論文 水平つなぎ筋を有する RC 造プレキャストコア壁における軸力の影響

仲地 唯治*1

要旨: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,省力化のためにプレキャスト化が有効な方法である。そこで,RC 造コア壁を柱形に分割し,柱部材間の接合面にコッターを設け,接合筋を配筋せず,水平つなぎ筋で一体化することによってフルプレキャスト化した場合について,高 圧縮力が作用する圧縮端部近傍を模擬した壁柱による水平加力実験を行った。実験の結果,せん断スパン比が異なる場合の,軸力が壁柱の構造性能に与える影響が明らかとなった。

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,拘束,軸力

1. はじめに

建設業における労働力不足の深刻化に対し,超高層建 物の建設において,建設時の工期短縮,省力化のために プレキャスト化が有効であると考えられる。超高層建物 の連層耐震壁をプレキャスト化した例にとしては,向出 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。毛利 ら²⁾は,隅角部及び先端部をプレキャスト化したコ型 PCaPC 造コア壁について静的交番載荷実験を実施して いる。また,中澤ら³⁾は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。

一方,著者らは RC 造コア壁を端部だけでなく全体を プレキャスト化した場合の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壁柱による水平加力実験 を行った⁴⁾。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。柱部材間の接合には建設時の施工性 を考慮し,鉛直接合部に分散して配筋する接合筋ではな く,床レベル等に集中配筋する水平つなぎ筋を用いた。

また,同様のプレキャスト壁柱試験体により,せん断 スパン比が異なる場合の水平加力実験を実施し,水平つ なぎ筋量,コッター数が異なる場合の,せん断スパン比 が構造性能に与える影響について検討した⁵⁾。

本研究では、これらに対し、軸力が異なる場合の水平 加力実験を実施し、せん断スパン比が異なる場合の、軸 力が構造性能に与える影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

図-1 に試験体の形状,配筋を示す。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を想定した実大の約1/8の モデルで,コア壁の圧縮端部近傍壁板を模擬した長方形 断面の壁柱試験体 PC3⁴⁾, PC5(せん断スパン比 2.4)及び PCS3⁵⁾, PCS5(同 1.4)の計4体である。

壁柱断面b×D=90mm×405mm, コンクリート調合強度 60N/mm²,最大骨材寸法5mmである。軸力は、PC3及び PCS3では軸力比 σ_0/σ_B =0.2(σ_0 =N/A,N:軸力,A:断面積, σ_B :コンクリート圧縮強度),PC5及びPCS5では σ_0/σ_B = 0.005とした。

いずれの試験体も,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で平滑な面のコッタ ーを設け,調合強度80N/mm²のグラウトを充填した。2 階(PC3, PC5においては3階も)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。また,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。

水平つなぎ筋は後から配筋し、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、2本一組の向い合せで(フック部重ね長さ87mm) 試験体側面より主筋内側に差し込んだ。主筋は通し配筋、 グラウトは流し込みで、柱間7mmに対しグラウトの粘性 が高く、充填性向上のため、試験体作製は横打ちとした。

主筋はD10(SD345)を用い,帯筋には高強度鉄筋U5.1 (1300 N/mm²級)を用い,ピッチを55mmとした。水平つな ぎ筋はD6(SD345)を用いた。いずれの試験体もかぶり厚 さは6mmである。

2.2 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,試験体を PC 鋼棒で締め付けることがないよう

^{*1} 福井工業大学 工学部建築土木工学科教授 博士(工学)(正会員)

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, PC3 及び PCS3 では軸力比 0.2 の定軸力 (PC3, PCS3 でそれ ぞれ 474kN,498kN) とした。また, PC5 及び PCS5 では 軸力比 0.005 (10kN) とした。試験体上面には,各柱部 材の上部の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 (PC3, PC5:615mm, PCS3, PCS5:565mm)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,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,及び主筋のひずみを計 測した。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

図-3にひび割れ状況を示す。PC3では2/1000までに, PC5, PCS3, PCS5では1/1000までにそれぞれ曲げひび 割れが試験体下部に発生した。PC3, PC5, PCS5では 5/1000までに, PCS3では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。圧縮側脚部において は, PC3, PCS3では5/1000までに, PC5では30/1000ま でに, PCS5では正加力で15/1000、負加力で20/1000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, PC3, PCS3 で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た。一方, PC5, PCS5 では コッター部のせん断ひび割れがやや進展したが, ひび割 れ幅の顕著な増大や, コッター部コンクリートの破壊等 は見られず, 耐力はほとんど低下しなかった。

主筋の降伏については, PC3 では 5/1000 までに, PCS3 では 7.5/1000 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 2146µ) した。PC5, PCS5 は圧縮降伏しな かった。引張側に関しては, PC3 では 15/1000 までに, PC5 では 20/1000, PCS5 では 10/1000 までに引張主筋が 引張降伏し, PCS3 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

図-4 に荷重-変形関係を示す。また,表-3 に最大 荷重を示す。軸力比 0.2 の場合, PC3 の最大荷重は正負 とも 10/1000 で生じ,15/1000 から低下し始め,20/1000 で大きく低下した。20/1000 では最大荷重の 80%以下の 荷重となり,加力を終了した。PCS3 の最大荷重は正加 力において 15/1000 で,負加力において 7.5/1000 で生じ





PCS3, PCS5



図-1 試験体配筋図

表-1	コンク	リート	・の材料試験結果
-----	-----	-----	----------

試験体		圧縮強度	ヤング係数	割裂強度
		(N/mm²)	$(\times 10^4 N/mm^2)$	(N/mm²)
PC3	プレキャスト部	65.1	2.97	2.92
	後打ち部	59.1	2.77	3.00
	グラウト	92.1	2.89	6.59
PC5	プレキャスト部	54.0	2.69	2.09
	後打ち部	57.6	2.69	2.40
	グラウト	96.1	3.26	5.32
PCS3	プレキャスト部	68.3	3.33	3.33
	後打ち部	73.8	3.41	3.89
	グラウト	101.3	3.55	5.76
PCS5	プレキャスト部	66.1	3.19	2.87
	後打ち部	65.3	2.86	2.57
	グラウト	106.8	3.51	5.67

た。正加力時は 20/1000 から、負加力時は 15/1000 から 低下し始めた。

軸力比 0.005 の場合, PC5 の最大荷重は正負加力時と も最終の 30/1000 で生じ、荷重は部材角とともに増大し 続け低下しなかった。PCS5 の最大荷重は正加力におい て 28.2/1000 で, 負加力において 30/1000 で生じ, 最終ま でほとんど耐力低下しなかった。

軸力比によって比較すると、軸力比 0.2 の場合、いず れも最大荷重以降の荷重低下が見られるのに対し、軸力 比 0.005 の場合, 最終の 30/1000 に至るまで荷重低下は ほとんど見られず、軸力による変形性能低下が明らかで ある。また、同じせん断スパン比に対して、軸力比 0.2 の方が、軸力比 0.005 に対して最大荷重は大きく、軸力 比の影響は明らかである。

3.3 水平つなぎ筋のひずみ分布

図-5に各試験体の正加力時における水平つなぎ筋ひ ずみ分布を示す。PC3, PC5は2階床高さ, PCS3, PCS5 は1階中央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、いずれもD6(SD345,降伏ひずみ4229µ,降 伏点不明確のため0.2%オフセット)である。

軸力比 0.2 の場合, 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を超え、急激に 増大している。これは水平荷重増加に伴うせん断力増大 によると考えられ、降伏によりコッター部がせん断破壊 し、荷重-変形関係では、15/1000 以降、耐力が大きく 低下したと考えられる。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と考えられる。PC3、PCS3 とも降伏が顕著で、水平つなぎ筋量が少ないためである と考えられる。せん断スパン比 2.4 の 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。

軸力比0.005の場合、PC5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、全体に引張端部 側よりも圧縮端部側の方がひずみが大きい傾向にある。 最終の30/1000に至るまで降伏していない。PCS5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。PC5 と同様、全体に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。但し、ひずみの増大に関しては PC5と異なり、20/1000において、圧縮端部より97.5mm、 149.5mm, 202.5mmの点でやや大きく増大し, 30/1000に おいて、149.5mmの点で降伏した。

軸力比によって比較すると、軸力比0.2の場合、PC3、 PCS3ではそれぞれ10/1000, 15/1000で降伏しているのに 対し,軸力比0.005の場合, PC5では降伏せず, PCS5では

表-2 鉄筋の材料試験結果

町ででタ	降伏強度	引張強度 ヤング係数		伸び
呼び名	(N/mm ²)	(N/mm ²)	$(\times 10^5 N/mm^2)$	(%)
D10	397	577	1.85	18.5
U5.1	1368	1491	2.11	9.3
D6	409	553	1.83	201



PC3, PC5



図-2 加力装置



PC3

PCS3





図-3 ひび割れ状況(最終状況)



図-5 水平つなぎ筋のひずみ分布

最終の30/1000で降伏している。すなわち,軸力比の大き い方が明らかに小さい部材角で降伏しており,これは, 同じ部材角では軸力比0.2の方がせん断力が大きいため と考えられ,荷重-変形関係において,軸力比0.2の場合, いずれも最大耐力以降の耐力低下が見られるのに対し, 軸力比0.005の場合,最終の30/1000に至るまで耐力低下 はほとんど見られなかったことに対応すると考えられる。 3.4 鉛直接合部におけるずれの挙動

図-6 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,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。 PC3 では 2 段目の最大値が, PC5, PCS3, PCS5 では 1 段目の最大値が各試験体中で最も大きく, 図はそれらの 段での分布を示している。

軸力比 0.2 の場合, PC3, PCS3 の最大値はそれぞれ 2.6 mm, 3.7mm である。いずれも圧縮端部側の値の方が大きい傾向にあり, せん断スパン比 1.4 の PCS3 の方が 2.4 の PC3 よりも全体的にずれは大きい。

軸力比 0.005 の場合, PC5, PCS5 の最大値はそれぞれ 0.4 mm, 1.0mm である。いずれも圧縮端部側の値の方が 大きい傾向にあり, せん断スパン比 1.4 の PCS5 の方が 2.4 の PC5 よりも全体的にずれは大きい。

軸力比によって比較すると,軸力比 0.2 の場合のずれ が軸力比 0.005 の場合より大きい傾向が明らかである。 3.5 壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布

図-7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。

軸力比0.2の場合, PC3では、2/1000まではすべての範囲 で圧縮で、5/1000で引張が生じている。また、最終に至 るまで圧縮領域の方が引張領域よりも広くなっており、 中立軸は常に引張側寄りである。圧縮端部付近と引張端 部付近のひずみを比較すると、圧縮端部付近の方が大き い値となっている。PCS3では、全体としてはPC3と同様、 圧縮領域の方が引張領域よりも広くなっている。但し、 圧縮端部より78mmの測定点においてひずみが引張となり、 最終の30/1000においては、2.51%に達している。

軸力比0.005の場合, PC5, PCS5とも, 引張側の値が大

きく,最終の30/1000に至るまで,圧縮,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。

軸力比によって比較すると,軸力比0.005の場合の方が 0.2の場合よりも引張側の方がひずみは大きく,分布は直 線的であり,壁柱の一体性を示している。また,水平つ なぎ筋のひずみ,鉛直接合部のずれが小さいこと,破壊 状況におけるコッター部の破壊が少ないことと対応して いると考えられる。

4. 最大耐力

表-3に最大耐力を示す。水平耐力計算は、既往の壁, 壁柱の式が中間の全縦筋引張降伏を仮定し、本実験結果 (最大耐力時の両端を除く縦筋6段の内,降伏した段数が PC3, PC5, PCS3, PCS5でそれぞれ0段, 2段, 0段, 4段) と異なる為,表-3の既往の柱の曲げ耐力式を用いた。実 験値は計算値に対し、鉛直接合部の破壊により一体性の 弱まったPC3, PCS3では、それぞれ11~15%, 8~19%低 い。一体性がほぼ保たれたPC5, PCS5ではそれぞれ58~ 72%, 74~81%高い。鉛直接合部耐力は表-3に示す式を 用い、せん断耐力を求める際、水平つなぎ筋量を接合筋 量とみなした。鉛直接合部破壊が顕著なPC3, PCS3では せん断耐力が作用せん断力を下回り、顕著な破壊のなか った軸力比の低いPC5, PCS5ではせん断耐力が上回った。

5. 結論

RC 造フルプレキャストコア壁における軸力の影響に 関し,水平加力実験より以下のことが明らかとなった。



図-7 壁脚部における鉛直ひずみの水平方向分布

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A	せん断耐力B	
PC3	107.8(103.5)	121. 2	0.89(0.85)	392.5	342.2	
PC5	76.0(69.8)	44.1	1. 72 (1. 58)	142.8	342.2	
PCS3	173.8(197.3)	214. 9	0. 81 (0. 92)	419.6	218.3	
PCS5	137.3(131.8)	75.7	1. 81 (1. 74)	147.8	218.3	
水平耐力調	水平耐力計算値P _{NU} :文献 ⁶⁾ (4.7.e)式による					
P _{NU} =M _u /H、H:加力点高さ M _u =0.5agσ _y g ₁ D+0.5ND(1-N/(bDF _c)) ag: 柱主筋全断面積						
σ、:鉄筋降伏点強度, g1: 引張筋重心と圧縮筋重心との距離の全せいに対する比, D: 柱断面せい						
, N:柱軸方向力, b:柱断面幅, F _c :コンクリート圧縮強度						
鉛直接合部作用せん断力:P _{NU} Hw/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:文献 ⁷⁾ (9.3)式による Q _{DV} =0.10F _c ・A _{sc} +σ _y Σ a _v						
F _c :ジョイントコンクリートの設計基準強度, A _{sc} :鉛直接合部のシャーコッターの鉛直断面積の和						
σ_y :コッター筋の降伏点強度, Σ A $_v$:鉛直接合部のコッター筋断面積						

- 1)軸力比が小さく,水平つなぎ筋が最終に至るまでほぼ 降伏せず,プレキャスト柱を一体化できた場合,水平 耐力は既往の柱の曲げ耐力式を上回った。
- 2) 軸力比の大きい PC3, PCS3 は、小さい場合より水平 つなぎ筋が早い段階で降伏し、各部材角での鉛直接合 部のずれは大きく、早い段階での耐力低下に対応した。
- 3) 軸力比の小さい PC5, PCS5 は、引張側の方が脚部ひ ずみは大きく、分布は直線的で壁柱の一体性を示す。
- 4) 鉛直接合部耐力に関しては、既往の耐力式による検討 結果が破壊形式に対応していた。

参考文献

- 向出静司,古宮嘉之,山本憲一郎,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性状,コンクリー ト工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp.805-810, 2003.7
- 2) 毛利浩他: コ型 PCaPC 造コア壁に関する実験的研

究(その1,その2),日本建築学会大会学術講演梗 概集,pp.805-808,2007.8

- 3) 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, No.2, pp.463-468, 2009.7
- 4) 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, pp.295-300, 2017.7
- 5) 仲地唯治他:水平つなぎ筋を有する 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,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.41,pp.361-366, 2019.7
- 6) 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,1990
- 7) 日本建築学会:壁式プレキャスト鉄筋コンクリート
 造設計規準・同解説, 1982