

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：33401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560683

研究課題名(和文)フルプレキャスト鉄筋コンクリート造コア壁の構造性能に関する研究

研究課題名(英文)Study on Structural Performance of Full Precast Reinforced Concrete Core Walls

研究代表者

仲地 唯治 (NAKACHI, Tadaharu)

福井工業大学・工学部・教授

研究者番号：90410373

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円、(間接経費) 1,110,000円

研究成果の概要(和文)：超高層鉄筋コンクリート造建物においてコア壁は地震動を有効に低減できる重要な耐震要素である。一方、フルプレキャストコア壁は現場打ちの場合に比べてより早く施工でき、鉄筋コンクリート構造建物の建設には有効である。本研究では、L形フルプレキャストコア壁の隅角部およびその近傍の壁板部分を模擬したフルプレキャスト壁柱の水平加力実験を実施し、その構造性能を検討した。フルプレキャスト化の方法としては、コア壁を柱形に分割し、コッターを設けグラウトを充填する方法とした。実験の結果、フルプレキャストコア壁の構造性能が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Multistory core walls installed in high-rise reinforced concrete buildings effectively reduce seismic vibration. On the other hand, full 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 full precast wall columns simulating the corner and the area near the corner of the L-shaped full precast core wall. 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. Based on the results of the lateral loading tests, the structural performance of full precast core wall was clarified.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート コア壁 プレキャスト 水平つなぎ筋 コッター 靱性

様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超高層鉄筋コンクリート(RC)造建物において、建物の中央部に重要な耐震要素としてコア壁を配した構造が増加している。コア壁を用いた建物では地震力の大部分をコア壁で負担し、柱は主に鉛直荷重を負担すれば良いため、従来のRC構造に比べ柱間隔の大きい、広い空間を確保できる。このため、集合住宅の場合は間取りの自由度が増し、事務所建築では広い執務空間が実現でき、今後、本構造建物は、より一層増加していくと考えられる。しかし、研究開始時において、コア壁を施工するにあたり、フルプレキャスト化は全く図られていない。

2. 研究の目的

建物の中央部に重要な耐震要素としてコア壁を配した構造の今後の発展の為にはフルプレキャスト化は不可欠である。しかし、これまでにコア壁のごく一部分をプレキャスト化したものはあり、実験的検討もなされているが、フルプレキャスト化の例はなく、その構造性能は不明である。そこで、フルプレキャスト化の方法を検討し、考案した方法に対し構造性能を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) フルプレキャスト化の検討 超高層建物のL形断面コア壁について、フルプレキャスト化する方法を検討した。施工性を考慮した結果、フルプレキャスト化の方法としては、コア壁を柱形に分割し、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、水平つなぎ筋を各階の床レベルに集中配筋するものとした。

(2) 水平加力実験 上記方法により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、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フルプレキャスト壁柱による水平加力実験を実施した。

①試験体 図-1に試験体の形状、配筋を示す。また、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3体である。

一体打ち試験体PC0、プレキャスト試験体PC1、PC2共に壁断面は $b \times D = 90\text{mm} \times 405\text{mm}$ 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。全試験体共、主筋には、D10(SD345)を用いた。帯筋には高強度鉄筋U5.1( $1300\text{N/mm}^2$ 級)を用い、ピッチを55mmとした。一体打ち試験体PC0の横筋にはD6(SD345)を用い、ピッチは帯筋と同じ55mmとした。プレキャスト試験体PC1、

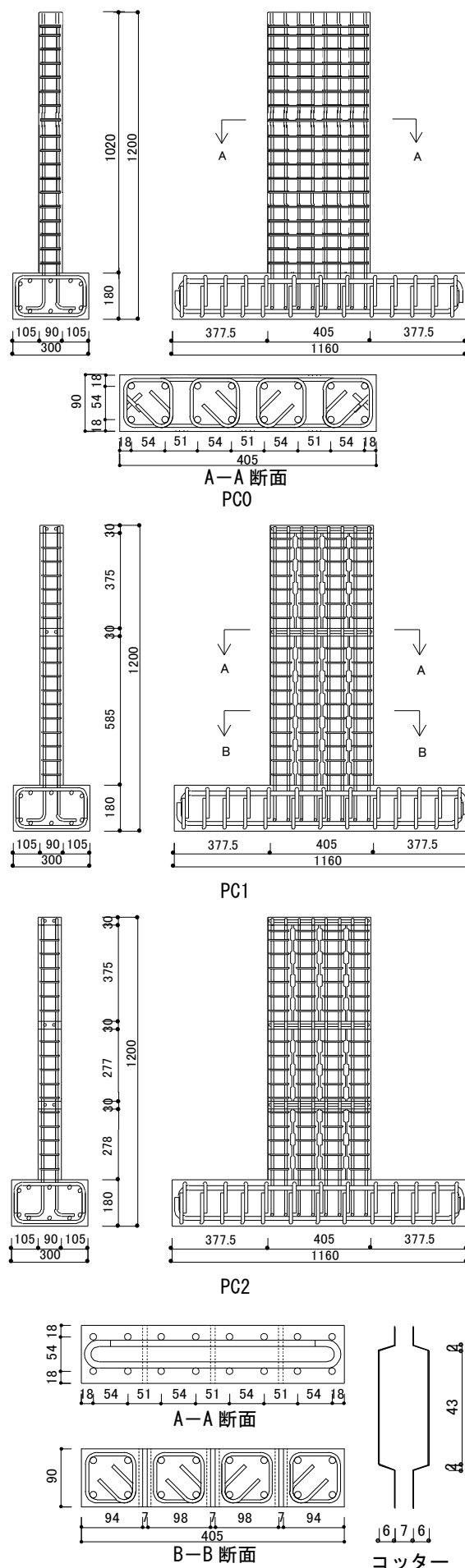


図-1 試験体配筋図

PC2 の水平つなぎ筋には、D10(SD345)を用いた。いずれの試験体もかぶり厚さは 6mm で、試験体作製にあたっては横打ちとした。

プレキャスト試験体 PC1 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。グラウトの調合強度を 80N/mm<sup>2</sup>とした。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。PC2 では、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。水平つなぎ筋は後配筋で、両端主筋に水平つなぎ筋の両端フックを掛けるのが困難であるため、両端 180° フックとし、2 本一組で向い合せにして試験体側面より主筋内側に差し込んだ。主筋は通し配筋とし、グラウトは流し込みである。

②実験方法 図-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、試験体を 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(PC0 では 491kN、PC1 では 488kN、PC2 では 441kN) とした。試験体上面には、プレキャスト試験体 PC1、PC2 の各柱部材の上部の位置にピン支承を設け、また、一体打ち試験体 PC0 においても PC1、PC2 と同じ位置にピン支承を設け、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、プレキャスト試験体における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、横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。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験結果

① 破壊状況 図-3 にひび割れ状況を示す。一体打ち試験体 PC0 において、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、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。圧縮側脚部においては、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、曲げひび割れおよび曲げせん断ひび割れ、ならびに脚

表-1 コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (× 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
PC0	67.4	2.91	2.57	
PC1	プレキャスト部	67.0	2.94	2.45
	後打ち部	65.3	2.85	2.34
	グラウト	89.6	2.89	6.08
PC2	プレキャスト部	60.6	2.63	2.75
	後打ち部	58.7	2.65	2.13
	グラウト	91.7	3.24	4.85

表-2 鉄筋の材料試験結果

呼び名	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (× 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
D10	397	577	1.85	18.5
U5.1	1368	1491	2.11	9.3
D6	409	553	1.83	20.1

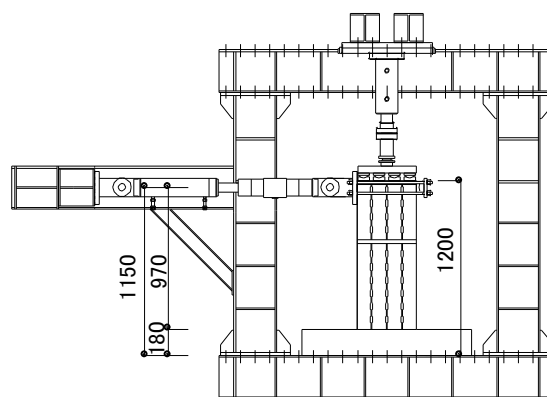


図-2 加力装置

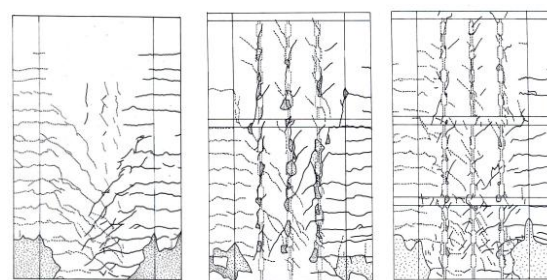


図-3 ひび割れ状況(最終状況)

部のコンクリート圧壊が進展した。

鉄筋の降伏については、正加力時に、部材角 5/1000 までに最外縁圧縮主筋が圧縮降伏(降伏ひずみ 2146 $\mu$ )した。また、7.5/1000 までに、最外縁引張主筋が引張降伏した。なお、最終の部材角 30/1000 に至るまで軸力を保持していた。

プレキャスト試験体 PC1 と PC2 においては、ひび割れの発生、進展状況は 5/1000 程度までは、ほぼ同様であった。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、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。圧縮側脚部においては、5/1000 までに、コンクリートの圧壊(縦ひび割れ)が発生した。

鉄筋の降伏については、正加力時に、PC1 では 5/1000 までに、PC2 では 7.5/1000 までに、それぞれ最外縁圧縮主筋が圧縮降伏(降伏ひずみ 2146 $\mu$ )した。また、PC1、PC2 いずれも、15/1000 までに、最外縁引張主筋が引張降伏した。

7.5/1000 以降、PC1 においては、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、また、脚部のコンクリート圧壊も生じて 20/1000 以降、耐力がやや低下した。PC2 においては、コッター部のせん断ひび割れの進展は PC1 の場合ほどは大きくなく、曲げひび割れおよび曲げせん断ひび割れの進展、ならびに脚部のコンクリート圧壊が生じ、30/1000 のサイクルで耐力がやや低下した。但し、30/1000 の耐力が低下するあたりでは、わずかではあるものの、コッター部のグラウトとコンクリートの間における目開きが観察された。PC1、PC2 とも、最終の部材角 30/1000 に至るまで軸力を保持していた。

②荷重-変形関係 図-4 に各試験体における荷重-変形関係を示す。一体打ち試験体 PC0 の最大荷重は正加力時において 15/1000 で 139.8kN、負加力時において 20/1000 で 136.5kN であった。最終の 30/1000 のサイクルにおいては、正側ではほとんど荷重は低下せず、負側ではわずかに低下した。

プレキャスト試験体 PC1 においては、最大荷重は正加力時において 15/1000 で 103.0kN、負加力時において 7.5/1000 で 107.5kN であった。正側では 20/1000 以降、負側では 10/1000 以降、荷重がやや低下した。PC2 では、最大荷重は正加力時において 20/1000 で 114.8kN、負加力時において 15/1000 で 111.5kN であった。正側、負側とも、最終の 30/1000 のサイクルにおいて、荷重がやや低下した。

③水平つなぎ筋のひずみ分布 図-5、図-6 に、2 階床レベルおよび 1 階中央高さレベルにおける水平つなぎ筋のひずみ分布をそれぞれ示す。1 階中央高さレベルは PC2 のみである。いずれの場合も部材角の増大とともにひずみが増大している。また、引張端部側よりも圧縮端部側の方がひずみが大きい傾向にある。

2 階床レベルにおいては、PC1 では 2/1000 から 5/1000 までの部材角で、ひずみの増大が顕著である。また、20/1000 に達すると圧縮端部より 93mm の点でひずみが降伏ひずみを超え、急激に増大している。これは、PC1

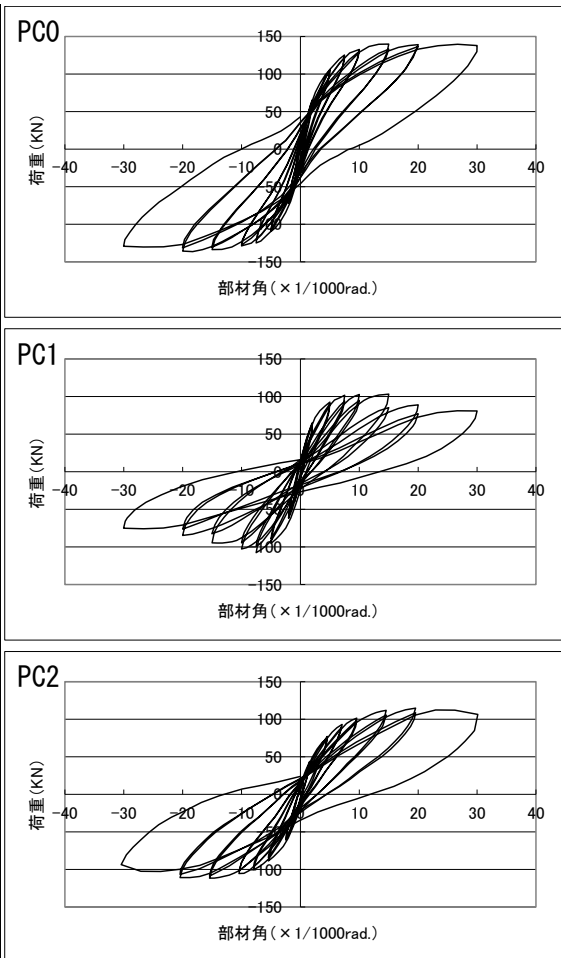


図-4 荷重-変形関係

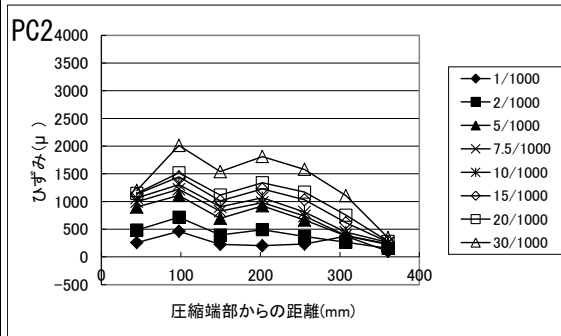
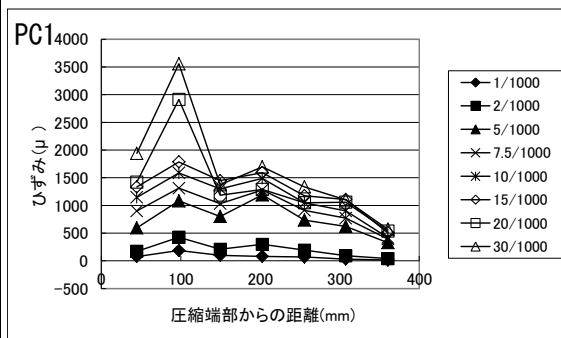


図-5 水平つなぎ筋の水平方向ひずみ分布 (2F 床)

における 20/1000 以降の耐力低下に対応していると考えられる。PC2 は、全体的に PC1 と

ほぼ同様のひずみ分布であるが、最終の30/1000に至るまで降伏は生じていない。なお、3階床レベルにおいては、PC1、PC2とも全体的には2階床レベルよりも値は小さい。

PC2における1階中央高さレベルでは、2/1000から5/1000までの部材角でひずみの増大が顕著である。また、30/1000に達すると圧縮端部より93mmの点、すなわち、圧縮端部の柱と2番目の柱の境界部における測定点でひずみが降伏ひずみを超え、急激に増大している。PC2では30/1000のサイクルにおいて耐力がやや低下し、また、壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布等より、圧縮端部の柱と2番目の柱の独立した挙動を示している。したがって、この境界部分における水平つなぎ筋の降伏により両柱の一体性が弱まり、独立した挙動となり、耐力がやや低下したものと考えられる。

④目開きの水平方向分布 図-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。ここでは、最も値が大きかった2段目の測定結果を示す。PC1では、2/1000までと比べて5/1000から目開きが増大し始めている。水平方向の分布は、圧縮端部側と引張端部側で目開きが大きく、中央部では小さい。この傾向は、7.5/1000から徐々に目立ち始めている。分布はほぼ左右対称形である。PC2では、分布形状はPC1とほぼ同様であるが、目開きの値は全体にPC1より小さい。目開きの増加は、耐力低下のみられた30/1000でやや大きい。

⑤ずれの水平方向分布 図-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。PC1では目開きと同様、2/1000までと比べて、5/1000からずれが増大し始めている。圧縮端部に近いほどずれは大きい傾向にある。PC2では圧縮端部側、引張端部側と比べ、中央部で小さい。全体的に値はPC1より小さい。

(2) 最大耐力 表-3に最大耐力を示す。水平耐力の計算値は表-3に示す既往の柱の曲げ耐力式を用いた。実験値は計算値に対し、一体打ちのPC0では10~13%上回った。鉛直接合部の破壊により一体性の弱まったPC1では、13~17%低い。一体性がほぼ保たれたPC2では1に近い値となった。鉛直接合部耐力についても、表-3に示す式を用いた。ただし、せん断耐力を求めるにあたっては、水平つなぎ筋量を接合筋量とみなした。せん断耐力は、鉛直接合部破壊の顕著であったPC1では作用せん断力を下回り、顕著な破壊のなかったPC2では上回る結果となった。

(3) 得られた成果の位置づけとインパクト  
超高層鉄筋コンクリート造建物において、建物の中央部に重要な耐震要素としてコア壁を配した構造が増加している。この構造は広い空間を確保することでき、今後、より一層増加していくと考えられる。これまでコア

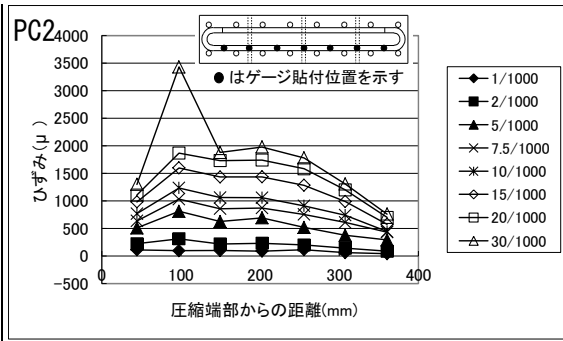


図-6 水平つなぎ筋の水平方向ひずみ分布 (1F 中央)

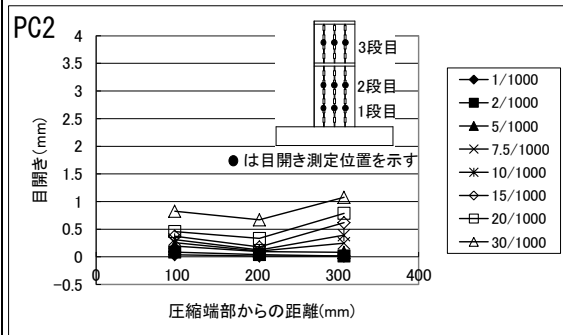
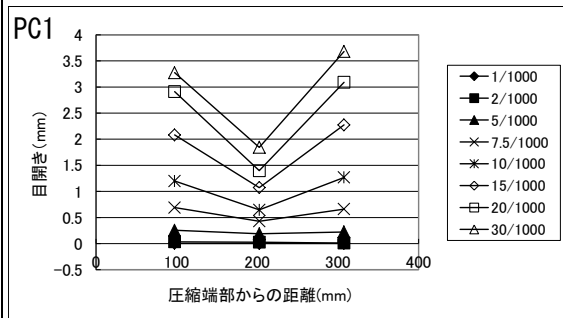


図-7 目開きの水平方向分布 (2段目)

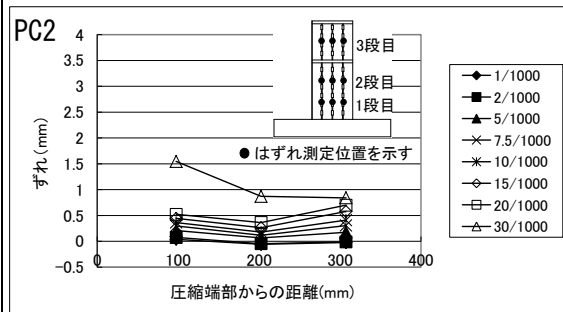
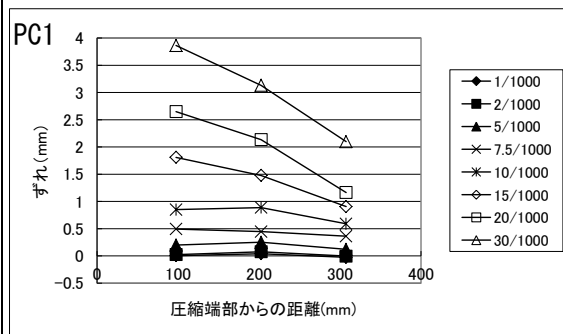


図-8 ずれの水平方向分布 (2段目)

壁を施工するにあたり、フルプレキャスト化は全く図られておらず、その構造性能は不明であった。しかし、本構造の今後の発展の為にフルプレキャスト化は不可欠である。そこで、フルプレキャスト化の方法を検討し、考案した方法に対し構造性能を調べるため、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フルプレキャスト壁柱による水平加力実験を実施した。

フルプレキャスト化の方法としては、施工性を考慮し、コア壁を柱形に分割し、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、水平つなぎ筋を各階の床レベルに集中配筋するものとした。

実験の結果、本研究で考案したフルプレキャスト化の方法を用いることで、一体打ちと同程度の構造性能を実現できることが明らかとなった。本方法により、コア壁構造における施工の効率化、省力化に大きく寄与することができ、コア壁構造の一層の発展に貢献するものと考えられる。

(4) 今後の展望 本研究により、コア壁構造のフルプレキャスト化の実現の可能性が示された。しかしながら、実際の構造設計、施工で用いるには、各種パラメーターに関する、さらに詳細な検討が必要であると考えられ、そのために、種々の実験を継続して行い、また解析的検討を実施していく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計13件)

- ① Tadaharu Nakachi, Comparison of the Structural Performance of Monolithic and Precast Reinforced Concrete Core Walls, Memories of Fukui University of Technology, Vol.44, pp.113-120, 2014, 査読無  
DOI:ISSN 1884-4456
- ② 仲地唯治, 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.35、pp.391-396、2013、査読有  
DOI:ISSN 1347-4111
- ③ 仲地唯治, 徳永諒太, 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、第42号、pp.293-301、2012、査読無  
DOI:ISSN 1884-4456

〔学会発表〕(計4件)

- ① 仲地唯治, RC造プレキャストコア壁の一体性に関する実験的研究、日本建築学会、2014.9.13、神戸大学
- ② 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、2013.8.31、北海道大学

表-3 最大耐力

(単位:kN)

試験体	水平耐力			鉛直接合部耐力	
	実験値(負側)	計算値	実/計(負側)	作用せん断力	せん断耐力
PC0	139.8(136.5)	124.0	1.13(1.10)	—	—
PC1	103.0(107.5)	123.5	0.83(0.87)	399.9	384.9
PC2	114.8(111.5)	115.7	0.99(0.96)	374.6	415.7

水平耐力計算値 $P_{NU}$ :

$$P_{NU} = M_u / H, H: \text{加力点高さ} \quad M_u = 0.5a_s \sigma_{ys} D + 0.5ND(1 - N / (bDF_c))$$

鉛直接合部作用せん断力:  $P_{NHw} / Lw$   $Hw$ : 壁柱高さ

$Lw$ : 両端柱中心間距離

鉛直接合部せん断耐力:  $Q_{DV} = 0.10F_c \cdot A_{sc} + \sigma_{ys} a_v$

- ③ 仲地唯治, 徳永諒太, 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、日本建築学会、2012.9.12、名古屋大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

仲地 唯治 (NAKACHI Tadaharu)

福井工業大学・工学部・教授

研究者番号: 90410373