

## せん断スパン比の小さいRC造プレキャストコア壁の変形性能\*

仲地 唯治<sup>\*1</sup>, レー フィ ホアン<sup>\*2</sup>

## Deformation Capacity of Precast Reinforced Concrete Core Wall with Small Shear Span Ratio

Tadaharu NAKACHI<sup>\*1</sup> and Hoang LE HUUY<sup>\*1</sup> Faculty of Engineering, Department of Architecture and Civil Engineering

In the core wall system in high-rise buildings, precast core walls are effective for construction 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 deformation capacity of the wall column with a small quantity of horizontal tied rebars, cotters and small shear span ratio was clarified.

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

## 1. はじめに

超高層建物において、建設時の工期短縮、省力化のためにプレキャスト化が必要であると考えられる。超高層建物コア部分の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>。この実験における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。柱部材間の接合を目的とした配筋として、水平つなぎ筋を2階、3階床レベル及び1階中央高さに集中配筋した。実験におけるせん断スパン比は2.4とした。また、せん断スパン比を1.4とし、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、せん断スパン比が小さい(1.5以下)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<sup>(5)</sup>。本研究ではさらに、せん断スパン比が小さい場合の、水平つなぎ筋量あるいはコッター数の影響を調べる為、実際の設計よりこれら諸量が小さい場合について、変形性能を検討した。

## 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PCS3, PCS4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 $\sigma_0/\sigma_B = 0.2$  ( $\sigma_0 = N/A$ ,  $N$ :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

\* 原稿受付 2019年3月29日

<sup>\*1</sup> 工学部 建築土木工学科<sup>\*2</sup> 社会システム学専攻 大学院生

E-mail: nakachi@fukui-ut.ac.jp

せん断スパン比の小さい RC 造プレキャストコア壁の変形性能

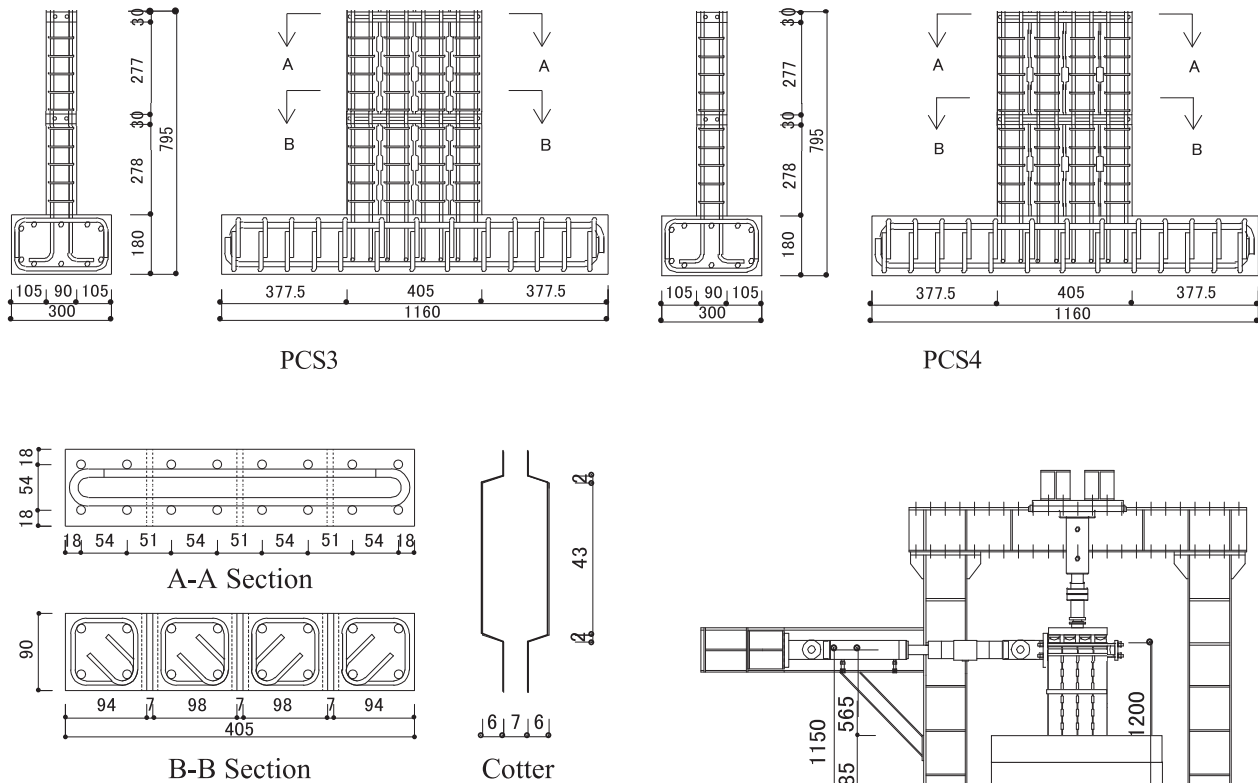


Fig. 1 Test Specimen

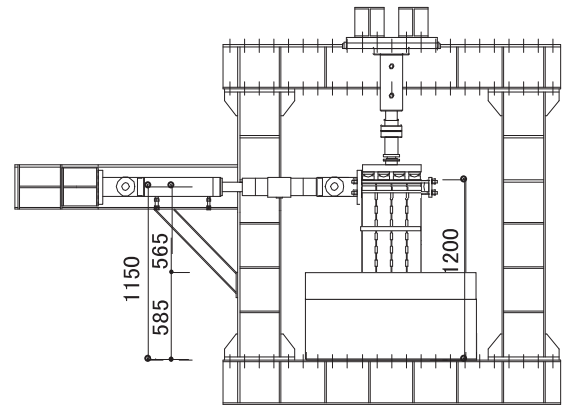


Fig. 2 Loading System

Table 1 Physical Properties of Concrete

Specimen		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> )
PCS3	Precast	68.3	3.33	3.33
	Latter	73.8	3.41	3.89
	Grout	101.3	3.55	5.76
PCS4	Precast	68.4	3.21	2.90
	Latter	61.1	2.94	2.98
	Grout	102.5	3.80	5.00

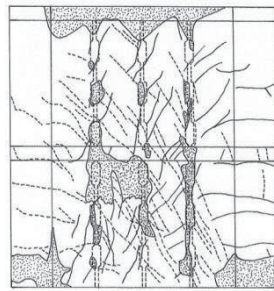
Table 2 Physical Properties of Steel

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

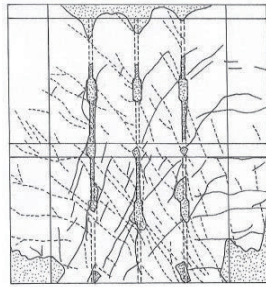
を  $80\text{N/mm}^2$  とした。試験体は正方形断面のプレキャスト柱を 4 本並べ、柱間は  $7\text{mm}$  とし、深さ  $6\text{mm}$  のコッターを設け、グラウトを充填した。2 階の床部分はコンクリート後打ちとし、水平つなぎ筋を配筋した。さらに 1 階柱を 1 階中央高さ付近で 2 分割し、分割した上下柱間の部分を、2 階の床部分と同様にコンクリート後打ちとし、水平つなぎ筋を配筋した。せん断スパン比は 1.4 である。主筋は D10(SD345)、水平つなぎ筋は PCS3 では D6(SD345) を、PCS4 では D10 (SD345)(標準)を用いた。帯筋は高強度鉄筋 U5.1 ( $1300\text{N/mm}^2$  級) でピッチ  $55\text{mm}$ 、試験体かぶり厚さは  $6\text{mm}$  である。一鉛直接合部あたりのコッター数は PCS3 では 6 個(標準)、PCS4 では 2 個である。

## 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。軸力は試験体上方の油圧ジャッキにより载荷し、軸力比 0.2 の定軸力 (PCS3, PCS4 でそれぞれ  $498\text{kN}$ ,  $499\text{kN}$ ) 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



PCS3



PCS4

Fig. 3 Crack Patterns

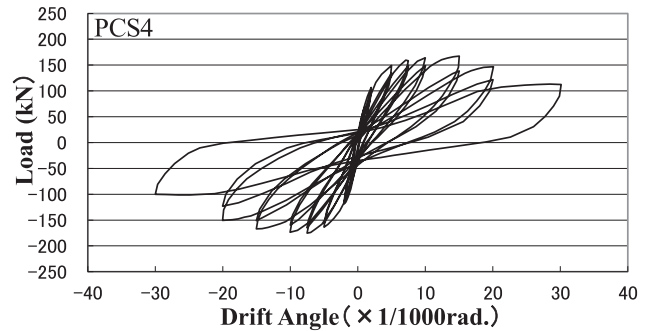
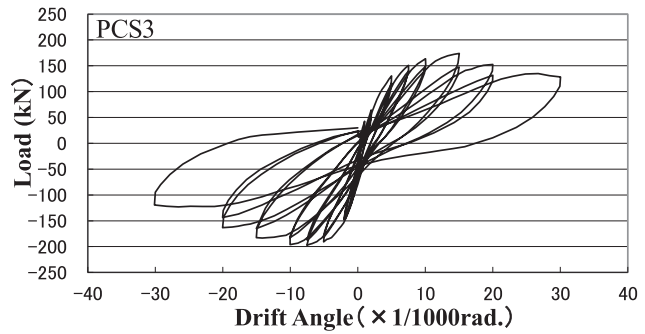


Fig. 4 Load - Deflection Curve

ヤ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, 5, 7.5, 10, 15, 20/1000 (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。

### 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, PCS3, PCS4 とも, 1/1000 までに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, 2/1000 までにコッター部にせん断ひび割れが発生し, 進展した。PCS3 では 5/1000 までに, PCS4 では 7.5/1000 までに, 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破壊, すなわち, コッター部せん断ひび割れの進展, ひび割れ幅の拡大, さらには, コッターのグラウトおよび周辺コンクリートの剥落が生じた。また, 脚部にコンクリート圧壊(かぶりコンクリートの剥落)が生じている。主筋の降伏については, PCS4 では 5/1000 までに, PCS3 では 7.5/1000 までに正加力時に最外縁圧縮主筋が圧縮降伏(降伏ひずみ 2146 $\mu$ )した。引張側に関しては降伏はみられなかった。最終的には, コッター部のせん断ひび割れ及び脚部の圧壊が進展し, 耐力が大きく低下した。なお, いずれの試験体も最終の部材角 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。PCS3 では, 最大荷重は正加力時において 15/1000 で 173.8kN, 負加力時において 7.5/1000 で 197.3kN であった。正加力時は 20/1000 から, 負加力時は 15/1000 から耐力が低下し始めた。PCS4 では, 最大荷重は正加力時において 15/1000 で 167.3kN, 負加力時において 7.5/1000 で 175.3kN であった。正加力時, 負加力時共, 15/1000 から耐力が低下し始めた。

#### 3.3 帯筋(壁厚さ方向測定点)のひずみ分布

Fig.5 に, 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

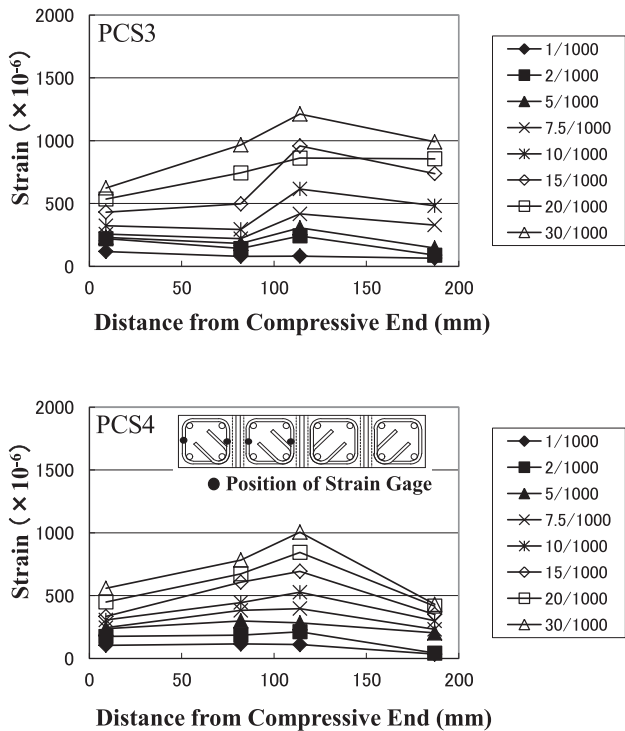


Fig. 5 Horizontal Strain Distribution of Hoop

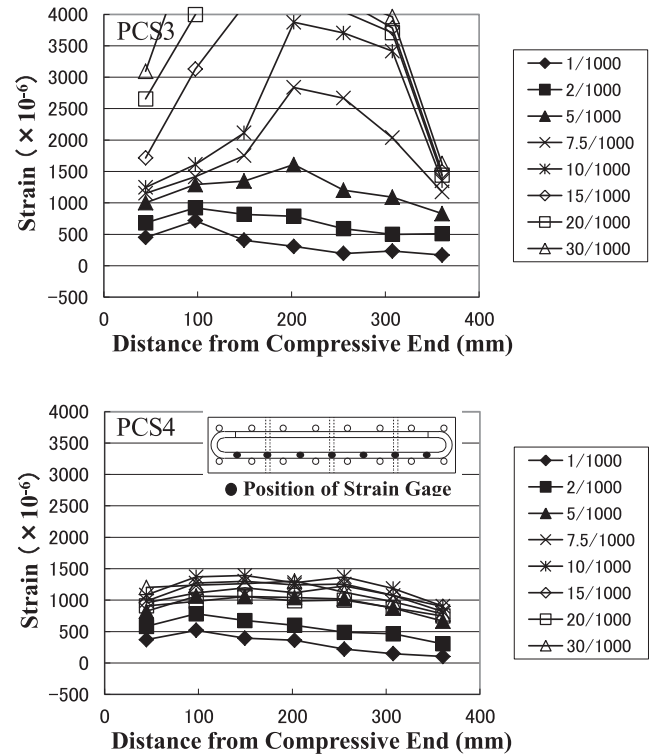


Fig. 6 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars

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。

いずれの試験体も、圧縮端部より 82mm の点から 114mm の点にかけて増大しており、最終的に 114mm の点で最大値となっている。ここで、82mm の測定点が圧縮端部のプレキャスト柱内であるのに対し、114mm の測定点は圧縮端部から 2 番目のプレキャスト柱内である。これは圧縮端部のプレキャスト柱に対して、圧縮端部から 2 番目のプレキャスト柱が独立した動きをしていると考えられる。すなわち、圧縮端部から 2 番目のプレキャスト柱における圧縮端部側が圧縮端部柱の引張端部側より大きな圧縮応力を受けており、この高さにおいては、隣接するプレキャスト柱の一体性が低下していると考えられる。先に示した最終ひび割れ状況では、圧縮端部柱と 2 番目の柱の間の鉛直接合部で、当該高さにおいてせん断破壊が顕著であり、これによって一体性が低下したと考えられる。

### 3.4 水平つなぎ筋のひずみ分布

Fig.6 に、正加力時の各部材角における 1 階中央高さレベルでの水平つなぎ筋のひずみ分布を示す。いずれもひずみ分布中の最大ひずみが各試験体中で最も大きい高さでの分布である。鉄筋は、水平つなぎ筋量の少ない PCS3 では D6(SD 345,降伏ひずみ  $4229\mu$ , 0.2%オフセット)で、PCS4 では D10(SD345,降伏ひずみ  $2146\mu$ )である。

PCS3 では、7.5/1000 において圧縮端部から 202.5mm の点でひずみが急激に増大し、その後、15/1000 において降伏している。20/1000 以降さらに増大し、荷重-変形関係における 20/1000 以降の荷重低下に対応している。PCS3 は水平つなぎ筋量が少ないため、引張応力度が大きく、早い段階で降伏したと考えられる。

PCS4 では、最終の 30/1000 に至るまで降伏ひずみ ( $2146\mu$ ) に達していない。コッター数が少ない PCS4 では、コッター部の破壊に伴いプレキャスト柱の一体性が弱まり、20/1000 より耐力が低下し始めた。そのため、プレキャスト柱の一体化に対する水平つなぎ筋の効果が少なく、降伏にも至らなかったと考えられる。

なお、2 階床レベルでは、PCS3 において圧縮端部から 149.5mm の点で最大値  $1453\mu$ 、PCS4 において同じく 149.5mm の点で最大値  $893\mu$  となり、それぞれ 1 階中央高さレベルより低い値となった。



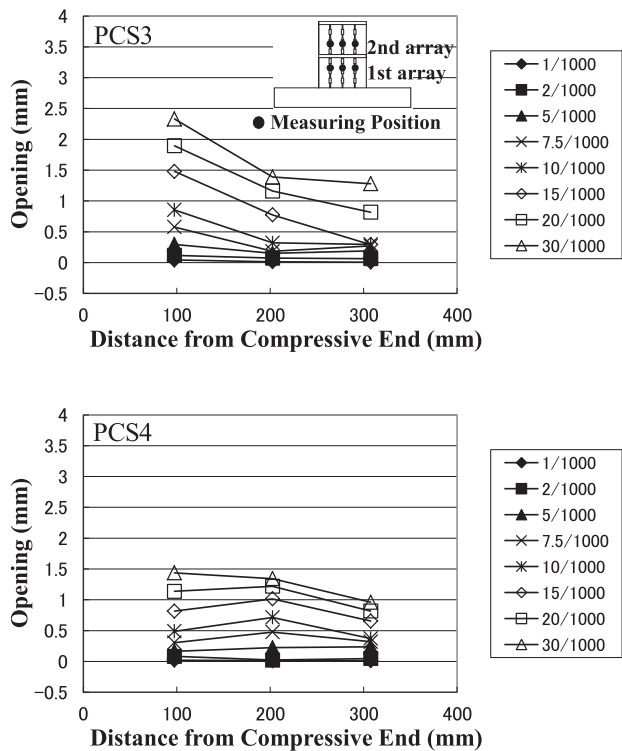


Fig. 7 Horizontal Distribution of Opening

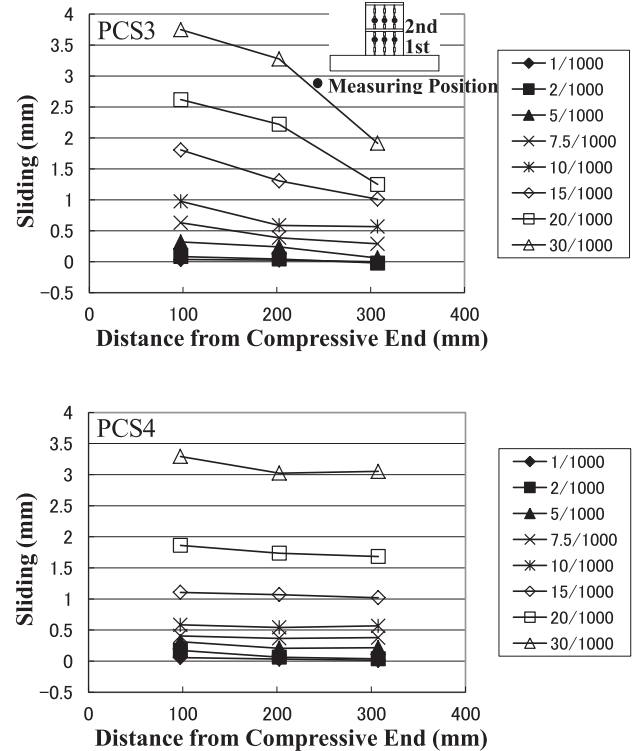


Fig. 8 Horizontal Distribution of Sliding

### 3.5 鉛直接合部の挙動

#### 3.5.1 目開きの水平方向分布

Fig.7 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）での測定位置を示す。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。ここでは、PCS3、PCS4 共 1 段目の分布を示し、いずれも各分布中の最大値が各試験体中で最も大きい段での分布である。

いずれの試験体においても、部材角の増大とともに目開きは増えている。水平つなぎ筋量の少ない PCS3 の最大値は 2.3mm、コッター数の少ない PCS4 の最大値は 1.4mm である。PCS3 では、いずれの部材角においても圧縮端部側が最も大きく、引張端部側に近づくにつれ目開きが減少している。特に 15/1000 以降、目開きの増加が大きく、ひび割れ状況におけるコッター部のせん断破壊、荷重－変形関係における荷重の低下に対応している。PCS4 では、最終の部材角においては圧縮端部側が最も大きく、引張端部側に近づくにつれひずみが減少している。但し、20/1000 までは中央部の値が最も大きい。PCS3 と同様、15/1000 において目開きの増加が大きく、ひび割れ状況におけるコッター部のせん断破壊、荷重－変形関係における荷重の低下に対応している。

#### 3.5.2 ずれの水平方向分布

Fig.8 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。PCS3 は 1 段目、PCS4 は 2 段目の分布を示し、いずれも各分布中の最大値が各試験体中で最も大きい段での分布である。

PCS3、PCS4 の最大値は圧縮端部側で 3.7mm、3.3mm である。PCS3 では、いずれの部材角においても圧縮端部側が最も大きく、引張端部側に近づくにつれ値が減少しており、目開きの場合と同様である。また、15/1000 以降、ずれの増加が大きく、ひび割れ状況におけるコッター部のせん断破壊、荷重－変形関係における荷重の低下に対応している。PCS4 では、最終の部材角においては圧縮端部側が最も大きく、引張端部側に近づくにつれずれが減少している。但し、圧縮端部側と引張端部側の差は PCS3 に比べると小さい。PCS3 と同様、15/1000 に

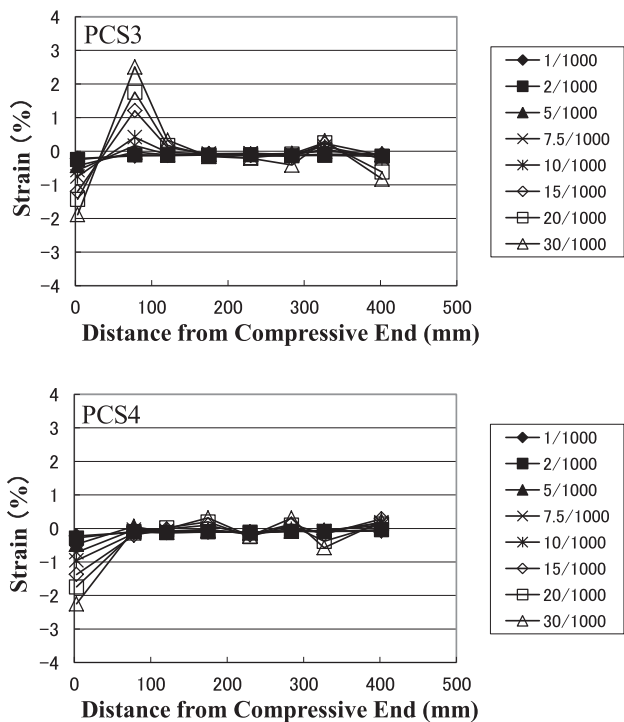


Fig. 9 Horizontal Distribution of Vertical Strain at Bottom

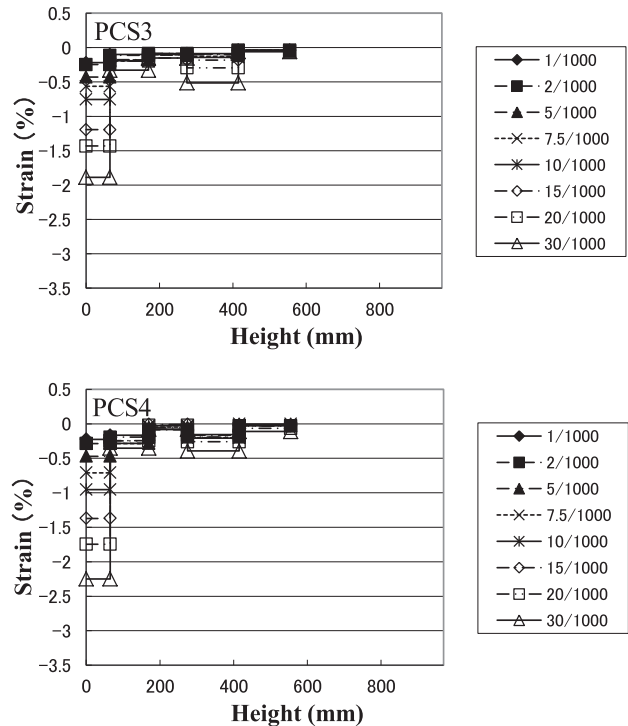


Fig. 10 Vertical Distribution of Strain at Compressive End

において、いずれの増加が大きく、ひび割れ状況におけるコッター部のせん断破壊、荷重－変形関係における荷重の低下に対応している。

### 3.6 壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布

Fig.9 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。

PCS3 では、圧縮端部より 78mm の測定点においてひずみが引張となり、最終の 30/1000 においては、2.51%に達した。圧縮端部付近では、最終の 30/1000 において 1.89%となっている。一方、引張端部付近では圧縮ひずみが増大した。PCS4 では、圧縮端部より 78mm の測定点において顕著な引張ひずみの増大は見られないが、5/1000 から、わずかながらひずみが圧縮から引張へと変化している。また、最終の 30/1000 においては、78mm の測定点と同様の傾向が 175mm , 284mm , 402mm の点でそれぞれ見られる。圧縮端部付近では、最終の 30/1000 において最大値 2.25%となっている。

### 3.7 圧縮側端部の鉛直方向ひずみ分布

Fig.10 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壁脚部からの高ささと鉛直方向ひずみの関係を示している。いずれの試験体も、部材角の増大とともにひずみは増大している。

PCS3, PCS4 共、全体的に脚部に近いほど、ひずみが大きくなっている。30/1000 において、脚部から 65mm までにおいて、それぞれ 1.89%, 2.25%となっている。これらのひずみの特に大きい領域は、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、10/1000 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。これらのことより、脚部から 65mm 程度までは 10/1000 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。

### 3.8 せん断スパン比の小さい 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、PCS3、PCS4 共、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見られた。また、壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布において、PCS3 では、圧縮端部より 78mm の測定点においてひずみが引張となり、最終の 30/1000 においては、2.51%に達した。また、PCS4 では、圧縮端部より 78mm の測定点において顕著な引張ひずみの増大は見られないが、5/1000 から、わずかながらひずみが圧縮から引張へと変化している。これらは、15/1000 以降における鉛直接合部での目開き及びずれの顕著な増大に対応していると考えられる。また、水平つなぎ筋量の少ない PCS3 においては、1 階中央高さレベルでの水平つなぎ筋のひずみ分布で示された 15/1000 における降伏にも対応していると考えられる。コッター数の少ない PCS4 においては、コッター部の破壊に伴いプレキャスト柱の一体性が弱まったことに対応していると考えられる。そして、これらの現象が両試験体の 20/1000 以降の耐力低下につながったと考えられる。

## 4. まとめ

水平つなぎ筋量が少ない場合、及びコッター数が少ない場合について、せん断スパン比が 1.4 と小さ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、その変形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、PCS3、PCS4 共、正加力時において 15/1000 で、負加力時において 7.5/1000 で最大耐力を示した後、両試験体共 15/1000 から耐力が大きく低下した。
- (2) 帯筋の水平方向ひずみ分布や壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布において認められたプレキャスト柱の独立した挙動は、鉛直接合部のせん断破壊によるものと考えられる。
- (3) 水平つなぎ筋量の少ない PCS3 では、水平つなぎ筋は 1 階中央高さレベルにおいて、15/1000 以降、降伏を示した。これは鉛直接合部のせん断破壊に対応していると考えられる。
- (4) コッター数の少ない PCS4 では、水平つなぎ筋は降伏しなかった。これは、コッター数が少ないことにより、コッター部が破壊し、それに伴いプレキャスト柱の一体性が弱まった。そのため、プレキャスト柱の一体化に対する水平つなぎ筋の効果が少なく、降伏にも至らなかったと考えられる。
- (5) PCS3 における鉛直接合部の目開き及びずれの最大値はそれぞれ 2.3mm、3.7mm であった。また、PCS4 では同様にそれぞれ 1.4mm、3.3mm であった。
- (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。

## 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水平つなぎ筋の効果”，日本建築学会大会学術講演梗概集，（2013），pp.105-106
- (4) Tadaharu Nakachi，“Seismic Performance of Precast Reinforced Concrete Core Wall with Horizontal Tied Rebars at Mid Height Level of First Story”，福井工業大学研究紀要，（2013），第 43 号，pp.181-190
- (5) 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，pp.17-18，2018.9

（2019 年 4 月 26 日受理）