

RC造連層耐震壁、基礎梁、杭の地震時相互作用 を考慮した地震時水平力抵抗機構の解明

河野進¹・坂下雅信²・ト部藍³・村上恭平³・田中仁史⁴・渡辺史夫⁵

¹ Ph. D. 京都大学大学助教授 工学研究科建築学専攻 (〒6068501 京都市左京区吉田本町)

² 工修 京都大学大学院生 工学研究科建築学専攻 (〒6068501 京都市左京区吉田本町)

³ 学士 京都大学大学院生 工学研究科建築学専攻 (〒6068501 京都市左京区吉田本町)

⁴ Ph. D. 京都大学大学教授 防災研究所地震震害研究部門 (〒606-8501 宇治市五ヶ庄)

⁵ 工博 京都大学大学教授 工学研究科建築学専攻 (〒6068501 京都市左京区吉田本町)

Two 1/6 scale specimens were designed and tested as basic structural assemblage models extracted from a practical thirteen-story shear wall system in order to study the lateral load resisting mechanism considering the interaction between a shearwall superstructure and foundations. The specimens consisted of a bottom three-story part of the shear wall system, a foundation beam, slabs, and two piles. Two specimens represented a monolithic wall system and a precast wall system where reinforcement were identical. Static lateral load was applied with proportionally varying vertical load to simulate loading conditions under earthquakes and the damage progression of shear wall and foundation beam was recorded.

Key Words : Shear wall, foundation beam, piles, interaction between superstructure and foundation, axial force in foundation beam, monolithic shear wall, precast shear wall, lateral load resisting mechanism.

1. はじめに

現在の中高層アパート（6階から20階建て程度）の建設は、現場打ちコンクリートおよびプレキャストコンクリート（以下PCa）を用いた鉄筋コンクリート（以下RC）造構造となることが最も多い。それら中高層アパートの構造形式は、桁行き方向を純ラーメン・梁間方向を連層耐震壁とし、基礎構造はアースドリル工法などを用いた杭基礎とするものが一般的である。これら上部構造のラーメン要素や連層耐震壁要素ならびに下部構造の杭基礎要素などについては、それぞれ単独の構造要素としての地震荷重に対する耐力・変形性能評価の十分な研究がなされており、設計手法もある程度確立されているといえる。しかし、梁間方向連層耐震壁構造の地震時における各構成要素の相互連成挙動については未だ十分な研究がなされていない。

指針⁴⁾では、耐震壁下の基礎梁の2次設計において、耐震壁脚が曲げ降伏した後、引張側杭頭への水平せん断力 $Q/2$ は全て基礎梁を介して伝達されると仮定して設計を行う。しかし、実際は圧縮側と引張側の杭の剛性が異なり水平分担力は同一ではなく、基礎梁の軸力は $Q/2$ よりも小さくなると考えられる。また一階床スラブや引張側柱の主筋、壁の縦補強筋などによるせん断力の伝達が考えられることもあって、基礎梁に作用する水平せん断力はさらに小さく

なると考えられる。指針⁴⁾に基づく設計では、基礎梁に対して次の二つの項目に対して検討を行っている。一つは、杭頭からの曲げ戻し応力に対する検討、もう一つは $Q/2$ に対する基礎梁軸鉄筋の検討である。この二つの検討をそれぞれ独立させた設計法は、設計者の経験に基づいて確立されたものではあるが、先程も述べたように、基礎梁に作用する水平せん断力が実際は $Q/2$ よりも小さくなる事などから、十分安全側であるとされている。しかし、水平せん断力の伝達機構は未だに明らかになっておらず、基礎梁の設計が効率的に行われているとは言い難い。

そこで、本研究では、13階建RCアパートの張間方向連層耐震壁構造の地震時降伏メカニズムを1階壁脚の曲げ降伏に設定した場合において、基礎スラブを含む基礎梁への杭頭曲げモーメント及び水平せん断力等の応力伝達経路及び伝達機構の解明を行う。また、スラブ付きPCa連層耐震壁の場合についても実験を行い、PCaを用いた場合における抵抗機構の変化を評価する。具体的には、上部構造（連層耐震壁、一階床スラブ）と下部構造（基礎梁、杭基礎）を設けた試験体（一体打壁試験体MNWとプレキャスト壁試験体PCWの2体）を用いた、静的載荷実験を行い、基礎梁の終局時の挙動を明らかにする事とした。

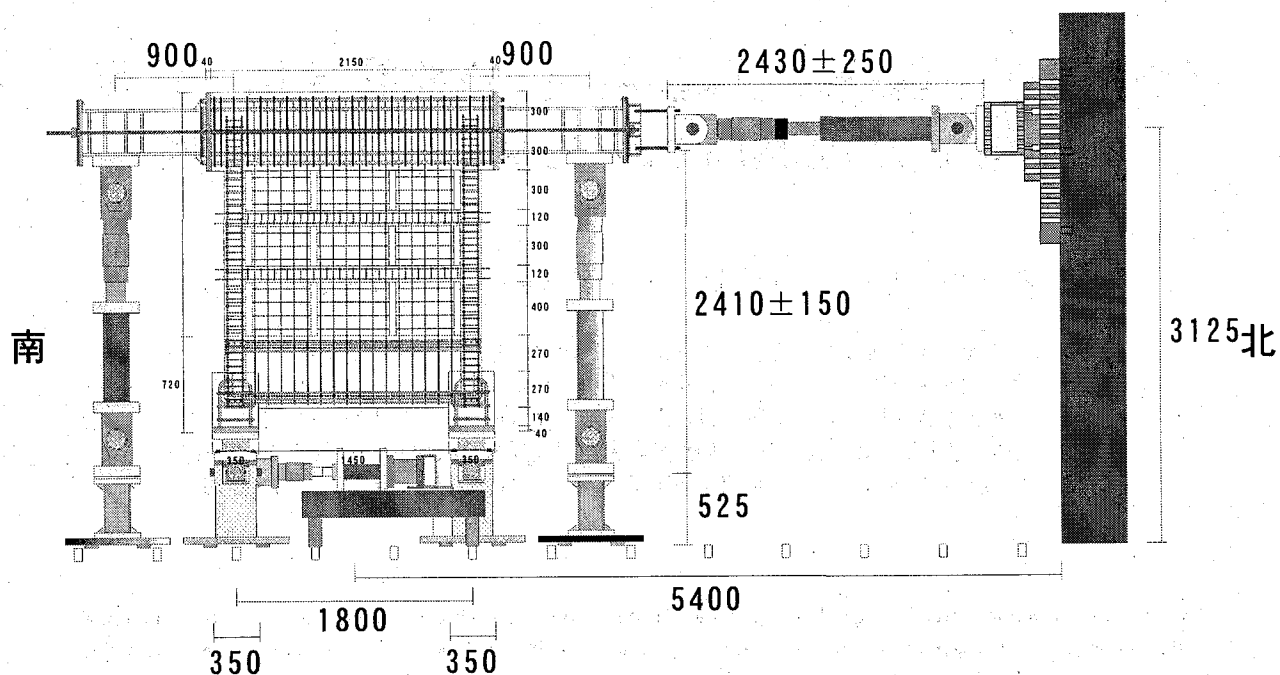


図-1 2体とも共通とした試験体の配筋と荷重装置。プレキャスト壁試験体 PCW は、図中の鉛直スリットがあることのみ、一体打ち壁 MNW と異なる。（単位：mm）

表-1 基礎梁終局強度検討

部材名	鉄筋		配筋比
柱 160*160	主筋	4-D10	1.23%
	せん断補強筋	2-D6@50	0.71%
枠梁 100*120	上段筋	2-D6	0.47%
	下段筋	2-D6	0.47%
壁板 50mm	せん断補強筋	2-φ4@100	0.25%
	縦補強筋	φ4@100	0.25%
杭 350*350	横補強筋	φ4@100	0.25%
	主筋	8-D22	2.48%
基礎梁	せん断補強筋	4-D10@100	0.90%
	上段筋	8-D10	1.36%
100*540	下段筋	8-D10	1.36%
	せん断補強筋	2-D6@100	0.57%
載荷梁 400*600	上段筋	8-D25	1.64%
	下段筋	8-D25	1.64%
床	せん断補強筋	2-D10@100	0.39%
	スラブ筋	φ4@100	0.25%

表-2 鉄筋の材料特性

鉄筋	降伏強度 (MPa)	ヤング係 数(MPa)	引張強度 (MPa)
φ4	499	2.26E+05	587
D6	420	2.04E+05	599
D6	1215	1.97E+05	1326
D10	343	1.71E+05	476
D22	330	1.75E+05	523

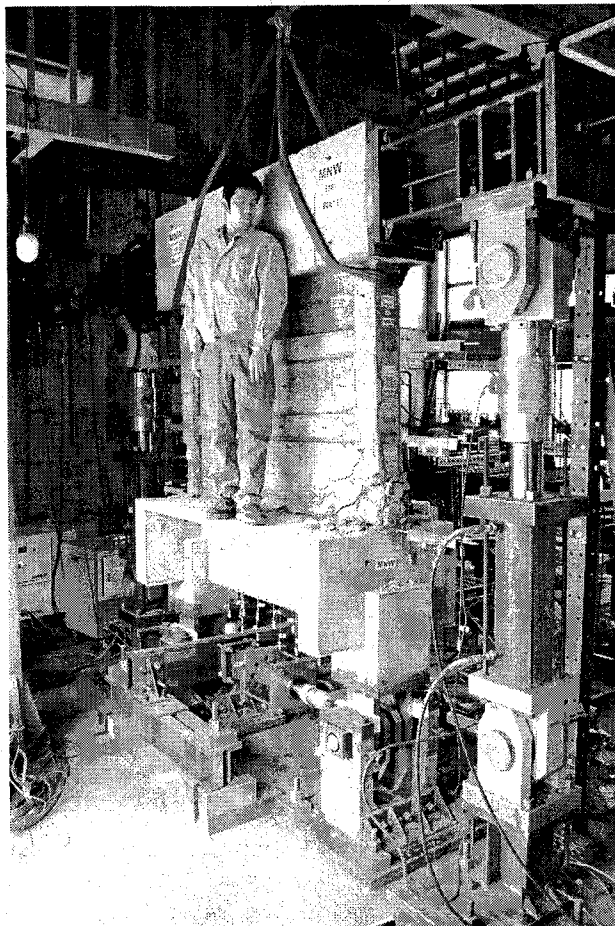


図-2 荷重状況

2. 実験概要

(1) 試験体

2体作製した試験体の配筋は同一で、コンクリートの打設方法のみが異なる。耐力壁が一体打ちであるMNWと、プレキャストパネル壁を想定したPCWである。ただし、プレキャストパネル壁を用いることは試験体製作上困難であった。そこで、PCWでは各層の耐力壁に4箇所、図-1に示す鉛直スリットを設けてコンクリートを打設し、後から鉛直スリット部分に目地モルタルを注入した。つまり、鉛直接合部は存在するが、水平接合部は存在しない仕様となっている。

両試験体とも、壁脚が基礎梁よりも先に曲げ降伏するように設計した。また、基礎梁の入力を十分大きくして終局状態までの損傷を確認する目的で、杭は弾性範囲に収まるように設計した。

用いた鉄筋詳細を表-1に、鉄筋の力学的性質を表-2に示す。また、コンクリートは、最大骨材粒径15mm、呼び強度32MPa、スランプ値15cmであった。

(2) 実験装置

載荷装置を図-1に、載荷状況を図-2に示す。載荷においては、上部の載荷梁北側に接続されたジャッキを引く方向（北への載荷）を正方向載荷と定義した。正方向加力時には、上部ジャッキに固定されたPC鋼棒を通して力は南側側面の耐圧盤から載荷梁南側を通して試験体へと伝達される。負方向加力時には、上部水平ジャッキの力は、北側耐圧盤・載荷梁北側から試験体へと伝達される。

試験体の北側の杭は想定した反曲点位置でピン支持とし、南側の杭は反曲点位置でローラ支持とした。ただし、下部の水平ジャッキを操作することで、圧縮側の杭が全水平せん断力の70%、引き抜き側の杭が残り30%の水平せん断力を負担するものとした。

また、13階建想定建物上部構造の地震層せん断力分布をAi分布と仮定し、このときの壁脚でのベースシア力及び転倒モーメントとの関係と等価になるように鉛直方向のジャッキを水平力に依じて変動させた。

載荷の制御方法については、スラブ上面から測定した載荷梁位置での全体変形角が0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1%、2%、3%で各2回ずつ繰り返す変位制御とした。

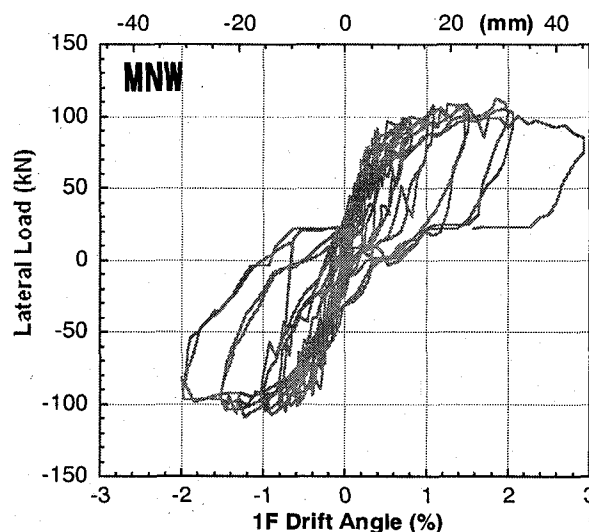
3. 実験結果及び考察

(1) 水平力-載荷位置変形角関係

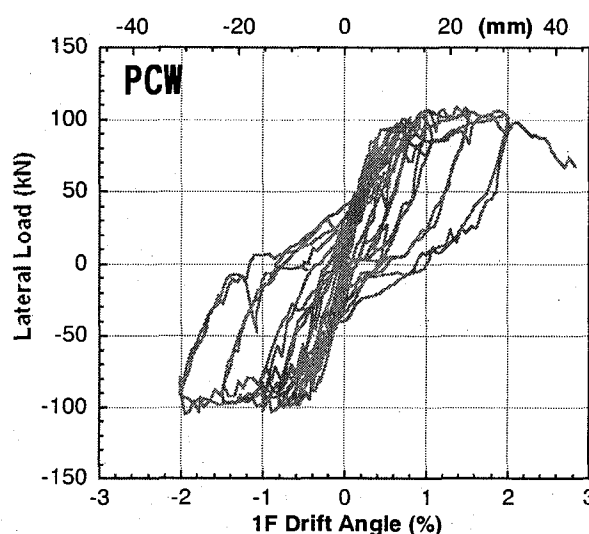
図-3に載荷で得られた水平力-載荷位置変形角関係を示す。載荷位置変形角は、載荷梁の載荷点高さの基礎スラブ上面に対する相対水平変位を高さ1540mmで除して得られた値である。

両試験体ともに、予想した壁脚の曲げ耐力125kNを

下回った。また、耐力最大値は、変形角で1%と2%の間に位置しどちらも比較的じん性的な挙動を示した。プレキャスト壁を用いたPCWでは、各層4つの鉛直接合部のうち、外側の鉛直接合部での相対滑りが、目視でも確認できるほど大きかったため、剛性や耐力に影響を及ぼすかとも思われたが、図-3ではそれほどの違いは認められない。どちらかという、一体打ち壁を有するMNWのほうがピンチ型になっている。



(a) 一体打ち壁試験体 MNW



(b) プレキャスト壁試験体 PCW

図-3 水平力-載荷位置変形角関係

(2) 破壊性状

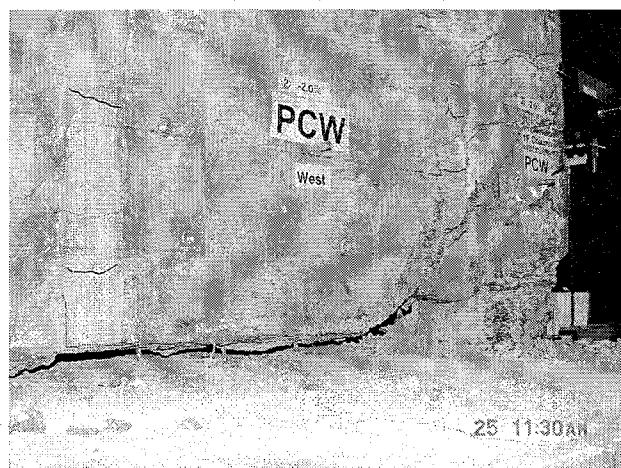
両試験体共、壁脚の曲げひび割れが先行し、曲げひび割れが、45°下方に向かって壁とスラブの打ち継ぎ面の剥離へと進展した。一体打ち壁試験体 MNW の場合は、図-4(a)に示すように、2本の大きな曲げひび割れが生成された。プレキャスト壁試験体 PCW の場合は、主な曲げひび割れは図-4(b)に示すように1本のみであった。プレキャスト鉛直接合部の目地位置では、水平方向のひび割れがかなり観察

されたが、これらは壁パネルへ進展することは少なかった。

載荷位置変形角で 1% を超える頃から、圧縮柱基部に圧壊が観察されるようになった。また、この変形角までは、引張で反対側が透けて見えるほど開いたひび割れは、圧縮を受けると 0.1 mm を下回るまで閉じていた。しかし、この変形角を境に、圧縮に転じてもひび割れ幅が 0.2 を超えるようになってきた。ひび割れに沿ったせん断滑りにより、ひび割れが元通りに閉じなくなってきた。



(a) 一体打ち壁試験体 MNW



(b) プレキャスト壁試験体 PCW

図-4 基礎梁曲げ破壊先行型の破壊性状

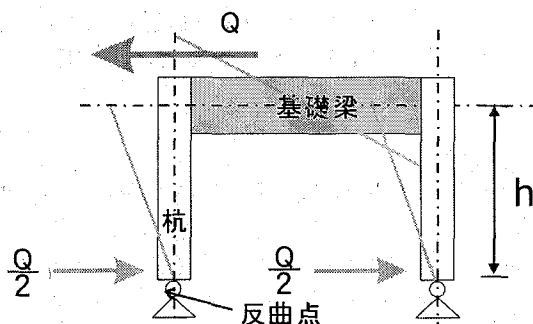


図-5 基礎構造の応力分布

(3) 基礎梁軸鉄筋ひずみ分布

現在、基礎梁の軸力がもっとも大きくなるような計算の仮定を図-5に示す。上部の水平せん断力は、壁脚の圧縮部である柱部分を通して全て基礎梁に伝達され、伝達された水平せん断力は、2本の杭で等しく抵抗されるとするものである。この場合、基礎梁には杭からの曲げ戻し応力 M と水平せん断力 $Q/2$ が作用することになる。

実験中に、図-5に示す抵抗機構の妥当性と、こうした抵抗機構がどの時点で現実的なモデルになるのかを確認することが一つの目的であった。そこで、基礎梁主筋には多数の歪ゲージを貼付し、基礎梁の変形自体も外部の変位形で計測し、壁からのせん断力や杭による曲げ戻し等がどれだけ基礎梁で抵抗されていたかを観察できるようにした。これらの課題に関しては、実験結果を詳細に解析する必要がある。

3. 結論

本研究では、基礎梁の設計において、杭からの曲げ戻し応力 M と水平せん断力 $Q/2$ を別々に検討する方法の妥当性を確かめ、一体打ち壁とプレキャスト壁が基礎梁の挙動に与える影響を観察する目的で、1/6 寸法の試験体 2 体を用いた実験を行った。現在、載荷実験を終了し、これから実験結果の検討を行う予定である。基礎梁を含めた基礎構造部分と上部構造物の相互作用を考慮した水平力伝達機構の解明を行い、基礎梁の合理的かつ経済的設計法を提案するものとする。

参考文献

- 1) 平田昌宏、奈良岡誠也、金裕錫、真田靖士、松本和行、壁谷澤寿海、倉本洋、福田俊文、加藤敦、小川信行：耐震壁を有する鉄筋コンクリート造ピロティ建物の震動実験（その 1～その 4）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.705-712、2001 年
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説、1999 年
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度計算法—、1999 年
- 4) 日本建築センター：中高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計施工指針・同解説、1987 年