

論文

[2205] プレキャスト造連層耐震壁鉛直接合部の挙動に関する実験的研究

五味 学\*<sup>1</sup> 壁谷澤 寿海\*<sup>2</sup> 倉本 洋\*<sup>3</sup>

1. 序文

既往のプレキャスト耐震壁の鉛直接合部に関する実験は1層の試験体あるいは多層試験体でも頂部集中加力で行われてきており、各層でせん断応力度が異なる場合の挙動は把握されていない。連層耐震壁の下層では、上部に連続する耐震壁の効果により、応力度が要素実験等で得られた応力度レベルに達しても顕著にはすべらないことが考えられる。また、すべりによる耐力低下は少なく、構造物全体の挙動に本質的な影響を与えないことが予想される。本研究では、水平外力の分布およびレベルが鉛直接合部のすべり挙動に与える影響を明らかにするために、各層分布の水平力を受ける連層耐震壁の静加力実験を行った。耐震壁の実験と同時に同じ詳細の接合部要素実験も行い、接合部の挙動の関連性を検討した。また、耐震壁の鉛直接合部の接合筋は、施工性を考慮して、梁筋のみとし、壁筋は接合しない配筋とした。

2. 試験体及び使用材料

試験体は、実際の建物の約1/3スケールとし、分布荷重で载荷した3層試験体2体(PW-1、PW-3)、頂部集中荷重で载荷した2層試験体1体(PW-2)1体の合計3体である。各試験体の一覧を表1に、試験体の形状及び配筋図を図1に示す。試験体PW-1とPW-2の水平断面は共通であるが、試験体PW-3では曲げ降伏強度を高めるため主筋量を増やしている。試験体に使用した材料の力学的性質を表2に示す。壁筋は、鉛直接合部には定着せず、プレキャストパネル内の端部でフックを設けた。梁主筋は、通し筋として梁端部において加力プレートに溶接した。

プレキャスト部材を想定した柱、梁、壁パネル部分を先に打設し、柱内のり面から壁板に壁厚幅で設けた鉛直接合部部分をスタイロフォームにより形成し、この部分を4日後に打設した。

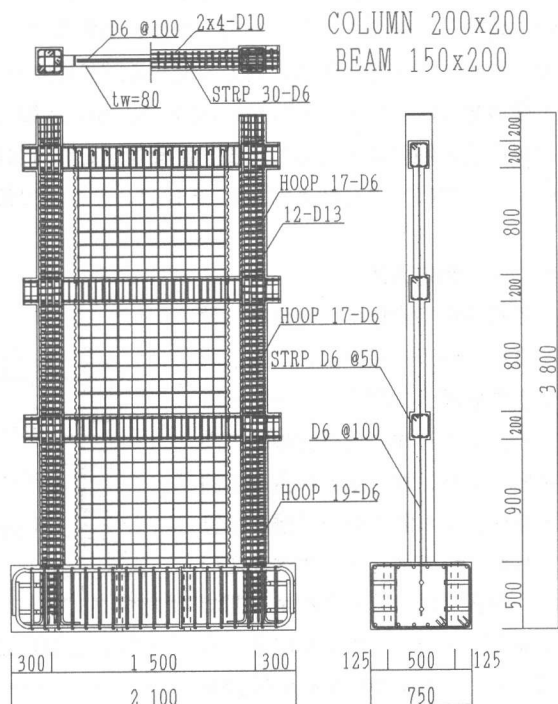


図1 連層耐震壁試験体

- 1) 株式会社日本設計、工修(正会員)
- 2) 横浜国立大学助教授、工学部建設学科建築学教室、工博(正会員)
- 3) 横浜国立大学助手、工学部建設学科建築学教室、工博(正会員)

鉛直接合部両面には、シアキー（深さ10mm、ピッチ25mm）を設けた。本実験では鉛直接合部の挙動を把握することに焦点を絞ったので、水平接合部は設けず、プレキャスト部分および鉛直接合部はそれぞれ1層から3層まで連続したものとなっている。

### 3. 実験方法

#### 3.1 加力方法

加力装置を図2に示す。鉛直接合部に圧縮力が作用しないように、門型加力フレームを反力とする左右のオイルジャッキによって同じ大きさの圧縮および引張の水平力を載荷した。軸力は、ピンとローラーを介して門型加力フレームの梁部分で反力をとり、柱頂部に固定したオイルジャッキにより一定軸力を加えた。水平力は、試験体PW-1では3層に等分布荷重、PW-2では2層に集中荷重、PW-3では3層に逆三角形分布の荷重とした。表1にこの加力条件も示した。試験体PW-1とPW-2の（計算）曲げ強度は同じであるが、主筋、軸力の異なる試験体PW-3の曲げ強度（モーメント）はこの約1.5倍、1層のせん断力で約1.3倍となっている。加力制御は基礎上面に対する最上層の加力位置の相対水平変位を制御変位とした正負交番繰り返し載荷法により行なった。変形部材角  $R$  (rad) =  $\pm 1/400$ 、 $\pm 1/200$ 、 $\pm 1/133 \pm 1/100$ 、 $\pm 1/67$ 、 $\pm 1/50$  で各2回繰返した。

#### 3.2 測定方法

各層の水平変形は、変位計（精度 1/100mm）で梁の中央高さ、両側柱中央部分で測定し、平均値とした。また、柱中央位置の軸方向変形により、水平変形に占める曲げ変形、せん断変形を分離して算定した。鉛直接合部のすべり変形は、各層で柱部分と壁パネル間で上部と下部の2ヵ所と柱部分と梁部分の1ヵ所において鉛直接合部を挟んだ2点間で測定した。

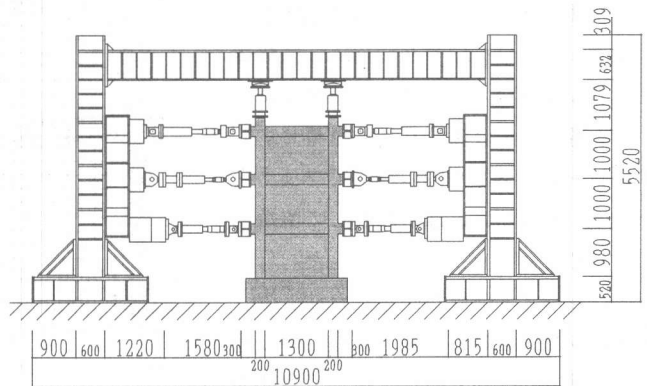


図2 加力装置

### 4. 実験結果の概要

#### 4.1 破壊状況

各試験体の終局強度時のひび割れ状況を図3に、各ひび割れ荷重時と最大耐力時の全せん断力と変形の間係を表5に示す。それぞれの試験体の破壊経過を以下に示す。

表1 試験体一覧

試験体	層数	柱主筋	荷重分布	軸力
PW-1	3	12-D10	等分布	72 tonf
PW-2	2	12-D10	頂部集中	72 tonf
PW-3	3	12-D13	逆三角形	88 tonf

表2 材料の性質

鉄筋	断面積 cm <sup>2</sup>	降伏強度 tonf/cm <sup>2</sup>	最大強度 tonf/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 kgf/cm <sup>2</sup>
D-13	1.27	3.55	4.43	1.87×10 <sup>6</sup>
D-10	0.71	3.53	4.49	1.81×10 <sup>6</sup>
D-6	0.32	3.76	5.42	1.79×10 <sup>6</sup>

コンクリート 部位	材令 日	圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	引張強度 kgf/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 kgf/cm <sup>2</sup>
柱 梁	62	333	0.26	2.48×10 <sup>5</sup>
壁パネル	106	316	0.23	2.62×10 <sup>5</sup>
接合部	58	334	0.21	2.60×10 <sup>5</sup>
	102	341	0.24	2.65×10 <sup>5</sup>

**PW-1 試験体**  1 サイクル正加力時に全水平力が 24tf 付近で、1 層の壁パネルの隅角部にせん断ひび割れが発生した。その後の荷重の繰返しでは、1 層では壁板に対角線に伸びるせん断ひび割れが多く発生し、側柱では、柱脚から徐々に上部に向かって曲げひび割れが発生したが、2 層以上への大きなせん断ひび割れおよび、曲げひび割れの発生はなかった。1 階鉛直接合部では多少すべりが生じたが顕著な接合部破壊はみられず、計算曲げ強度を一体打ち試験体と同様にかなり上回る安定した耐力を保持し変形角が1/67から1/50への加力途中で1階壁パネル脚部でコンクリートが圧壊し最終破壊に至った。

**PW-2 試験体**  水平力が 30tf 近辺で、2 層の壁パネルにせん断ひび割れが発生し、それと同時に2層梁部分でせん断ひび割れが発生した。1 サイクルのピークには、2 層梁端部の鉛直接合部で鉄筋が降伏し接合面のすべり変形が進んだ。その後のサイクルで、壁板には、加力点から1層壁脚に向かう対角線方向にせん断ひび割れが多く発生した。曲げ終局時の1階の水平せん断力レベルは、PW-1と概ね同様で、通常の設計では鉛直接合部の設計用せん断力と同じであるが、最終的には2層柱-梁接合部で顕著な破壊を生じ、さらに1層の柱-梁接合部付近の壁板の圧壊が進み、耐力もPW-1より低いものとなった。

**PW-3 試験体**  全水平力が 37.5tf 近辺において壁パネルの隅角部にせん断ひび割れが発生し、3 サイクルのピーク ( $R=0.005$ ) に、2 層の柱-梁の鉛直接合部打継面に亀裂が生じ、5 サイクルのピーク ( $R=0.0075$ ) には2層の壁パネルにせん断ひび割れが、発生した。設計での予想どおり全層の接合部で徐々にすべりが生じ、それにより計算曲げ強度を上回る比率はPW-1より低いものとなった。

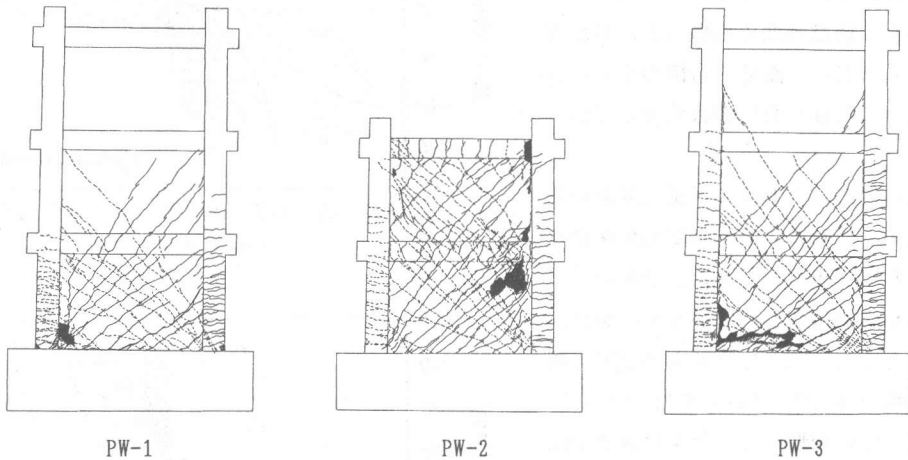


図3 終局時ひび割れ図

表5 各種強度時のせん断力と変形角一覧

	PW-1		PW-2		PW-3	
	せん断力 Q (tonf)	部材角 R ( $10^{-3}$ rad)	せん断力 Q (tonf)	部材角 R ( $10^{-3}$ rad)	せん断力 Q (tonf)	部材角 R ( $10^{-3}$ rad)
曲げひび割れ			35.6	0.83	21.7	0.22
剪断ひび割れ	24.1	0.12	28.6	0.45	44.1	0.83
曲げ降伏	62.1	2.51	54.8	3.57	69.3	3.95
最大耐力	65.3	7.49	60.0	10.01	71.5	6.34

#### 4. 2 復元力特性

全体の水平変位（3層での水平変形から求めた部材角）とせん断力の関係を図4に、計算曲げ強度のレベルとともに示した。PW-2では、試験体のシアスパン比、側柱主筋量及び軸力比が、PW-1と同等のレベルとなっており、計算曲げ強度のレベルが共通しているが、実験値が計算値を上回る比率が、PW-1に比べ低いものとなっている。これは、PW-1が連層耐震壁として上層の壁の効果が表われていると考えられる。さらにPW-2の履歴特性は、破壊状況からもわかるように変形が進むにつれて、せん断スリップモデルに似た特性となっている。PW-3では、側柱主筋量が多く、軸力比も高く設定していることから、計算曲げ強度が高くなっている。しかし計算曲げ強度を上回る比率は、全層での鉛直接合部のすべり等の影響などによりPW-1にくらべ多少低くなっているが、履歴特性では概ね安定した挙動を示しており、鉛直接合部のすべりによる全体の挙動への影響は大きくなかった。

側柱の軸方向変形から各測定区間の曲率を求め、これによる水平変形角を曲げ変形として算出した。また、全体の水平変形角から曲げ変形を除いたものをせん断変形とした。図4ではせん断変形の履歴を破線で示した。PW-3では、PW-1に比べて、曲げ変形成分の比率は大きくはない。また、鉛直接合部においてすべり変形が若干大きいPW-3では、接合部すべりが生じて、全体の変形に対して曲げ変形成分がほとんどである。しかし、PW-2では、終局時の曲げ変形成分は増加せず、鉛直接合部の破壊により、せん断変形が支配的な破壊モードとなっていることがわかる。

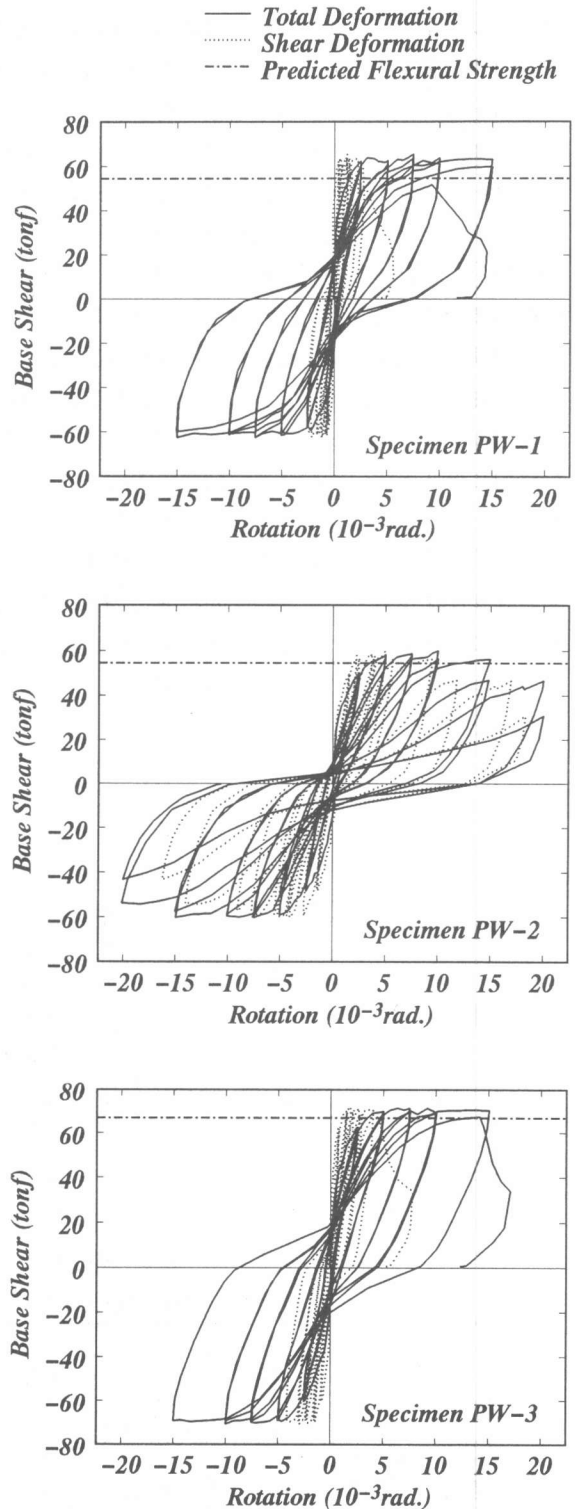


図4 復元力特性

## 5. 接合部要素実験と鉛直接合部の挙動

### 5.1 接合部要素実験

連層耐震壁の鉛直接合部の挙動を検討するために、接合部のS型要素試験体を同時に作成して、せん断応力度とすべり変形の関係を明らかにした。図5に示すように、要素試験体は、連層耐震壁の鉛直接合部と、幅、シアスキー面、接合筋等はいずれも共通で、コンクリートも同時に打設した。接合部補強筋は、2-D6 (NO.3)、2-D10 (NO.1、NO.4)、4-D10 (NO.2)、6-D10 (NO.6) の4種類とした。耐震壁の鉛直接合部の面積に対する等価な梁筋量に対応するのは2-D10の試験体である。

上部の水平移動を拘束しないように圧縮力を加え、接合部の変形は耐震壁と同様に各接合面のすべり量（接合部幅のせん断変形も含む）を測定した。

主な試験体の荷重-すべり変形関係を図6に示す。

最大せん断応力度も一番低い値となった。鉄筋比が大きい試験体ほど、強度が大きい、破壊モードもやや変化する。すなわち、鉄筋比の少ない試験体(2-D6)ではそれぞれの接合面でのずれ破壊が卓越するが、鉄筋比が大きい試験体(6-D10)では接合部中央のせん断破壊(圧壊)が卓越する。中間の試験体(2-D10、4-D10)では、接合面約2/3のずれと端部の斜めひび割れが連続した破壊面になり、耐震壁試験体の鉛直接合部の破壊性状と概ね似たものになっている。

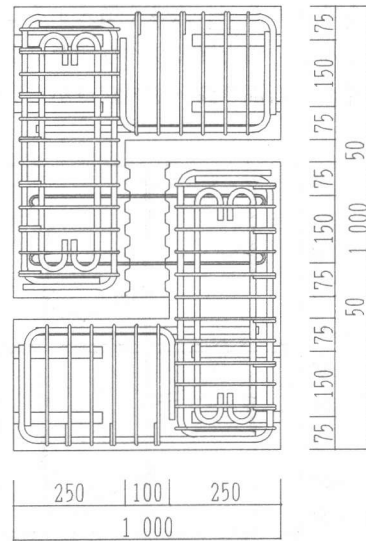


図5 接合部要素試験体

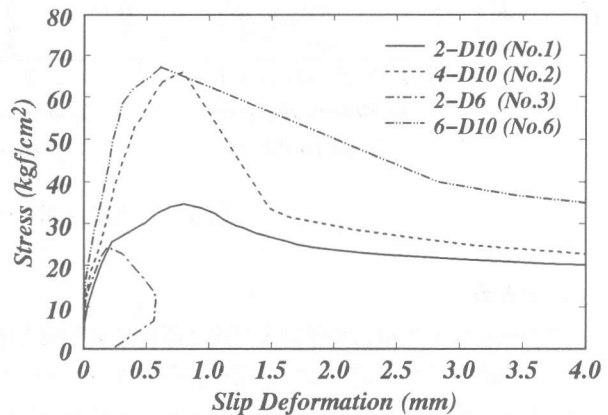


図6 接合部要素実験結果

### 5.2 鉛直接合部におけるすべり変形

連層耐震壁の実験における梁位置での鉛直接合部のすべり変形を図6に示す。PW-3では逆三角分布加力であることより、PW-1に比べ上層でのせん断力レベルが大きく、上層でも生じている。PW-1及びPW-3とも、壁パネル-柱部分の鉛直接合部と梁端部ではすべり変形の量に大きな差はみられない。柱-壁パネル部分の鉛直接合部では、補強筋が無いが、梁筋が等価の補強筋として有効になっている。

連層耐震壁実験の鉛直接合部のせん断応力度を梁理論<sup>[1]</sup>より求め、要素実験結果も同図に比較し図示した。2層で頂部集中加力のPW-2では、鉛直接合部のせん断応力度が等価な要素実験(2-D10)のレベルに達したため、接合部せん断破壊が生じて大きなせん断変形が生じた。3層で等分布加力のPW-1では、最下層はPW-2と同じレベルに達しているが、すべり変形は適度に抑制

されており、連層耐震壁の効果があらわれている。さらにせん断力レベルの高いPW-3でも接合部変形がみられるが、大きく増大することはない。一方、PW-3では梁理論では接合部応力が要素実験より小さい最上層ですべり変形が生じていることに注意する必要がある。以上の挙動については、鉛直接合部の設計法の観点から別報<sup>[1]</sup>で検討している。

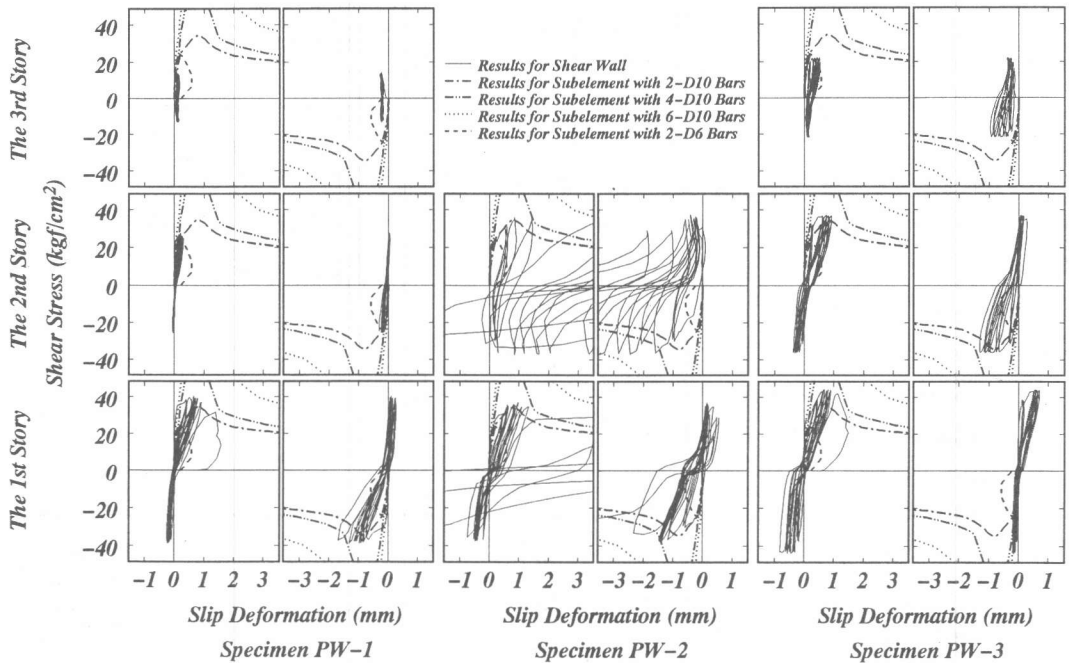


図6 鉛直接合部すべり変形

## 6. まとめ

プレキャスト連層耐震壁および接合部の要素実験を行い、以下の結果が得られた。

- (1) 梁筋のみを接合筋として壁筋を接合しない鉛直接合部をもつプレキャスト連層耐震壁の試験体により、曲げ降伏型の十分に靱性のある挙動が確認された。
- (2) 頂部に水平力を集中して受ける耐震壁（PW-2）では鉛直接合部の破壊が生じたのに対して、曲げ終局時に最下層で同じせん断力レベルとなる分布荷重を受ける連層耐震壁（PW-1）では、上部に連続する耐震壁の効果により、鉛直接合部のすべり変形は十分小さいことが確認された。
- (3) 曲げ理論による鉛直接合部の最大せん断応力度が要素実験によるせん断強度をかなり上回る連層耐震壁（PW-3）でも、ある程度のすべり変形は生じるが、全体の復元力特性には顕著な影響は与えない。

### 《謝辞》

本研究は日米共同研究—プレキャスト耐震構造システムの一部として実施された。関係各位に感謝します。

### 《参考文献》

- [1] 壁谷澤 寿海、倉本 洋、五味 学：プレキャスト造連層耐震壁の鉛直接合部の設計法  
コンクリート工学年次論文集、1993.6