

超高層鉄筋コンクリート造建築の開発 高強度鉄筋コンクリート柱部材の強度・変形性状について

The Development of High-rise Reinforced Concrete Building System
An Experimental Study for High Strength Members

小島 雅樹*
Masaki Kojima

宮下 剛士**
Takeshi Miyashitaa

塩川 真**
Shin Shiokawa

要 約

鉄筋コンクリート造超高層ビルディング33階の開発の一環として、試設計に基づき柱の主筋配置方法をパラメータに選び、変動軸力を与えた水平加力実験を行った。現状では下層柱の設計においては、高軸力に抵抗させるため軸鉄筋の一部を鉄骨で置き換えることが多いが、施工面・コストの面で不利なため、純鉄筋柱および一部鉄骨柱の基本的な性状を比較検討することを目的としている。試験体の種類は、通常の主筋配置のもの1種類、主筋の一部を鉄骨に置き換えたもの2種類の3種類とした。実験の結果、全ての試験体は顕著なせん断ひび割れが発生せず、曲げ圧壊で最大耐力に至り、曲げ強度および変形性状には主筋配置の違いによる大きな差異は認められなかった。

目 次

- §1. 実験計画
- §2. 使用材料
- §3. 試験体
- §4. 力装置
- §5. 載荷条件
- §6. 試験
- §7. 試験結果
- §8. 考察

外の主筋は、高圧縮軸力・大変形時に座屈し、変形性状に悪影響を与える可能性がある。この主筋の一部を鉄骨で置き換えた時の挙動を把握する。

③隅柱は地震時には圧縮から引張まで柱軸力が変動するが、変動軸力を受ける場合の曲げ強度実験値と既往の一定軸力下における強度式との比較を行う。

Table 1 コンクリートの配合

| C (kg/m ³) | W (kg/m ³) | G (kg/m ³) | S (kg/m ³) | W/C (%) | s/a (%) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|------------|
| 546 | 180 | 1040 | 539 | 33.0 | 34.1 |

§1. 実験計画

実験目的は次の通りである。

- ①高強度鉄筋コンクリート柱の曲げに対する基本的な強度・変形性状を把握する。
- ②帯筋隅角部にある主筋と副帯筋に囲まれている主筋以

Table 2 使用鋼材の機械的性質

| 部位 | 規格 | 形状 | σ_y | σ_B | 伸び |
|----|--------|----------|------------|------------|------|
| 主筋 | SD40 | D13 | 4325 | 6551 | 20.0 |
| 帯筋 | 硬鋼線 | 4φ | 17533 | 19200 | 5.6 |
| 鉄骨 | SMA50A | L65×65×9 | 3429 | 5290 | — |

*技術研究所先端技術研究課副課長
**技術研究所原子力課

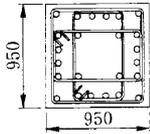
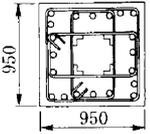
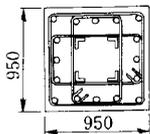
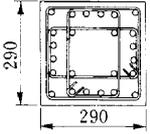
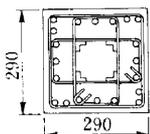
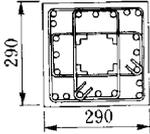
| 試験体記号 | A | B | C |
|-------|---|---|---|
| 設計断面 |  <p>主鉄筋 20-D41 (SD40) 芯鉄筋 4-D41 (SD40) 帯筋 U9 (ウルボン) @80</p> |  <p>主鉄筋 20-D41 (SD40) 芯鉄骨 4-L90×90×25 帯筋 U9 (ウルボン) @80</p> |  <p>主鉄筋 16D41 (SD40) 芯鉄骨 4-L100×100×25 帯筋 U9 (ウルボン) @80</p> |
| 試験体断面 |  <p>主鉄筋 20-D13 (SD40) 芯鉄筋 4-D13 (SD40) 帯筋 4-φ4 (硬鋼線B種) @25</p> |  <p>主鉄筋 20-D13 (SD40) 芯鉄骨 4-L25×25×9 帯筋 4-φ4 (硬鋼線B種) @25</p> |  <p>主鉄筋 16-D13 (SD40) 芯鉄骨 4-L28×28×9 帯筋 4-φ4 (硬鋼線B種) @25</p> |

Fig.1 設計断面および試験体断面

上記の目的のため、曲げ破壊がせん断破壊に先行するようにせん断補強を定めた。本実験では外周部はスパイラルフープ、副帯筋は135度フック付きフープとした。

§ 2. 使用材料

コンクリートの配合を Table 1 に示す。粗骨材の最大寸法を10mmとし、混和剤としてスランプロス低減型の高性能 AE 減水剤を用い、材令2週においてコンクリート圧縮強度を480kg/cm²、スランプを18cm、空気量を4±1%を目標として試し練りにより配合を決定した。

使用鋼材の機械的性質を Table 2 に示す。主筋はSD40の高強度異形鉄筋、帯筋は硬鋼線B種、鉄骨はSMA50Aのアンクルである。

§ 3. 試験体

試設計により得られた1階柱の断面と試験体の断面を Fig. 1 に示す。試験体の種類は図に示すように3種類とし、それぞれ2体ずつの計6体である。試験体の断面は相似則を考慮して実大の1/3.3の縮小模型とした。

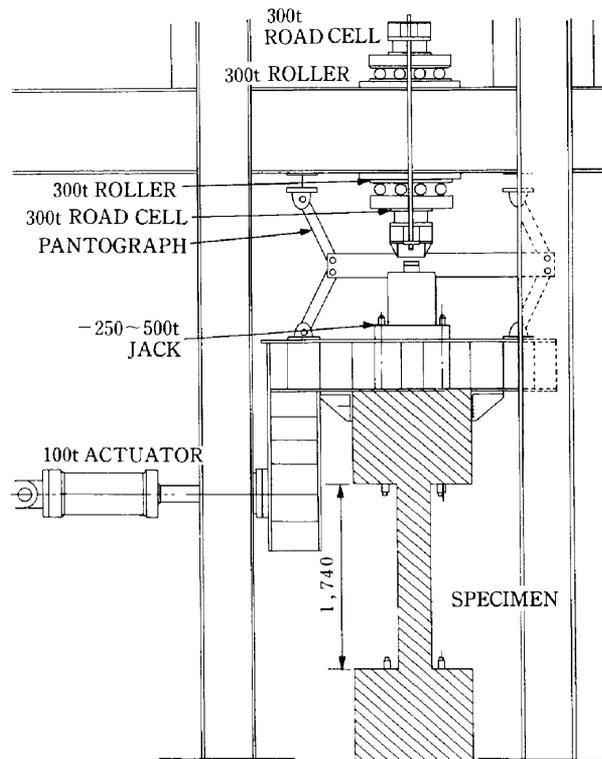


Fig.2 加力装置

A型試験体は主筋が全て鉄筋であり、B型試験体は主筋の一部を鉄骨で置き換えるが外周部の主筋の一部は拘束効果が少ない位置にあるもの、C型試験体は鉄骨量を多くして全ての主筋は帯筋隅角部または副帯筋で囲まれているものである。

柱の内法高さは、 M/QD を3.0、反曲点が柱中央として定めた。試験体の全体形状はスタブを有する両端固定柱形式とした。

コンクリートは縦打ちとし、型枠は試験部分を透明アクリル板を用いて充填を確かめながら打設した。

§4. 加力装置

軸力および水平力の加力装置を Fig. 2 に示す。

1000t 載荷用フレームを用い、軸力は-250t~500t オイルジャッキ、水平力は100t アクチュエータによった。なお軸力載荷用ジャッキは、ローラにより水平移動が可能となるようにしてジャッキ芯が柱頭芯となるようにした。水平加力ビームは回転を抑えるためパンタグラフを用い常に水平移動のみが可能となるようにした。

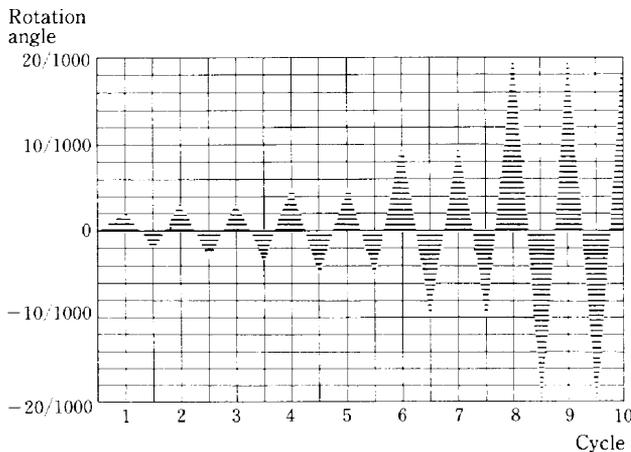


Fig.3 水平力の載荷条件

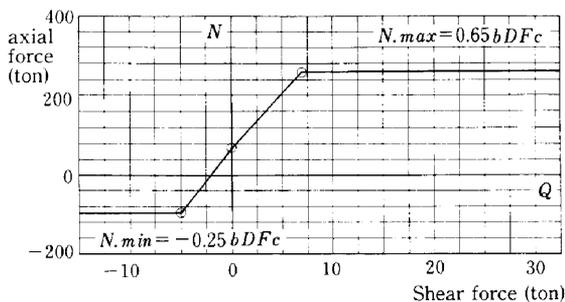


Fig.4 軸力の載荷条件

§5. 載荷条件

Fig. 3 に水平力の載荷条件を示す。部材角による変位制御方法により、1/500で正負1回繰り返した後、1/300, 1/200, 1/100, 1/50でそれぞれ正負2回ずつ繰り返す、その後最終破壊まで加力するのを原則とした。

Fig. 4 に軸力の載荷条件を示す。軸力とせん断力の各交点は次のように定めた。ここで A_c は柱の断面積、 F_c はコンクリートの設計基準強度である。

- ①長期軸力時の値は試設計に基づき $0.175A_cF_c$ とする。
- ②圧縮軸力時の最大値は $0.65A_cF_c$ とし、引張軸力時の最大値は $-0.25A_cF_c$ とする。
- ③軸力とせん断力の勾配を求めるにあたっては、最初に静的弾塑性増分解析による崩壊時の1階柱の軸力と水平力との値を求め、次にこの点と①で述べた長期軸力の点を結んだ。
- ④この直線を延長し②で述べた直線との交点を求めた。

§6. 試験

加力に当たっては次のように行った。

- ①最初に長期軸力に達するまで圧縮軸力のみを載荷する。
- ②正加力時には、水平力をわずかに与え、次に軸力を上記の直線上に一致するように調整する。これを繰り返す。

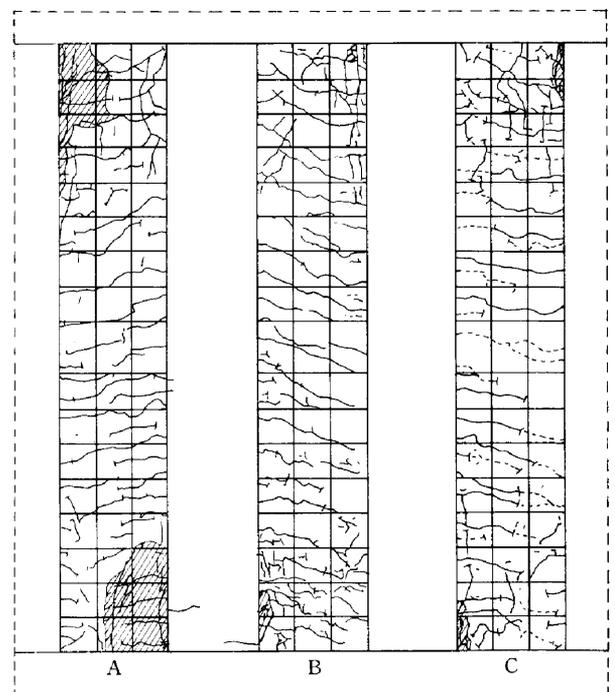


Fig.5 ひび割れおよび最終破壊の一例

Table 3 実験結果

| 試験体No. | F_c | P_{max} | P_{min} | N_{max} | N_{max} | D_{max} | D_{min} |
|--------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | kg/cm ² | ton | ton | ton | ton | ton | ton |
| A-1 | 562 | 24.7 | -11.2 | 268.4 | -101.8 | 82.71 | -59.50 |
| A-2 | 479 | 24.6 | -6.4 | 264.6 | -100.4 | 87.74 | -35.59 |
| B-1 | 446 | 26.3 | -11.6 | 271.5 | -102.7 | 86.22 | -34.79 |
| B-2 | 458 | 23.7 | -13.2 | 266.3 | -102.9 | 35.15 | -34.90 |
| C-1 | 521 | 24.1 | -11.3 | 265.7 | -102.1 | 90.05 | -34.56 |
| C-2 | 503 | 25.2 | -14.7 | 267.3 | -102.4 | 70.33 | -70.04 |

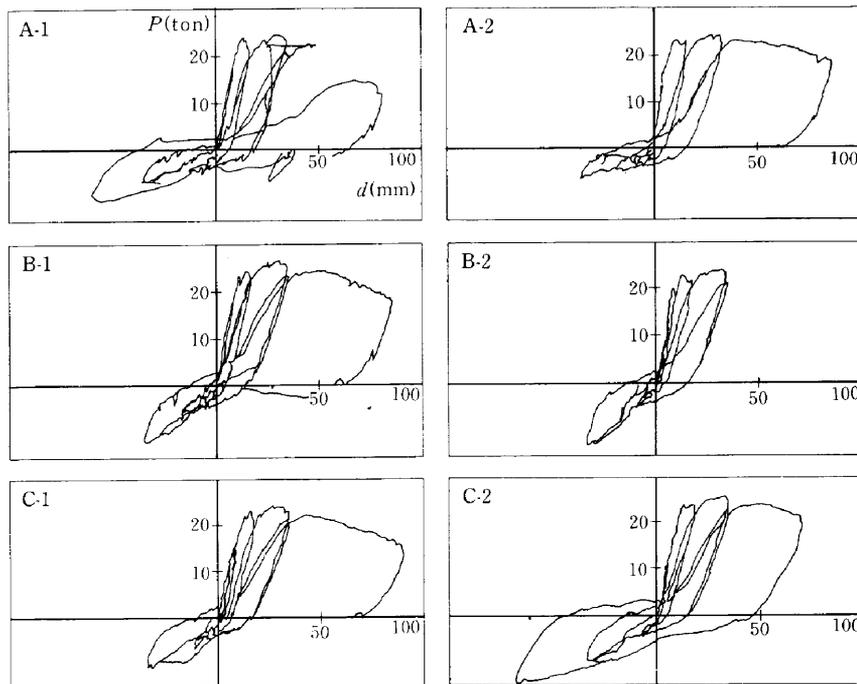


Fig.6 荷重変形曲線

水平変位が前項で述べて所定の部材角に達するまで行う。

③所定の部材角に達したら②の手順を逆にして、軸力を長期軸力の値まで戻す。

④負加力時にも②③と同様の手順で行う。

⑤上に述べた②から④で正負1サイクルとする。

§ 7. 試験結果

ひび割れおよび最終破壊の一例を Fig. 5 に示す。全ての試験体は1回目の引張軸力作用時に引張ひび割れが生じたため、曲げひび割れ荷重の特定はできなかった。その後も顕著なせん断ひび割れは発生せず、柱頭・柱脚部の曲げ圧縮部分のかぶりコンクリートがはがれて曲げ圧壊で軸力に至った。

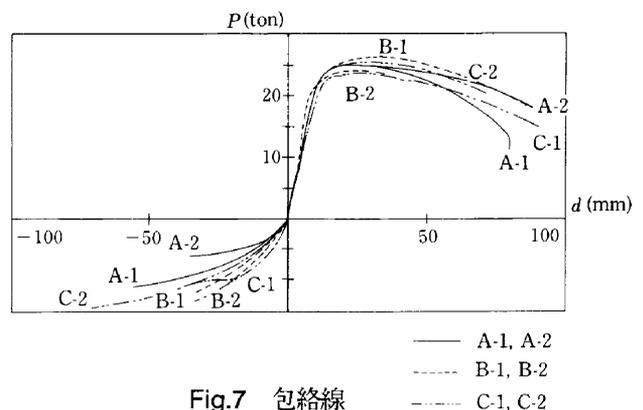


Fig.7 包絡線

主軸が鉄筋のみの A-1 試験体においては圧縮主筋の座屈および帯筋のはらみだしが観察された。

各試験体の実験結果の一覧を Table 3 に示し、荷重変

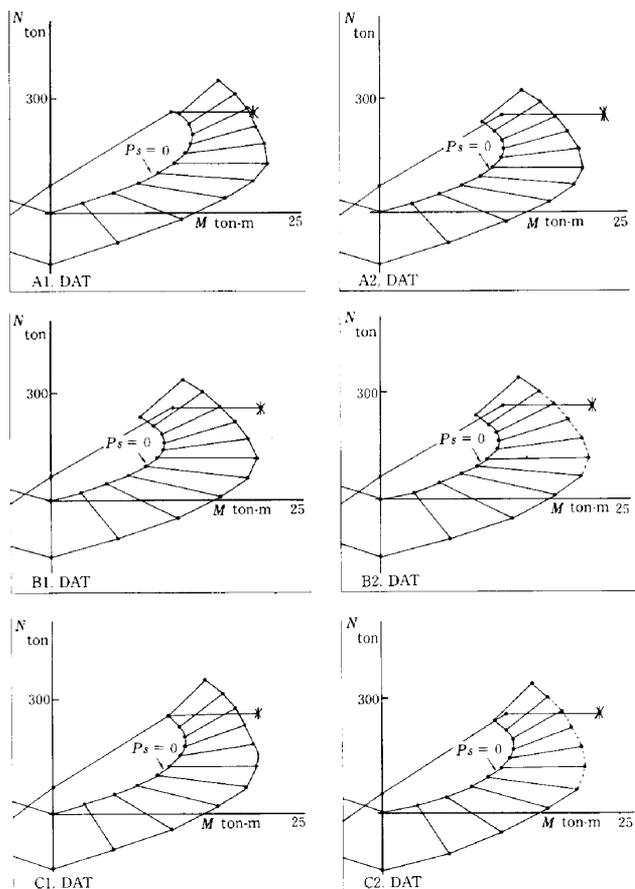


Fig.8 最大荷重実験値と曲げ耐力計算値の比較

位曲線を Fig. 6 に示す。なお最初に加力を行った A-1 試験体では加力装置の調整が満足でなく制御精度はあまり良くない、また B-2 試験体はハードディスクの故障により最大耐力付近からのデータが欠落している、このため共に参考値である。

各試験体の包絡線をまとめたものを Fig. 7 に示す。

正加力時には各試験体は、ばらつきもあり主筋配置方法の違いによる差は明瞭ではなく、曲げ強度および変形性状には主筋配置の違いによる大きな差異は認められない。

負加力時には鉄筋のみを用いた A 試験体の剛性が幾分低い傾向にある。しかし負加力時には、①軸力がゼロ付近では、軸力載荷用ジャッキに設けたローラのがタツキのため水平力の制御が困難になる、②引張軸力下では試験体の剛性が小さいため、軸力とせん断力の制御がむずかしいなどのため、定量的な検討は今後の課題である。

§ 8. 考察

Fig. 8 は最大荷重実験値と曲げ耐力計算式の比較を行なったものである。縦軸は軸力、横軸はせん断力であ

る。図中 4 本の線からなる折れ線は Fig. 4 と同一のものであり、端部の×印は実験で得られた最大荷重を示す。また図中の曲線は日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説付 20 梁および柱の曲げ終局強度式による計算値である。本計算式は多段配筋を考慮したものではないので参考値であるが、とりあえずひずみ度分布を直線と仮定して各柱筋のひずみ度をもとめ耐力を算出してみた。内側の曲線は主筋がない場合のコンクリートのみのものであり、外側の曲線は本実験に用いた配筋量における値である。計算値は多段配筋の効果を評価してないために実験値を下回る結果となった。

多段配筋を用いた場合の曲げ耐力の評価および変形性状については、今後さらに解析を行う予定である。