

# 水平つなぎ筋を有する軸力の低い RC 造プレキャストコア壁の構造性能\*

仲地 唯治<sup>\*1</sup>

## Structural Performance of Precast Reinforced Concrete Core Wall with Horizontal Tied Rebars under Action of Low Axial Load

Tadaharu NAKACHI<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Faculty of Engineering, Department of Architecture and Civil Engineering

Precast core walls are effective for construction in the core wall system in high-rise buildings, because they can be built more quickly than cast-in-place core walls. In this study, a lateral loading test was conducted on a wall column simulating the corner and the area near the corner of an L-shaped core wall with small shear span ratio. The wall column was divided into precast columns, and horizontal tied rebars were concentrated at the second floor level and the mid height level of the first story. Based on the results of lateral loading tests, the structural performance of the wall column with a small quantity of horizontal tied rebars and small shear span ratio under the action of low axial load was clarified.

**Key Words** : Reinforced Concrete, Core Wall, Precast, Horizontal Tied Rebar, Cotter, Axial Load

### 1. はじめに

コア壁を有する超高層建物において、建設時の工期短縮、省力化のためにコア壁のプレキャスト化が必要であると考えられる。超高層建物の RC 造連層耐震壁をプレキャスト化した例に関しては、古宮ら<sup>(1)</sup>が断面両端部をプレキャスト化した壁柱について曲げせん断実験を実施し、構造性能を検討している。また、中澤ら<sup>(2)</sup>が両側端部にプレキャスト柱型を有する RC コアウォールについて性能確認実験を実施している。これらに対し、著者らはこれまでに RC 造コア壁をフルプレキャスト化した場合について構造性能を検討するため、コア壁の圧縮端部近傍を模擬したプレキャスト壁柱による水平加力実験を行った<sup>(3)(4)</sup>。この実験の壁柱のプレキャスト化は、壁柱を柱形に分割し、柱部材間の接合面には一般に接合のために用いる接合筋を配筋せず、コッターを設けグラウトを充填する方法とした。柱部材間の接合のためには、接合筋ではなく、水平つなぎ筋を 2 階床レベル及び 1 階中央高さに集中配筋した。本研究では、同様に水平つなぎ筋を 2 階床レベル及び 1 階中央高さに集中配筋した場合について、軸力の低いフルプレキャスト壁柱試験体による水平加力実験を行い、その構造性能について検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体

Fig.1 に試験体の形状、配筋を示す。また、Table 1, Table 2 にコンクリート及び鉄筋の材料試験結果を示す。試験体は 25 階程度の超高層建物を想定した実大の約 1/8 のモデルで、コア壁の壁板を模擬した長方形断面のプレキャスト壁柱試験体 PCS5 である。壁断面は  $b \times D = 90\text{mm} \times 405\text{mm}$  である。コンクリート調合強度を  $60\text{N/mm}^2$ 、軸力比  $\sigma_0/\sigma_B = 0.005$  ( $\sigma_0 = N/A$ ,  $N$ : 軸力,  $A$ : 断面積,  $\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度) とした。また、グラウトの調合強度を  $80\text{N/mm}^2$  とした。試験体は正方形断面のプレキャスト柱を 4 本並べ、柱間は 7mm とし、深さ 6mm のコッターを

\* 原稿受付 2020 年 5 月 29 日

<sup>\*1</sup> 工学部 建築土木工学科  
E-mail: nakachi@fukui-ut.ac.jp

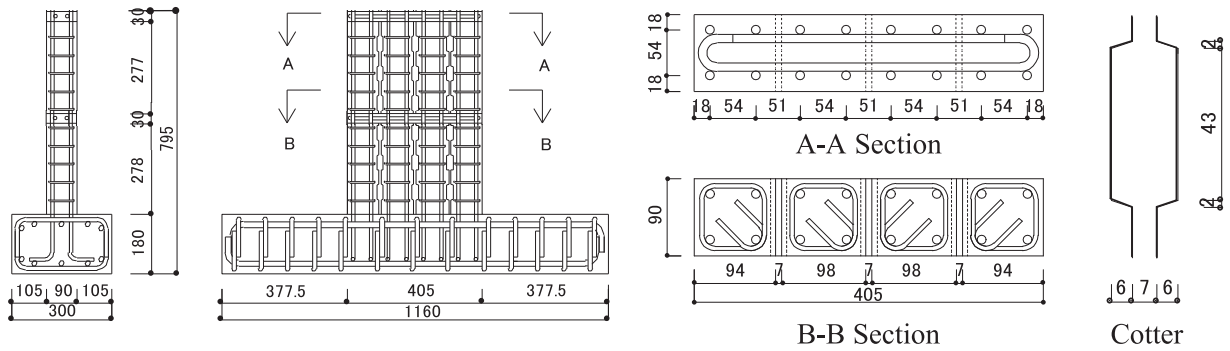


Fig. 1 Test Specimen

Table 1 Physical Properties of Concrete

	Compressive Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's Modulus ( $\times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> )	Split Strength (N/mm <sup>2</sup> )
Precast	66.1	3.19	2.87
Latter	65.3	2.86	2.57
Grout	106.8	3.51	5.67

Table 2 Physical Properties of Steel

Bar Size	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Maximum Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's Modulus ( $\times 10^5$ N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
D10	397	577	1.85	18.5
U5.1	1368	1491	2.11	9.3
D6	409	553	1.83	20.1

設け、グラウトを充填した。2 階の床部分はコンクリート後打ちとし、水平つなぎ筋を配筋した。さらに 1 階柱を 1 階中央高さ付近で 2 分割し、分割した上下柱間の部分を、2 階の床部分と同様にコンクリート後打ちとし、水平つなぎ筋を配筋した。主筋は D10 (SD345)を用い、帯筋には高強度鉄筋 U5.1 (1300 N/mm<sup>2</sup> 級)を用い、ピッチを 55mm とした。水平つなぎ筋は D6(SD345)を用いた。いずれの試験体もかぶり厚さは 6mm である。

水平つなぎ筋は後配筋で、両端柱主筋に水平つなぎ筋の両端フックを掛けるのが困難の為、両端 180° フックとし、2 本一組で向い合せて試験体側面より主筋内側に差し込んだ。試験体は横打ちで、柱主筋は通し配筋とし、グラウトは流し込みである。

## 2.2 実験方法

Fig.2 に加力装置を示す。加力は一定軸力下における正負交番繰り返し加力とした。試験体の下端を加力フレームに固定し、キャンチレバー型で水平力を作用させた。図中、試験体左側より水平ジャッキで押す場合を負加力とした。正加力は、試験体右側に設置したピン支承及び PC 鋼棒を介して、水平ジャッキで引くことにより载荷した。すなわち、試験体にとっては右側を押すこととなる。ただし、柱部材どうしを PC 鋼棒で締め付けることがないようにして载荷した。せん断スパン比は 1.4 である。軸力は試験体上方の油圧ジャッキにより载荷し、軸力比 0.005 の定軸力 (10kN) とした。試験体上面には、各柱部材の上部にピン支承を設け、鋼板を介して油圧ジャッキにより軸力を加えた。加力は 2 階床レベル高さ (565mm) での変位制御とし、部材角 1/1000 (rad.) (1 回), 2/1000, 5, 7.5, 10, 15, 20, (各 2 回), 30/1000 (1 回) における正負交番繰り返し加力とした。変位計で各区間の伸縮量、柱部材間の目開き及びずれを、また、箔ゲージで帯筋、水平つなぎ筋、及び主筋のひずみを計測した。帯筋のゲージ貼付位置は帯筋各辺の中央とし、壁厚さ方向および壁長さ方向のひずみを計測した。

## 3. 実験結果

### 3.1 破壊状況

Fig.3 にひび割れ状況を示す。ひび割れは、正負加力時とも、1/1000 までは曲げひび割れが試験体下部に発生した。その後、曲げひび割れは上方及び中央寄りに進展した。また、5/1000 まではコッター部にせん断ひび割れが発生し、進展した。圧縮側脚部においては、正加力で 15/1000、負加力で 20/1000 まではコンクリートの圧壊 (縦ひび割れ) が発生した。その後、コッター部のせん断ひび割れがやや進展したが、ひび割れ幅の顕著な増大や、

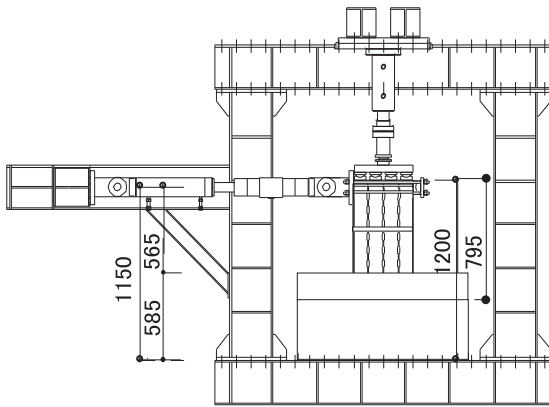


Fig. 2 Loading System

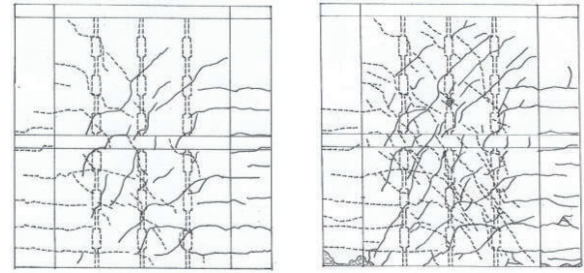


Fig. 3 Crack Patterns

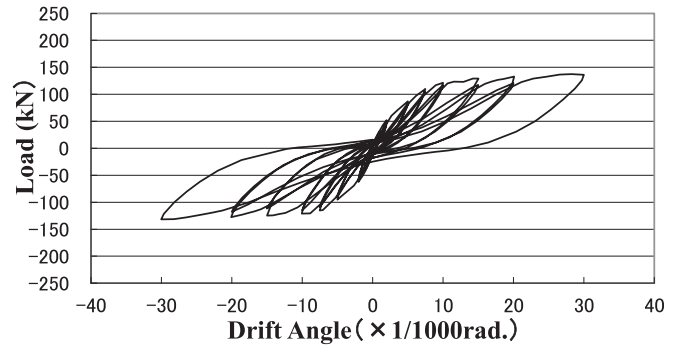


Fig. 4 Load - Deflection Curve

コッター部コンクリートの破壊等は見られず，耐力はほとんど低下しなかった．なお，最終の部材角 30/1000 に至るまで軸力を保持していた．

### 3.2 荷重－変形関係

Fig.4 に荷重－変形関係を示す．最大荷重は正加力時において 28.2/1000 で 137.3kN，負加力時において 30/1000 で 131.8kN であり，最終までほとんど耐力低下しなかった．

### 3.3 帯筋（壁厚さ方向測定点）のひずみ分布

Fig.5, Fig.6 に，高さ 42.5mm 及び高さ 152.5mm における帯筋の水平方向ひずみ分布を示す．ここで，帯筋におけるひずみゲージ貼付位置は，壁厚さ方向中央である．帯筋の壁厚さ方向は，加力直交方向であるため，壁厚さ方向測定点の値は，水平力に対するせん断補強効果よりも，軸応力に対するコンクリート拘束効果を表すと考えられる．グラフは，正加力時の各部材角における圧縮端部からの距離と帯筋ひずみの関係を示している．いずれの高さにおいても部材角の増大とともに帯筋ひずみは増えている．

高さ 42.5mm においては，全部材角にわたり，圧縮端部より 9mm の点で最大のひずみとなり，全体的には圧縮端部に近いほどひずみの値は大きい．圧縮端部より 187mm の点においては，部材角が大きくなってもひずみの増大はあまり見られない．20/1000 までは，圧縮端部より 114mm の点の方が 82mm の点よりもひずみが若干大きい．これは圧縮端部のプレキャスト柱と圧縮端部から 2 番目のプレキャスト柱が若干独立した動きを示していると考えられる．すなわち，圧縮端部プレキャスト柱の内側寄りの位置よりも，圧縮端部から 2 番目のプレキャスト柱の圧縮端部寄りの位置の方がより大きな圧縮応力を受けており，プレキャスト柱間の一体性がこの部分で若干低下していると考えられる．

一方，高さ 152.5mm においては各部材角で，圧縮端部より 114mm の点で最大のひずみが生じている．これは圧縮端部のプレキャスト柱に対する，圧縮端部から 2 番目のプレキャスト柱の独立した動きが，上記の高さ 42.5mm の場合よりさらに顕著に表れていると考えられる．

### 3.4 水平つなぎ筋のひずみ分布

Fig.7 及び Fig.8 に，正加力時の各部材角における 1 階中央高さレベル及び 2 階床レベルでの水平つなぎ

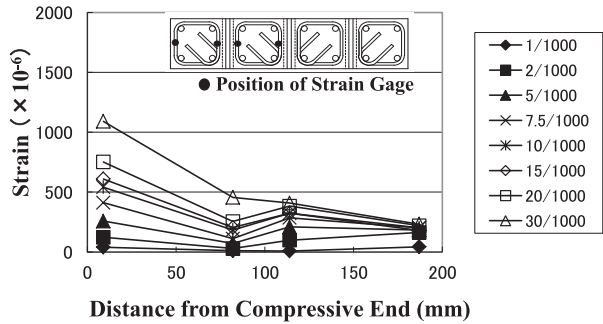


Fig. 5 Horizontal Strain Distribution of Hoop  
(Height of 42.5 mm)

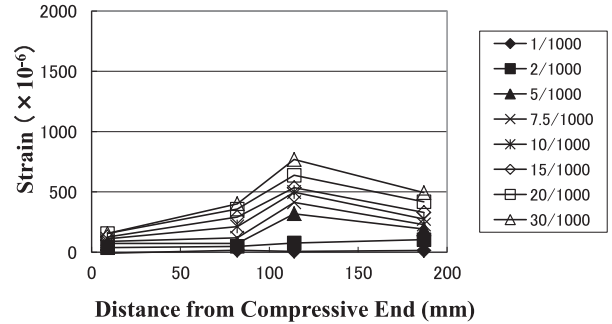


Fig. 6 Horizontal Strain Distribution of Hoop  
(Height of 152.5 mm)

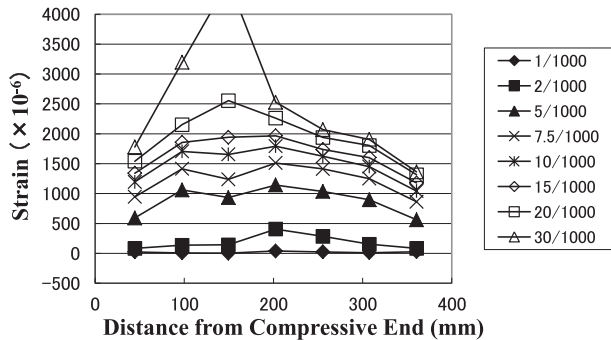


Fig. 7 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars  
(Mid Height Level of First Story)

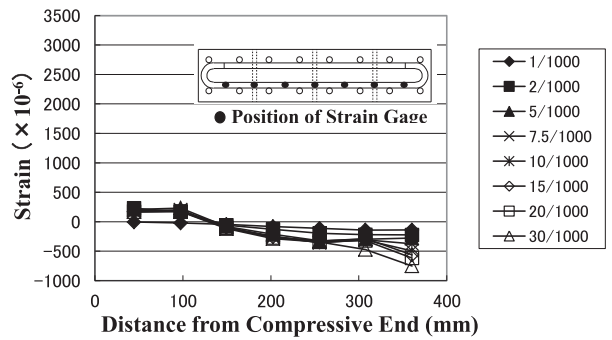


Fig. 8 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars  
(Second Floor Level)

筋のひずみ分布を示す。1階中央高さレベルでは、部材角の増大とともにひずみが増大している。5/1000において全体にひずみが多く増大し、その後、部材角の増大と共にひずみが徐々に増大した。20/1000に至るまでは降伏せず、最終の30/1000で149.5mmの測定点でひずみが降伏ひずみ(4229 $\mu$ , 0.2%オフセット)を超えた。最終の30/1000に至るまで各測定点におけるひずみは増大し続けたが、20/1000までは降伏することなくプレキャスト柱間の一体性を保ち、そのため耐力低下はほとんど生じなかったと考えられる。

2階床レベルでは、いずれの測定点においても、30/1000に至るまで降伏ひずみには達していない。また、圧縮端部側の方がひずみは大きい傾向にある。右端付近のひずみが圧縮となっているのは、水平ジャッキの載荷点に近いと考えられる。

### 3.5 鉛直接合部の挙動

#### 3.5.1 目開きの水平方向分布

Fig.9, Fig.10 に、正加力時のプレキャスト柱部材間の鉛直接合部における目開きの水平方向分布を示す。ここで、1段目は1階柱下部(高さ170mm)、2段目は1階柱上部(高さ415mm)の水平方向分布を示す。目開きは、柱部材間の水平方向相対変位を変位計で測定した。いずれの段においても、部材角の増大とともにほぼ目開きは増えている。

1段目において、目開きの最大値は1.4mmであった。いずれの部材角においても圧縮端部側の値が最も大きい。その他の測定点においては、それよりも明らかに小さい。2段目においては、最大値は0.4mmで、1段目の最大値より小さい。10/1000以降、引張端部側の値が最も大きく、圧縮端部側に近づくにつれ減少している。

#### 3.5.2 ずれの水平方向分布

Fig.11, Fig.12 に、正加力時のプレキャスト柱部材間の鉛直接合部におけるずれの水平方向分布を示す。ここで、ずれの測定位置は、前述の目開きの測定位置と同じである。ずれは、柱部材間の鉛直方向相対変位を変位計で測定した。正加力時に鉛直接合部の圧縮端部側が、引張端部側よりも相対的に上方にずれる場合を正とした。いず

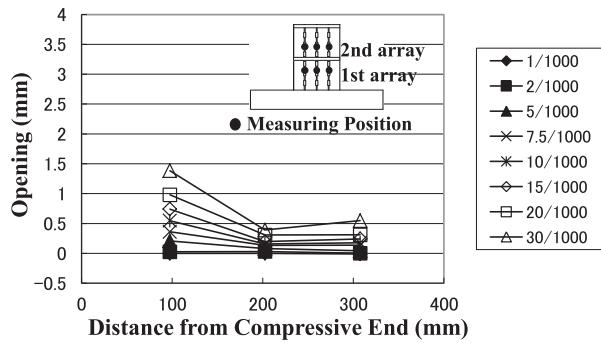


Fig. 9 Horizontal Distribution of Opening  
(First Array)

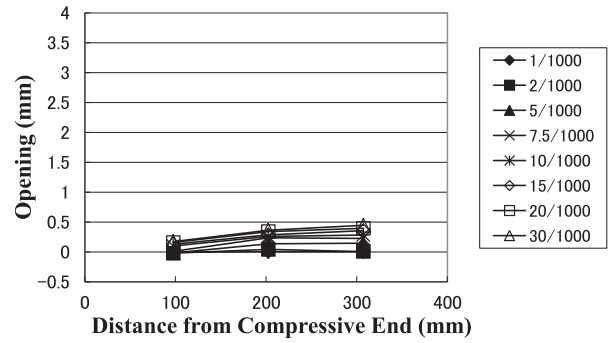


Fig. 10 Horizontal Distribution of Opening  
(Second Array)

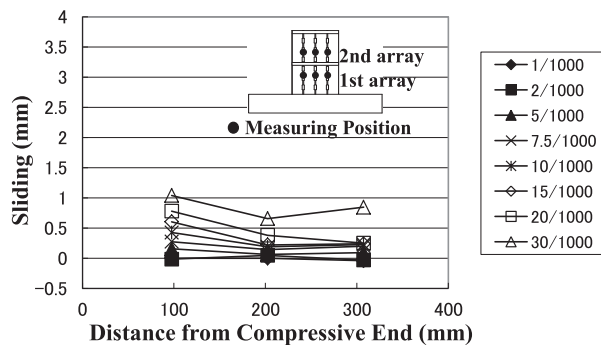


Fig. 11 Horizontal Distribution of Sliding  
(First Array)

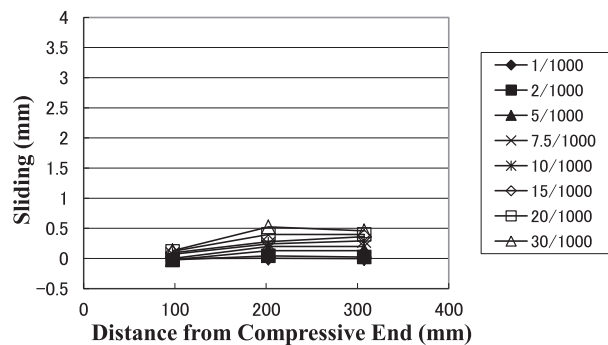


Fig. 12 Horizontal Distribution of Sliding  
(Second Array)

れの段においても、部材角の増大とともにずれは増えている。

1 段目において、ずれの最大値は 1.0mm であった。いずれの部材角においても圧縮端部側の値が最も大きい、最終の 30/1000 では、引張端部側の値が圧縮端部側に次いで大きい。2 段目においては、最大値は 0.5mm で、1 段目の最大値より小さい。

### 3.6 壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布

Fig.13 に、壁脚部からの検長を 65mm とした場合の変位計による鉛直ひずみの水平方向分布を示す。グラフは、正加力時の各部材角における圧縮端部からの距離と、変位計によるひずみの関係を示している。引張側の値が大きく、最終の 30/1000 に至るまで、圧縮、引張側でそれぞれほぼ直線的に変化しており、壁柱の一体性を示すと考えられる。また、破壊状況におけるコッター部の破壊が少ないことと対応していると考えられる。

### 3.7 壁脚部における主筋の水平方向ひずみ分布

Fig.14 に壁脚部からの高さ 25mm における主筋の水平方向ひずみ分布を示す。グラフは正加力時の各部材角での圧縮端部からの距離とひずみの関係を示している。1/1000 から 10/1000 に至るまでは、圧縮側、引張側で、いずれもほぼ直線的にひずみは変化している。10/1000 において引張端部の主筋が引張降伏(降伏ひずみ 2146 $\mu$ )し、15/1000 以降、ひずみが急激に増大している。引張端部より 2 本目の主筋は 15/1000 において引張降伏し、30/1000 においてひずみが急激に増大している。最終の 30/1000 では、全 8 本のうち、引張端部より 5 本の主筋が降伏した。10/1000 に至るまでほぼ直線的にひずみは変化し、15/1000 以降も引張端部側ほど引張ひずみが大きくないのはプレキャスト柱間の一体性を保っているためと考えられる。

### 3.8 圧縮側端部の鉛直方向ひずみ分布

Fig.15 に圧縮側端部における変位計による鉛直方向ひずみ分布を示す。グラフは正加力時の各部材角における



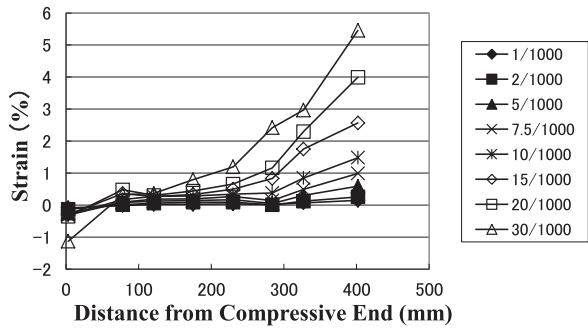


Fig. 13 Horizontal Distribution of Vertical Strain at Bottom

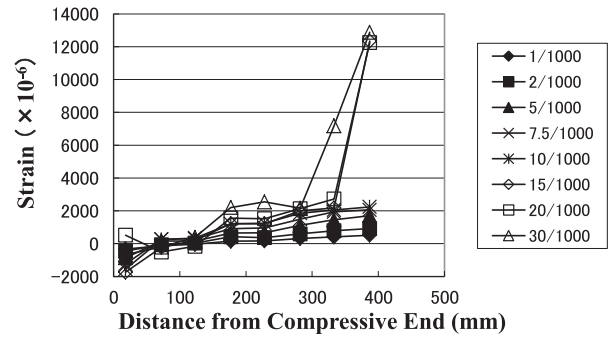


Fig. 14 Horizontal Distribution of Strain of Main Bar at Bottom

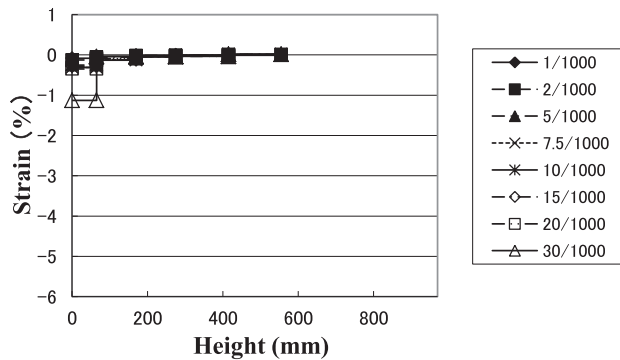


Fig. 15 Vertical Distribution of Strain at Compressive End

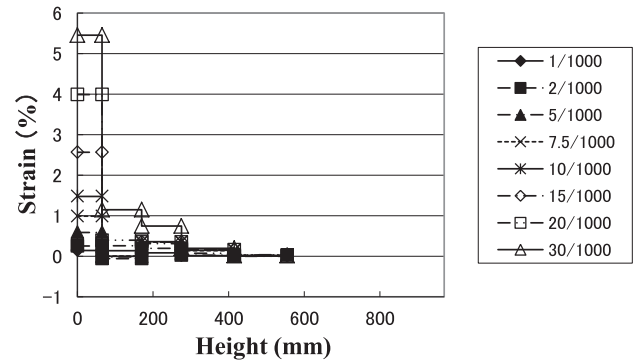


Fig. 16 Vertical Distribution of Strain at tensile End

壁脚部からの高さや鉛直方向ひずみの関係を示している。部材角の増大とともにひずみは増大している。20/1000に至るまで、脚部から 65mm までの範囲においてひずみは 0.5%を超えておらず、30/1000 で 1.1%となっている。脚部から 65mm までの領域は他の領域に比べてひずみの値が大きく、コンクリートの鉛直方向に作用する圧縮応力が特に大きいと考えられる。破壊状況において示したように、正加力時に 15/1000 までにコンクリートの圧壊(縦ひび割れ)が発生し、最終の 30/1000 においては脚部におけるかぶりコンクリートの剥落が見られた。このことより、脚部から 65mm 程度までは 15/1000 以降において、コンクリートは塑性領域となっていたと考えられる。

### 3.9 引張側端部の鉛直方向ひずみ分布

Fig.16 に引張側端部における変位計による鉛直方向ひずみ分布を示す。全体としては、脚部に近づくにつれて徐々にひずみが増しており、脚部より 65mm までの区間で最も大きい値となっている。この区間では 5/1000 までに 0.5%を超えるひずみが発生し、最終の 30/1000 では 5.5%となっている。ひずみが脚部に集中し、5.5%と大きな値となっているのは、鉛直接合部における破壊状況や壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布でも示されたように、壁柱の一体性が高かったことや、軸力が小さかったことによると考えられる。

### 3.10 軸力の低い RC 造コア壁の構造性能

上記の実験結果を合わせると次のようになる。高さ 152.5mm における帯筋の水平方向ひずみ分布より、圧縮端部のプレキャスト柱と 2 番目のプレキャスト柱の間には独立した圧縮応力状態の傾向がある程度見られた。しかし、壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布において、引張側の値が大きく、最終の 30/1000 に至るまで、圧縮、引張側でそれぞれほぼ直線的に変化しており、壁柱の一体性を示すと考えられる。壁脚部における主筋の水平方向ひずみ分布においては、最終の 30/1000 では、全 8 本のうち、引張端部より 5 本の主筋が降伏した。10/1000

に至るまではほぼ直線的にひずみは変化し、15/1000 以降も引張端部側ほどほぼ引張ひずみが大きくなっている。また、鉛直接合部での目開き及びずれにおいて、顕著な増大は見られず、これらのことも、壁柱の一体性を示すと考えられる。これら各部の性状は、破壊状況においてコッター部のひび割れ幅の顕著な増大やコッター部コンクリートの破壊等が見られず、耐力がほとんど低下しなかったことに対応していると考えられる。

#### 4. まとめ

水平つなぎ筋を 2 階床レベル及び 1 階中央高さに集中配筋した場合について、軸力の低いフルプレキャスト壁柱試験体による水平加力実験を行い、その構造性能について検討した。検討の結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 荷重－変形関係において、正負加力時とも、最終までほとんど耐力低下しなかった。
- (2) 帯筋の水平方向ひずみ分布の特に高さ 152.5mm においてプレキャスト柱の独立した挙動が若干認められたが、鉛直接合部のコンクリート破壊等、大きな破壊は生じなかった。
- (3) 水平つなぎ筋は 1 階中央高さレベルにおいて、最終の 30/1000 に至るまで各測定点におけるひずみは増大し続けたが、20/1000 までは降伏することなく、30/1000 においても降伏ひずみをやや上回る程度であったため、プレキャスト柱間の一体性はほぼ保たれたと考えられる。
- (4) 鉛直接合部の目開き及びずれの最大値はそれぞれ 1.4mm、1.0mm で、いずれも圧縮端部側で生じた。
- (5) 壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布において、最終の 30/1000 に至るまで、圧縮、引張側でそれぞれほぼ直線的に変化しており、壁柱の一体性を示すと考えられる。
- (6) 圧縮側端部における脚部から 65mm 程度の領域では鉛直方向ひずみが特に大きく、コンクリートは塑性領域となっていたと考えられる。引張側端部においてもひずみが脚部に集中し、5.5%と大きな値となった。

#### 文 献

- (1) 古宮嘉之，山本憲一郎，向出静司，益尾潔，“鉛直接合部を介してプレキャスト部と現場打ち部を一体化した RC 造壁柱の曲げせん断実験（その 1，その 2）”，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2003)，pp.255-258
- (2) 中澤春生，大久保香織，刑部章，淵本正樹，“プレキャスト柱型を内蔵する RC コアウォールの耐力及び変形性能評価に関する実験”，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，(2009)，pp.463-468
- (3) 仲地唯治，“RC 造プレキャストコア壁におけるせん断スパン比に関する実験的研究”，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2018)，pp.17-18
- (4) 仲地唯治，“RC 造プレキャストコア壁におけるせん断スパン比の影響”，日本建築学会大会学術講演梗概集，(2019)，pp. 587-588

(2020 年 9 月 10 日受理)