

# 論文 スリーブ継手と重ね継手を混用したプレキャスト RC 柱の力学的性状

入澤郁雄\*<sup>1</sup>・吉野次彦\*<sup>2</sup>・笹谷輝勝\*<sup>3</sup>・平野勝識\*<sup>1</sup>

**要旨：**本報は、RC造薄肉中空プレキャスト柱において、主筋を脚部で全数重ね継手する場合と四隅の主筋をモルタル充填式継手で緊結し、残りを重ね継手とした場合の柱部材の耐力、変形状を検討するために行った実験結果である。実験の結果、柱脚部で主筋を重ね継ぎしても、重ね長さが35d以上であれば、多数回の繰返し加力に対して、安定した変形状を有すること、柱頭、柱脚で降伏耐力、最大耐力が異なるが、主筋位置を考慮した計算値で評価できることが確認された。また、モルタル充填式継手と重ね継手を混用しても、耐力、変形性能には影響無く、充分実用可能であることを確認した。

**キーワード：**薄肉中空プレキャスト柱、重ね継手、モルタル充填式継手

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造におけるプレキャスト工法の開発に当って、開発の大きな目的の1つは施工の合理化である。このためには部材をより大型化して、組立て工数を少なくする事が望ましい。しかし、一方、我が国の交通事情、建設場所等の立地条件を考慮した上で、建設コストの低減、汎用性の拡大を図るためには、部材の軽量化も重要な課題の一つである。そこで、部材形状はより大きくした上で、部材の軽量化を図る目的として外殻部分のみをプレキャスト化する中空プレキャスト工法の開発が盛んとなっている。著者らは、柱が口型の中空部材、梁はU型部材、耐震壁は薄肉板を2枚組合わせた中空部材などを組合わせる工法の開発を行ってきた。<sup>1)~4)</sup>

本報告は、このような中空プレキャスト工法のうち、中空部材を型枠兼用とした柱部材について、脚部において主筋を重ね継手した場合、およびモルタル充填式継手と重ね継手を混用した場合の柱部材の耐力、変形状を検討するために行った実験の結果である。

## 2. 試験体

試験体一覧を表-1に、試験体形状を図-1に示す。試験体形状はすべて同じで、断面が40×40cm、シアスパン比は2.0であり、試験体はすべて曲げ破壊が先行するように計画した。

NO.1、NO.4は、主筋を通し筋とした一体打ちの試験体である。シリーズIのNO.2、NO.3は、中空部材に主筋およびせん断補強

表-1 試験体一覧

| 試験体 No.  | シリーズ I                     |         |       | シリーズ II  |           |
|----------|----------------------------|---------|-------|----------|-----------|
|          | No. 1                      | No. 2   | No. 3 | No. 4    | No. 5     |
| 断面(試験区間) | 400×400 (mm)               |         |       |          |           |
| Pca部材厚   | —                          | 60 (mm) | —     | —        | 50(mm)    |
| 主筋       | 8-D19                      |         |       | 12-D16   |           |
| 帯筋       | □-D10@75                   |         |       | □-D10@80 |           |
| Pg       | 1.43(%)                    |         |       | 1.49(%)  |           |
| Pw       | 0.95(%)                    |         |       | 0.89(%)  |           |
| 継ぎ手      | 通し                         | 重ね継手    |       | 通し       | 重ね+スリーブ継手 |
| 重ね長さ     | —                          | 35d     | 40d   | —        | 35d       |
| 軸力       | 5.884 (N/mm <sup>2</sup> ) |         |       |          |           |

\* 1 フジタ技術研究所 生産技術研究部、工修（正会員）

\* 2 フジタ技術研究所 生産技術研究部主任研究員、（正会員）

\* 3 フジタ技術研究所 生産技術研究部主任研究員、工修（正会員）

筋を内蔵し、柱脚部で全数重ね継ぎした試験体である。重ね長さは、筆者らが行ってきた重ね長さとは異なる。また、口型中空部材は柱頭部の主筋が中空部材から突出しており、その主筋はスタブ内に定着させている。なお、口型中空部材は、1辺のコンクリートを打設後、約1時間放置した後、90度回転し、順次4辺のコンクリートを打設する手順で製作した。中空断面の内部はハケ引きによる粗面仕上げとした。

図-1に示すように、NO. 2, 3, 5試験体は、柱頭と重ね継ぎを有する柱脚とは主筋位置が異なる。また、口型中空部材は柱頭部の主筋が中空部材から突出しており、その主筋はスタブ内に定着させている。なお、口型中空部材は、1辺のコンクリートを打設後、約1時間放置した後、90度回転し、順次4辺のコンクリートを打設する手順で製作した。中空断面の内部はハケ引きによる粗面仕上げとした。

一体打ちのNO. 1, NO. 4は横打ちで製作したが、中空部材を用いたNO. 2, 3, 5は実施物件と同じように、中空部材を立て起こした状態で、内部の後打ちコンクリートを打設した。

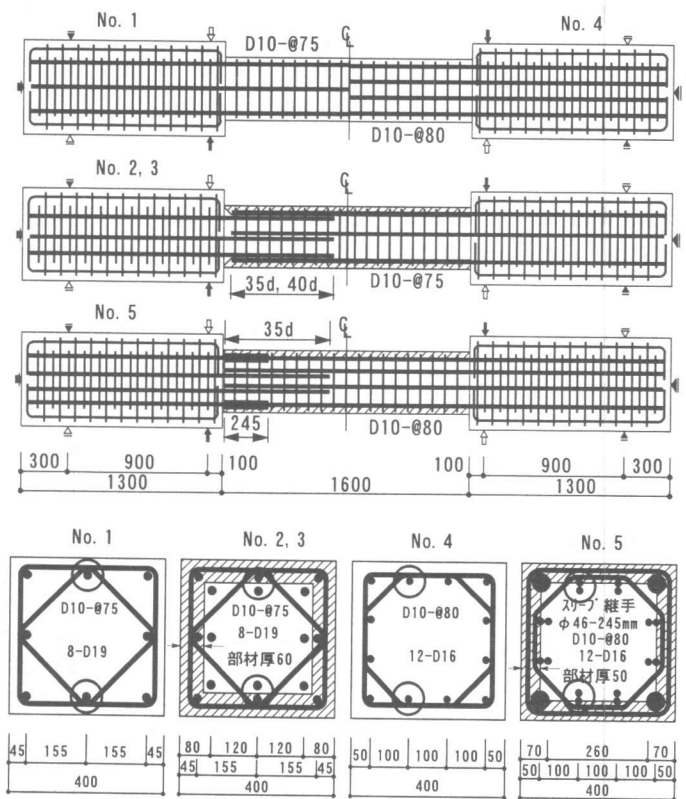
使用した材料の機械的性質を表-2に示す。鉄筋の材質は、主筋(D16, D19)がSD345、せん断補強筋(D10)がSD295である。コンクリートの設計強度は、中空部材が40N/mm<sup>2</sup>、後打ち部が24N/mm<sup>2</sup>とした。加力時における圧縮強度は、中空部材が47N/mm<sup>2</sup>、後打ち部が24~31N/mm<sup>2</sup>であった。

表-2 材料の機械的性質

| 鉄筋試験 |            |                   |            | 単位: N/mm <sup>2</sup> |     |
|------|------------|-------------------|------------|-----------------------|-----|
| 径    | 降伏強度       | 弾性係数              | 引張強度       | 伸び率                   | 備考  |
|      | $\sigma_y$ | $E_y \times 10^5$ | $\sigma_t$ | $\delta$ (%)          |     |
| D19  | 384        | 1.76              | 574        | 23.7                  | 柱主筋 |
| D16  | 389        | 1.74              | 596        | 27.0                  | 柱主筋 |
| D10  | 354        | 1.77              | 505        | 28.0                  | 帯筋  |

| コンクリート試験          |       |             |       | 単位: N/mm <sup>2</sup> |       |
|-------------------|-------|-------------|-------|-----------------------|-------|
|                   | No. 1 | No. 2       | No. 3 | No. 4                 | No. 5 |
| $\sigma_B$        | 26.1  | 23.9 (46.3) |       | 30.6 (46.7)           |       |
| $E_c \times 10^4$ | 2.00  | 2.27 (2.83) |       | 1.87 (2.89)           |       |
| $\sigma_t$        | 2.24  | 2.35 (3.78) |       | 2.68 (4.04)           |       |

注) ( ) 内は、Pca部分



注) ○印で囲んでいる主筋は、ゲージ貼付筋

図-1 試験体形状

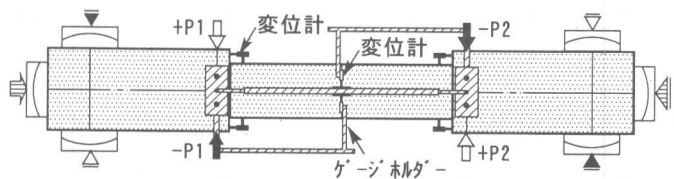


図-2 加力方法および変位測定方法

### 3. 実験方法

加力方法および変位測定方法を図-2に示す。加力は一定軸力 $\sigma_0=6\text{N/mm}^2$ を与えた後、逆対称の正負交番繰返し载荷を行った。加力制御は、ひび割れ発生、弾性領域および主筋降伏時( $\delta y$ )までを荷重制御とし、それ以降はスタブ部分に取り付けたゲージホルダーと柱の中央位置との相対変位を測定し、左右の変位が同じになるよう変位制御とした。加力は両シリーズとも一体打ち(No. 1, No. 4)を最初に行った。中空部材を用いた試験体(No. 2, 3, 5)は一体打ち試験体と同一の加力プログラムで加力を行った。加力サイクルは、ひび割れ発生および弾性領域を正負1回、主筋降伏時( $\delta y$ )以降は原則として $\delta y$ の整数倍の変位で正負3回とした。なお、各試験体とも部材角 $R=5/100\text{rad}$ まで変形を加えた後、加力を終了した。

### 4. 実験結果および考察

#### 4. 1 ひび割れの発生および最大耐力

ひび割れの発生状況を図-3に示す。一体打ちの試験体 No. 1 と No. 4 ではひび割れの発生状況はほとんど同じであった。シリーズ I は、No. 1 と中空部材を用いた No. 2, 3 ではひび割れ発生状況が異なった。No. 2, 3 は、主筋降伏時でも表面のひび割れ本数が少なく、特に、柱脚部では外殻のプレキャスト部材に目開きが生じるのみで、表面の曲げひび割れは軽微であった。これは、外殻部分のコンクリート強度が後打ち部より大きいことにより、一体打ちに比べて曲げひび割れが遅れて発生したためと考えられる。また、部材変形角 $R=2/100\text{rad}$ のときに側面に材軸方向のひび割れが発生したが、ひび割れ幅は広がる様なことはなく、最終的な曲げ圧壊の状態は No. 1 とほぼ同じであった。一方、シリーズ II の No. 5 は、外殻部と後打ち部とのコンクリート強度の差が小さく、No. 4 と差がないひび割れの発生状況を示した。シリーズ I, II とも中空部材を用いた試験体は、中空部材を回転装置を用いて1辺づつコンクリートを打設して製作したため、加力の進展に伴って、材軸方向の打ち継ぎ部に肌別れによるひび割れが観察された。しかし、軽微な肌別れで耐力には全く影響がなかった。なお、実験終了後断面を切断して観察した結果では、中空部材が後打ち部から剥離する様なことはなく、一体性が確保されていた。

実験結果の一覧および計算値との比較を表-3に示す。中空部材を用いた試験体は柱頭と柱脚で主筋位置が異なる。そこで、表中の計算値および実験値は柱頭側と柱脚側の曲げ耐力を算定し、せん断力に換算して示した。なお、中空部材を用いた No. 2, 3, 5 の計算値は、後打ち部のコンクリート強度とプレキャスト部のコンクリート強度の2ケースについて求めた。また、計算値の最大値は曲げ圧壊によって決まった。中空部材を用いた No. 2, 3, 5 の主筋降伏時の耐力は、後打ちコ

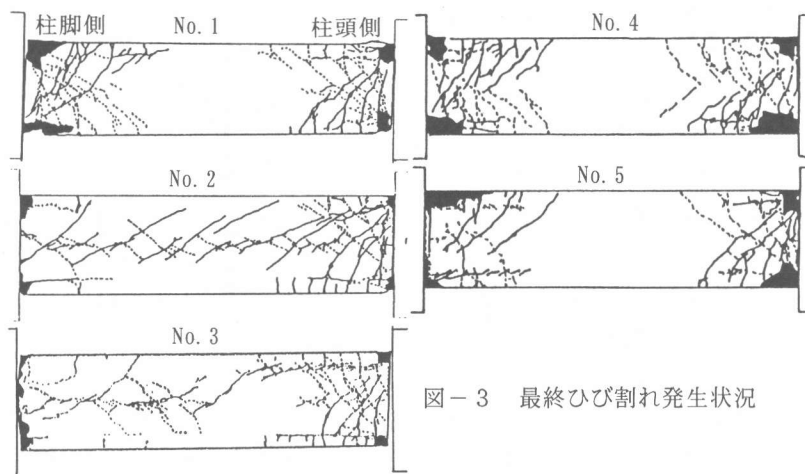


図-3 最終ひび割れ発生状況

ンクリート強度を用いた計算値に対して 1.11~1.18 倍、プレキャスト部の強度を用いた計算値に対して 1.00~1.05 倍である。一方、NO. 2, 3, 5 の最大耐力は、後打ちコンクリート強度を用いた計算値に対して 1.20~1.27 倍、プレキャスト部の強度を用いた計算値に対して 1.01~1.12 倍である。このように、最大耐力が曲げ圧壊で決まり、後打ち部に比べて外殻部の強度が大きい場合、外殻部の影響を考慮する必要がある。

#### 4. 2 変形状

図-4に荷重変形曲線を、図-5に最大耐力を 1.0 としたときの各試験体の包絡線を示す。また、図-2に示のように、柱頭および柱脚の変形を測定し、変形が測定不能となる全変形角  $R=3/100\text{rad.}$  までについて、全変形角に対する柱頭、柱脚の剛体回転角の割合を算出し図-6に示した。NO. 1, NO. 4 の剛体回転の割合は、柱脚、柱頭ともが全体のほぼ 50%であり、この割合は変形が増大してもあまり変わらない。NO. 2, NO. 3 は剛体回転の割合が、大きく、特に、柱脚は初期の段階から回転量が 80%以上となっている。これは、外殻部材のコンクリート強度が大きく、このため、一般部の曲率が小さく、外殻部の打ち継ぎ部に变形が集中したためである。しかし、全体の荷重変形曲線には回転の影響は全く見られず、加力は部材角  $R=5/100\text{rad.}$  まで変形を与えたのち終了したが、各試験体とも最大耐力までの剛性、耐力にほとんど差は見られなかった。同一変形の繰り返しでも、剛性、耐力の低下が無く、最終加力時の耐力は、最大耐力の 95~98%を確保しており、安定した履歴であった。

表-3 実験結果一覧と計算値との比較

単位: N

|      |   | 主筋降伏時せん断耐力 |       |            | 最大せん断耐力 |       |            |
|------|---|------------|-------|------------|---------|-------|------------|
|      |   | eQy        | cQy   | eQy/cQy    | eQmax   | cQu   | eQmax/cQu  |
| No.1 | 正 | 353        | 297   | 1.19       | 391     | 327   | 1.19       |
|      | 負 | 342        |       | 1.15       | 381     |       | 1.17       |
| No.2 | 正 | 330        | 281   | 1.18(1.05) | 383     | 301   | 1.27(1.07) |
|      | 負 | 324        | (313) | 1.15(1.04) | 367     | (357) | 1.22(1.03) |
| No.3 | 正 | 324        | 281   | 1.15(1.04) | 362     | 301   | 1.20(1.01) |
|      | 負 | 312        | (313) | 1.11(1.00) | 373     | (357) | 1.24(1.04) |
| No.4 | 正 | 341        | 306   | 1.12       | 370     | 338   | 1.09       |
|      | 負 | 294        |       | 0.96       | 368     |       | 1.09       |
| No.5 | 正 | 342        | 303   | 1.13(1.05) | 411     | 334   | 1.23(1.12) |
|      | 負 | 334        | (327) | 1.11(1.02) | 402     | (368) | 1.20(1.09) |

eQy:主筋降伏耐力実験値, cQy:e関数法による主筋降伏耐力計算値  
eQmax:最大耐力実験値, cQu:e関数法による曲げ最大耐力計算値  
( )内は、外殻部分のCON強度を用いたe関数法による計算値

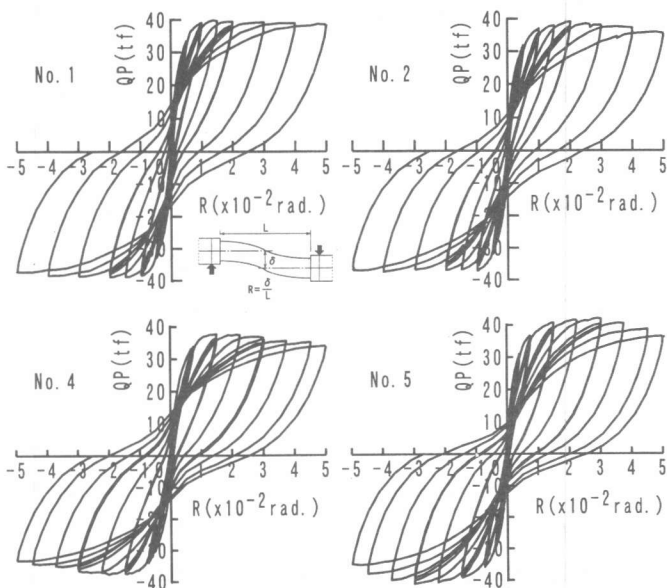


図-4 荷重変形曲線

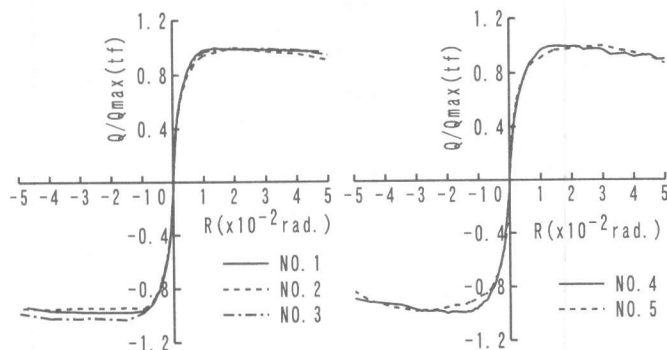


図-5 包絡線

### 4. 3 主筋のひずみ分布

図-7に主筋のひずみ分布を示す。図は正加力側のみを示した。通し配筋したNO. 1とNO. 4（一体打ち）はほとんど同じ傾向であった。また、中空部材を用いて脚部で主筋を重ね継ぎしたNO. 2とNO. 3のひずみ分布もほぼ同じ傾向であった。モルタル充填式継手と重ね継手を併用したNO. 5を除く4体では、引張側のひずみ分布は、主筋が降伏するまで（図中□印）はほぼ同じであった。2  $\delta_y$ （図中△印）の時には梁付け根位置の一点のみが降伏ひずみを越えたが、その他の測点位置のひずみは降伏ひずみに達していない。重ね継手したNO. 2とNO. 3の重ね継手区間の鉄筋についても、通し配筋の試験体と同じ傾向であり、応力伝達が良好に行われていたと判断できる。一方、NO. 5は一体打ちのNO. 4の主筋降伏時変位を $\delta_y$ と規定し加力を行った結果、スリーブ直下（スタブ内）の測点位置が $\delta_y$ の前の繰返し時にすでに降伏ひずみに達しており、 $\delta_y$ の時にはかなり大きなひずみが発生していた。重ね継手についても同じひずみ分布である。これは、スリーブの伸び剛性が大きいため、スリーブ部分の軸ひずみが小さい、したがって、一体打ちと同じ変形を与えたときには、スリーブの両端のひずみが大きくなるためである。

### 4. 4 反曲点の移動

本実験はスタブ部分に取り付けたゲージホルダーと柱中央との相対変位が等しくなるように加

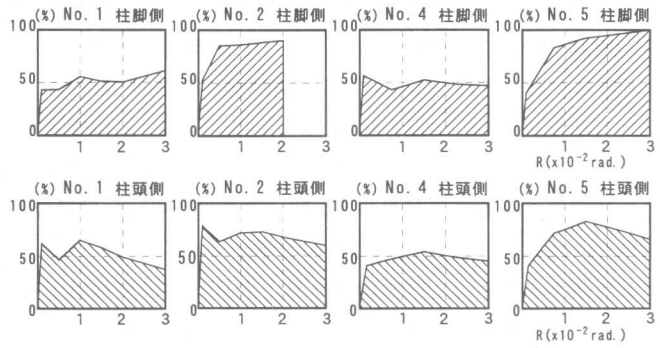


図-6 回転角の割合

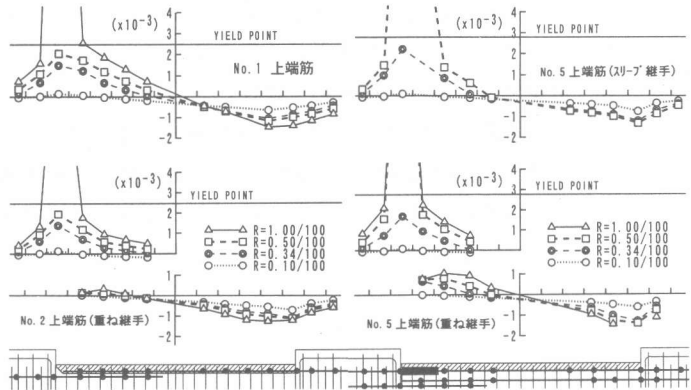


図-7 主筋ひずみ分布

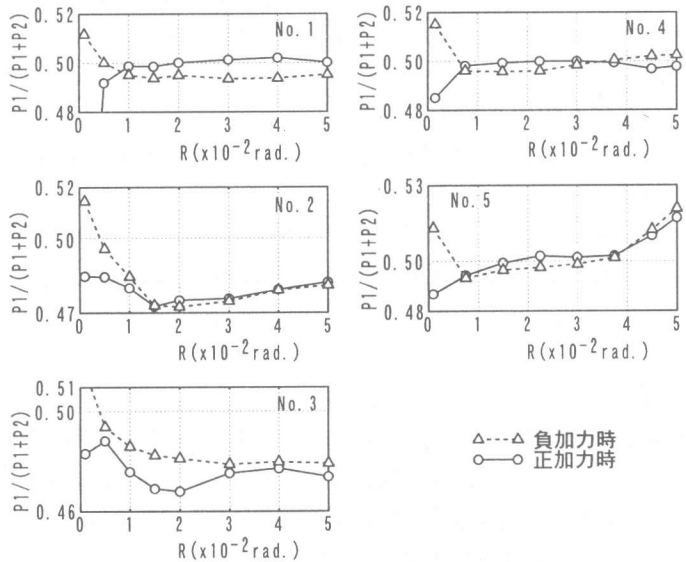


図-8 反曲点の移動

力を行った。従って、柱頭、柱脚の曲げ剛性が異なる場合、柱の左右の変位を同じにするためには、加力に際して柱頭側の荷重 (P1) と柱脚側の荷重 (P2) に差が生じる。この荷重から反曲点を計算し、図-8 に示した。主筋に継手を設けていない NO. 1、NO. 4 は、柱頭側、柱脚側の荷重にほとんど差がない。一方、NO. 2、NO. 3 は、図-1 に示すように、柱脚においてプレキャスト部より内側で主筋を重ね継ぎしているため、図-8 に示すように柱の左右を同変位とする場合の柱頭側と柱脚側で荷重に差が生じる。部材角  $R=2/100\text{rad}$ . 以降の  $P1/(P1+P2)$  は正加力、負加力とも約 0.47~0.48 であり、最大耐力時の計算値 0.48 と良く一致している。NO. 5 はモルタル充填式継手と重ね継手を併用した試験体である。計算値では重ね継手を有する柱脚の方が柱頭より柱の左右を同変位とする場合の荷重が小さくなるが、 $R=1/100\text{rad}$ . から  $R=4/100\text{rad}$ . までは P1 と P2 に差は見られない。 $R=4/100\text{rad}$ . 以降は、柱脚の方が柱頭よりも剛性が高くなっている。これは、通し配筋した柱頭が変形の増大とともに圧壊を進行させ剛性を低下させるのに対して、モルタル充填式継手の場合はスリーブが圧壊を遅らせる働きをしているためである。

#### 4. 5 中空部材と後打ち部との一体性

加力終了後、主筋の付着状況、中空断面部材と後打ち部との一体性を検討するために、柱付け根より、1D~2D の区間を切断して観察した。主筋の重ね継手部は柱付け根近傍ではコンクリートの劣化が見られたが、劣化の程度は一体打ちの部分とほぼ同じであった。また、中空断面部材と後打ち部とのコンクリートの一体性は柱付け根の圧壊部分以外では良好であり、剥離などは観察できなかった。

#### 5. まとめ

今回の実験の範囲で、以下の様なことがわかった。

- ①柱脚部で主筋を重ね長さ 35d および 40d で重ね継ぎした場合、多数回繰り返し加力に対して、抜けだしなどは全く見られず、安定した変形状を示した。
- ②重ね継ぎした場合、柱頭、柱脚で降伏耐力、最大耐力が異なるが、主筋位置を考慮した計算値で評価できる。
- ③モルタル充填式継手と重ね継手を混用しても、耐力、変形性能には悪影響が無く、充分実用可能である。
- ④内部を粗面仕上げとした中空プレキャスト部材と後打ちコンクリートとは、多数回繰り返しを与えても一体性が確保され、部材角  $R=5/100\text{rad}$ . の変形時でも最大耐力の 95%以上の耐力を保持していた。

#### 参考文献

- 1) 笹谷輝勝、吉野次彦、入澤郁雄：プレキャスト型枠を用いた梁の力学的性状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. 17, No. 2 pp. 219~224 1995, 6
- 2) 入澤郁雄、吉野次彦：U型部材内における主筋の重ね継ぎ性状に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 975~976 1994, 9
- 3) 入澤郁雄、吉野次彦、内田伸二：中空プレキャスト柱の力学的性状に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 451~452 1995, 8
- 4) 入澤郁雄、吉野次彦、笹谷輝勝：プレキャスト型枠を用いた柱・梁接合部の力学的性状について、コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 18, No. 2 pp. 1265~1270 1996, 6