

論文

[2086] 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

大石哲哉\*1・嶋津孝之\*2・荒木秀夫\*3・張冠華\*1

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート造建築物の長大化・高層化への傾向が強くなり、それともなう各種部材の実験的研究が盛んに行われている。それらの実験に用いられる試験体は、試験機の制約や作業性の問題等から縮小模型となるのが常であるが、実大試験体による耐力、剛性の確認は極めて重要である。特に寸法効果を明らかにしてゆく必要がある[1]。

この度著者等は、実構造物に使用される大きさの鉄筋コンクリート柱の圧縮力・曲げに対する抵抗特性を調べる機会を得た。本実験では、まず基本的性状を把握するために試験体を無筋とし、断面形状を750mm×750mmとしている。鉄筋コンクリート構造物において地震時の各層梁のせん断力による軸力変動が大きい外柱を対象とし、変動軸圧によって高レベルの軸圧を受ける場合を想定して、偏心率の小さい偏心圧縮実験を行った。試験体長は1500mmとしている。試験体端面と加圧板の間には減摩材としてテフロンを挿入した。また無筋の場合、局所的な破壊で耐力が決まる場合が予想されるので、テフロンと加圧板の間に緩衝材として薄厚のゴムを挿入した。実大実験に先立って、これら挿入材の端面拘束の効果を見るために、小型のシリンダー寸法の試験体を用いてテフロンやゴムの厚さを変えた実験を行った。本論文はこの2つの実験について述べる。

2. 端面拘束に関する基礎的実験

表1 減摩材の組み合わせ

コンクリートの圧縮実験を行う際、加圧板と試験体端面の間の拘束により、見かけ強度が大きくなるのが指摘されている[2]。実大実験を行う際に端面拘束に関する検討を行った。

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| ① テフロンのみ        | ⑤ 減摩材・緩衝材無し |
| ② テフロン+1.5mmゴム  | ⑥ 1.5mmゴム   |
| ③ テフロン+4.0mmゴム  | ⑦ 4.0mmゴム   |
| ④ テフロン+10.0mmゴム | ⑧ 10.0mmゴム  |

2.1 実験概要

減摩材の組み合わせを表1に示す。基本は「テフロン+ゴム」と「ゴムのみ」の場合である。1.5mm厚のゴムは実大実験と寸法比が同じである。試験体形状、減摩材挿入位置及びひずみ測定位置を図1に示す。試験体数は各4本である。

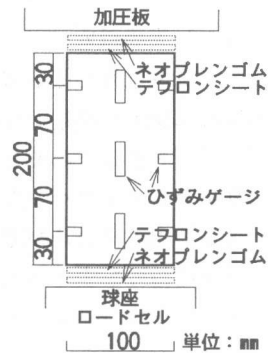


図1 実験概要

2.2 実験結果及び考察

(1) 破壊性状

破壊性状を図2に示す。(a)図の「テフロンのみを挿入」したものは、高さ方向に沿って加力方向と同方向に多数のひび割れが見られる。(b)図の「何も挿入しない」ものは、従来の円錐形である。(c)図の「ゴムだけを挿入」したものは、割裂実験の様に中央から

\*1 広島大学大学院 工学研究科構造工学専攻(正会員)  
 \*2 広島大学教授 工学部第四類、工博(正会員)  
 \*3 広島大学助教授 工学部第四類、工博(正会員)

2分割された。テフロンと組み合わせてゴムを挿入した場合、ゴム厚が薄いと(a)図に、厚いと(b)図に近い破壊性状を示した。

### (2) 力学的特性

「テフロンのみを挿入」を基準とし、力学的特性をグラフ化したものを図3に示す。テフロンを入れない場合はゴム厚の増加に伴い強度やひずみが大幅に減少するが、テフロンを入れた場合あまり影響ない。この場合、特に強度はゴム厚が薄い程影響は少なく1.5mmで4%の低下である。(1)(2)より、実大実験におけるゴム挿入は、テフロンを挿入すればさほど影響はないが、この場合でも微妙に実験現象の変化を与えると言える。

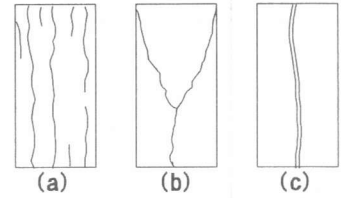


図2 破壊性状

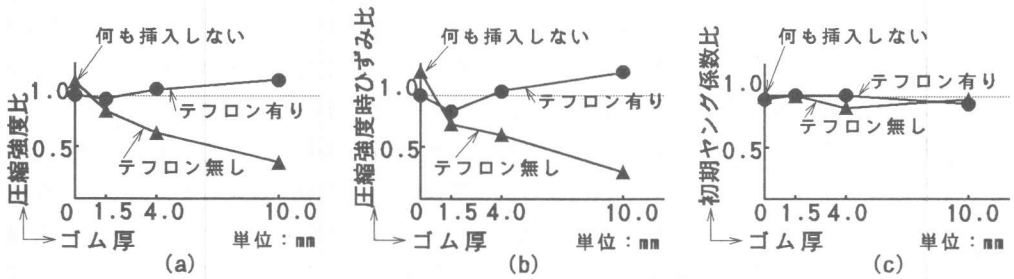


図3 端面拘束の違いによる力学的特性

### 3. 実大実験

実大試験体形状詳細は、図4に示す750mm×750mm×1500mmの直方体である。設計強度は420kgf/cm<sup>2</sup>とした。試験体数は3体、内1体をコア抜きし、シリンダーの圧縮実験(以下、コア実験とする)に使用した。先に、コア実験について報告する。

#### 3. 1 コア実験

この実験は、コアの力学的特性を調査したものである。

##### (1) 実験概要

コア採取位置を図5に示す。1500mmのものを採取した後、200mmに切断し両端面は研磨仕上げした。コア名称を同図中に示す。コア数はそれぞれ5本である。試験体と加圧板間には、減摩材としてテフロンを挿入した。表1の①に相当する。

##### (2) 実験結果及び考察

力学的特性を表2に示す。圧縮強度は打ち込み上部から下部にかけて上昇し、平均は450kgf/cm<sup>2</sup>である。圧縮強度時ひずみが平均2500μである。初期ヤング係数は3.12×10<sup>5</sup>kgf/cm<sup>2</sup>と大きい。圧縮強度時ひずみ及び初期ヤング係数を圧縮強度との関係において検討した。図6及び図7に既往の実験式を示し、本実験の結果を●点でプロットした。圧縮強度時ひずみは野口の修正Shah式、初期ヤング係数は、Popovics式との対応が良い。

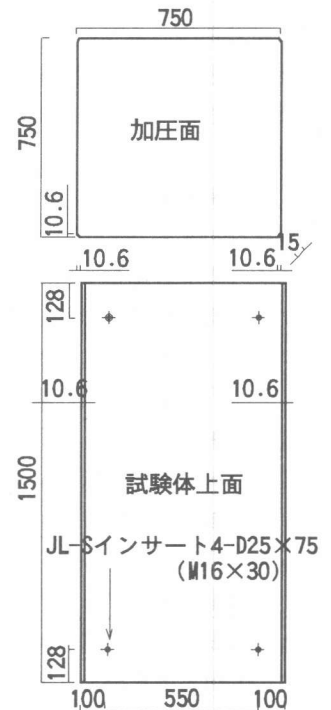


図4 実大試験体形状詳細

表2 コアの力学的特性

| 試験体名 | Fc (kg/cm <sup>2</sup> ) | Ec×10 <sup>5</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | εu (μ) | ν     |
|------|--------------------------|-------------------------------------------|--------|-------|
| S2上  | 387.74                   | 3.13                                      | 2659.4 | 0.168 |
| S√2上 | 403.36                   | 2.66                                      | 2445.7 | 0.178 |
| S1上  | 465.32                   | 3.06                                      | 2739.3 | 0.148 |
| S√2中 | 461.08                   | 3.23                                      | 2759.3 | 0.121 |
| S0   | 464.31                   | 3.22                                      | 2684.9 | 0.168 |
| S1下  | 464.31                   | 3.05                                      | 2685.1 | 0.165 |
| S2下  | 489.60                   | 3.51                                      | 2387.6 | 0.162 |
| S√2下 | 480.08                   | 3.12                                      | 2826.1 | 0.170 |

\* 試験体名は採出位置及び中心からの距離によって付けられた

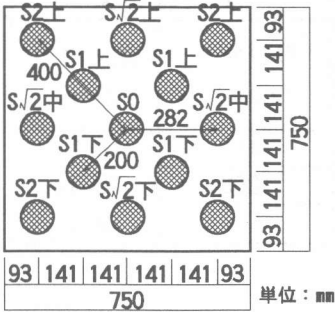


図5 コア採取位置及び名称

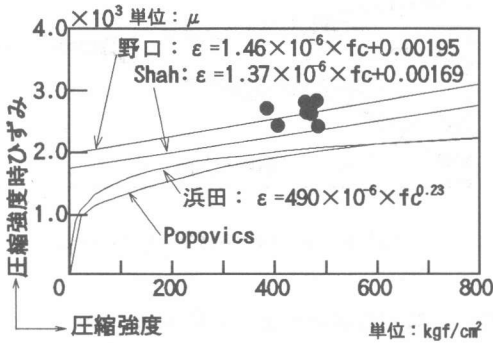


図6 圧縮強度と圧縮強度時ひずみの関係

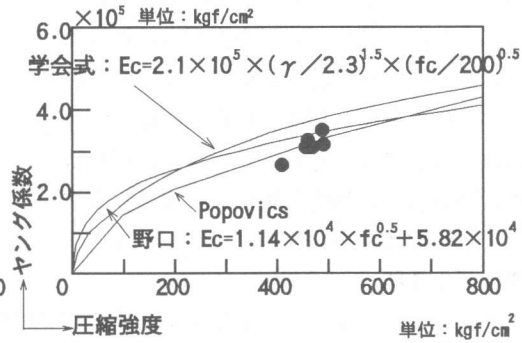


図7 圧縮強度と初期ヤング係数の関係

### 3. 2 実大実験

#### (1) 実験概要

試験体数は3体である(内1体は前述したコア採取後の実大試験体「UNI-8-3」)。加力は、広島大学保有の3000TON圧縮試験機を用いて行った。加力方法は序で述べたように偏心圧縮であり、偏心距離は8cm (e/D=0.107)と設定した。加力位置詳細を図8に示す。試験体両端部には減摩材としてテフロンを、更に試験体の局所的な破壊を避けるため、10mm厚のゴムをテフロンと加圧板間に挿入した。

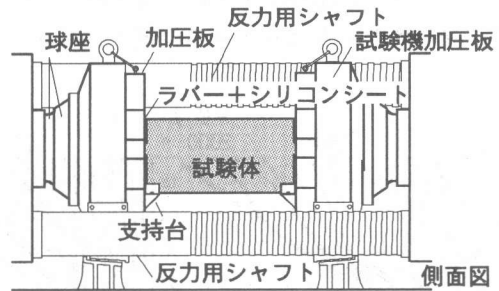


図8 加力位置詳細

#### (2) 実験結果

##### ① 最大耐力

最大耐力一覧を表3に示す。UNI-8-1, -2は、ひび割れが1450ton、1266tonで発生し、1594ton、1675tonで最大耐力に至った。コア抜き後の試験体であるUNI-8-3は、ひび割れは発生せず、1410tonで最大耐力に至った。

表3 最大耐力一覧

| 試験体     | 実大試験体と同一バッチで作製したシリンダー       |                                                |           |                             |                                                |           | 実大試験体         |               |
|---------|-----------------------------|------------------------------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------------------------------|-----------|---------------|---------------|
|         | 4週強度                        |                                                |           | 実験実施時強度                     |                                                |           | ひび割れ<br>(ton) | 最大耐力<br>(ton) |
|         | Fc<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Ec×(10 <sup>5</sup> )<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | εu<br>(μ) | Fc<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Ec×(10 <sup>5</sup> )<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | εu<br>(μ) |               |               |
| UNI-8-1 | 341.                        | 2.95                                           | 1835.     | 409.                        | 3.63                                           | 2129.     | 1407.         | 1583.         |
| UNI-8-2 | 322.                        | 3.43                                           | 1892.     | 425.                        | 3.70                                           | 1952.     | 1266.         | 1675.         |
| UNI-8-3 | 388.                        | 2.97                                           | 2070.     | 409.                        | 3.00                                           | 2263.     | —             | 1410.         |

②最終破壊状況

図9にUNI-8-2の最終破壊状況を試験体上面について例示する。まず、試験体上面に比較的大きなひび割れが、加力方向と平行に発生した。底面及び側面も同様である。その後、耐力は上昇するが、加圧面付近の圧壊と同時に急激な破壊に至った。ここに示した破壊状況は、図2(a)に類似し端面の拘束は除去されていると考えて良い。

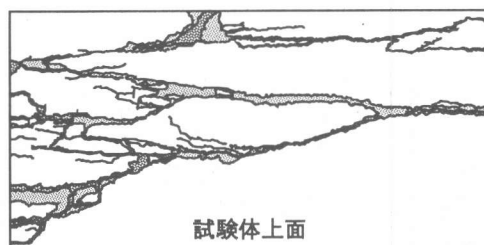


図9 最終破壊状況 (UNI-8-2)

③ひずみ性状

図10にひずみ性状について示す。実線が実験値、点線が解析値である。断面解析の方法は、応力-ひずみ曲線は、Popovics式を用いる。平面保持を仮定し、断面は、1cm×1cmの正方形に分割した。UNI-8-1,-2は偏心距離8cmより側面全領域圧縮側にひずみがでており、圧縮側最外縁において最大耐力時ひずみは、三体の平均は約1800μである。UNI-8-3は剛性が小さいためひずみが大きい。3試験体とも平面保持が成立すると言える分布形状を示している。解析値との対応をみると、傾向は似ているものの値は小さい。

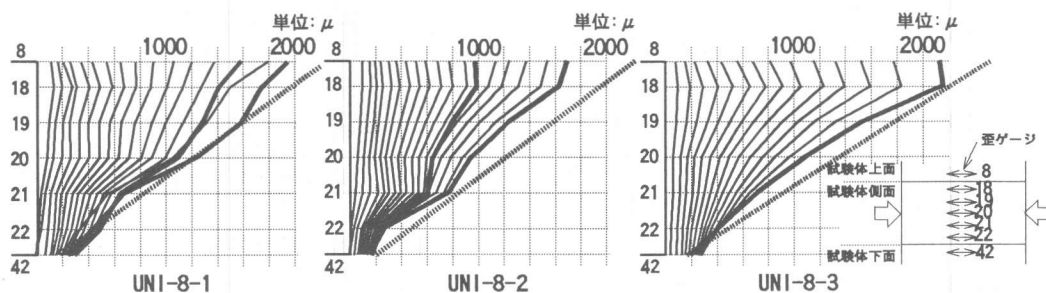


図10 ひずみ性状

④荷重-ひずみ曲線

図11に各試験体の荷重-ひずみ曲線を示す。横軸にひずみ（側面に加力方向に設置した上部および下部の変位計による測定値）をとった。実験値が、●を実線で結んだもの、点線が解析値である。それぞれ解析値と傾向としてはよく似ているが、軸ひずみでの比較に相当する⑤の曲率

曲線で、より明確なように、最大耐力時での値が小さい値に留まっている。

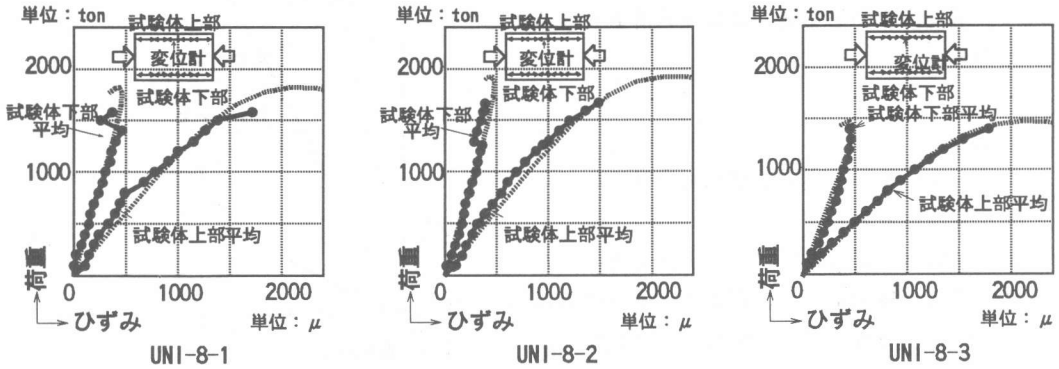


図1-1 荷重-ひずみ曲線

⑤ 曲げモーメント-曲率曲線

図1-2に、曲げモーメント-曲率曲線を示す。横軸は平面保持が成立するものとして求めた曲率である。これらの図から、最大耐力とその時のひずみが小さい値で終わることを除けば、それに至るまでの様子は実験値と解析値がよく一致することが分かる。

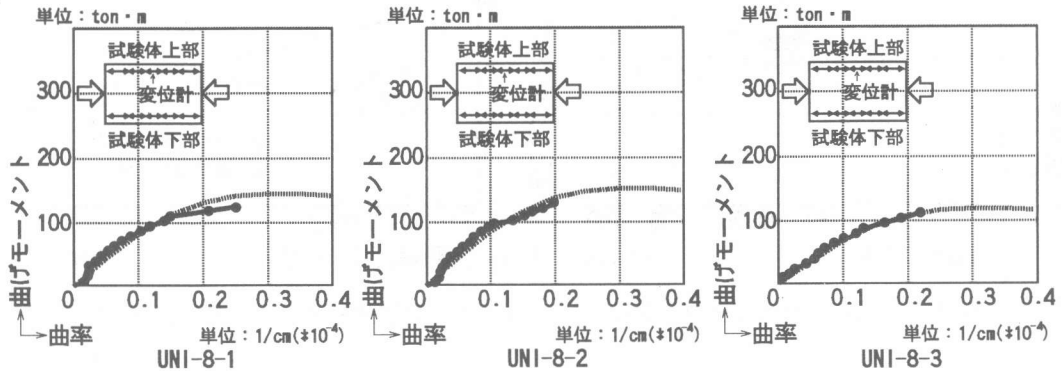


図1-2 曲げモーメント-曲率曲線

(3) 最大耐力および最大耐力時ひずみの考察

実大試験体の最大耐力、最大耐力時ひずみに関して、コア実験の結果を用いて算出した計算値と比較を行う。図1-3は最大耐力を図式化したもので、縦軸に軸力、横軸に曲げモーメントを無次元化したものをとった。断面解析によって得られる計算値はコア実験より得られた圧縮強度に基づき、それぞれの実験実施時のシリンダー強度に比例し、圧縮強度を補正して求めた。実験値/計算値はUNI-8-3がやや高い値を示すが、約10%少ない結果が得られた。文献[1]によれば、図1-4に示すように15%程度低下するようであるが、それに比べれば小さい。このたびの値は端面拘束を除いたものであるので、より信頼性が高いと思われる。なお、寸法効果によって低下するのは、従来から指摘されているように、コンクリートの欠陥の度合いが大きい分ほど高くなる

ためであろうと考えられる。一方、最大耐力時ひずみについて既往の研究結果と比較したのが図15である。端面拘束がある場合には過大評価することがわかる。

### 5. 結論

- ① シリンダー実験を通し、端面拘束効果について定量的に把握した。
- ② 実大試験体の抵抗特性はコア実験に基づいた解析値より最大耐力およびその時のひずみは小さいが、それに至るまではよく一致することがわかった。
- ③ 最大耐力およびその時のひずみについて端面拘束のない場合の寸法効果を明らかにすることができた。

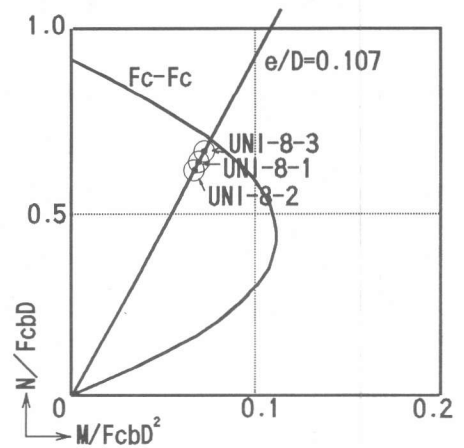


図13 耐力相関曲線

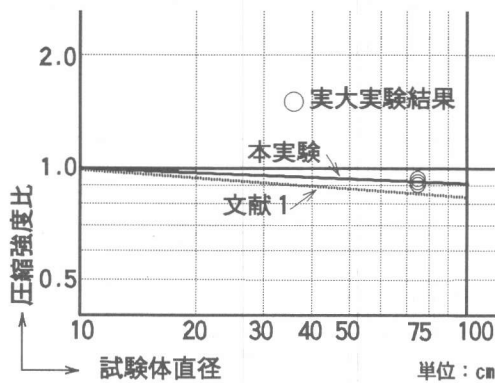


図14 試験体寸法と強度の関係[1]

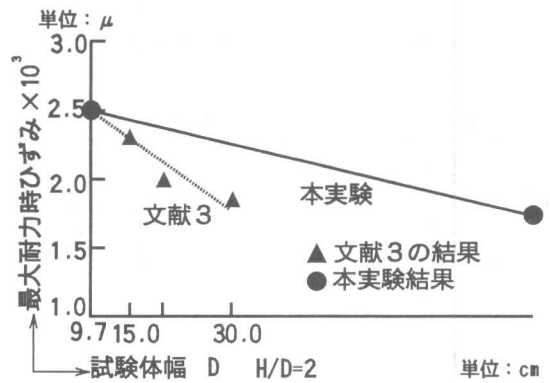


図15 試験体寸法と強度時ひずみの関係[2]

**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をなすものである。本社設計部関係各位に謝意を表します。実験実施にあたってはニチブ（株）、広島大学の清水、京泉両技官、本研究室の各位に御協力頂いた。ここに感謝の意を表します。

**参考文献** [1] 塩屋俊幸・長谷川俊昭：コンクリート構造物の寸法効果、コンクリート工学、Vol. 30、No. 8、pp. 5-15、1992. 8  
 [2] 小阪義雄・谷川恭雄：各種骨材コンクリートの圧縮強度に及ぼす試験体寸法と載荷面の摩擦の影響について、日本建築学会東海支部研究報告 第6号、pp9-12、1968  
 [3] 小池 千朗・畑中重光：形状・寸法の異なるコンファインド高強度コンクリートの圧縮特性、コンクリート工学年次論文報告集、13-2、pp397-402、1991