

せん断スパン比の小さい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*

仲地 唯治^{*1}, レー フィ ホアン^{*2}

Experimental Study on Structural Performance of Precast Reinforced Concrete Core Wall with Small Shear Span Ratio

Tadaharu NAKACHI^{*1} and Hoang LE HUY

^{*1} 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 structural performance of the wall column with 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⁽¹⁾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⁽²⁾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⁽³⁾⁽⁴⁾。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。また、せん断スパン比を2.4とした。本研究では、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PCS2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 60N/mm^2 、軸力比 $\sigma_0/\sigma_B = 0.2$ ($\sigma_0 = N/A$, N :軸力, A :断面積, σ_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 80N/mm^2

* 原稿受付 2018年2月28日

^{*1} 工学部 建築土木工学科

^{*2} 社会システム専攻 大学院生

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

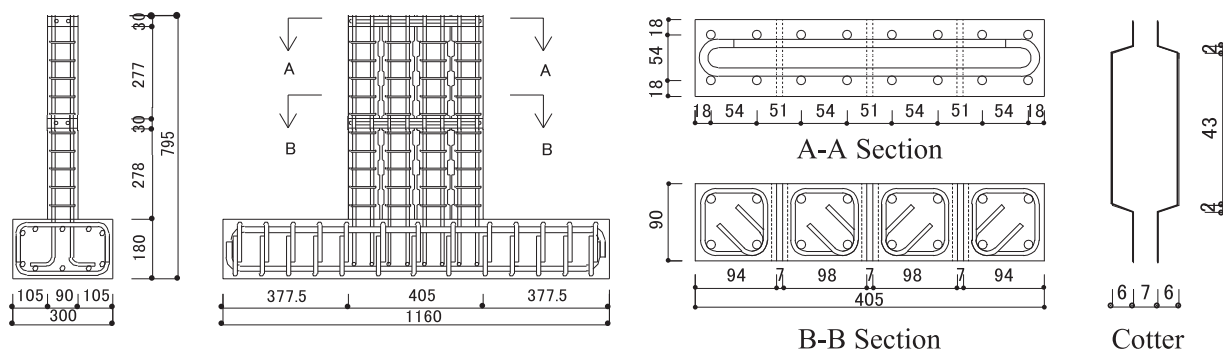


Fig. 1 Test Specimen

Table 1 Physical Properties of Concrete

	Compressive Strength (N/mm ²)	Young's Modulus ($\times 10^4$ N/mm ²)	Split Strength (N/mm ²)
Precast	60.9	2.98	2.67
Latter	56.5	2.67	2.27
Grout	96.7	3.51	5.64

Table 2 Physical Properties of Steel

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

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。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。柱主筋及び水平つなぎ筋にはD10 (SD345)を用いた。帯筋は高強度鉄筋U5.1 (1300N/mm²級)でピッチ55mm、試験体かぶり厚さは6mm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(444kN)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。

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、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、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。正負加力時とも、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。最終の部材角30/1000に至るまで軸力を保持していた。

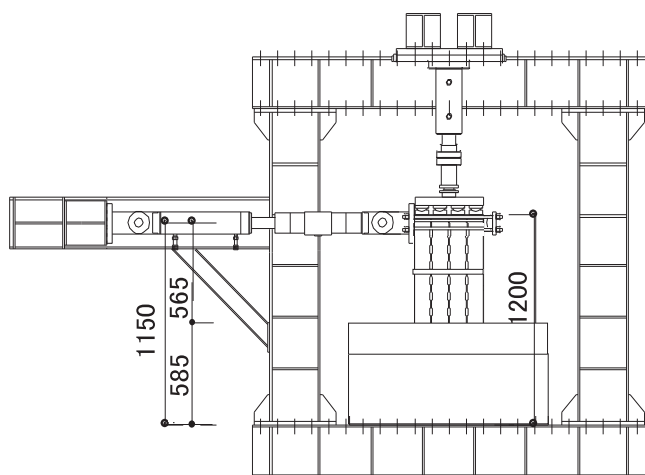


Fig. 2 Loading System

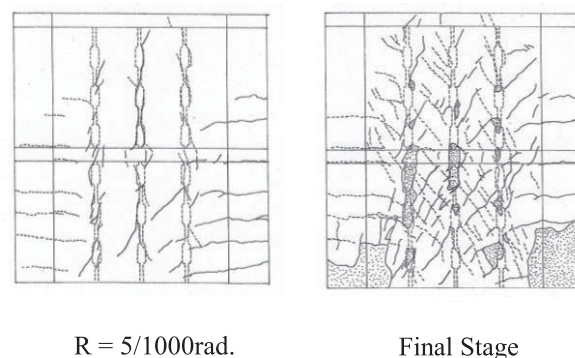


Fig. 3 Crack Patterns

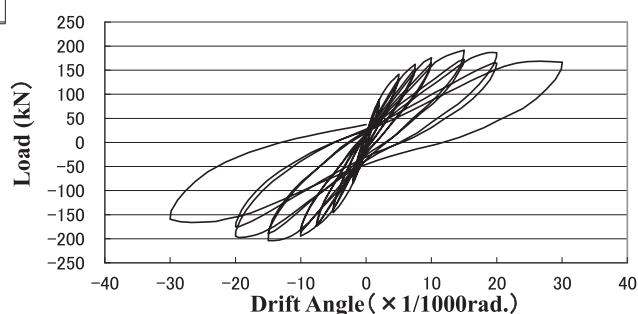


Fig. 4 Load - Deflection Curve

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 15/1000 で 191.5kN，負加力時において 15/1000 で 204.0kN であった．正負加力時とも 20/1000 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, 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、圧縮端部より 9mm の点で最大のひずみとなり、全体として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 82mm の点においては、15/1000 までは、部材角が大きくなってもひずみの増大は両隣りの点よりやや少なめである．また、圧縮端部より 187mm の点においては、最終の 30/1000 に至るまで、ひずみは 300 μ 以下で、特に小さい値である．全体としては圧縮端部に近いほどひずみの値は大きいことから、この高さにおいては、隣接するプレキャスト柱の一体性は高いと考えられる．

一方、高さ 152.5mm においては、圧縮端部より 114mm の点において、7.5/1000 以降、最大のひずみが生じている．また、10/1000 までと比較して、15/1000 以降、特にひずみの増大が大きくなっている．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為と考えられる．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．

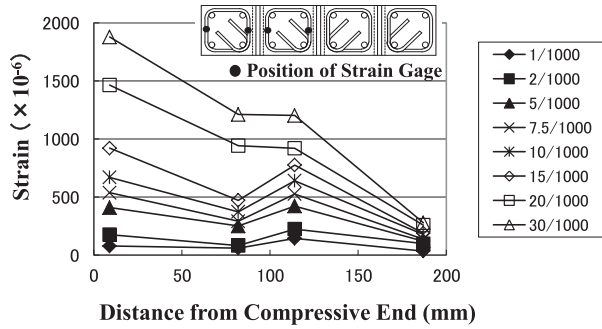


Fig. 5 Horizontal Strain Distribution of Hoop
(Height of 42.5 mm)

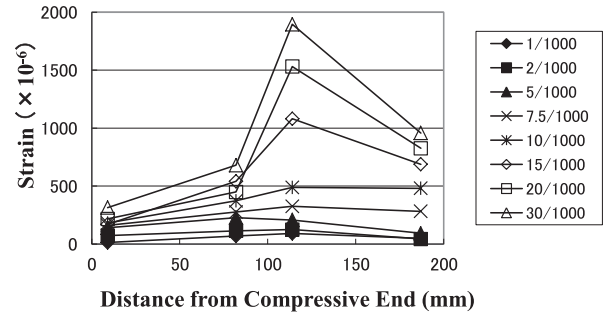


Fig. 6 Horizontal Strain Distribution of Hoop
(Height of 152.5 mm)

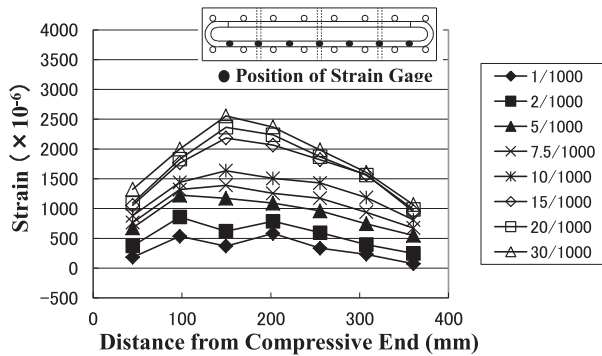


Fig. 7 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars
(Mid Height Level of First Story)

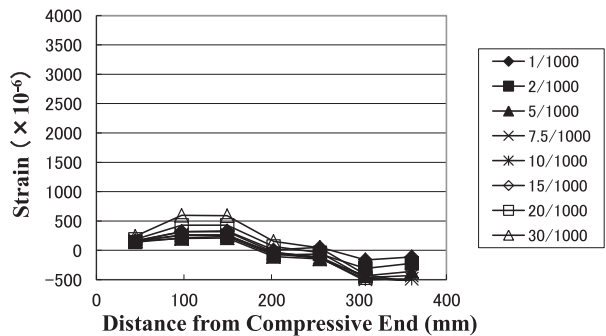


Fig. 8 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars
(Second Floor Level)

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筋のひずみ分布を示す。いずれの場合も、最終の 30/1000 に至るまで、部材角の増加とともにひずみが増大している。1 階中央高さレベルにおいては、最終の 30/1000 に至るまでに降伏ひずみ (2146 μ) に達しているが、2 階床レベルにおいては、降伏ひずみに達していない。

1 階中央高さレベルでは、1/1000 までの部材角でのひずみの増大が顕著で、その後、10/1000 まで同程度の割合で増大が続き、15/1000 で 2184 μ となり、降伏ひずみを超えている。各部材角における最大値は概ね圧縮側寄りにあり、5/1000 までは圧縮端部から 97.5mm の点で、7.5/1000 以降は圧縮端部から 149.5mm の点で最大値となっている。先に示した最終ひび割れ状況では、1 階中央高さレベルの後打ちコンクリート部において、圧縮端部柱と 2 番目の柱の間、2 番目と 3 番目の柱の間でそれぞれコンクリートの破壊が顕著で、それらの位置は破壊が顕著であった鉛直接合部の延長線上にある。これらコンクリートの破壊が顕著であった位置は、圧縮端部から 97.5mm 及び 202.5mm であり、水平つなぎ筋のひずみが特に大きい位置とほぼ一致する。したがって水平つなぎ筋のひずみ分布は、鉛直接合部の破壊状況に対応していると考えられる。

2 階床レベルでは 1 階中央高さレベルに比べて全体に値は小さく、最終の 30/1000 において、圧縮端部から 97.5mm の点で最大値が 596 μ となっている。また、引張端部側において圧縮のひずみが生じており、30/1000 において、最も引張端部側の測定点、すなわち、圧縮端部から 360.5mm の点で 539 μ の圧縮ひずみとなっている。この測定点は、正加力時の加力点に近く、加力点からの圧縮応力の影響で、水平つなぎ筋のひずみが圧縮ひずみになったと考えられる。

両レベルを比較すると、明らかに 1 階中央高さレベルのひずみの方が大きく、最大値で比較した場合、4 倍以上の差がある。よって、各プレキャスト柱どうしを一体化するための水平つなぎ筋に作用する応力は 1 階中央高さレベルでより大きく作用していると言える。

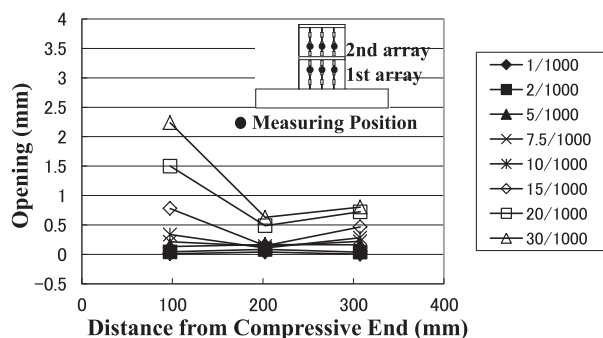


Fig. 9 Horizontal Distribution of Opening
(First Array)

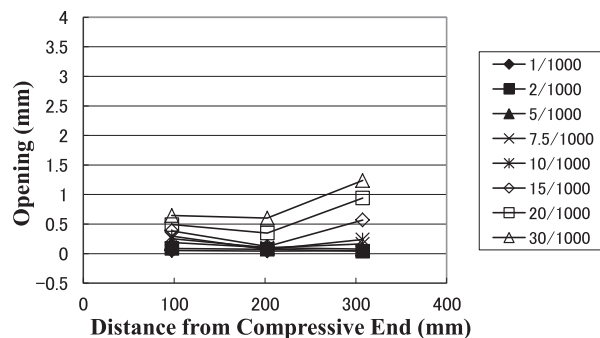


Fig. 10 Horizontal Distribution of Opening
(Second Array)

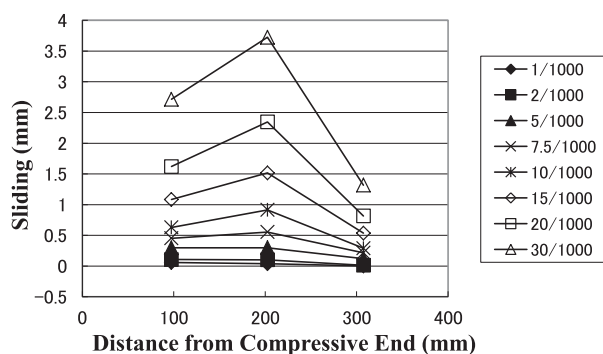


Fig. 11 Horizontal Distribution of Sliding
(First Array)

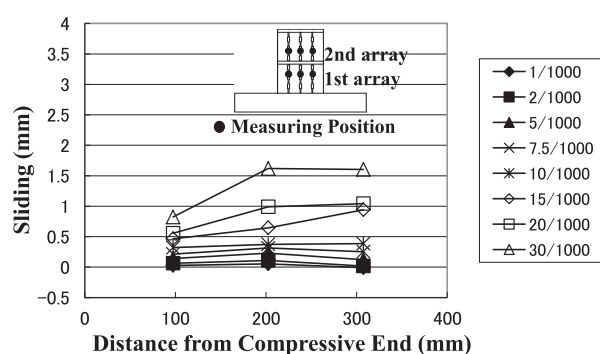


Fig. 12 Horizontal Distribution of Sliding
(Second Array)

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 段目では 7.5/1000 以降、中央部に比べて両端部の目開きが大きく、15/1000 以降では圧縮端部側で大きく増大し、最終的に 30/1000 で 2.2mm となった。2 段目では 7.5/1000 以降、中央部に比べて両端部の目開きが大きく、15/1000 以降では 1 段目と異なり引張端部側で大きく増大し、最終的に 30/1000 で 1.2mm となった。

目開きの大きさを各段の平均値と比較すると、5/1000 以降、1 段目の方が大きく、最大値で比較すると、1 段目の方が 2 段目に比べて 2 倍近い値となった。また、目開きの水平方向分布は、最終的に 1 段目では圧縮端部側が、2 段目では引張端部側の方が大きい値となり、分布が異なった。

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 段目では 7.5/1000 以降、両端部に比べて中央部のずれが大きく、その傾向は最終の 30/1000 まで続く。特に 15/1000 以降、中央部のずれの増大は大きく、最終的に 30/1000 で 3.7mm となった。中央部の値が最も大きくなる傾向は、同じ 1 段目の目開きが圧縮端部側で最も大きな値を示した傾向とは異なる。

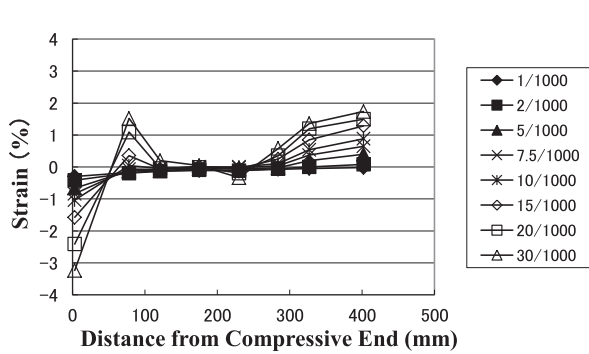


Fig. 13 Horizontal Distribution of Vertical Strain at Bottom

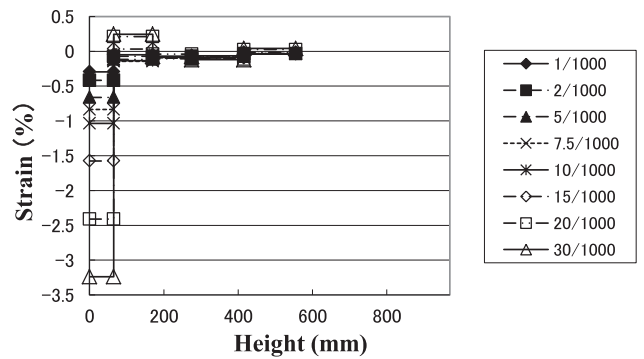


Fig. 14 Vertical Distribution of Strain at Compressive End

2 段目では、7.5/1000 までは 1 段目と同様、両端部に比べて中央部のずれが大きい。10/1000 以降、引張端部側の値も増大したが、最終的には 30/1000 で中央部において最大値 1.6mm となった。

ずれの大きさを各段の平均値で比較すると、5/1000 以降、1 段目の方が 2 段目よりも大きく、最大値で比較すると、1 段目の方が 2 段目に比べて 2 倍以上の値となった。また、水平方向分布は、1 段目では中央部及び圧縮端部側が、2 段目では中央部及び引張端部側が大きい値となり、異なる傾向を示した。

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。

ひずみ分布は、5/1000 までは、圧縮側、引張側でそれぞれほぼ直線的に変化しており、中立軸は圧縮端部から 284mm の測定点付近にある。その後、10/1000 から、圧縮端部より 78mm の測定点において、ひずみが圧縮から引張へと変化し、最終の 30/1000 においては、1.52%の引張ひずみとなった。圧縮端部より 78mm の測定点における不連続な挙動は、圧縮端部のプレキャスト柱と圧縮端部から 2 番目の柱がお互いに独立した動きをしていることを示していると考えられる。すなわち、10/1000 付近から鉛直接合部のせん断破壊が進み、それによって両柱の一体性が低下し、独立した動きが強まっていったと考えられる。圧縮端部付近と引張端部付近のひずみを比較すると、圧縮端部付近の方が大きい値となっており、最終の 30/1000 において最大値 3.24%となっている。

3.7 圧縮側端部の鉛直方向ひずみ分布

Fig.14 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と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。

全体的に脚部に近いほど、ひずみが大きくなっている。5/1000 で脚部から 65mm まで、0.5%を超えるひずみが発生し、30/1000 では 3.24%となっている。こ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。これらのことから、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、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、5/1000 までは、圧縮側、引張側でそれぞれほぼ直線的に変化しているが、10/1000 から直線性がくずれ始め、同様に両プレキャスト柱の独立した挙動が示された。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、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。これらの現象が 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、せん断スパン比が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 15/1000 で最大耐力を示した後、20/1000 及び 30/1000 において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特に 15/1000 以降に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。これは降伏を示した測定点近傍における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) 鉛直接合部の目開きは圧縮端部側で、ずれは中央部で特に大きく、目開き及びずれの最大値はそれぞれ 2.2mm, 3.7mm であった。
- (5) 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

（平成 30 年 3 月 31 日受理）