

軸力の低い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}

Experimental Study on Structural Performance of Precast Reinforced Concrete Core Wall under Action of Low Axial Load

Tadaharu NAKACHI^{*1}^{*1} Department of Architecture and Civil Engineering

In the core wall system in high-rise buildings, the four L-shaped core walls at the center effectively reduce seismic vibration. On the other hand, 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 under the action of low axial load. The wall column was divided into precast columns, and horizontal tied rebars were concentrated at the second and third floor levels, and the mid height level of the first story. Based on the results of lateral loading tests, the structural performance of the wall column 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

超高層建物において、コア部分をRC造連層耐震壁とした場合、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⁽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。本研究では、同様に水平つなぎ筋を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の最下層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PC5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 $\sigma_0/\sigma_B = 0.005$ ($\sigma_0 = N/A$, 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

* 原稿受付 2017年2月28日

^{*1} 工学部 建築土木工学科
E-mail: nakachi@fukui-ut.ac.jp

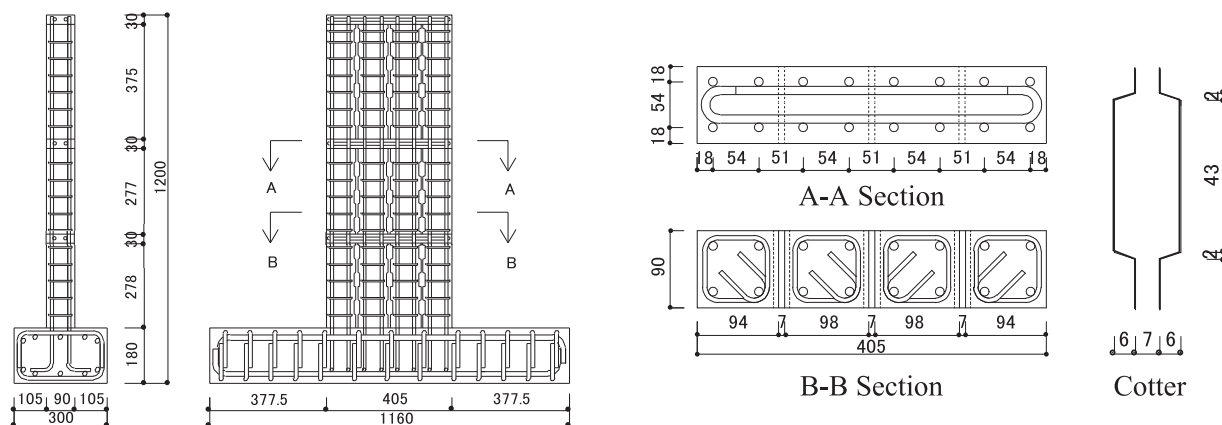


Fig. 1 Test Specimen

Table 1 Physical Properties of Concrete

	Compressive Strength (N/mm ²)	Young's Modulus (×10 ⁴ N/mm ²)	Split Strength (N/mm ²)
Precast	54.0	2.69	2.09
Latter	57.6	2.69	2.40
Grout	96.1	3.26	5.32

Table 2 Physical Properties of Steel

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

を 80N/mm² 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、3 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、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。せん断スパン比は 2.4 である。柱主筋には D10 (SD345) を用いた。水平つなぎ筋には、以前に実験実施した PC3⁽⁵⁾ と同じ D6 (SD345) を用い、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 0.005 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 (615mm) 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、ワイヤーストレインゲージで帯筋、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、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、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。正負加力時ともに、5/1000 までに曲げせん断ひび割れが発生した。正負加力時とも 30/1000 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ひび割れがやや進展したが、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。

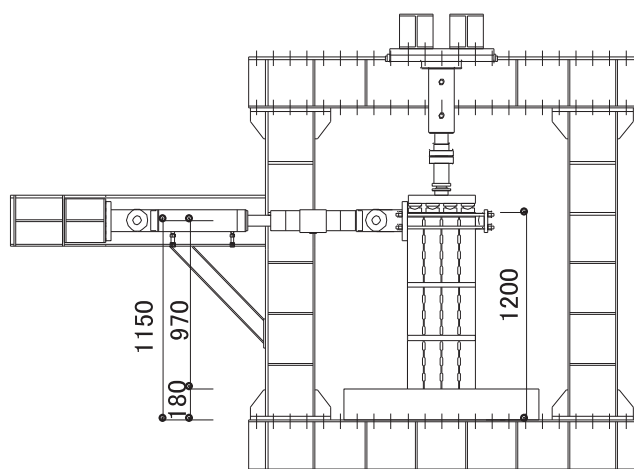
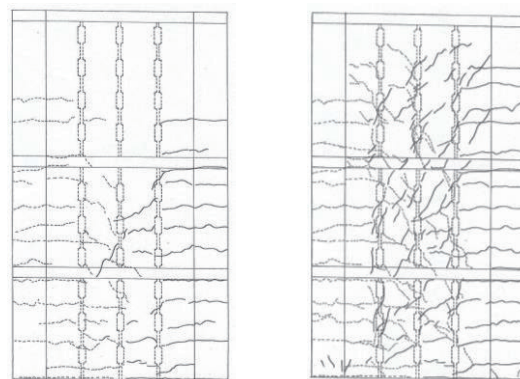


Fig. 2 Loading System



R = 5/1000rad.

Final Stage

Fig. 3 Crack Patterns

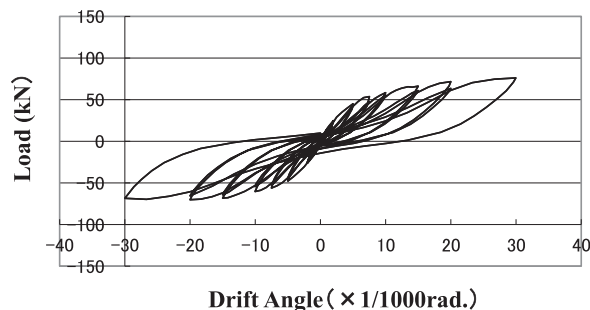


Fig. 4 Load - Deflection Curve

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 30/1000 で 76.0kN, 負加力時において 30/1000 付近で 69.8kN であった. 正負加力時とも最終の 30/1000 まで耐力はほとんど低下しなかった.

3.3 帯筋 (壁厚さ方向測定点) のひずみ分布

Fig.5 に, スタブ上面からの高さ 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.

各測定点のひずみは最終の 30/1000 に至るまで, 部材角の増加とともに増大している. 特に, 1/1000 から 2/1000 までの増大が顕著である.

ひずみ分布としては, 5/1000 までは圧縮端部から中央寄りに向かって, ひずみが徐々に減少しており, 圧縮端部の柱と 2 番目の柱が一体となった圧縮応力状態であると考えられる. 一方, 7.5/1000 からは, 圧縮端部より 82mm の点よりも中央寄りの 114mm の点の方が大きいひずみとなり, 20/1000 以降では 114mm の点が 4 点のなかで最大の値となっている. 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, 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, 2 階床レベル及び 3 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

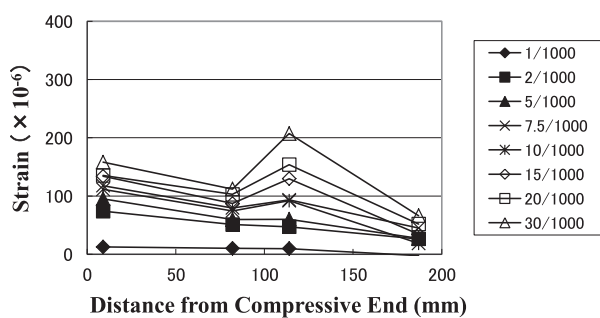


Fig. 5 Horizontal Strain Distribution of Hoop
(Height of 152.5 mm)

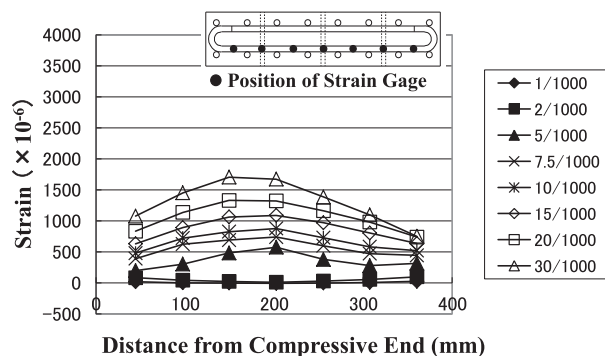


Fig. 6 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars
(Mid Height Level of First Story)

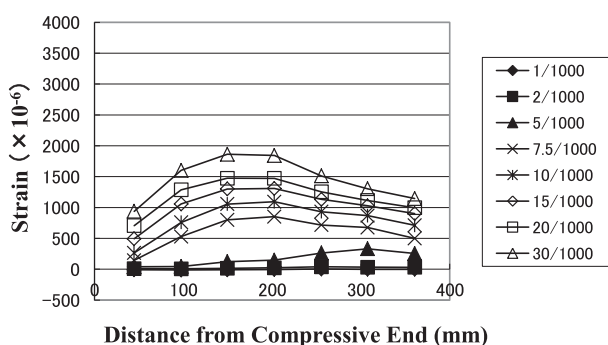


Fig. 7 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars
(Second Floor Level)

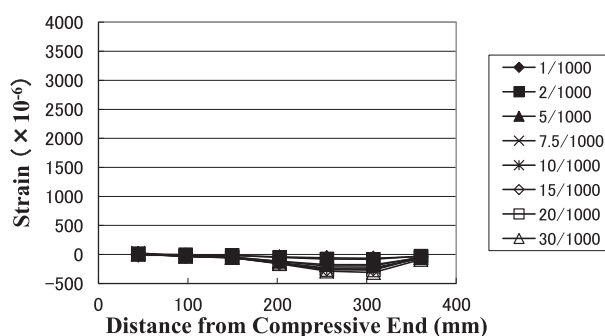


Fig. 8 Strain Distribution of Horizontal Tied Rebars
(Third Floor Level)

ずみが増大している。また、いずれの測定点においても、30/1000 に至るまで降伏ひずみ (4229μ) には達していない。

1 階中央高さレベルでは、2/1000 から 5/1000 までの部材角でのひずみの増大が顕著で、その後、30/1000 まで同程度の割合で増大が続く。各部材角における最大値は概ね圧縮側寄りにある。2 階床レベルでは 5/1000 から 7.5/1000 までの部材角でのひずみの増大が顕著で、その後、30/1000 まで同程度の割合で増大が続く。また、1 階中央高さレベルと同様、各部材角における最大値は概ね圧縮側寄りにある。3 階床レベルは、他のレベルに比べてひずみの値は小さく、引張端部側において圧縮のひずみが生じている。

各レベルで比較すると、ひずみの最大値は 2 階床レベルにおいて最も大きく、次いで 1 階中央高さレベルがそれよりもやや小さく、3 階床レベルは、特に小さい値となっている。

3.5 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。

ひずみ分布は、最終の 30/1000 に至るまで圧縮側、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。中立軸は圧縮端部から 121mm の測定点付近にある。圧縮端部付近と引張端部付近のひずみを比較すると、引張端部付近の方が大きい値となっており、20/1000 において最大値 5.1% となっている。

3.6 鉛直接合部の挙動

3.6.1 目開きの水平方向分布

Fig.10～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)、3 段目は 2 階柱中央部 (高

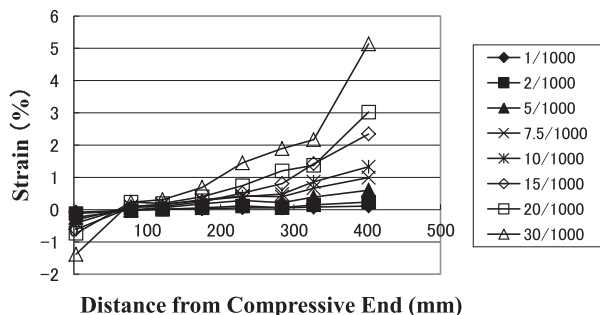


Fig. 9 Horizontal Distribution of Vertical Strain at Bottom

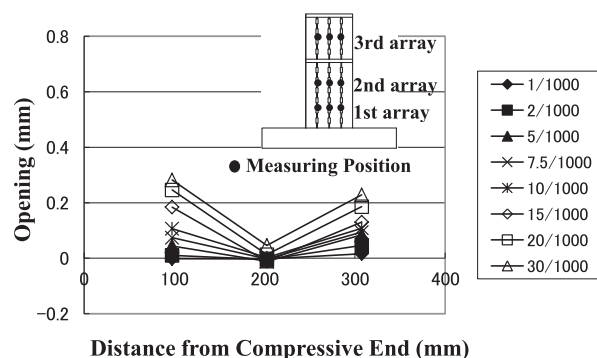


Fig. 10 Horizontal Distribution of Opening (First Array)

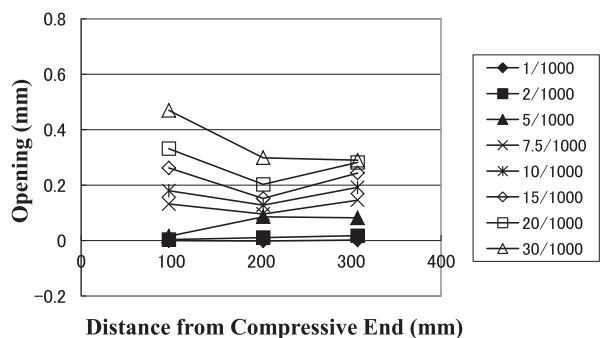


Fig. 11 Horizontal Distribution of Opening (Second Array)

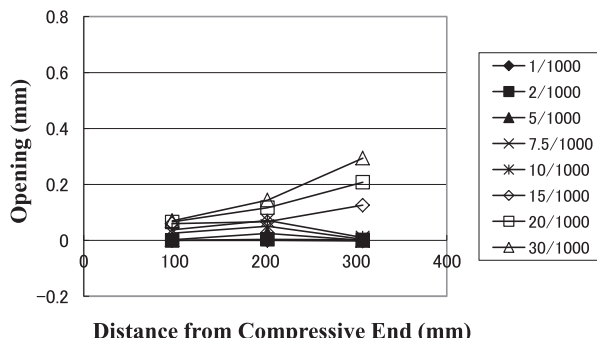


Fig. 12 Horizontal Distribution of Opening (Third Array)

さ 805mm) 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 30/1000 に至るまで、中央部に比べて両端部の目開きが大きく、最終的に圧縮端部側において、30/1000 で最大値 0.3mm となった。2 段目も 1 段目と同様、中央部に比べて両端部の目開きが大きく、最終的には圧縮端部側で増大し、30/1000 で最大値 0.5mm となった。3 段目は 1, 2 段目と異なり、15/1000 以降、引張端部側で増大し、最終的に引張端部側において最大値 0.3mm となった。

目開きの大きさを各段の平均値と比較すると、2 段目が最も大きく、次いで 1 段目、3 段目の順となった。目開きの水平方向分布は、1 段目では V 字形、2 段目では圧縮端部側が最も大きく、3 段目では引張端部側が最も大きくなった。

3.6.2 ずれの水平方向分布

Fig.13～Fig.15 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 10/1000 までは引張端部側が最大となっているが、15/1000 以降、圧縮端部側が最大となり、最終の 30/1000 では圧縮端部側で最大値 0.4mm となった。2 段目では最終の 30/1000 に至るまで圧縮端部側と引張端部側の差は小さいが、いずれの部材角においても引張端部側が最大となり、30/1000 では、引張端部側で最大値 0.4mm となった。3 段目では 2 段目と同様に、いずれの部材角においても引張端部側が最大となり、30/1000 では、引張端部側で最大値 0.2mm となった。但し、2 段目と異なり、圧縮端部側ではずれはほとんど生じず、圧縮端部側と引張端部側の差は大きい。

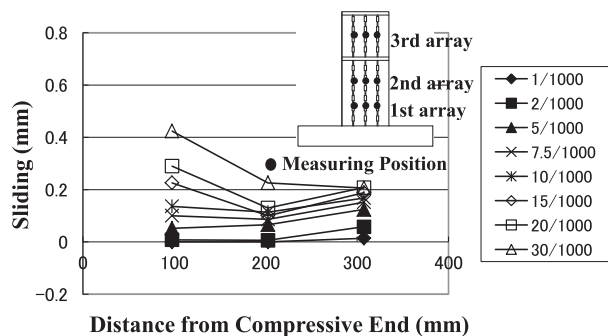


Fig. 13 Horizontal Distribution of Sliding (First Array)

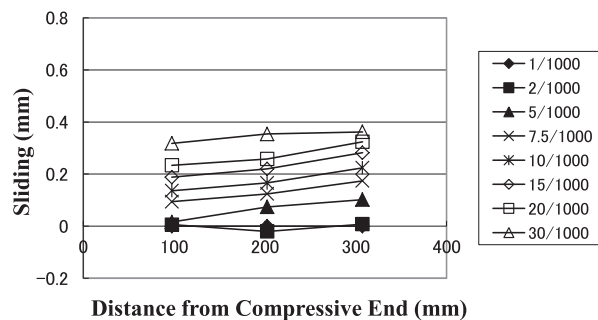


Fig. 14 Horizontal Distribution of Sliding (Second Array)

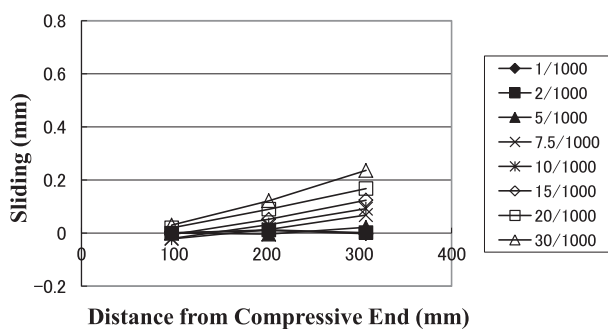


Fig. 15 Horizontal Distribution of Sliding (Third Array)

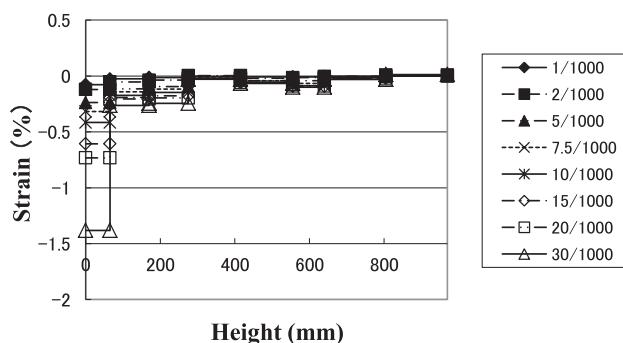


Fig. 16 Vertical Distribution of Strain at Compressive End

ずれの水平方向分布を各段で比較すると、次のようになる。ずれの大きさは各段の平均値で比較すると、目開きの場合と同様、2 段目が最も大きく、次いで 1 段目、3 段目の順となった。一方、ずれの水平方向分布は、1 段目では、15/1000 以降、圧縮端部側が大きく、2、3 段目では最終の 30/1000 に至るまで、引張端部側が大きい傾向となった。

3.7 圧縮側端部の鉛直方向ひずみ分布

Fig.16 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同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。15/1000 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 1.38%となっている。また、30/1000 になると脚部から 275mm まで約 0.24%のひずみとなっている。これら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、30/1000 までにコンクリートの圧壊(縦ひび割れ)が発生した。したがって、脚部から 275mm 程度までは、30/1000 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。

4. まとめ

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場合について、軸力の低い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) 正負加力時とも 30/1000 に至るまで、ほとんど耐力はみられなかった。
- (2) 水平つなぎ筋は 30/1000 に至るまで降伏しなかった。耐力低下が見られなかったのは、水平つなぎ筋により壁柱全体の一体性がほぼ保たれたことによると考えられる。

- (3) 壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布は、最終の 30/1000 に至るまで圧縮側，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。
- (4) 鉛直接合部における，目開き及びずれの最大値は，それぞれ 0.5mm，0.4mm であった。
- (5) 圧縮側端部における脚部から 275mm 程度の領域では鉛直方向ひずみが特に大きく，30/1000 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。

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，“水平つなぎ筋の少ない 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”，福井工業大学研究紀要，（2015），第 45 号，pp.100-108

（平成 29 年 3 月 31 日受理）