

## 水平つなぎ筋量及びコッター数の異なる 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\*

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

### Effect of Shear Span Ratio on Precast Reinforced Concrete Core Walls with Parameter of Quantity of Horizontal Tied Rebar and Cotter

Hoang LE HUY<sup>\*1</sup> and Tadaharu NAKACHI<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Student of Department of Social System Engineering

Precast core walls are considered effective for construction because they can be built more quickly than cast-in-place core walls. In this study, lateral loading tests were conducted on wall columns simulating the corner and the area near the corner of an L-shaped core wall with horizontal tied rebars. The specimen consisted of four square-section precast columns. The vertical joints between the precast columns were grouted with high-strength mortar. Each precast column had cotters at the vertical joint, and horizontal tied rebars were concentrated at the second and the mid height level of the first story. Based on comparing the results of lateral loading tests of the specimen PC3 and PC4 of shear span ratio 2.4 and the specimen PCS3 and PCS4 of shear span ratio 1.4, the effect of shear span ratio was clarified. Experimental parameter was quantity of horizontal tied rebar and cotter.

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

## 1. はじめに

コア部分を RC 造連層耐震壁とした超高層建物において、建設時の工期短縮、省力化のために連層耐震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)</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は、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。また、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、さらにせん断スパン比の小さい場合について水平加力実験を行い、構造性能について検討した<sup>(4)</sup>。本研究では、これら既発表済の研究のうち、せん断スパン比が 2.4 の PC3, PC4 と 1.4 の PCS3, PCS4 の構造性能を比較検討した。水平つなぎ筋量の少ない PC3 と PCS3, コッター数の少ない PC4 と PCS4 はそれぞれせん断スパン比のみが異なるため、この 2 体ずつを比較することにより、せん断スパン比の影響を考察した。

## 2. 実験概要

\* 原稿受付 2019 年 3 月 29 日

<sup>\*1</sup> 社会システム学専攻 大学院生

<sup>\*2</sup> 工学部 建築土木工学科

hoangsky3@gmail.com

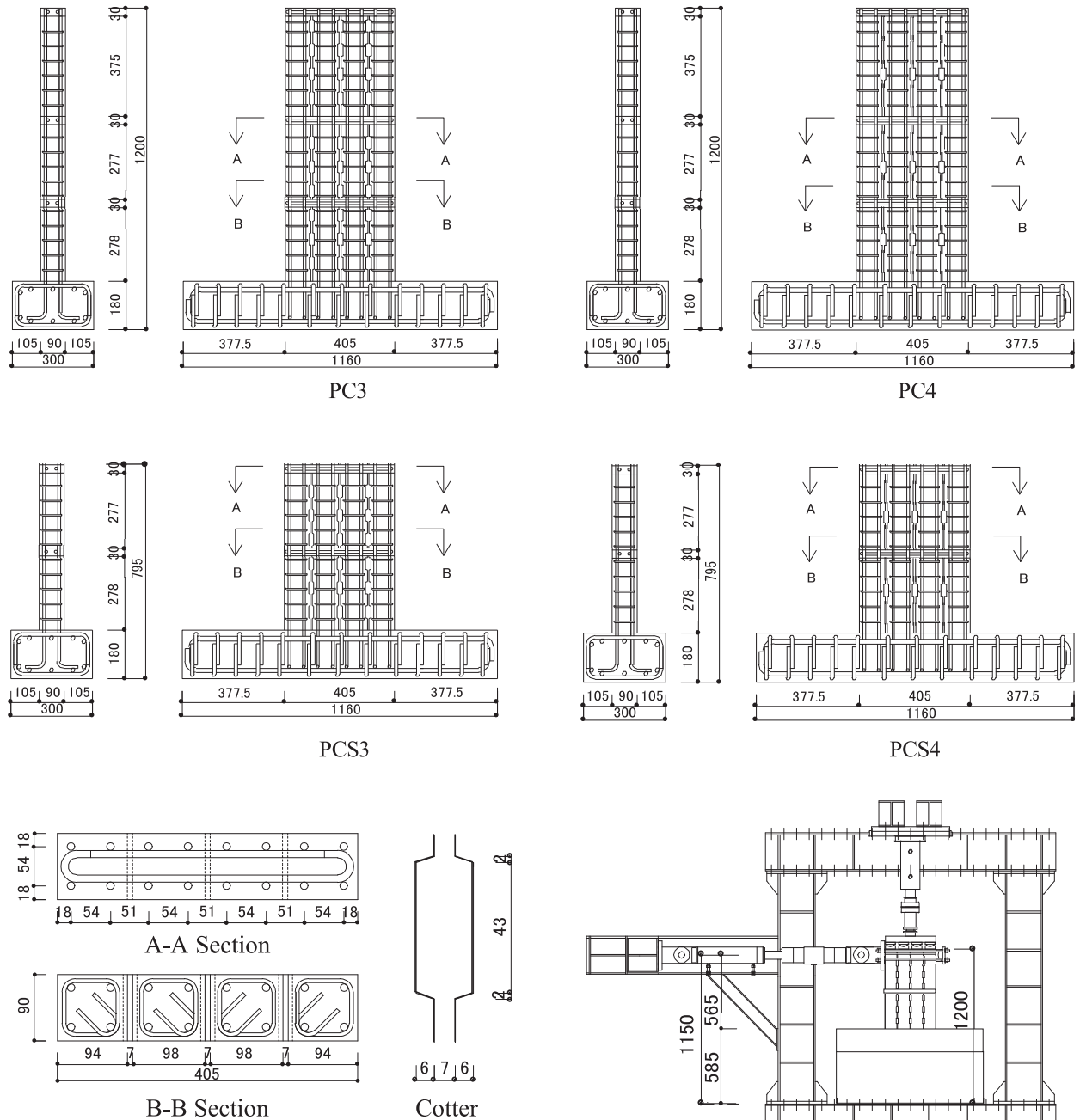


Fig. 1 Test Specimen

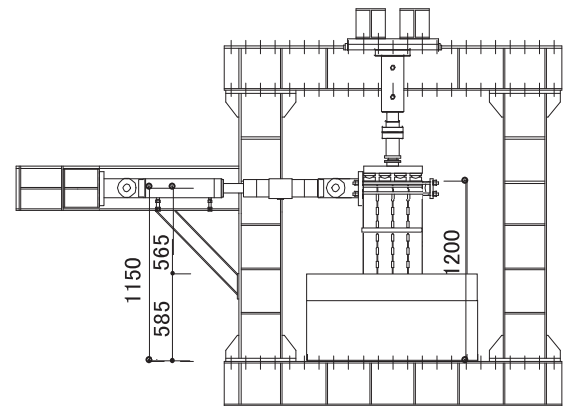


Fig. 2 Loading System

## 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 2 体で，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 PC3，PC4<sup>(3)</sup>，PCS3，PCS4<sup>(4)</sup> である．壁断面はいずれも  $b \times D = 90\text{mm} \times 405\text{mm}$  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 のコッターを設け，グラウトを充填した．試験体のかぶり厚さは 6mm である．

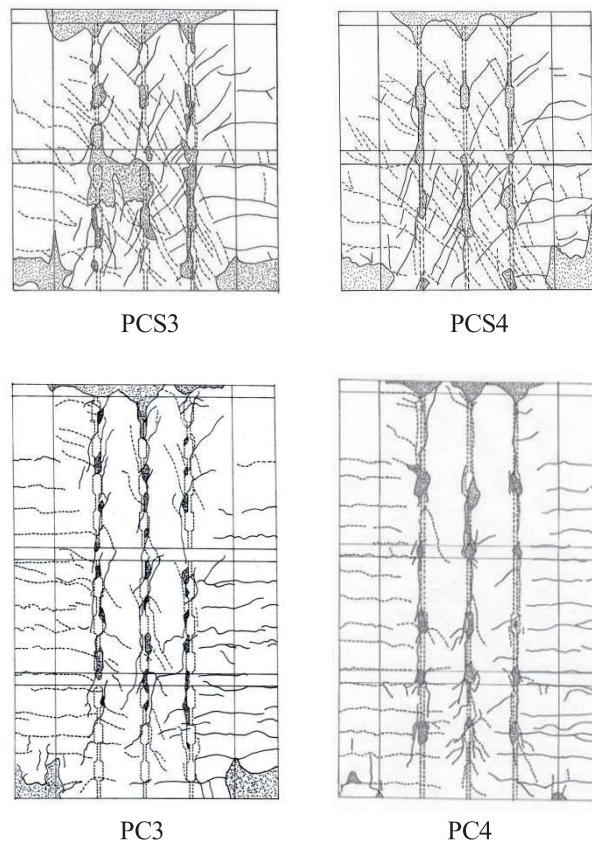
2 階，3 階 (PCS3，PCS4 は 2 階のみ) の床部分はコンクリート後打ちとし，水平つなぎ筋を配筋した．さらに 1 階柱を 1 階中央高さ付近で 2 分割し，分割した上下柱間の部分を，2 階，3 階の床部分と同様にコンクリート後打ちとし，水平つなぎ筋を配筋した．PCS3，PCS4 のせん断スパン比は 1.4 で，PC3，PC4 は 2.4 である．主筋は

**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> )
PC3	Precast	65.1	2.97	2.92
	Latter	59.1	2.77	3.00
	Grout	92.1	2.89	6.59
PC4	Precast	62.7	2.96	2.47
	Latter	68.1	2.94	2.38
	Grout	100.1	3.29	5.71
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


**Fig. 3** Crack Patterns

D10(SD345)を用い、水平つなぎ筋は PCS3, PC3 では D6(SD345)を、PCS4, PC4 では D10 (SD345)を用いた。帯筋には高強度鉄筋 U5.1 (1300N/mm<sup>2</sup>級)を用い、ピッチを 55mm とした。

一鉛直接合部あたりのコッター数は PCS3, PC3 ではそれぞれ 6 個, 10 個, コッター数の少ない PCS4, PC4 ではそれぞれ 2 個, 3 個である。試験体の特徴としては, PCS3, PC3 が水平つなぎ筋量の少ない試験体, PCS4, PC4 がコッター数の少ない試験体である。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 本一組で向き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、水平ジャッキで引くことで載荷した。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載荷した。

軸力は試験体上方の油圧ジャッキにより載荷し、軸力比 0.2 の定軸力(PCS3, PCS4, PC3, PC4 でそれぞれ 498kN, 499kN, 474kN, 457kN)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(PCS3, PCS4 : 565mm, PC3, PC4 : 615mm)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。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。

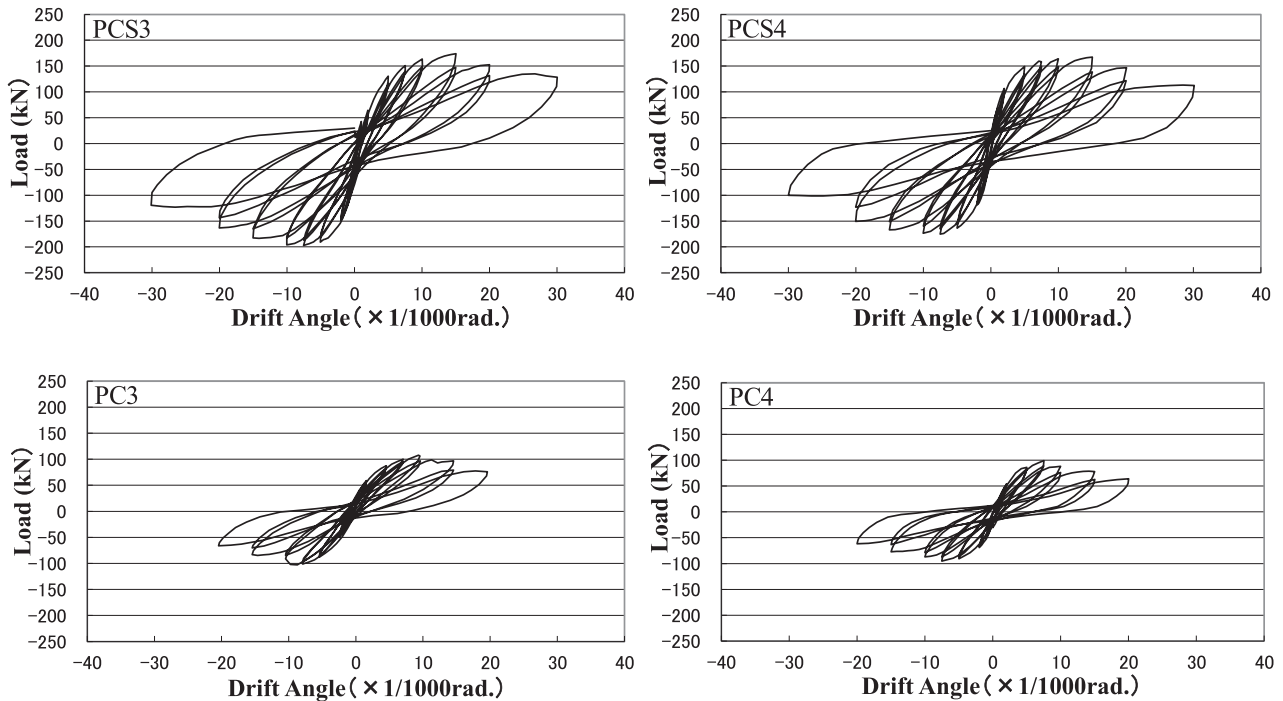


Fig. 4 Load - Deflection Curve

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊状況

Fig.3 にひび割れ状況を示す。PCS3, PCS4 では 1/1000 までに、PC3, PC4 では 2/1000 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、PCS3, PCS4 では 2/1000 までに、PC3, PC4 では 5/1000 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, PC3, PC4 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。7.5/1000 以降、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、PC4 以外では、脚部のコンクリート圧壊（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、PC3, PCS4 では 5/1000 までに、PCS3 では 7.5/1000 までに、PC4 では 15/1000 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、PC3 では 15/1000 までに、PC4 では 20/1000 までに最外縁引張主筋が引張降伏し、PCS3, PCS4 では引張降伏はみられなかった。なお、いずれの試験体も、最終の部材角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。正加力時は 15/1000 から、負加力時は 15/1000 から耐力が低下し始めた。

PC3 では、最大荷重は正加力時において 10/1000 で 107.8kN、負加力時において 10/1000 で 103.5kN であった。正負加力時とも 15/1000 から耐力が低下し始め、20/1000 で大きく耐力が低下した。20/1000 では最大耐力の 80% 以下の荷重となり、加力を終了した。PC4 では、最大荷重は正加力時において 7.5/1000 で 99.3kN、負加力時において 7.5/1000 で 95.3kN であった。正負加力時とも 10/1000 から耐力が低下し始めた。20/1000 では最大耐力の 80% 以下の荷重となり、加力を終了した。



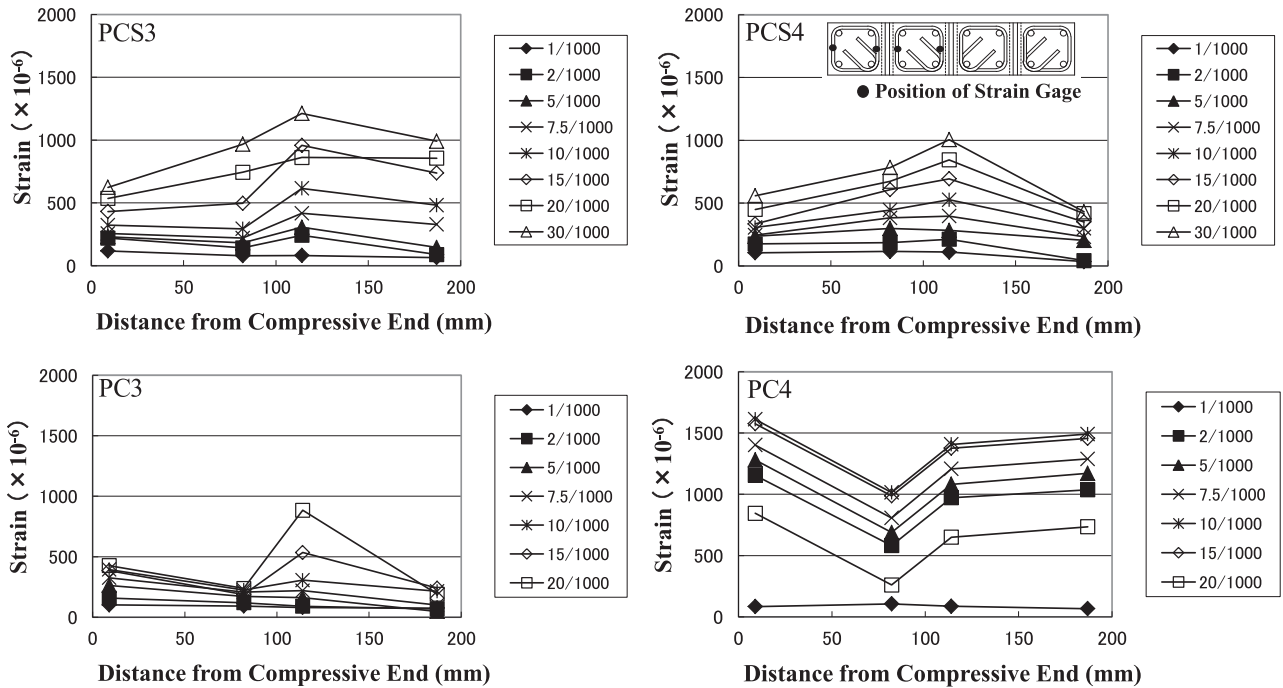


Fig. 5 Horizontal Strain Distribution of Hoop

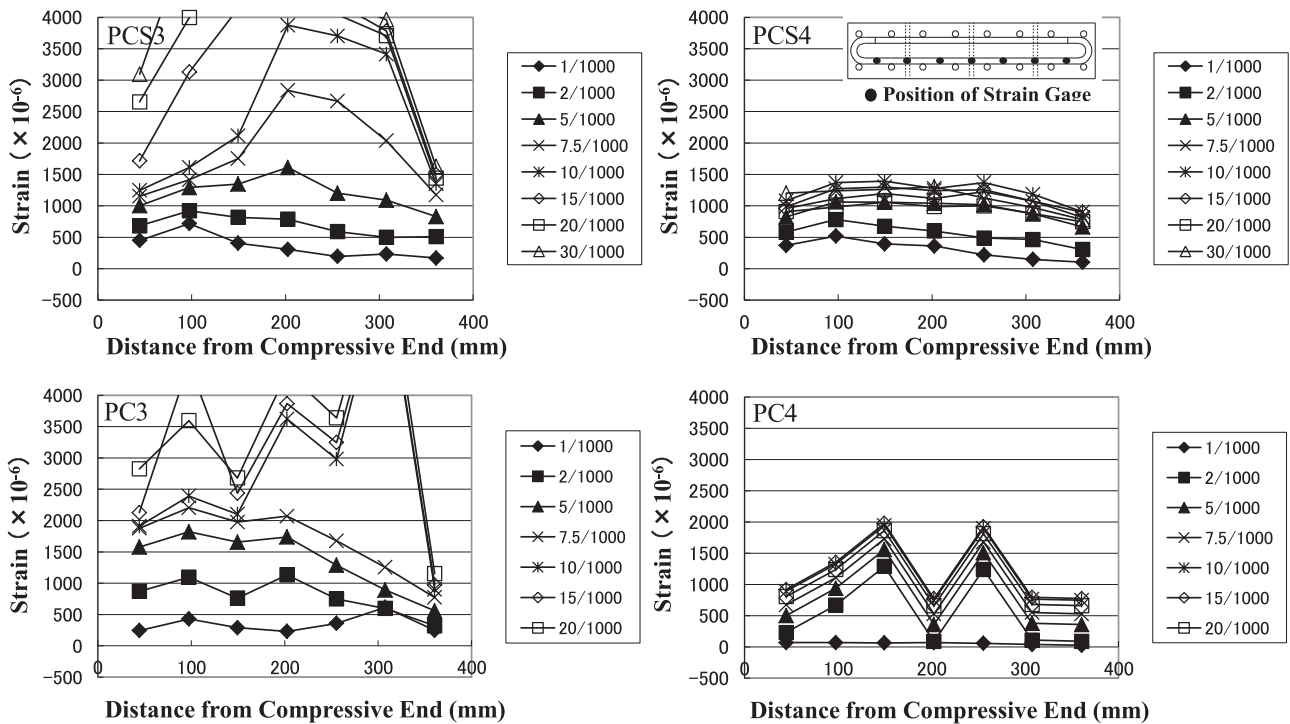


Fig. 6 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars

### 3.3 帯筋のひずみ分布

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。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いる。82mm の測定点が圧縮端部のプレキャ

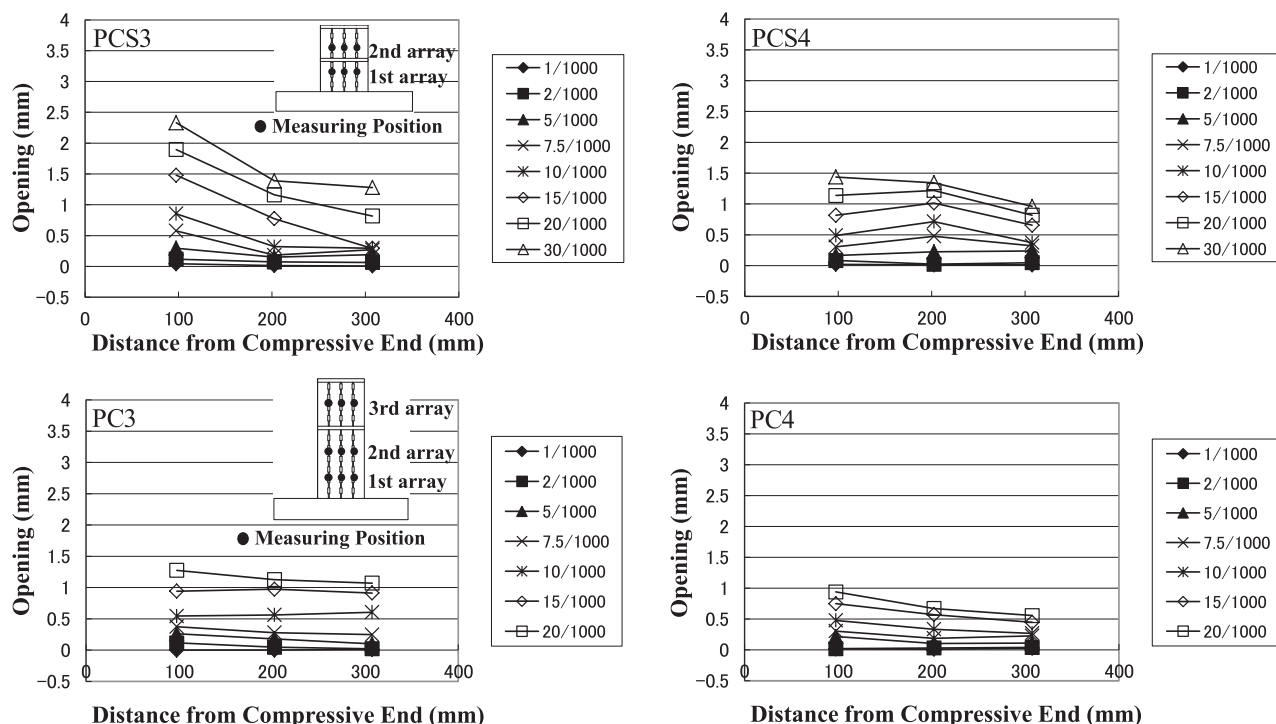


Fig. 7 Horizontal Distribution of Opening

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とから、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。

### 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水平つなぎ筋のひずみ分布を示す。PCS3, PCS4は1階中央高さ、PC3, PC4は2階床高さでのひずみ分布で、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, PC3ではD6(SD 345,降伏ひずみ $4229\mu$ , 0.2%オフセット)で、PCS4, PC4はD10 (SD345,降伏ひずみ $2146\mu$ )である。

PCS3 では、15/1000 において 202.5mm の点で降伏している。20/1000 以降さらに増大し、荷重低下に対応している。PC3 では、10/1000 で圧縮端部より 307.5mm の測定点でひずみが降伏ひずみ( $4229\mu$ )を超えた。15/1000, 20/1000 のサイクルで耐力が大きく低下しており、水平つなぎ筋の降伏に対応している。PC3, PCS3 とも水平つなぎ筋量が少なく降伏が顕著である。PC3 の方が早い段階で降伏し、早い段階での耐力低下に対応している。

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。コッター数が少ないせん断スパン比 2.4 の PC4 も、PCS4 と同様、最終の 20/1000 に至るまで降伏していない。各部材角での最大値はせん断スパン比 2.4 の PC4 の方が大きい。

### 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。目開きの測定位置は、1 段目は 1 階柱下部 (高さ 170mm)、2 段目は 1 階柱上部 (高さ 415mm)、3 段目は 2 階柱中央部 (高さ 805mm, PC3,4 のみ) である。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。PCS3, PCS4 は 1 段目、PC3, PC4 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。

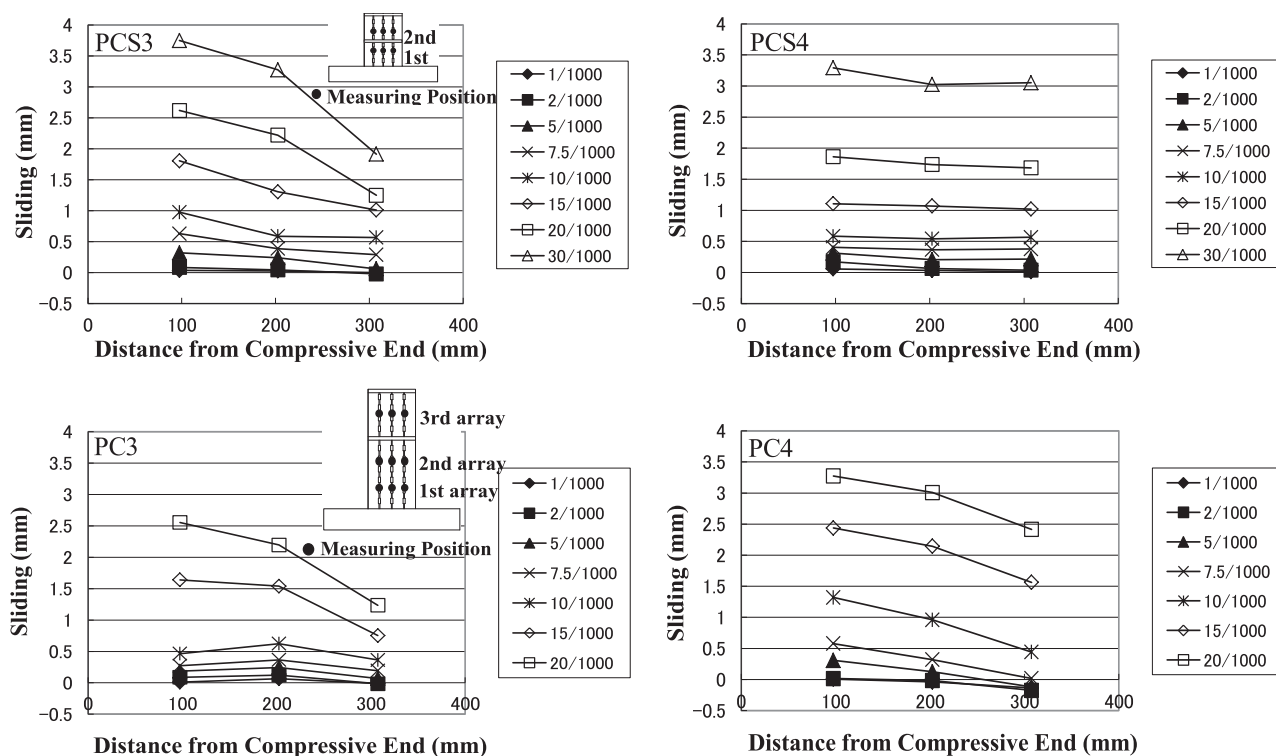


Fig. 8 Horizontal Distribution of Sliding

水平つなぎ筋量の少ない PCS3, PC3 の最大値はそれぞれ 2.3mm, 1.3mm, コッター数の少ない PCS4, PC4 の最大値はそれぞれ 1.4mm, 0.9mm 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。

PC3 では、10/1000 までと比べて、15/1000 から目開きが大きく増大している。水平方向の分布は、圧縮端部側から引張端部側にかけて差は小さく、圧縮側がやや大きい。15/1000 から 20/1000 にかけて圧縮側でやや増大し、最大値は 20/1000 において、圧縮端部側で 1.3mm となった。PC4 では 7.5/1000 以降、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。

水平つなぎ筋量の少ない PCS3, PC3, コッター数の少ない PCS4, PC4 をそれぞれせん断スパン比の違いで比較すると、いずれの場合も、せん断スパン比が 1.4 と小さい PCS3, PCS4 の方が目開きは大きい。

### 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。ずれの測定位置は 1 段目 (高さ 170mm), 2 段目 (高さ 415mm), 3 段目 (高さ 805mm) で、目開きの測定位置と同じである。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, PC3 は 2 段目, PC4 は 3 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。

水平つなぎ筋量の少ない PCS3, PC3 の最大値はそれぞれ 3.7mm, 2.6mm, コッター数の少ない PCS4, PC4 の最大値はいずれも 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 において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。

PC3 では、10/1000 までと比べて、目開きの場合と同様、15/1000 からずれが大きく増大している。また、10/1000 までは中央の値が最も大きい、15/1000 以降、圧縮端部側が最も大きい。PC4 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ひずみが減少している。

水平つなぎ筋量の少ない PCS3 と PC3 の各部材角におけるずれの値はほぼ同程度で、せん断スパン比 2.4 の PC3 の最大値の方が小さいのは、最大荷重以降の耐力低下が大きく、20/1000 で載荷を終了したためである。せん断スパン比 2.4 の PC4 は 1.4 の PCS4 に比べて、各部材角でのずれは大きく、PC4 の、より早い段階での耐力低下に対応している。

#### 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、せん断スパン比の異なる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比較検討した。試験体のせん断スパン比は PC3、PC4 の 2.4 に対し、PCS3、PCS4 は 1.4 である。検討の結果、せん断スパン比の影響について以下のことが明らかとなった。設計時にはこれらせん断スパン比の影響について注意を要する。

- (1) いずれの試験体もコッター部のせん断破壊により耐力が低下した。曲げひび割れやコッター部のせん断ひび割れ発生は、せん断スパン比が 1.4 と小さい PCS3、PCS4 の方が 2.4 の PC3、PC4 よりも早い段階で生じた。
- (2) せん断スパン比 1.4 の PCS3、PCS4 が 20/1000 において最大耐力の 80%以上を保持したのに対し、2.4 の PC3、PC4 は 80%以下となり、せん断スパン比の小さい方がより高い変形性能を示した。
- (3) 帯筋の水平方向ひずみ分布より、いずれの試験体においても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が見られた。
- (4) 水平つなぎ筋のひずみ分布において、水平つなぎ筋量が少ない PC3、PCS3 と同降伏が顕著であるが、せん断スパン比の大きい PC3 の方がより早い段階で降伏し、早い段階での耐力低下に対応している。コッター数が少ない PC4、PCS4 はいずれも最終の 20/1000 に至るまで降伏していない。
- (5) 鉛直接合部における目開きについては、水平つなぎ筋量の少ない PCS3、PC3 の最大値はそれぞれ 2.3mm、1.3mm、コッター数の少ない PCS4、PC4 の最大値はそれぞれ 1.4mm、0.9mm である。せん断スパン比の違いで比較すると、いずれの場合も、せん断スパン比が 1.4 と小さい PCS3、PCS4 の方が目開きは大きい。
- (6) 鉛直接合部におけるずれについては、水平つなぎ筋量の少ない PCS3、PC3 の最大値はそれぞれ 3.7mm、2.6mm、コッター数の少ない PCS4、PC4 の最大値はいずれも 3.3mm である。水平つなぎ筋量の少ない PCS3 と PC3 の各部材角におけるずれの値はほぼ同程度である。コッター数の少ない場合、せん断スパン比 2.4 の PC4 は 1.4 の PCS4 に比べて、各部材角でのずれは大きく、PC4 の、より早い段階での耐力低下に対応している。

#### 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，“水平つなぎ筋を有する RC 造プレキャストコア壁の構造性能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.39，(2017)，pp.295-300
- (4) 仲地唯治、レー フィ ホアン，“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”，福井工業大学研究紀要，(2019)，第 49 号，投稿中

(2019 年 4 月 26 日受理)