

鉄筋コンクリート造コア壁の端部拘束効果に関する実験的研究

徳永諒太*・仲地唯治**

Experimental Study on Edge Confinement of Reinforced Concrete Core Walls

Ryota Tokunaga and Tadaharu Nakachi

In a core wall system high-rise building, the center core of which consists of four L-shaped core walls, the axial load of the core wall is very high. Particularly the corner of the L-shaped core wall are subject to high compressive stress. Reinforcing these areas is therefore considered effective in improving the deformation capacity of the core walls. In this paper, lateral loading tests were conducted on wall columns which simulated the corner and the area near the corner of the L-shaped core wall.

Keywords: Reinforced concrete, wall, deformation capacity, confining steel

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、地震時にコア壁に大きな軸力が作用する。このため、高軸力下におけるコア壁の靱性の確保が必要である。センターコアを4組のL形断面のコア壁とした場合、斜め45度方向入力時に特に高軸力となり、高圧縮領域となるL形隅角部およびその近傍のコンクリートの圧縮性状がコア壁の靱性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

著者らはこれまでに、L形断面コア壁の隅角部およびその近傍の壁板部分を模擬した部分試験体による圧縮実験を行い、その基本的な圧縮性状を検討した¹⁾。また、L形断面コア壁の隅角部及び、その近傍の壁

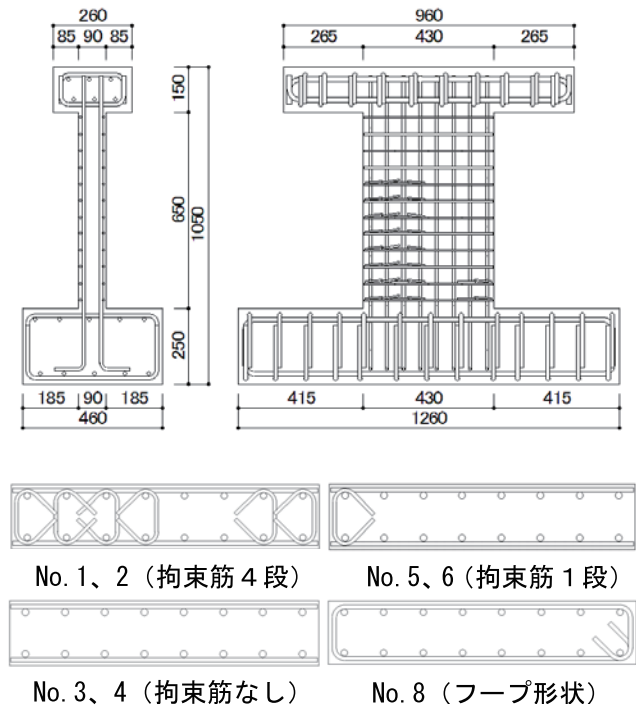


図-1 試験体配筋図

* 建設工学専攻大学院生 ** 建築学科

板部分を模擬した壁柱試験体による水平加力実験を行った^{2)、3)}。本研究では、壁柱試験体による水平加力実験を行い、拘束筋の有無、拘束筋の水平方向の段数、拘束筋の端部形状が壁柱の靱性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

図-1 に試験体の形状、配筋を示す。表-1、表-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壁柱試験体 7 体である。No. 1、No. 3、No. 5 は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。これに対し、No. 2、No. 4、No. 6、No. 8 はコンクリート調合強度を 33N/mm^2 、軸力比を 0.4 とした。壁断面は 7 体共通で $b \times D=90\text{mm} \times 430\text{mm}$ である。せん断スパン比はいずれも 2.79 である。縦筋、横筋には、7 体共それぞれ D10(SD345)、D6(SD345) を用いた。試験体のパラメータは拘束筋の有無、拘束筋の水平方向の段数、拘束筋の端部形状、軸力比である。拘束筋には高強度鉄筋 U5.1 (1300N/mm^2 級) を用いた。拘束筋は幅止め型拘束筋とし、壁柱せいに相当する高さ 430mm 以下の範囲に配筋した。試験体のかぶり厚さは 5mm である。

2.2 実験方法

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。図-2 に加力装置を示す。試験体の下端を加力フレームに固定し、上端に取り付けた L 形の加力治具を介して、キャンチレバー型で水平力を作用させた。軸力は試験体上方の油圧ジャッキにより載荷し、正加力時に軸力比 0.2 または 0.4 の定軸力、負加力時に定軸力 30kN とした。加力は 2 階床レベル高さ (615mm) での変位制御とし、部材角 $1/1000(\text{rad.})$ (1 回)、2/1000、5、7.5、10、15、20、(各 2 回)、30/1000、40/1000 (各 1 回) における正負交番繰り返し加力とした。変位計により各区間の伸縮量を、また、ワイヤーストレインゲージにより拘束筋、横筋、及び縦筋のひずみを計測した。ゲージ貼付位置は拘束筋では試験体厚さ方向中央とした。

表-1 コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 ($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	引張強度 (N/mm^2)
No.1	63.2	2.90	3.40
No.2	32.0	2.25	1.69
No.3	61.3	2.71	2.62
No.4	32.5	2.00	2.52
No.5	64.6	2.83	3.17
No.6	34.5	2.03	1.81
No.8	34.8	2.09	2.60

表-2 鉄筋の材料試験結果

呼び名	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 ($\times 10^5 \text{N/mm}^2$)	伸び (%)
D10	393	568	2.04	25.8
D6	372	524	2.05	25.7
U5.1	1368	1491	2.11	9.3

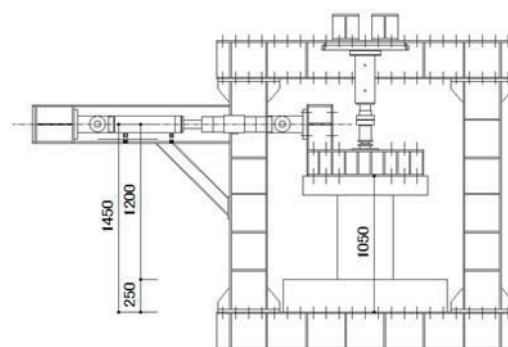


図-2 加力装置

3. 実験結果

3.1 破壊状況

図-3 にひび割れ状況を示す。ひび割れは、各試験体共、負加力時に曲げひび割れが脚部に発生した。その後、曲げひび割れは上方及び中央寄りに進展した。正加力時に部材角 5/1000 程度までに最外縁圧縮縦筋が圧縮降伏(降伏ひずみ 1926μ)し、負加力時に、最外縁引張り縦筋が引張り降伏した。正負加力時ともに、7.5/1000 程度までに曲げせん断ひび割れが発生した。また正加力時において、5/1000 ～ 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。最終状況においては、正加力時に圧縮側の主筋の座屈が認められた。最終は正加力時の圧壊により耐力が低下した。

3.2 荷重－変形関係

表-3 に最大荷重及び限界部材角を示す。また、図-4 に荷重－変形関係を示す。最大荷重は、いずれの試験体も、実験値に対して計算値のほうが小さな値となっている。

No.1 の最大荷重は 15/1000 の正加力時において 107.3kN であった。最終的には、正加力時に 40/1000 への途中で荷重が大きく低下し、30/1000 までで終了とした。No.2 の最大荷重は 15/1000 の正加力時において 94.2kN であった。最終的には、正加力時に 30/1000 のサイクルで荷重が大きく低下した。

No.3 の最大荷重は 15/1000 の正加力時において 114.1kN であった。最終的には、20/1000 の 1 回目のサイクルで、ピークの 20/1000 に達したと同時に軸力を保持できなくなり、荷重が急激に低下した。No.4 の最大荷重は 15/1000 の正加力時において 100.1kN であった。最終的には、20/1000 への途中で軸力を保持できなくなり、荷重が急激に低下した。No.5 の最大荷重は 15/1000 の正加力時において 126.1kN であった。最終的には、30/1000 への途中で軸力を保持できなくなり、荷重が急激

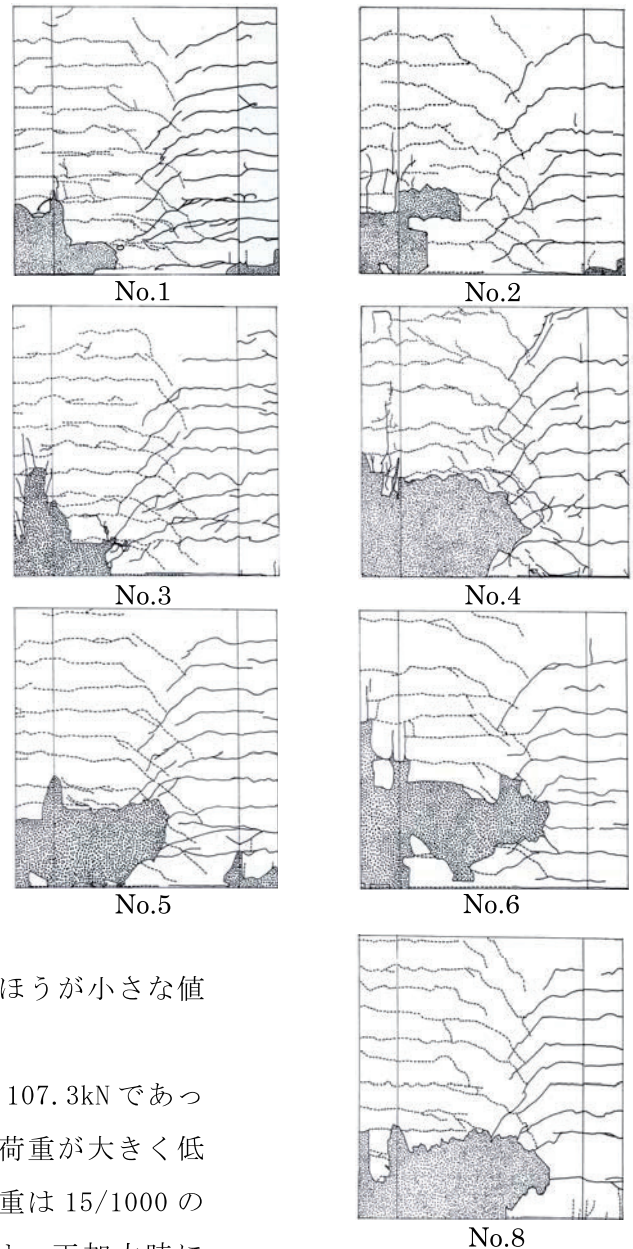


図-3 ひび割れ図(最終)

表-3 最大荷重及び限界部材角

試験体	最大荷重			限界部材角* ($\times 1/1000\text{rad.}$)
	実験値	計算値	実/計	
No.1	107.3	102.0	1.05	30.0
No.2	94.2	84.1	1.12	25.5
No.3	114.1	98.7	1.16	20.1
No.4	100.1	84.8	1.18	17.6
No.5	126.1	102.4	1.23	24.5
No.6	102.9	88.1	1.17	19.2
No.8	109.2	88.6	1.23	24.2

* 最大荷重の80%以上の荷重を保持する最大部材角
計算値: 文献[0]による

$P_{NU}=M_u/H$, H : 加力点高さ

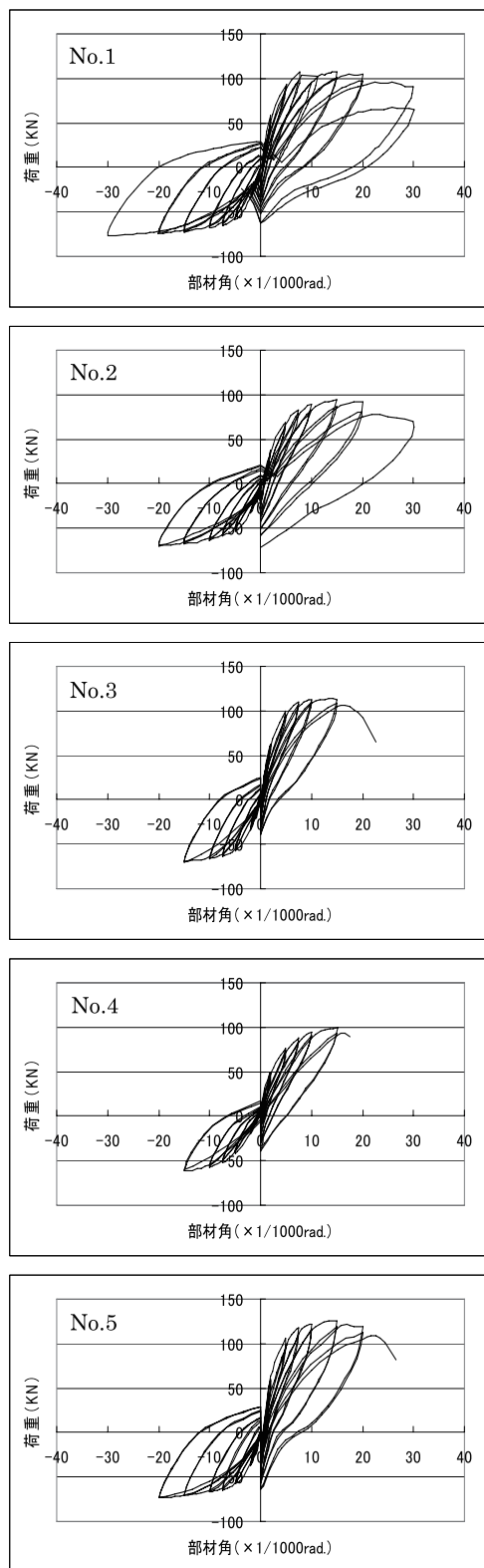
$M_u=0.5a_g\sigma_{yg1}D+0.5ND(1-N/(bDF_c))$

に低下した。No. 6 の最大荷重は 15/1000 の正加力時において 102.9kN であった。最終的には、20/1000 への途中で軸力を保持できなくなり、荷重が急激に低下した。No. 8 の最大荷重は 15/1000 の正加力時において 109.2kN であった。最終的には、30/1000 への途中で軸力を保持できなくなり、荷重が急激に低下した。No. 1、No. 2 は 30/1000 においても軸力を保持していたが、No. 3～No. 8

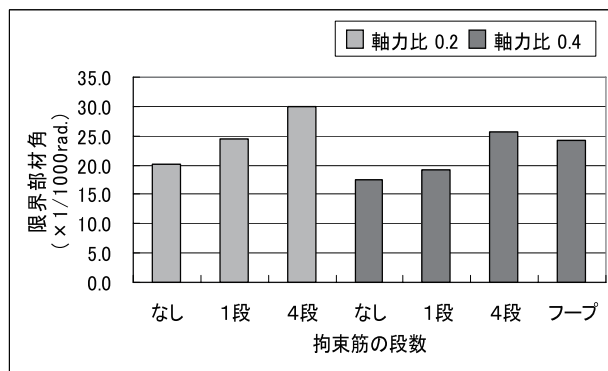
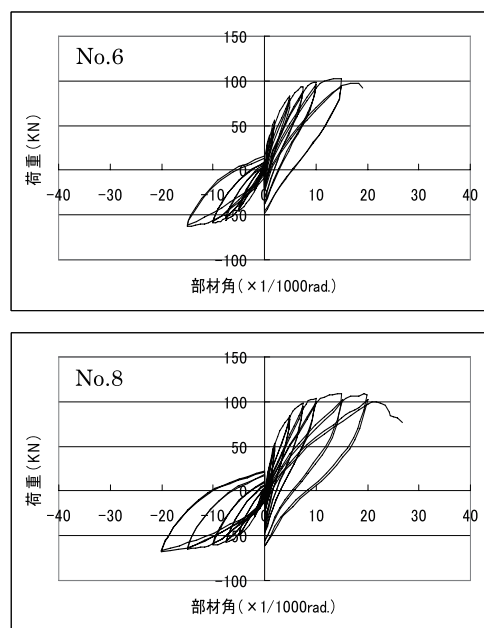
は最終状況において軸力を保持できず、水平荷重が急激に低下した。

3.3 限界部材角の比較

表－3 に限界部材角を示す。また、図－5 に限界部材角の比較を示す。軸力比が 0.2 の No. 1、No. 3、No. 5 と軸力比が 0.4 の No. 2、No. 4、No. 6 共にそれぞれ拘束筋の水平方向の段数が多いほど限界部材角が大きい。端部に拘束筋を配筋していない No. 3、No. 4 は、端部コンクリートの圧縮靱性が低く、拘束筋により端部コンクリートが拘束された



図－4 荷重－変形関係



図－5 限界部材角の比較

他の試験体よりも限界部材角が小さかったと考えられる。拘束筋が4段のNo. 1、No. 2は、拘束筋が1段のNo. 5、No. 6に比べ、拘束筋をより内側まで配筋したことにより、内側のコンクリートの圧縮靱性が増大し、限界部材角が大きかったと考えられる。端部がフープ形状のNo. 8は、フープ筋が端部コンクリートを囲むことにより拘束効果を発揮し、靱性が向上したと考えられる。No. 1とNo. 2、No. 3とNo. 4、No. 5とNo. 6の限界部材角をそれぞれ比較すると、軸力比が0.2のNo. 1、No. 3、No. 5に対し、軸力比が0.4のNo. 2、No. 4、No. 6の方が限界部材角が小さい。すなわち、軸力比が大きい方が限界部材角は小さいと言える。これは、いずれの拘束筋の配筋においても、軸力比が大きいほど、同じ部材角における、脚部圧縮端部のひずみが大きくなり、負担できる圧縮応力が減少し、その結果、より早い段階で、コンクリートが圧壊するためと考えられる。但し、拘束筋4段で軸力比0.4のNo. 2は、限界部材角到達後も軸力は保持しており、軸力比0.2のNo. 1と同じ30/1000まで水平載荷可能であった。したがって、内側まで拘束筋を配筋することは、限界部材角後の軸力保持に有効であると言える。

4. 拘束筋の水平方向ひずみ分布

図-6、図-7に、No. 1及びNo. 2の高さ82.5mmにおける拘束筋の水平方向ひずみ分布をそれぞれ示す。また、図-8にNo. 8の高さ82.5mmにおけるフープ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における圧縮端部からの距離と、拘束筋ひずみの関係を示している。No. 1、No. 2では、20/1000までの各部材角において、部材角の増大とともに拘束筋ひずみは増え、圧縮端部に近いほどひずみの値は大きい。これは、圧縮端部に近いほどコンクリート圧縮応力、圧縮ひずみが大きく、そのため拘束筋の拘束力が増大したためと考えられる。

No. 1の拘束筋ひずみは、端部から130mm付近では、かなり小さな値となり、190mm付近では、0に近い値である。すなわち、圧縮端部から130mm付近までが高圧縮領域であると考えられる。それに対し、軸力比を増したNo. 2は、部材角20/1000以降130mm及び190mm付近においてもひずみが生じている。すなわち190mm付近までが高圧縮領域と考えられる。これは軸力比の増大により、No. 1よりも高圧

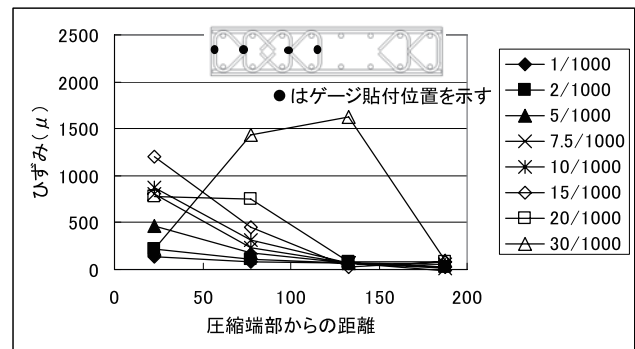


図-6 拘束筋の水平方向ひずみ分布 (No. 1)

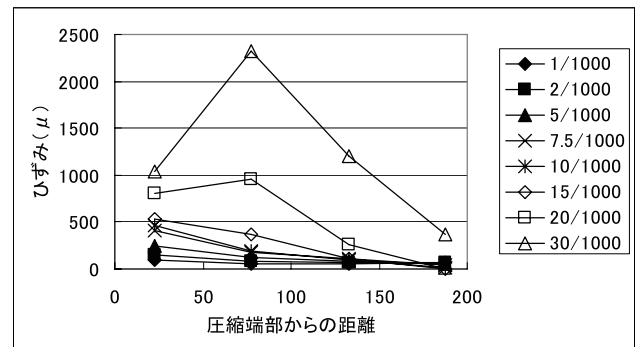


図-7 拘束筋の水平方向ひずみ分布 (No. 2)

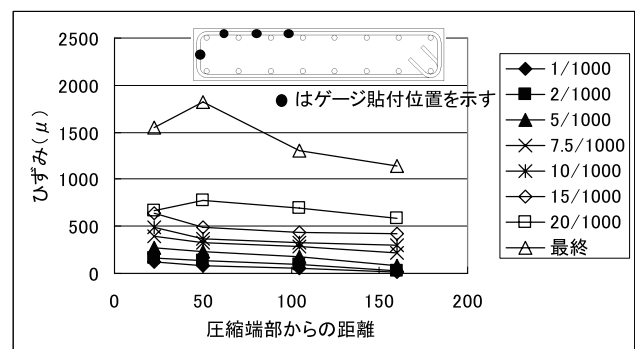


図-8 拘束筋の水平方向ひずみ分布 (No. 8)

縮領域が広がったためと考えられる。

No. 1 の 30/1000 では、圧縮端部から 130mm 付近まで値が大きい。これは、圧縮端部の圧壊により、高圧縮領域が、内側へ広がったためと考えられる。また、No. 2 の 30/1000 では、圧縮端部から 130mm 及び 190mm 付近の値が増大している。これも、No. 1 と同様に高圧縮領域が内側へ広がったためと考えられる。なお、これらの傾向は、高さ 27.5mm、137.5mm、192.5mm、247.5mm においても、ほぼ同様であった。

No. 8 においては、No. 1、No. 2 と同様に、部材角の増大と共にフープ筋ひずみは増え、圧縮端部に近いほどひずみの値は大きい。但し、圧縮端部からの距離の差に伴うひずみの差は No. 1、No. 2 に比べて小さい。これは No. 1、No. 2 における拘束筋が 1 つ 1 つ独立して配筋されているのに対し、No. 8 におけるフープ筋は連続しており、各ひずみ測定点の応力が隣の測定点に影響を及ぼし、一体となって拘束力を発揮しているためと考えられる。

また、No. 1、No. 2 において 30/1000 で最端部の拘束筋ひずみが、最端部から 2 番目の拘束筋ひずみよりも、大幅に低下しているのに対し、No. 8 では、最終においてもほとんど低下していない。これは No. 1、No. 2 において、30/1000 で最端部のコンクリートが圧壊、剥落し、拘束筋が拘束力を発揮しなくなったのに対し、No. 8 では最終状況近くにおいても、フープ筋が最端部コンクリートを囲む形で拘束し、コンクリートの剥落を防いでいたためと考えられる。

5. 壁脚部における鉛直ひずみの

水平方向分布

図-9～図-15 にそれぞれの試験体の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

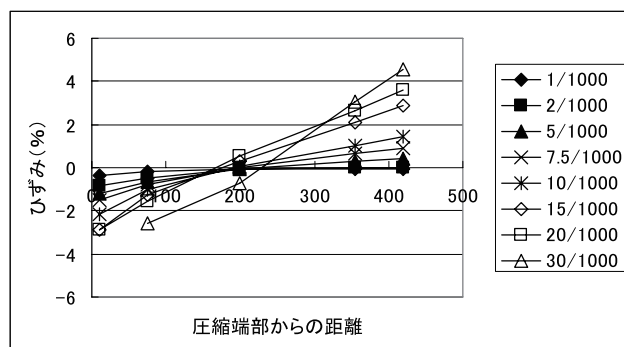


図-9 壁脚部鉛直ひずみの水平方向分布 (No. 1)

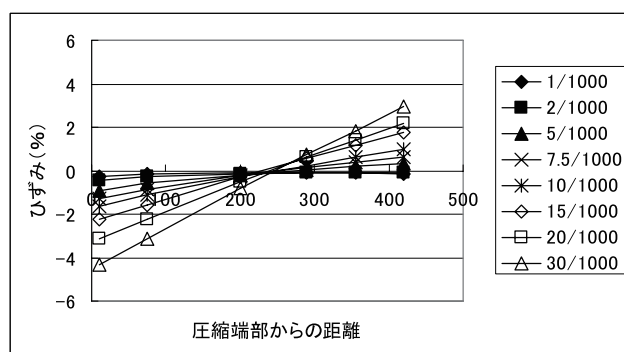


図-10 壁脚部鉛直ひずみの水平方向分布 (No. 2)

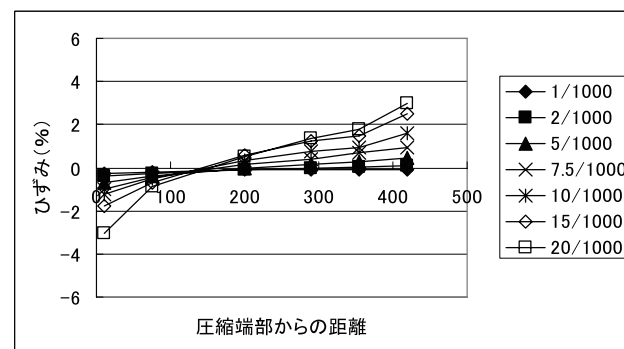


図-11 壁脚部鉛直ひずみの水平方向分布 (No. 3)

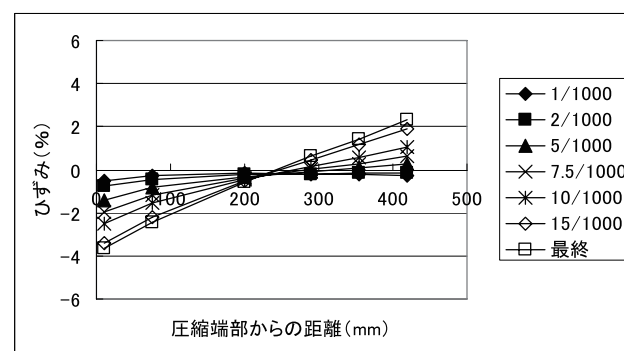


図-12 壁脚部鉛直ひずみの水平方向分布 (No. 4)

からの距離と、変位計によるひずみの関係を示している。

いずれの試験体も中立軸を中心に直線的にひずみが増加し、また、部材角と共に増大している。

圧縮側、引張側共、ひずみは中立軸からの距離に比例して増大しているが、引張側よりも圧縮側のほうがやや変化の割合が大きい。中立軸が最も圧縮端部側となった時の中立軸深さを以下に示し、試験体ごとに比較する。

拘束筋の水平方向の段数が4段であるNo. 1、No. 2については、軸力比0.2のNo. 1が中立軸深さ170mm、軸力比0.4のNo. 2が230mm程度である。すなわち、軸力比の高いNo. 2の方が中立軸がより内側にある。これは、軸力比の増大により、圧縮領域が拡大し、より内側へと中立軸が移動したものと考えられる。

拘束筋を配筋していないNo. 3、No. 4については、軸力比0.2のNo. 3が中立軸深さ142mm、軸力比0.4のNo. 4が242mm程度である。また、拘束筋の段数が1段であるNo. 5、No. 6では、軸力比0.2のNo. 5が中立軸深さ140mm、軸力比0.4のNo. 6が210mm程度である。すなわち、No. 3とNo. 4、No. 5とNo. 6の比較においても、軸力比の高い方が中立軸がより内側にある。

端部の配筋がフープ形状で軸力比が0.4のNo. 8は中立軸深さが200mm程度である。また、圧縮端部で、全試験体中で最も大きなひずみが生じている。

図-16に上記で述べたNo. 1～No. 8までの中立軸深さを示す。それぞれの中立軸深さを同じ配筋で軸力比0.2の場合と0.4の場合で比較すると、いずれも、軸力比が0.4の方が0.2の場合よりも大きい。この傾向は壁脚部における縦筋ひずみの水平方向分布から求めた中立軸深さの場合と同様であった。

なお、No. 1、No. 2においては30/1000で、No. 5、No. 8においては、20/1000を超えて最

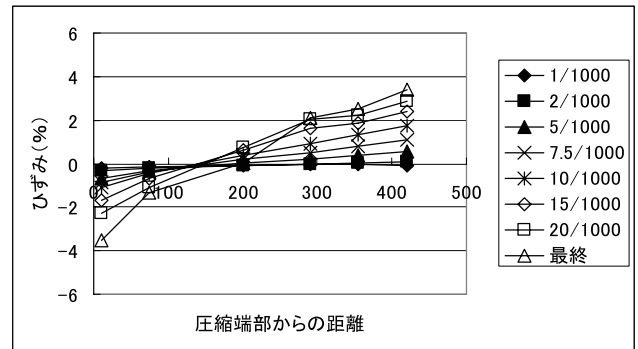


図-13 壁脚部鉛直ひずみの水平方向分布 (No. 5)

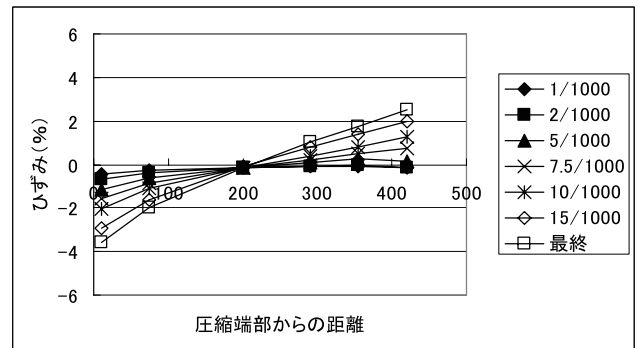


図-14 壁脚部鉛直ひずみの水平方向分布 (No. 6)

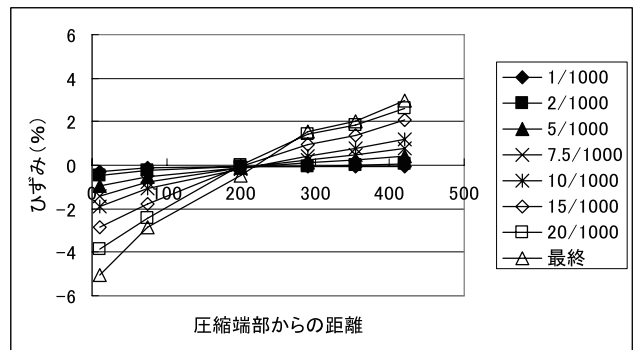


図-15 壁脚部鉛直ひずみの水平方向分布 (No. 8)

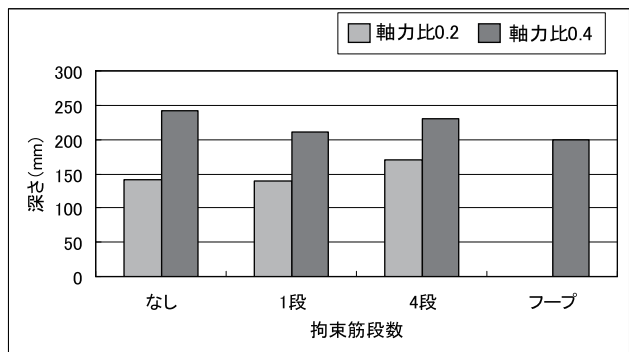


図-16 中立軸深さ

終に至るまでに、中立軸が少し内側に移動している。これは、圧縮端部の圧壊が進行し、圧縮領域が内側に広がったためと考えられる。また、No. 3、No. 4、No. 6 においても最終状況において、わずかではあるが同様に中立軸の移動が認められた。但し、この場合、圧壊及び耐力の低下が急激であったため、計測上はわずかな移動となった。

また、拘束筋の水平方向の段数の違いで中立軸深さを比較すると、4 段の No. 1 と No. 2 の中立軸深さの差が 60mm、拘束筋を配筋していない No. 3 と No. 4 では 100mm、1 段の No. 5 と No. 6 では 70mm となっている。すなわち、拘束筋の段数の多いほど軸力比の違いによる中立軸深さの差は小さくなっている。

7. まとめ

鉄筋コンクリート造コア壁の靱性について検討するために、壁柱の水平加力実験を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 拘束筋の水平方向の段数が多いほど、また、軸力比が小さい方が限界部材角は大きくなる。
- 2) 拘束筋の水平方向ひずみ分布では、軸力比が大きい方が、より内側まで大きな値となる。また、フープ形状の場合、幅止め型拘束筋と比べ、圧縮端部からの距離の差に伴うひずみの差は小さい。
- 3) 軸力比が大きい方が、中立軸深さは大きい。また、拘束筋の水平方向の段数が多いほど、軸力比の違いによる中立軸深さの差は小さい。

謝辞

本研究を実施するにあたり、平成 22 年度福井工業大特別研究費のご支援を頂きました。深く感謝致します。

参考文献

- 1) 南直行、仲地唯治、名取和裕：鉄筋コンクリート造コア壁における壁板の圧縮実験(その1、その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008. 9、Vol. C-2、pp. 365-368.
- 2) 仲地唯治、南直行：鉄筋コンクリート造コア壁の拘束筋による端部拘束効果に関する実験的研究(その1、その2)、日本建築学会学術講演梗概集、Vol. C-2、2009. 8、Vol. C-2、pp. 437-440.
- 3) 仲地唯治、徳永諒太、南直行：鉄筋コンクリート造コア壁の端部拘束効果に関する実験的研究(その1～その3)、日本建築学会学術講演梗概集、Vol. C-2、2010. 9、pp. 349-354.
- 4) 日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能、1981

(平成 23 年 3 月 31 日受理)