

論文

[2112] 偏心圧縮力を受ける実大 RC 柱の歪性状に関する研究

張 冠華*³・嶋津孝之*¹・荒木秀夫*²・福島順一*⁴

1、はじめに

鉄筋コンクリート造建物の高層化につれて、それに伴う各種実験的研究が行なわれているが、試験機の制約や作業性の問題から縮小試験体を用いた実験となるのが現状である。材料特性や施工性に関するものは特に実大試験体で行なうのが望ましく、本研究はこのような観点に立ち、実大の断面を持つ遠心成形及び通常打設方法による鉄筋コンクリート柱の偏心圧縮実験を行ってきた [1, 2]。遠心成形柱は、プレキャストであるだけでなく、柱中心から半径方向に向かってコンクリート強度が上昇する利点を持ち、高強度でしかも高品質なものとして期待されているものである。本論文では特に鉄筋やコンクリートの各所歪分布、歪と試験体軸歪との関係、破壊性状との関係等を調べ、両打設方法による柱の有意性を調べる。

2、実験概要

2-1 試験体および加力方法

(1)試験体 試験体は750mm×750mm×1500mm のもので図1に示す。遠心成形試験体は中央部に直径約 180mmの貫通孔を有している。遠心成形試験体 (RPCC-8) 2体、通常打設の均一強度試験体 (横打ち、RUNI-8) 2体の計4体である。それぞれ2体ずつあるのは抵抗挙動のばらつきを見るためのものである。

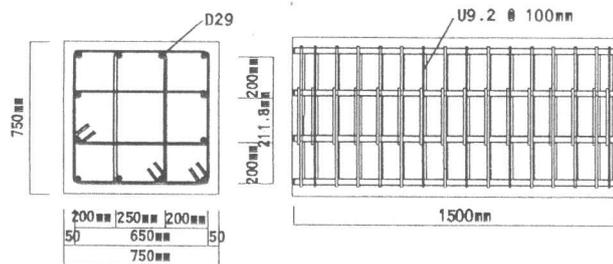


図1 試験体形状及び配筋

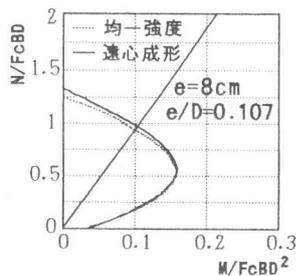


図2 M-N相関図

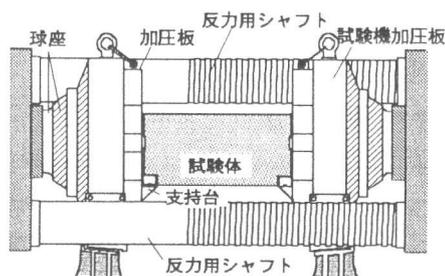


図3 加力図

(2)加力 偏心圧縮加力は広島大学所有の 3000tonf能力の試験機を用いて行なった。偏心距離8cmのM-N曲線上での位置は図2に示す通りである。その概要は文献[1, 2] に詳述してあるので、ここでは加力図を図3に載せるにとどめる。

2-2 試験体材料

(1)コンクリート 使用したテストシリンダーは10φ×200mmであるが計測は検長区間60mmのコンクリート用ストレイン

表1 コンクリート力学的特性

試験体	同一養生シリンダー強度		
	Fc(kgf/cm ²)	ε _o (x10 ⁻³)	Ec(x10 ⁵ kgf/cm ²)
RUNI-8-1	548.95	2406.3	3.64
RUNI-8-2	510.4	2328.6	3.57
RPCC-8-1	548.0	2375.67	3.44
RPCC-8-2	547.6	2328.8	3.45

* Ec at Fc/3

- * 1 広島大学教授 工学部第4類、工博(正会員)
- * 2 広島大学助教授 工学部第4類、工博(正会員)
- * 3 広島大学大学院 工学研究科構造工学専攻、工修(正会員)
- * 4 大成建設(株) 設計本部構造設計第1部室長、工修

ゲージとコンプレッソメータを用いて行なった。各試験体の同一養生シリンダーから得られたコンクリートの力学的特性を表1に示す。コア抜き試験結果の詳細は文献[2]に示してあるのでここでは割愛するが、遠心成形柱における最大強度分布および最大強度時歪の分布を図4に示す。又、同図に同一養生シリンダーの結果も示す。尚、各点は不良値の棄却検定[3]後5~10本のシリンダー試験の結果を平均したものである。最大強度と最大強度時歪は中心より半径方向に沿って高くなっている。中心に近いところの強度は同一養生シリンダー強度程度であり、半径方向外側に向かって上昇している。反対に最大強度時歪は外に近いところが同一養生シリンダーの歪程度で、半径方向内側になるほど低い値となっている。

(2)鉄筋 主筋には12-D29を配し、鉄筋比は $p_R=1.37\%$ である。帯筋には高強度鉄筋ウルボンU9.2を用い、外周フープおよび中子筋で構成している。せん断補強筋量は無筋柱の不安定性を回避するためのものであり、最少限のものを考え $p_w=0.35\%$ とした。主筋および帯筋の降伏歪はそれぞれ約 2200μ 、 7700μ 程度である。図5に各鉄筋の応力度-歪度曲線を例示するとともに、表2に各鉄筋の力学的特性を示す。値はそれぞれ3本ずつ引張試験した平均値である。

2-3 測定方法

(1)コンクリート コンクリート表面に貼付したストレインゲージは図6に示す通りである。使用したゲージ長は骨材寸法を考慮して60mmのものである。また、試験体側面には試験体全体の軸方向歪や曲率を調べるために変位計をセットした。

(2)鉄筋 主筋および帯筋に貼付したストレインゲージは図7に示す通りである。各貼付カ所には2枚から4枚のゲージを貼付し、安定した軸方向歪を抽出できるようにした。使用したゲージ長は1mmのものである。

3、実験結果および考察

3-1 結果の概要

(1)破壊性状 歪の考察に先立ち破壊性状および荷重変形関係について概説する。最大耐力の直前で側面の上部主筋位置に加力方向に平行なひび割れが発生し、その後荷重(変形)を増大させてゆくとひび割れが拡大し、上

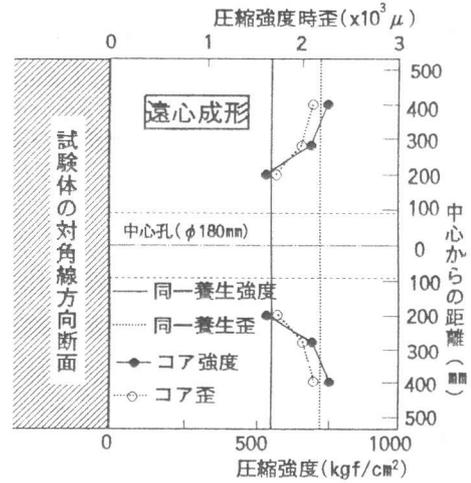


図4 強度及び圧縮強度時歪分布

表2 鉄筋の材料特性

鉄筋種類	降伏強度 kgf/cm ²	強度 kgf/cm ²	ヤング係数 kgf/cm ² (x10 ⁶)
D29	4176	5784	1.89
U9.2	14001	15086	1.81

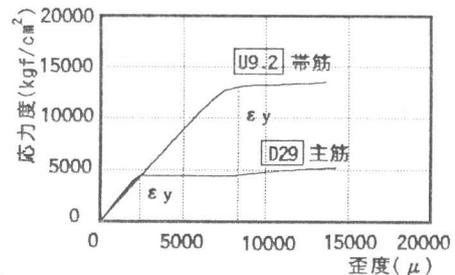


図5 鉄筋の応力度-歪度曲線

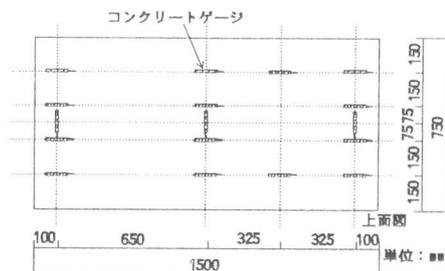


図6 コンクリートゲージ位置

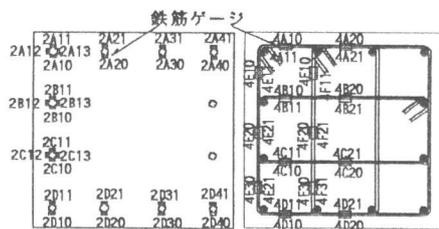


図7 鉄筋ゲージ位置

端のかぶりコンクリートが剥離状態となる。最大耐力後も帯筋によって拘束されたコアコンクリート部分が荷重を負担するため耐力を維持していた。遠心成形と均一強度試験体とで破壊性状に大きな相違はなかった。図8に遠心成形および均一強度試験体の最終破壊状況を例示する。

(2)荷重-変形関係 図9に4試験体の荷重と軸歪の関係、曲げモーメントと曲率の関係をまず最初に示しておく。同図の横軸は試験体側面の上下に取り付けた3本の変位計(各検長区間 260mm)平均から求めた試験体中央部(検長区間 780mm)の平均軸歪である。耐力及び歪ともに遠心成形のものが若干高いものの4試験体ともほぼ同じ形状である。モーメントと曲率の関係もほぼ同じ傾向である。実験最初に行なった均一強度試験体RUNI-8-1が初期勾配あたりが他のものと若干異なるのは加力試験機の作動不良により1500tonfの繰り返しを数回行なった影響と考えられる。

3-2 歪性状

(1)主筋歪 図10に試験体中央部の主筋の軸方向歪と荷重の関係を示す。主筋の降伏歪は、2200 μ 程度であり上部の2本の主筋は最大耐力時あるいはその直前に圧縮降伏する。下部の主筋は2本とも降伏前となっている。最下部の鉄筋では、最大耐力以後引張歪も観察された。均一強度と遠心成形試験体とで大きな差は見られない。図10中に均一強度、遠心成形試験体各一体の計算値を例示する。ほぼ実験値と同様な傾向を示している。計算方法は断面分割法(75 \times 75分割)で、コンクリートの応力度-歪度曲線にはカバーコンクリートにはPopovics式、コアコンクリートには修正 Kent and Park式を用いている。仮定した応力度-歪度曲線を図11に示す($\epsilon_0=2200\sim 2400\mu$)。鉄筋はバイリニア型としている。

図12に均一強度試験体の各荷重段階の歪分布を例示する。図は約100ton間隔で示してある。荷重が2200~2400tonfで最外縁主筋の歪が2000 μ 程度の降伏前あたりまでほぼ直線的なひずみ分布であり、平面保持が成立している。

(2)コンクリート表面歪 図13に試験体上面の中央部4点の各荷重段階における歪

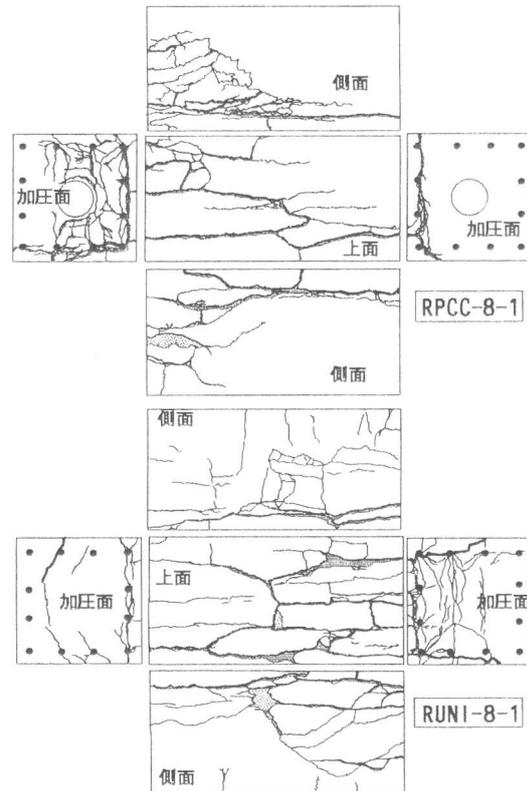


図8 最終破壊状況

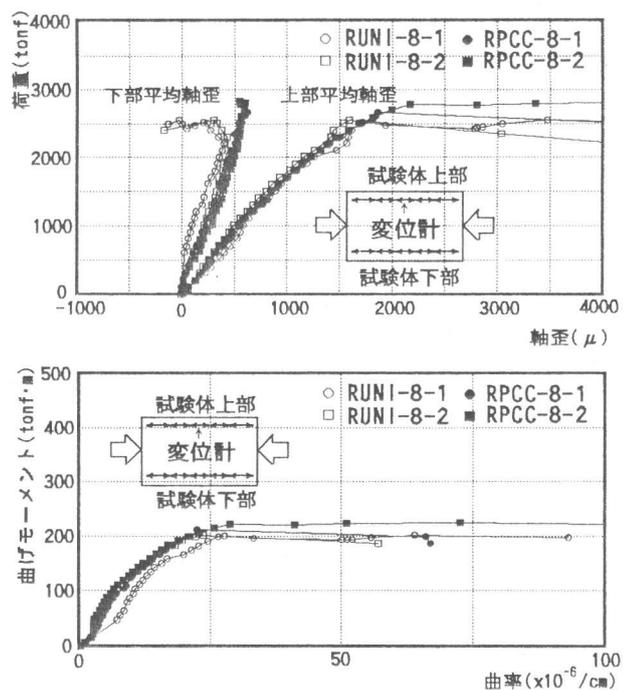


図9 荷重-変形関係

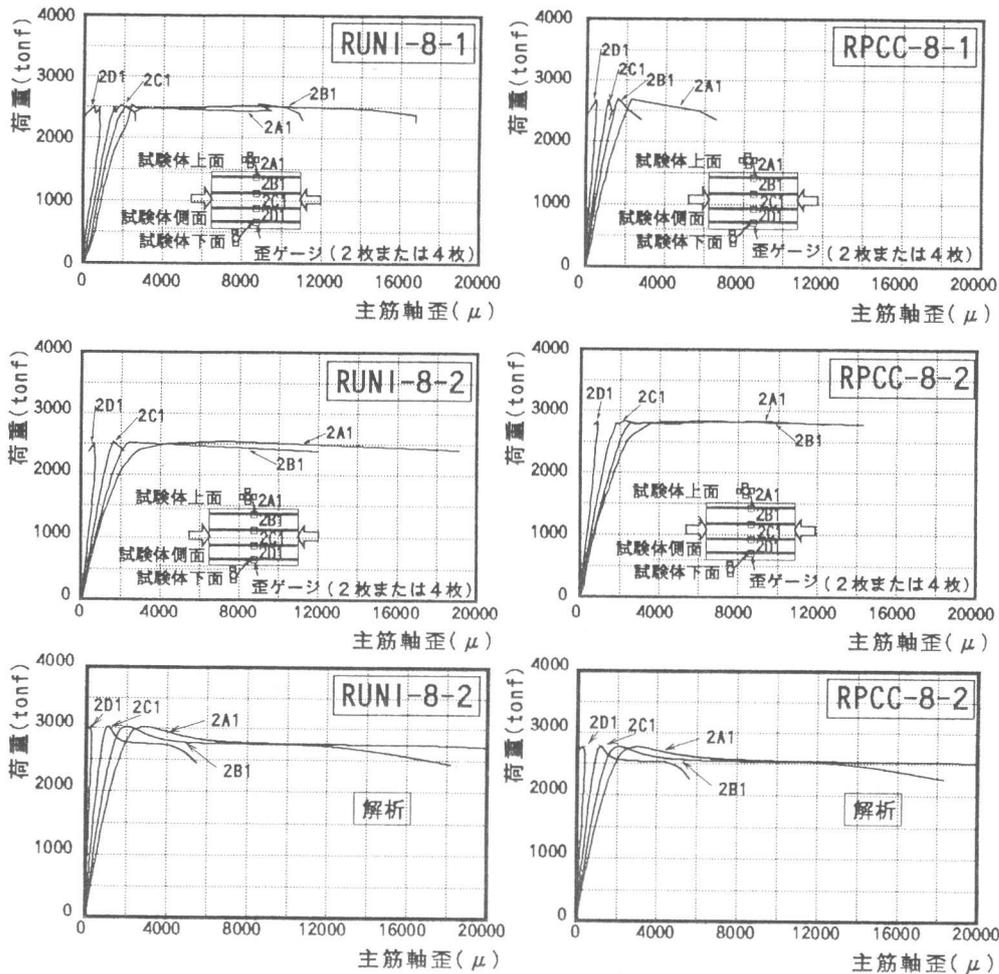


図10 荷重-主筋歪関係

性状を示す。図は約100ton間隔で示してある。遠心成形のものは均一強度試験体に比べ、試験体幅方向に平均的で、安定している。均一強度試験体は場所によっては3000 μ を大きく越えるものもある。両者平均すると遠心成形試験体が2400 μ 、均一強度試験体が2700 μ となり、いずれもシリンダー試験より求めた最大強度時歪を上回っており、計算値からも予想されるように歪軟化域に入っていることがわかる。

(3) 帯筋歪 図14に試験体中央部の帯筋各所の歪と中心軸歪関係を示す。横軸の中心軸歪は試験体側面中央部の縦方向に設置した上下3本(計6本)の変位計の平均から求めたものである。均一強度試験体は中心軸歪が1000 μ に達する直前に、帯筋の歪が一挙に増加する。同図中に荷重と中心軸

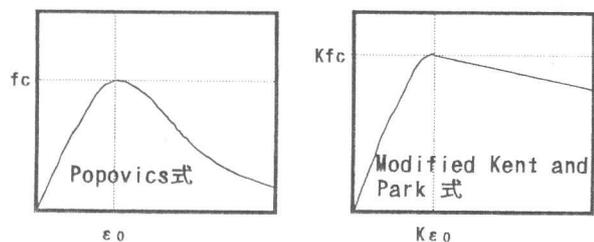


図11 仮定した応力度-歪度曲線

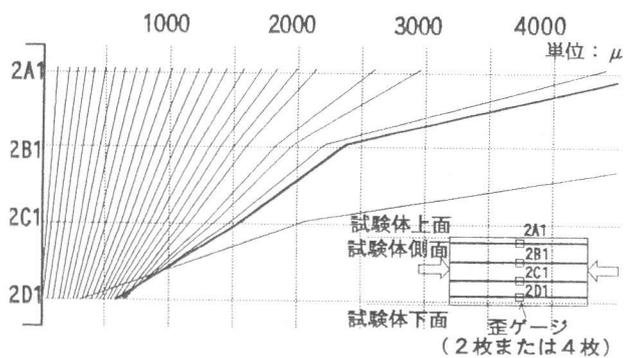


図12 主筋歪分布性状

歪の関係も示したが、最大耐力に達する直前が 1000μ となっている。最大耐力以後は幾分増加するものの一定歪に近づく傾向にある。その一定値について同じ試験体の各所の歪を比べてみると外周フープでは軸圧縮応力度の大きい試験体上部の歪が大きく、中子筋の歪は内部のものが大きい。また、他の試験体も同傾向であった。同図に示す遠心成形試験体は均一強度のものとは異なる傾向を有していた。中心軸歪が約 1000μ の時点から帯筋歪が増加しはじめるのは同じであったが、 $1200\sim 1500\mu$ にかけて徐々に増加する。いずれにしてもかぶりコンクリートが剥離し、主抵抗部分がコア部分に移った後は帯筋が有効にはたらし拘束効果を発揮している。また、帯筋に使用した高強度鉄筋の降伏歪は図5をみると $7000\sim 8000\mu$ であり、各試験体のいずれの個所も降伏していない。最終状況は主筋の座屈とともにコアコンクリートが圧壊し、帯筋の破断した試験体もあったが、帯筋の歪が最大でも 4000μ であり、降伏歪に対し、まだかなり余裕のある状態であることから、主筋の座屈によって引き起こされた破断と考えられる。

4、結論

偏心圧縮を受ける実大鉄筋コンクリート柱の破壊性状や最大耐力等は圧縮応力の大きい面のかぶりコンクリートのひび割れ、剥離によって大きく影響を受けているが、鉄筋やコンクリート各所の歪性状を各荷重段階で検討し、以下のことが実験的に得られた。

- 1) 主筋歪の分布：最大耐力直前まで平面保持が成立しているが、圧縮域の最外鉄筋の降伏によって平面保持が成り立たなくなる。これらの傾向を解析的に追跡した。
- 2) コンクリート表面歪：圧縮応力の高い上面の平均歪はシリンダー試験から得られた最大強度時歪を超えて、計算結果から予想されるように歪軟化域に入っていた。
- 3) 帯筋歪の分布：均一強度試験体は最大耐力時から急激に拘束力を発揮し始め、その後一定歪になるが、遠心成形試験体の帯筋は最大耐力以前から比較的ゆるやかに歪増加が見られる。いずれの帯筋も降伏歪には至っていない。
- 4) 歪性状、破壊性状や最大耐力における寸法効果の定量化は、今後の課題としたい。

【謝辞】

本研究は大成建設（株）より広島大学に委託された研究の一部である。本社設計本部の関係各位に謝意を表します。実験実施にあたり、ニチブ（株）、広島大学文部技官清水 高、京泉敬太の両氏に協力頂いた。また、実験およびデータ整理には広島大学修論生松本孝治、同卒論生栗山悟、鹿角英児の諸君に協力頂いた。ここに関係各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 大石哲哉、嶋津孝之、荒木秀夫、張冠華：実大無筋コンクリート柱の耐力と変形能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15, No. 2, pp. 513~518, 1993
- 2) 張冠華、嶋津孝之、荒木秀夫、他：実大鉄筋コンクリート柱の弾塑性挙動に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol. 40B, pp. 323~334, 1994
- 3) 谷川恭雄、他：構造材料実験法（第2版）、（株）森北出版