報告 高軸力下における繊維補強コンクリートを用いた鉄筋コンクリート柱の実 験

古川 淳*1・荒川 玄*2・村上 秀夫*3・駿河 良司*4

要旨:本研究は、繊維補強コンクリートを用いた鉄筋コンクリート柱に軸力比 0.45 程度の高軸 力を与え、その力学的性状を把握することを目的として構造実験を行った。試験体は、せん断 スパン比 2.0 の曲げ破壊を想定した 2 体であり、実験因子を繊維補強コンクリートと繊維を混 入してないコンクリートとした。実験の結果、繊維補強コンクリートの試験体は、被りコンク リートの剥落もなく損傷は軽微であった。また、繊維補強コンクリートを用いた試験体では普 通コンクリートを用いた鉄筋コンクリート試験体に比べ軸変位が小さく、特に最大荷重以降に 顕著な差が現れた。

キーワード:繊維補強コンクリート,高軸力,柱,鉄筋コンクリート

1. 目的

近年,有機系の繊維を用いた繊維補強コンク リートは,ひび割れ幅の抑制効果や微細なひび 割れを一様に分散させることにより靭性能の向 上が望めることなどから多くの機関で基礎的な 研究開発が進められている。また,この特性を 活かした繊維補強コンクリートの部材適用につ いても研究データが蓄積されつつある。

一方,日常想定される荷重および再現期間が 概ね数十年程度の地震,風,雪荷重など稀に生 じる外乱に対して構造安全性の維持に支障のあ る損傷を生じさせず,耐久性上問題とならない 範囲に損傷を収めることを要求している設計法 がある。しかしながら,鉄筋コンクリート(以 下:RC)構造物では,高層化に伴い下層階の高 軸力を負担する RC 造柱で圧縮軸力の増大に伴 って主筋の座屈やコンクリートの脆性的な破壊 が生じ,RC 造柱の変形能力が低下し,ひび割 れなどにより機能性ならびに耐久性が問題とな る場合がある。

本研究の目的は, RC 造柱に繊維補強コンクリ ートを適用した場合の高軸力下での基本的な構

*1	鉄建建設㈱	建築技術部	工修	(正会員)
*2	大木建設㈱	技術研究所	工修	
*3	㈱鴻池組	技術研究所		(正会員)
*4	㈱錢高組	技術研究所	工修	

造性能を普通コンクリートと比較することによ り把握することである。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1に試験体諸元を、図-1に試験体配筋 図を示す。試験体は、高層 RC 造建物の最下層 を想定した実大の約1/3のモデルの2体であり、 曲げ降伏するように設計した。試験体の形状お よび配筋は2体共通で、柱断面b×D=350mm× 350mm、内法スパン1400mmで、せん断スパン 比 2.0 である。試験体に用いた鉄筋は、主筋に は D19 (SD390) せん断補強筋はピッチ 60mm

表一1 試験体諸元

試験体	RC1	VF1	
幅(b)×せい(D) (mm)	350×350		
内法高さ (mm)	14	00	
M/QD	2.	.0	
主筋	12-D19((SD390)	
主筋量 pg(%)	2.81		
帯筋	4-D6@60(SD785相当)		
帯筋量 pw(%)	0.6		
	0.45		
コンクリート強度 σ _B (N/mm ²)	48.8	49.1	
繊維混入率 Vf (vol%)	0	1.5	

とし,溶接閉鎖型の D6(SD785 相当)を用いた。 試験体の実験因子は、コンクリートへの繊維混 入の有無とした。ここで、繊維を混入していな い試験体を RC1, Vf=1.5%の繊維を混入した試 験体を VF1 と呼ぶこととする。また、試験体の コンクリート打設は、2体とも横打ちとし、VF1 試験体では試験区間のみ繊維補強コンクリート を打設している。

2.2 載荷および計測方法

図-2に載荷装置図を示す。試験体の下スタ ブを反力鉄骨に固定し、一定軸力(0.45bD σ_B) を載荷した。そして、水平ジャッキにより、柱 頭にL型載荷用梁を用いて試験体中央が反曲点 となるように逆対称載荷した。載荷履歴は, R= $\pm 1/800$ で1回, $\pm 1/400$ で1回, $\pm 1/200$ で2 回, $\pm 1/100$ で 2 回, $\pm 1/67$ で 2 回, $\pm 1/50$ で 2 回, ±1/33 で1回, ±1/20 で1回づつ繰り返し, 最後に+1/15の載荷を行うことを目標とした。

主な計測項目は、軸力、水平力、全体変位、 曲げ変位,軸変位,主筋および帯筋歪みとした。 水平力および軸力は,油圧ジャッキに取り付け たロードセルにより測定し, 試験体の全体変位 および軸変位についてはスタブに取り付けたゲ ージホルダと変位計により測定した。

2.3 材料

(1) 普通コンクリート

RC1 試験体に用いた普通コンクリートについ て, 表-2に調合表を示す。目標強度を 50N/mm²とし、水セメント比 W/C=45.5%とした。 また、品質管理はスランプ値(18cm)とした。

(2) 繊維補強コンクリート

VF1 試験体に用いた繊維補強コンクリートに ついて,表-3に繊維の標準性能を,表-4に

表-2	表-2 普通コンクリート調合表					
水セメント比	空気量	細骨材率	AF演水刻			
W/C	Air	S/a	ALUQ/IN HI			
(%)	(%)	(%)	(C×%)			
45.5	4.5	47.3	0.95			
単位量(kg/m ³)						
水	セメント	細骨材	粗骨材			
W	С	S	G			
175	374	847	969			





表-3 繊維の標準性能

材質	径	長さ	破断強度	弹性係数	比重
/ / 頁	(µm)	(mm)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(g/cm^3)
ポリビニール アルコール	400	30	883	29400	1.30

表-4 繊維補強コンクリート調合表

繊維混入率水結合材比		空気量	細骨材率	AE減水剤		
Vf W/B		A_{1r}	S/a	$(\mathbf{D} \times 0/1)$		
(vol%) (%)		(%)	(%)	(B×%)		
1.5 40.0		3.0	70.0	2.4		
単位量(kg/m ³)						
	単位	量(kg/m	3)			
水	単位 セメント	量(kg/m 混和材	³) 細骨材	粗骨材		
水 W	単位 セメント C	量(kg/m 混和材 FA	³) 細骨材 S	粗骨材 G		





コンクリートの調合表を示す。繊維は、ポリビ ニールアルコール系の径 400 µm, 長さ 30mm を使用した。コンクリート材料は、普通ポルト ランドセメントを, 混和材にはフライアッシュ を使用し、水結合比を W/B=40%とした。

品質管理は、ベースコンクリートではスラン プフロー60cm×60cm とし、繊維補強コンクリ ートについてはスランプ値(18cm)とした。

練り混ぜは,強制2軸ミキサーにより,1回 の練り混ぜ量を60リットルとし,5回練り混ぜ を行った。練り混ぜ方法は,セメント,混和材, 骨材を空練りし,AE減水剤を含む練り混ぜ水 を投入してベースコンクリートを製作した。そ して,ベースコンクリートを練り混ぜながら繊 維を投入した。

4 週後に圧縮強度,曲げ強度,直接引張強度 の試験を行った。各材料試験結果を表-5に, 一例として図-3A)~C)には応力と歪みま たは変位関係を示す。ここで,各試験の供試体 寸法は,圧縮強度と直接引張強度試験ではφ100 ×200mm,曲げ強度試験では100×100×400mm とした。各試験方法は,圧縮強度および曲げ強 度試験は,それぞれJIS A1108 およびJIS A1106 に準拠し,直接引張強度試験では文献4)に準じ て供試体端部に繊維シートで補強し,その部分 をチャックで掴み供試体に直接引張力を加えた。 全ての試験で,繊維補強コンクリートでは最大 強度後の急激な耐力低下はなく,歪みもしくは 変位が徐々に進み耐力低下した。曲げ強度試験

表一5 材料強度試験結果

	普通 コンクリート	繊維補強 コンクリート
圧縮強度 (N/mm ²)	48.8	49.1
ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	3.39	3.15
曲げ強度 (N/mm ²)	4.43	5.48
直接引張強度 (N/mm ²)	1.96	2.26

表-6 鉄筋材料特性

	D19	D6
降伏応力 (N/mm ²)	441	1000
降伏歪み (%)	0.26	0.92
引張強度 (N/mm ²)	615	1167
ヤング係数 (×10 ⁵ N/mm ²	1.7	1.67
伸び率 (%)	21.7	3.9
呼び強度	SD390	SD785相当

*D6 は 0.2% offset 値

表-7 実験結果および計算値

		RC1		VF1		
		荷重	変形角	荷重	変形角	
		(kN)	(rad.)	(kN)	(rad.)	
曲げて	トび割れ	258	- 1/800	367	1/400	
Ŀ	E壞	483	- 1/200			
主筋引張降伏		508	1/200	522	1/200	
主筋座屈		362	- 1/20			
最大荷重		538	1/100	578	1/100	
	111	者強度計算	算値(kN)			
曲げひび割れ強度		269.2		271.2		
曲げ終局	略算式	493		494.7		
強度 ¹⁾	ACI式	441.8		4	43.4	
せん断強	終局式2)	885.2		885.2 886.9		86.9
度(Rp=0)	靭性指針式 ³⁾	656.4		657.7		

では、繊維補強コンクリートが普通コンクリー トより曲げ強度が平均で20%程度大きい。

(3) 鉄筋

表-6に鉄筋の材料特性を示す。また,帯筋 に溶接閉鎖型を使用していることから,溶接部



写真-1 最終ひび割れ状況

分の引張試験も行った。その結果,母材破断と なり溶接には問題なかった。

3. 実験結果

3.1 実験結果概要

表-7に実験結果と諸強度の計算値を,写真 -1に各試験体の最終ひび割れ状況を示す。な お,表中の最大荷重以外は,先に発生した荷重 と変位を示している。

載荷前の RC1 試験体では, 試験区間に乾燥収 縮ひび割れが若干みられた。また, VF1 試験体 は表面が繊維で毛羽立っていなかった。RC1 試 験体では、曲げひび割れが変形角 R=1/800rad. で発生したが、VF1 試験体では R=1/400rad.で発 生した。また、いずれの試験体も主筋の引張降 伏および最大耐力は、それぞれ R=1/200rad.と R=1/100rad.で確認された。また, RC1 試験体で は被りコンクリートの剥落が柱端部で R=1/200rad.に確認され, R=1/100rad.では被りコ ンクリートの剥落が顕著となり, R=1/20rad.付 近から主筋の座屈が顕著に観察された。VF1 試 験体では、最終載荷サイクルまで被りコンクリ ートの剥落はなく, 顕著な主筋座屈も観察され なかった。実験終了後の各試験体のひび割れ状 況を観察すると、RC1 試験体では端部の被りコ ンクリートの剥落が激しく, 数本のひび割れが 大きく開いていた。VF1 試験体では、ひび割れ



は端部から1D(柱せい)区間で多数発生してい たが、ひび割れは殆ど閉じた状態であった。

3.2 荷重と変形の関係

図-4に各試験体の荷重(せん断力)と変形 曲線を示している。図中の破線はP-δ効果を示 し、□と●の記号は曲げひび割れ荷重と最大荷 重時を示している。また、図-5はせん断力を コンクリート圧縮強度と柱断面積との積で除し て無次元化した各試験体の包絡線を示す。なお、 本図ではP-δ効果を考慮している。

両試験体とも主筋が R=1/200rad.で引張降伏 し,最大荷重後に急激な荷重低下もなく,紡錘 形の履歴曲線を示した。従って,RC1と VF1 試 験体は曲げ降伏したと言える。各試験体を比較



すると,RC1 試験体は R=1/100rad.の直前に端部 の被りコンクリートが剥離して耐力が低下し, 変形が進んだ後に最大荷重に達した。その後, R=1/20rad.まで殆ど同じ曲線となったが,RC1 試験体では R=-1/20rad.で主筋座屈した後,除荷 時の曲線が大きく膨らんだ。図 - 5 では,各試 験体とも最大荷重までは同じ包絡線となったが, 最大耐力以降に変形が進むと,VF1 試験体の荷 重は若干増加する傾向をみせ,RC1 試験体では 若干減少する傾向となっている。

3.3 軸変位と変形角の関係

図 - 6 に各試験体の正載荷時による試験体の 鉛直方向変位である軸変位と変形角の関係を示 す。なお,図中の は RC1 試験体を, は VF1 試験体を示す。

各試験体とも,R=1/100rad.までは同様な軸変 位を示していたが,それ以降の変形角でRC1 試 験体の軸変位が急激に大きくなっている。特に, R=1/100rad.~R=1/50rad.における同変形角の繰 り返し時では,RC1 試験体の軸変位は大きくな っている。VF1 試験体は,繰り返し載荷を行っ ても著しい軸変位の進展はみられない。

3.4 端部の平均曲率分布

図 - 7 に正載荷時のピーク時における各試験 体の柱脚部付近の平均曲率分布を示す。なお, 図中の記号で白抜きは RC1 試験体を,黒塗りは VF1 試験体を示す。

A点の平均曲率は,各試験体とも小さな曲率



図 - 7 平均曲率分布

となり,変形が進んでも殆どかわらない。B 点 の平均曲率は,いずれの試験体も R=1/67rad.ま で同程度の平均曲率となっているが,以降の変 形角が進展するにつれて VF1 試験体の平均曲 率が大きな曲率となっている。

3.5 帯筋の歪み履歴

図 - 8 と図 - 9 に帯筋(外周筋)の歪み履歴 を示す。ぞれぞれの図の計測位置は,柱頭端部 より 160mm 離れた位置にある外周筋のせん断 面とせん断面と直交する面(載荷面)の外周筋 中央部である。図 - 10にそれぞれの計測位置 を示す。なお,図 - 8 および図 - 9 にある記号 は,をRC1 試験体,をVF1 試験体を示す。

図 - 8 では,各試験体とも正負載荷で対称な 歪み履歴を示している。また,R=1/100rad.まで は各試験体とも同様な履歴性状を示したが, R=1/100rad.の繰り返し載荷から RC1 試験体の 歪みが急激に大きくなり,それ以降の繰り返し 載荷を受ける度に歪みが大きくなっている。 VF1 試験体では,R=1/50rad.まで歪みの進展も 繰り返し載荷の影響が顕著にみられない。

図-9では、両試験体ともに、計測位置のコ ンクリートが圧縮力を受ける負載荷時の歪みが 正載荷時の歪みに比べ大きくなっているが、正 載荷時と同様に VF1 試験体は RC1 試験体に比 べ歪み値が下回っている。

4. 結論

せん断スパン比 2.0 とし、繊維補強コンクリ ート柱試験体と普通コンクリート柱試験体で高 軸力下において逆対称載荷試験をした結果、本 実験の範囲で以下の知見が得られた。

- (1) 繊維補強コンクリートを用いて現行の設計 法により曲げ降伏とすることができた。ま た,繊維補強コンクリートは、被りコンク リートの剥落やひび割れ幅抑制に効果的で あった。
- (2) 繊維補強コンクリートを用いると、最大荷 重以降で普通コンクリートよりも上回る荷 重を維持した。
- (3) 繊維補強コンクリートの試験体は、普通コンクリートの試験体と比較して最大荷重後の軸変形を抑制した。また、引張力が発生するコンクリート面では、帯筋の歪みの負担がより小さい。

謝辞

本研究は、大木建設㈱、㈱鴻池組、五洋建設 ㈱錢高組、鉄建建設㈱、日産建設㈱、三井住友 建設㈱の7社と共同研究で行った。また、実験 実施にあたり㈱クラレより繊維材料を提供して 頂いた。

参考文献

1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造



- 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
- 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建 物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999.8
- 4) 佐藤幸博,福山洋,諏訪田晴彦:高靱 性型セメント系複合材料の一軸引張一 圧縮繰り返し試験方法の提案,日本建 築学会構造系論文集,第 539 号, pp.7-12, Jan, 2001