせん断力

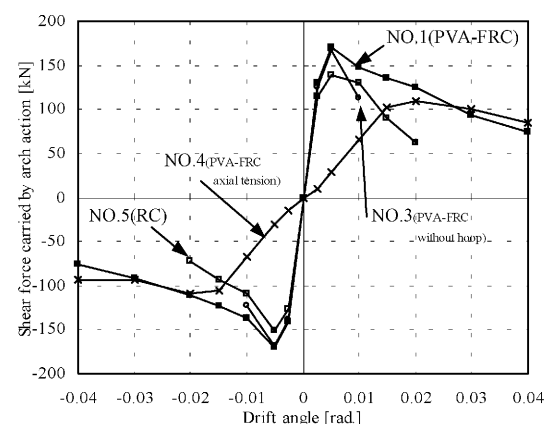


図-6 アーチ機構が負担するせん断力

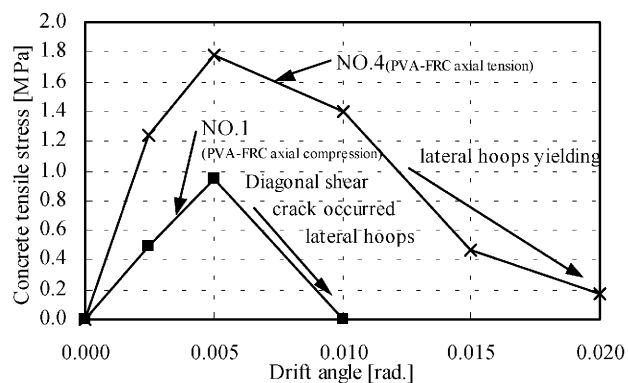


図-7 コンクリートに作用する引張力

*1 大成建設(株) 技術センター 建築技術研究所 工修 *1 Building Engineering Research Institute, Technology Center, Taisei Corporation, M. Eng.

*2 東京都立大学大学院 工学研究科 助教授・工博 *2 Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.

*3 東京都立大学大学院 工学研究科 助手・工博 *3 Research Associate, Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.