

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)

鉄筋コンクリート、繊維、柱、せん断

正会員 ○小坂 英生^{*1}
同 北山 和宏^{*2}
同 岸田 慎司^{*3}

1.0 ■はじめに 繊維混入コンクリートを用いた構造部材の研究はこれまで幾つか行われているが、繊維混入によるせん断抵抗機構への影響は明らかにされておらず、また定量的に示された設計式¹⁾などは幾つか提案されているものの定着するには至っていないのが現状である。本研究では、コンクリート自体の引張強度を高めるとともに、ひび割れ発生後も強度低下が少なく、高い変形性能を有する高靱性コンクリートとして繊維混入コンクリート (FRC) を使用した柱の基本的なせん断性状を把握し、繊維混入の影響を定量的に示した。

2.0 ■実験概要 図-1 に試験体形状、表-1 に試験体一覧を示す。

2.1 □試験体 試験体は実大の約 1/3 スケールを想定した正方形柱とし、柱せいが 250mm、せん断スパンは 375mm (a/D=1.5) とした。主筋および横補強筋の配筋は、全ての試験体においてせん断破壊先行型の破壊モードとなるように決定した。使用したコンクリートは F35N、F72N、35N、LF35N の 4 種類である。表-2 に使用コンクリートの調合を示す。F35N を使用し $P_w=0.26\% \cdot$ 圧縮軸力比 $\eta=0.32$ の NO.1 を基準試験体として、高強度コンクリート (F72N) を使用した NO.2、せん断補強筋の無い NO.3、引張軸力を加えた NO.4、繊維を混入しない普通コンクリート (35N) を使用した NO.5、軽量繊維混入コンクリート (LF35N) を使用した NO.6 の 6 体である。なお、F35N・F72N・LF35N とともに繊維はビニロン短繊維を用い、繊維混入量は体積比で 1% とした。表-3 にビニロン短繊維の特性を示す。

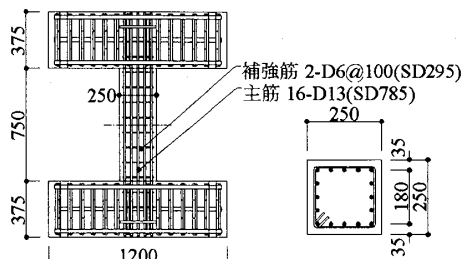


図-1 試験体形状

表-2 使用コンクリート配合表

| | 35N | F35N | F72N | LF35N |
|------------------------------|------|------|------|-------|
| 呼び強度 [N/mm ²] | 35 | 35 | 72 | 35 |
| 粗骨材最大径 [mm] | 20 | 20 | 20 | 5 |
| スランブ [cm] | 18 | 5 | 15 | 5 |
| 空気量 [%] | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| 水セメント比 [%] | 57.0 | 57.0 | 29.5 | 28.0 |
| 細骨材比 [%] | 50.3 | 50.3 | 42.3 | - |
| ビニロン繊維 [%] | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 水 [kg/m ³] | 168 | 168 | 175 | 203 |
| セメント [l/m ³] | 93 | 93 | 187 | 196 |
| シリカフェューム [l/m ³] | - | - | - | 48 |
| 細骨材 [l/m ³] | 349 | 349 | 251 | - |
| 粗骨材 [l/m ³] | 345 | 345 | 342 | - |
| 軽量細骨材 [l/m ³] | - | - | - | 553 |
| 混和材 [%] | 1.2 | 1.5 | 1.2 | 1.7 |

表-3 ビニロン繊維特性

| 直径 [mm] | 長さ [mm] | 密度 [g/cm ³] | 引張強度 [MPa] | ヤング係数 [GPa] |
|---------|---------|-------------------------|------------|-------------|
| 0.66 | 30 | 1.3 | 9.000 | 290 |

2.2 □実験方法 加力には建研式試験装置を用い、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。軸方向加力は荷重制御、水平方向加力は変位制御で行なった。水平方向の荷重履歴は、1/400 を 1 サイクル、1/200、1/100、1/66、1/50、を各 2 サイクル行ない、1/33、1/25 を各 1 サイクル行なった後、最後に最大で 1/10 まで押し切った。

3.0 ■実験結果 主筋が降伏することなく、また、主筋に沿った付着割れひび割れが発生する以前に耐力が低下したことから、全試験体ともせん断破壊した。表-4 に実験結果一覧、図-2 に最終的なひび割れ状況を、図-3 に P-δ 効果を考慮した層せん断力-層間変形角関係を示す。

3.1 □ひび割れ状況 NO.1,5,6 は柱中央部に一本の縦せん断ひび割れが発生し、上下ヒンジ領域には斜めせん断ひび割れが発生した。また、大変形時には柱外側主筋に沿った縦ひび割れが発生した。NO.2 は曲げひび割れ発生後に数本の斜めせん断ひび割れが発生したが、+4 サイクルの途中(層間変形角 R=0.6%)でせん断ひび割れが一本に繋がりを、R=0.8% でせん断ひび割れが大きく開口(4.0mm)した。最終的にはこのひび割れは 7.5mm まで開口した。NO.3 は 2 サイクルのピーク近くまでは柱中央部の細かい縦せん断ひび割れが発生したが、上下の曲げ圧縮域を結ぶせん断ひび割れの発生とともにひび割れが大きく開口し、耐力の低下とともに変形が大きく進んだ。またひび割れの本数が非常に少なかった。

表-1 試験体一覧

| No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------|---------------------------------------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
| 断面形状 | | | | | | | |
| コンクリート | 種類 | FRC | FRC | FRC | FRC | FC | LFRC |
| | 圧縮強度 [MPa] | 39.7 | 76.8 | 40.5 | 40.5 | 37.1 | 42.1 |
| | 引張強度 [MPa] | 3.4 | 5.0 | 3.4 | 3.4 | 2.8 | 2.7 |
| 主筋 | ヤング率 [GPa] | 30.0 | 33.5 | 29.0 | 29.0 | 27.6 | 16.1 |
| | 配筋 | 16-D13 | | | | | |
| | 降伏強度 [MPa] | 885 | | | | | |
| 補強筋 | 引張強さ [%] | 1.016 | | | | | |
| | 配筋 | 2-D6@100 | | - | | 2-D6@100 | |
| | 降伏強度 [MPa] | 3434 | | - | | 3434 | |
| 軸力 (圧縮正) | 補強筋比 [%] | 0.260 | | 0.000 | | 0.260 | |
| | N [kN] | 784 | 735 | 784 | -392 | 735 | 833 |
| | 軸力比 η | 0.32 | 0.15 | 0.31 | -0.15 | 0.32 | 0.32 |
| 曲げ強度 | 最終強度 M _u [kNm] | 2238 | 2533 | 224.5 | 126.5 | 2198 | 2238 |
| | 1/1 時せん断力 Q _{tu} [kN] | 596.7 | 675.4 | 598.6 | 337.3 | 586.2 | 596.7 |
| せん断強度 | 最終強度指数式 Q _{um} [kN] | 232.9 | 275.9 | 177.3 | 185.0 | 153.0 | 232.9 |
| | 荒川 Imin 修正 Q _{u,imin} [kN] | 290.6 | 400.7 | 254.6 | 202.1 | 177.2 | 290.6 |
| | 荒川 Imean 修正 Q _{u,imean} [kN] | 317.4 | 446.7 | 281.7 | 228.8 | 202.7 | 317.4 |

表-4 実験結果一覧

| No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------|-----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 曲げひび割れ | Q _{mc} [kN] | 159.6 | 107.5 | 158.7 | - | 134.3 | 143.2 |
| | せん断ひび割れ | Q _{sc} [kN] | 246.3 | 264.4 | 232.9 | - | 206.2 |
| 部材降伏 ¹⁾ | Q _v [kN] | 247.2 | 294.5 | - | 141.3 | 223.0 | 185.7 |
| | δ _y [%] | 0.77 | 0.80 | - | 1.00 | 0.65 | 0.50 |
| 最大耐力 | Q _{max} [kN] | 247.5 | 299.7 | 238.9 | 166.8 | 225.3 | 185.7 |
| | δ _{max} [%] | 0.50 | 0.85 | 0.45 | 1.50 | 0.50 | 0.50 |
| | Q _u [kN] | 198.0 | 239.7 | 191.1 | 133.4 | 180.2 | 148.6 |
| 限界変形率 ²⁾ | δ _u [%] | 1.30 | 1.00 | 0.60 | 3.00 | 1.10 | 1.20 |
| | 破壊モード | せん断破壊 | | | | | |

1) 部材降伏は、せん断補強筋降伏強さに達し、柱の層せん断力-層間変形角関係より剛性が低下する点を明記した。2) 限界変形率耐力は、層せん断力-層間変形角関係上で各サイクルの最大荷重を結んだ包絡線より、せん断耐力が最大耐力の 80% に低下した時の変形とした。

Shear Capacity of Fiber Reinforced Concrete Column (Outline and Results of Test)

KOSAKA Hideo, KITAYAMA Kazuhiro and KISHIDA Shinji

NO.4 は非常に多くの斜めせん断ひび割れが試験体全体に発生した。柱外側主筋に沿った縦ひび割れも見られた。

3.2□最大耐力 図4に各試験体の最大耐力を示す。繊維混入したRC柱のせん断強度はコンクリート圧縮強度を1.9倍増加させることによって21%増大した。繊維を混入したがせん断補強しなかったRC柱のせん断強度は、せん断補強筋比0.26%の柱とほぼ同程度であった。繊維混入したRC柱に引張軸力比-0.15を加えたせん断強度は、圧縮軸力比0.32の柱に比べ33%低下した。普通コンクリートに繊維を混入することによってせん断強度は10%増大した。軽量コンクリートに繊維を混入したRC柱のせん断強度は普通コンクリートに繊維を混入した場合の75%に留まった。

3.3□材軸直交方向の平均歪み 図5にNO.1,5の試験区間中8本の横補強筋について柱脚に近い部分を1として8までの歪み分布を、図6にNO.1,3,5の柱内法高さ中央から上下に110mm離れた位置での材軸直交方向の平均歪みを示す。繊維混入することによっても横補強筋が降伏歪みに達することを抑制することはできなかったが、変形の増加に伴う歪みの増加を抑制することができた。また、最大耐力以前の補強筋歪み分布に顕著な差は見られなかった。材軸直交方向の平均歪みは、繊維混入することにより大きく抑制できることがわかった。特に、繊維混入したが補強筋を設置しなかった試験体(NO.3)では、繊維混入せずに補強筋比0.26%の試験体(NO.5)よりも材軸直交方向の平均歪みは小さく抑えられるという結果になった。

4.0■おわりに ビニロン短繊維を混入することによってせん断強度は10%増大し、横方向への膨張を抑制する効果を確認した。また、最大耐力後の靱性能はある程度改善された。繊維混入によってかぶりコンクリートの剥落を防止できるので、地震時の安全性の確保に寄与すると判断できる。軽量骨材を使用し繊維を混入したRC柱のせん断強度は、普通コンクリートに繊維を混入した場合の75%に留まり、その使用には慎重な検討が必要である。今回の実験ケースに限れば、繊維混入はせん断耐力に影響を与えたが、横補強筋の影響は表面上現れなかった。最大耐力後の靱性能には横補強筋の影響が繊維混入の影響よりも大きかった。

■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、および基礎研究B:代表者-橋高義典東京立大学教授)によって実施した。繊維混入コンクリートについてご指導いただいた橋高義典教授、田村雅紀助手に感謝申し上げます。

■参考文献 1)永坂具也、望月重ほか:鋼繊維とせん断補強筋との複合抵抗機構に基づく鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱のせん断耐力、日本建築学会構造系論文報告集 第410号、PP.53-61、1990.4

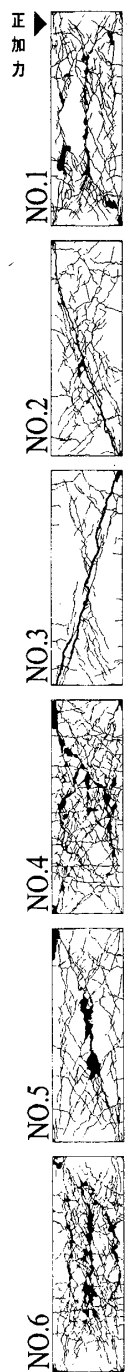


図-2 最終ひび割れ図

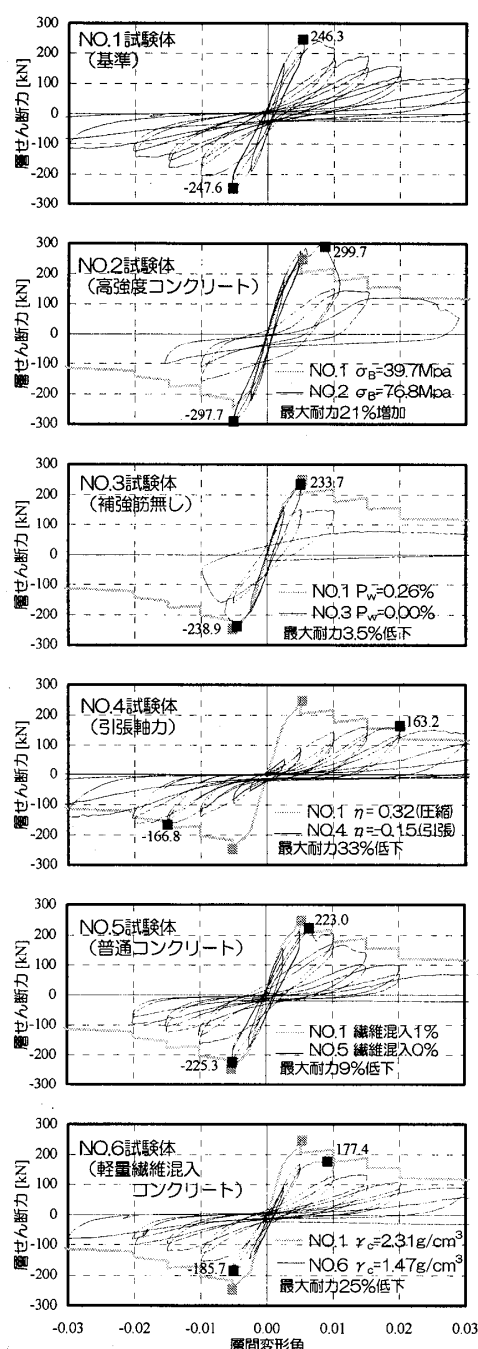


図-3 層せん断力-層間変形角関係

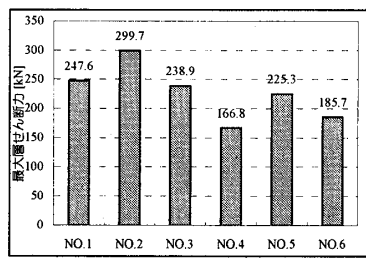


図-4 最大耐力比較

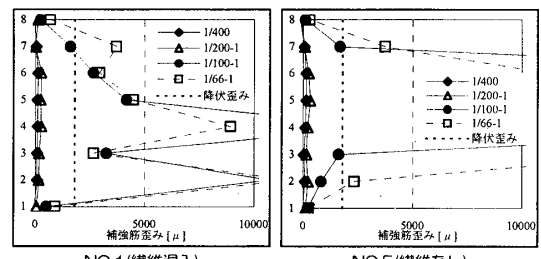


図-5 補強筋歪み分布

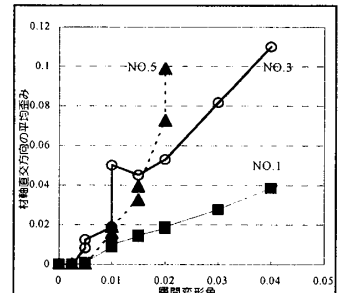


図-6 材軸直交方向の平均歪み

*1 東京都立大学大学院修士課程
*2 東京都立大学大学院助教授・工博
*3 東京都立大学大学院助手・工博

*1 Graduate school, Dept. of Architecture, faculty of Eng., Tokyo Metropolitan Univ.
*2 Assoc. Prof., Dept. of Architecture, faculty of Eng., Tokyo Metropolitan Univ., Dr Eng.
*3 Assistant, Dept. of Architecture, faculty of Eng., Tokyo Metropolitan Univ., Dr Eng.