

論文 プレキャスト連層耐震壁の柱-壁鉛直接合部に関する実験的研究

宮原貴昭*1・林 静雄*2・香取慶一*3

要旨：中高層鉄筋コンクリート住宅をプレキャスト化する場合に、柱-壁鉛直接合部に施工性を考えてより簡易な接合法を開発する必要がある。本報は、数種類の接合法に関して行った鉛直接合部分のせん断実験に関するものである。接合法としては、通常の壁水平筋の重ね継手長さを短くしたもの、ループ形状の水平筋を用いたもの、シアコッターのみのものである。実験により、各接合法による最大耐力および履歴形状が得られ、接合部筋としてループ筋を用いた場合およびシアコッターのみの場合の接合部内鉄筋量による最大せん断応力度の推定が可能な資料を得た。

キーワード：鉛直接合部、ループ筋、重ね継手

1. はじめに

一般に中高層鉄筋コンクリート住宅は、桁行方向がラーメン構造で、はり間方向が連層壁式構造となる。このような住宅をプレキャスト化しようとする場合、ラーメンプレキャストと壁式プレキャストの両方の技術開発が必要である。(図1)

本報は、はり間方向の連層耐震壁のプレキャスト化のうち、柱-壁鉛直接合部に関して行った接合部実験についてのものである。

はり間方向連層耐震壁をプレキャスト化する場合、図2に示すような形となり、接合部としては、壁-柱、壁-壁及び床-壁部分となる。壁-壁及び床-壁接合部は、ほぼ一般的な方法が確立されており、既往の研究[1]から設計できる。柱-壁接合部は、現在、高層の場合には壁筋同士を溶接するのが一般的で、より簡易な接合法を図るべきだと考える。

本報は、この柱-壁鉛直接合部について、施工性がよく合理的な接合法を調べようとするものである。

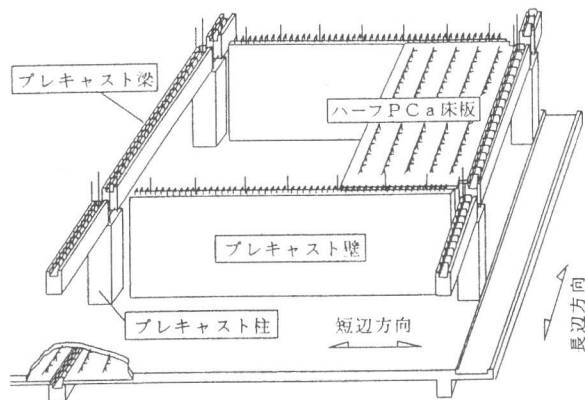


図1 プレキャスト構法概要

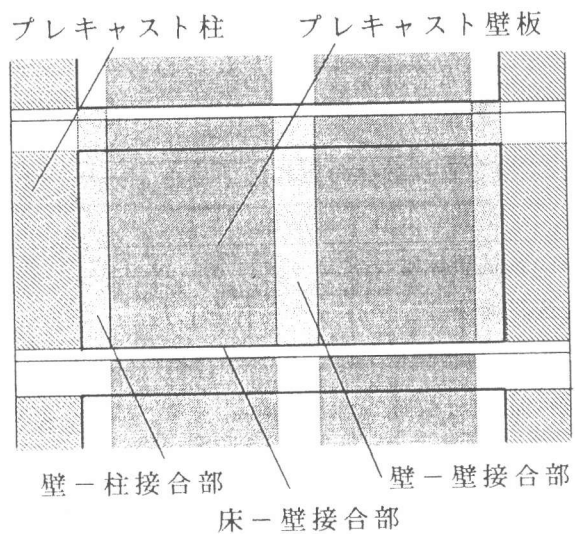


図2 連層耐震壁のプレキャスト化模式図

*1 (株)熊谷組 技術研究所、工修(正会員)

*2 東京工業大学教授 工業材料研究所、工博(正会員)

*3 東京工業大学助手 工業材料研究所、工修(正会員)

2. 実験計画

2.1 試験体

本報では、図2に示すプレキャスト耐震壁とプレキャスト柱の間の鉛直接合部を対象として、せん断実験を行う。

表1に、試験体の諸元一覧を、図3に、試験体の形状（No. 3）及び接合部形状を各試験体についてそれぞれ示す。

試験体寸法は、実大の約1/3のスケールとし、鉛直接合部部分の上下にスタブを取り付けた形状とした。

試験体は、比較用の一体打ち試験体と接合部形状により3種類に分類され、一体打ち試験体1体（No. 1）、接合部に重ね継手を用いたプレキャスト試験体2体（No. 2、8）、ループ筋を用いたプレキャスト試験体2体（No. 3、4）、接合部内には鉄筋を用いずシアコッターのみのプレキャスト試験体3体（No. 5、9、10）の計8体とした。

鉛直接合部の性状に梁主筋が影響すると考え、各試験体とも梁主筋を模擬したつなぎ筋を接合部の端部に配筋した。

No. 2、8試験体の重ね継手長さは、 $L=10d$ （ d ：鉄筋径）とし、No. 2試験体はシアコッター無、No. 8試験体はシアコッター有とした。

ループ筋試験体では、想定した壁筋相当のループ筋を配筋した。

シアコッターのみの試験体については、梁模擬筋に加えて壁水平筋量相当のつなぎ筋を配筋したNo. 5試験体、壁水平筋量の2/3相当を配筋したNo. 9試験体、壁水平筋量の1/3相当を配筋したNo. 10試験体とした。

表1 試験体諸元一覧

試験体	種類	接合部形状	つなぎ筋 (片側)	接合部幅 (cm)
No. 1	一体打		2-D6	8
No. 2	PC	重ね継手 ($L=10d$)	2-D6	8
No. 8	"	重ね継手 ($L=10d$) +コッター	2-D6	8
No. 3	"	ループ筋 (同一)	2-D6	8
No. 4	"	ループ筋 (交互)	2-D6	8
No. 5	"	コッターのみ	2-D16	8
No. 9	"	"	2-D13	3.3
No. 10	"	"	2-D10	3.3

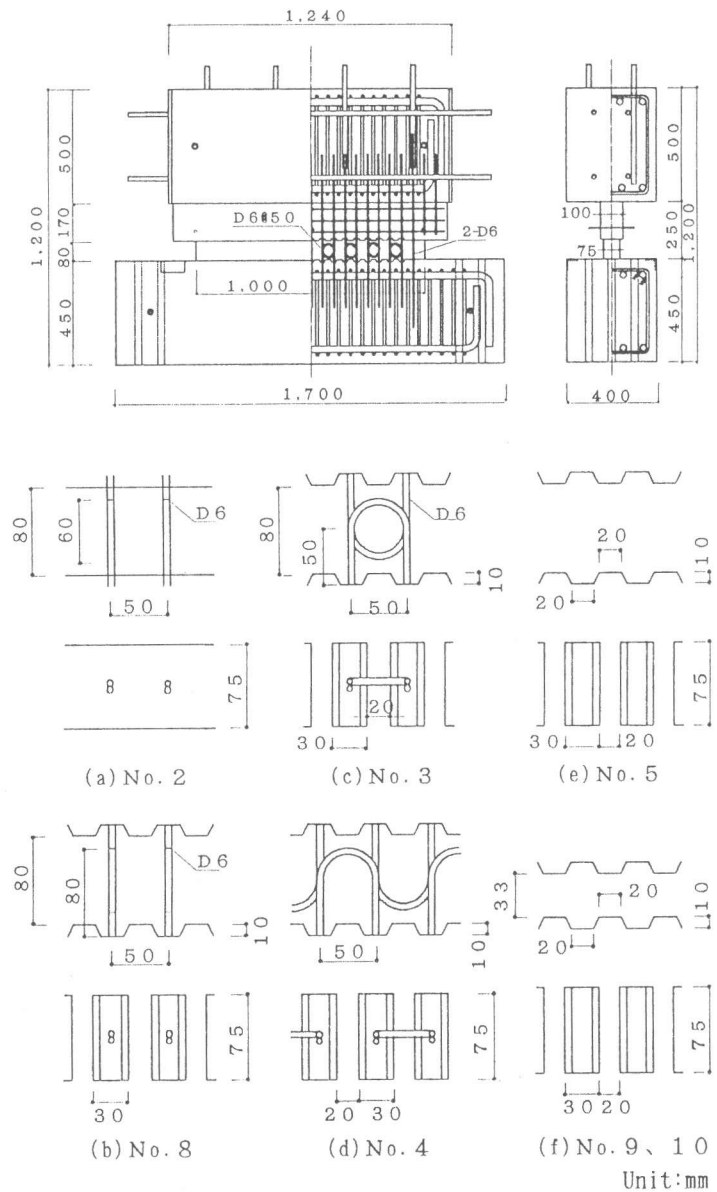


図3 試験体形状（No. 3）および接合部形状

2.2 使用材料

使用した鉄筋の材料試験結果を表2に、また、コンクリートの材料試験結果を表3にそれぞれ示す。コンクリートはすべて普通コンクリートで、設計基準強度は、35.3MPaとした。

2.3 加力方法

図4に加力装置の概要を示す。

加力は、左右の荷重が同じになるように制御して、オイルジャッキにより、正負交番繰り返し純せん断力を載荷した。純せん断状態で加力を行うために、試験体上部に平行クランクを用いた。

繰り返しは、せん断応力度が0.1Fcとなるせん断力265kNをベースにし、その1/4、2/4、3/4を基本とした。ただし、水平変形(すべり)が1mmを超えた場合には、変形により制御した。

2.4 測定方法

図5に測定方法の概要を示す。

測定は、変形計により水平変形及び接合部の開き(鉛直変形)、また、歪みゲージにより、接合部内鉄筋の端部歪みを測定した。

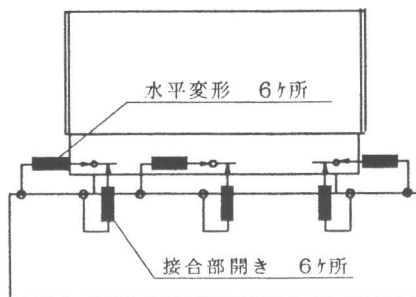


表2 コンクリートの材料試験結果

試験体		圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	ヤング係数 $\times 10^4$ (MPa)
No. 1 ~ No. 5	接合部	41.0	2.94	3.20
	PC部	43.3	2.94	3.60
No. 8 ~ No. 10	接合部	38.6	2.94	3.15
	PC部	38.6	2.94	3.15

表3 鉄筋の材料試験結果

鉄筋	降伏強度 (MPa)	最大強度 (MPa)	ヤング係数 $\times 10^5$ (MPa)
D6	391.7	472.2	1.69
D10	364.6	491.5	1.90
D13	372.7	546.7	1.81
D16	360.9	529.1	1.82

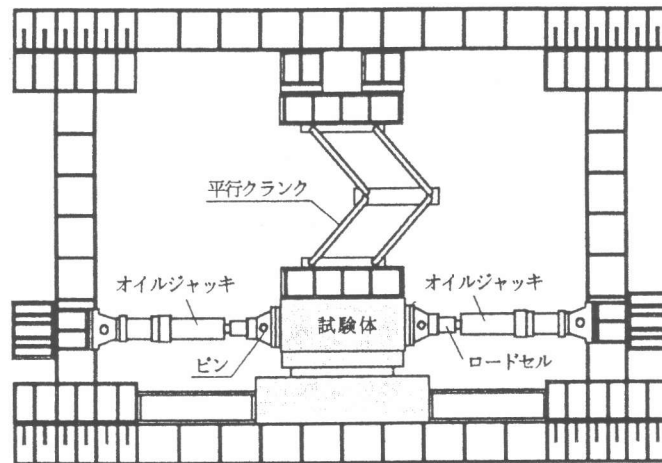
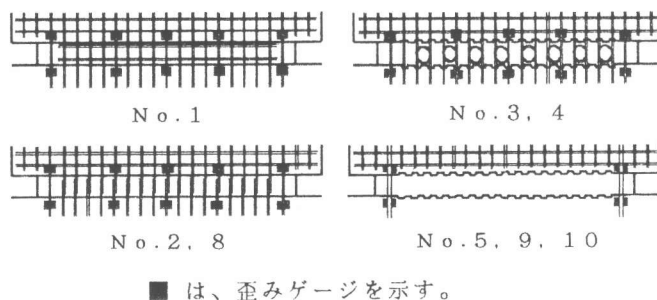


図4 加力装置



■ は、歪みゲージを示す。

図5 測定方法

3. 実験結果

3.1 最大耐力

No. 2～10 試験体とも、接合面で、せん断破壊をしており、接合部幅による破壊性状の違いも、見られなかった。

表4に各試験体の最大耐力・せん断応力度とその時の変形結果を示す。

No. 1 試験体は、最大強度時のせん断応力度が、4.2 MPaで、最大強度時の水平変形（測定した6点の平均水平変形を指す。以下同じ）が他の試験体より大きくなっている。

重ね継手試験体（No. 2, 8）では、シアコッターの有無により、約70 kNの差が見られた。No. 8 試験体で、一体打ち試験体の約70%の最大耐力である。シアコッターの無いNo. 2 試験体は、最大強度時及び最初の132 kN時の水平変形がともにコッターの有るNo. 8 試験体と比較してかなり大きく、コッターの有効性が確認できる。

ループ筋を用いた試験体は、ループ筋が同一及び交互の位置に配置したことによる最大耐力の違いは見られないが、最大耐力時の変形量には、若干の違いが見られた。両試験体共、一体打ち試験体の約73%の最大耐力である。

シアコッターのみの3体の試験体では、つなぎ筋量が多いほど最大耐力も大きくなっている。最初の132 kN時の水平変形は3体共に違いは見られなかった。つなぎ筋量の多いNo. 5 試験体で、一体打ち試験体の約84%の最大耐力である。

3.2 荷重-変形関係

図6に一体打ち試験体（No. 1）のせん断力と水平変形の関係を示す。最終ループの負荷荷で耐力低下があった以外は、急激な耐力低下はなかった。

表4 実験結果一覧

試験体	最大強度		最大強度時 水平変形 (mm)	最初の132kN 時の水平変形 (mm)	最大強度時 鉛直変形 (mm)
	せん断力 (kN)	せん断応力度 (MPa)			
No. 1	314.6 -265.6	4.20 -3.54	2.76 -0.54	0.04	3.07
No. 2	148.0 -155.8	1.97 -2.08	1.11 -0.98	0.45	0.05
No. 8	226.4 -104.9	3.02 -1.40	0.35 -0.68	0.10	0.29
No. 3	228.3 -135.2	3.05 -1.80	0.31 -0.05	0.09	0.21
No. 4	230.3 -133.3	3.07 -1.78	1.35 -0.10	0.11	1.59
No. 5	264.6 -263.6	3.53 -3.46	0.35 -0.38	0.10	0.05
No. 9	203.8 -133.3	2.72 -1.76	0.66 -0.10	0.09	1.02
No. 10	133.3 -121.5	1.78 -1.62	0.14 -0.98	0.14	0.13

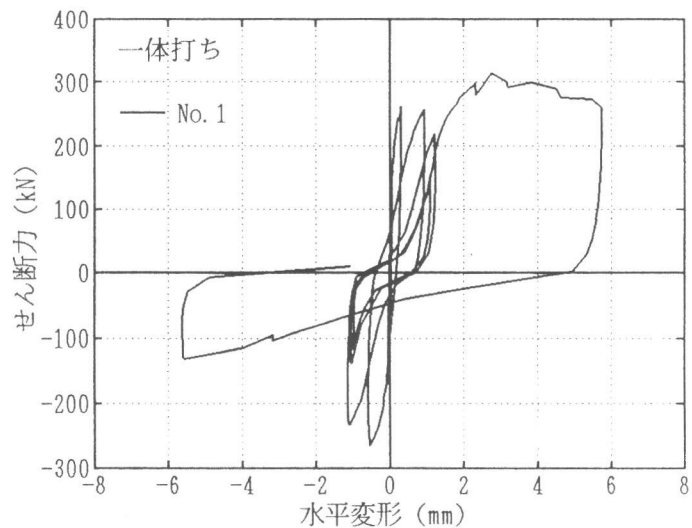


図6 荷重-変形関係（一体打ち）

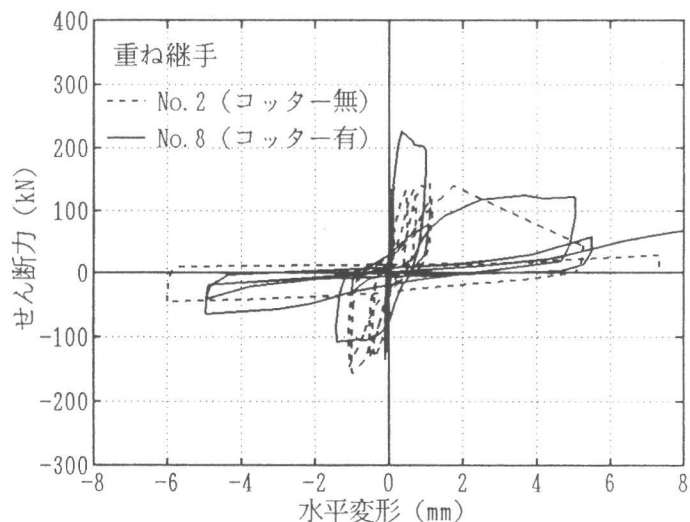


図7 荷重-変形関係（重ね継手）

図7に重ね継手を用いた試験体のせん断力と水平変形の関係を示す。

コッターの有無により耐力の差は見られるが、接合面にひび割れが発生し、コッターがせん断力を負担できなくなったと考えられる大きな変形時では、ほぼ同様なループを描いており、鉄筋のダボ効果により水平力を負担していると考えられる。

図8にループ筋を用いた試験体のせん断力と水平変形の関係を示す。

ループ筋の同一及び交互位置という配筋の違いによる履歴の違いは、最大耐力付近の形状に若干の相違が見られるもののほとんどなかった。

図9にコッターのみの試験体のせん断力と水平変形の関係を示す。

つなぎ筋量の違いにより耐力にも違いがみられ、鉄筋量で接合部の最大耐力・変形性能が左右されると考える。

3.3 接合筋及び拘束筋の降伏状況

図10に、接合筋及びつなぎ筋の降伏状況を模式的に示す。降伏状況は、接合筋に貼付した2枚の歪ゲージの平均値で引張降伏を、その差でせん断降伏を判定した。

一体打ち試験体 (No. 1) では、つなぎ筋及び壁筋の両者とも引張・せん断降伏している。

重ね継手を用いたNo. 2、8試験体では、つなぎ筋は、引張・せん断ともに降伏しているものの重ね継手筋は、引張降伏はしておらず、せん断降伏している。このことから、今回の重ね継手長さでは、鉄筋のダボ効果でせん断力を負担しているものと考えられる。

ループ筋を用いた試験体は、No. 3、4試験体ともつなぎ筋は、引張・せん

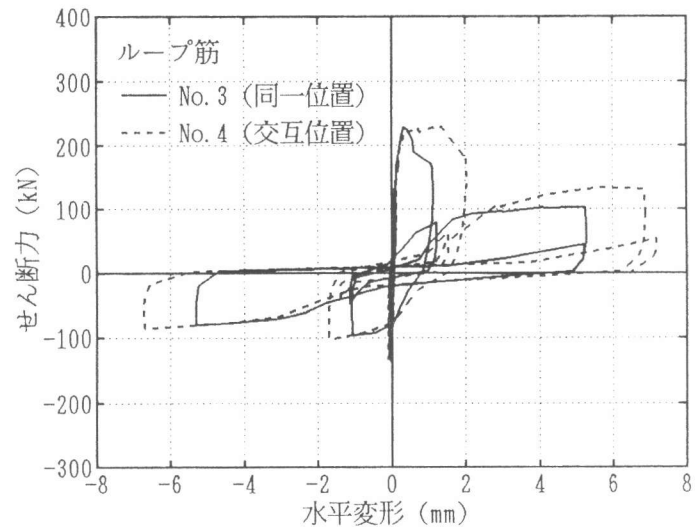


図8 荷重-変形関係 (ループ筋)

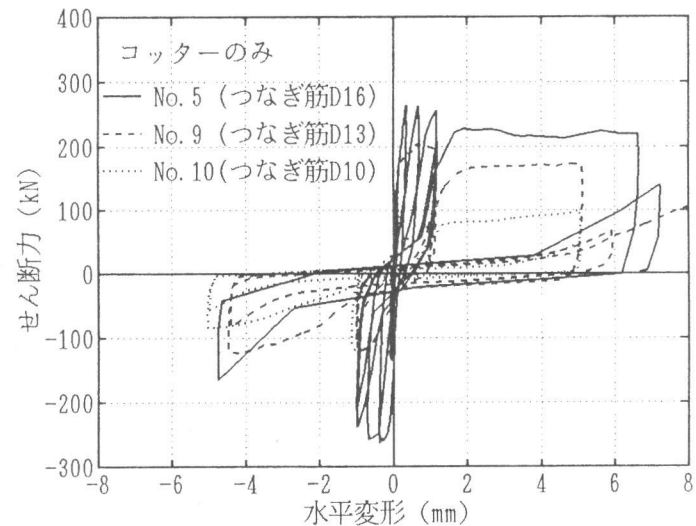


図9 荷重-変形関係 (コッターのみ)

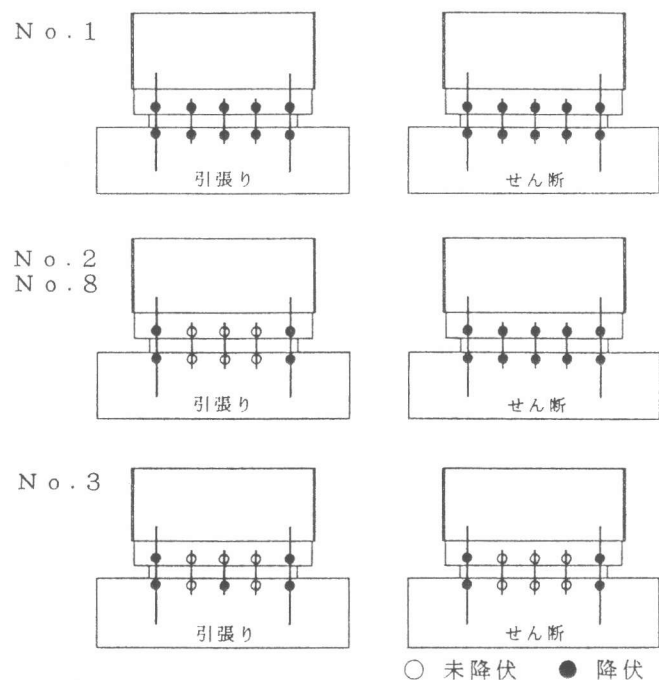


図10 鉄筋の降伏状況模式図

断ともに降伏しているが、ループ筋は、引張・せん断ともに降伏しておらず、一体打ち試験体との相違がみられる。

シアコッターのみの試験体は、つなぎ筋は、引張及びせん断ともに降伏しており、3種類の試験体のつなぎ筋量及び鉄筋径を考えると鉄筋が負担しているせん断力の違いが接合部の性状に大きく影響している。

4. 実験結果の検討

4.1 せん断応力度－鉄筋量関係

図11に、最大せん断応力度とつなぎ筋を含めた鉄筋量との関係を示す。

シアコッターのみの3種類の実験結果をみると、せん断応力度が鉄筋量に、ほぼ比例している。ループ筋を用いたNo. 3, 4試験体のせん断応力度を同時に示す。ループ筋の実験結果は、シアコッターのみの試験体の実験結果を結んだ直線上に、ほぼのっている。

このことから、プレキャスト壁部材の配筋量が、本報の接合部鉄筋量と違う場合でも、接合部鉄筋量に対する最大せん断応力度を、図11より推定可能であり、鉛直接合部に必要な強度に応じた配筋設計が可能である。

5. まとめ

以上の実験結果から次の結論を得る。

- 1) 接合筋に重ね継手長さ $L = 10d$ を用いた試験体は、コッターの有無により、最大耐力に違いがあるが、コッターが機能しなくなる変形では、鉄筋のダボ効果によりせん断力を負担している。
- 2) 接合筋にループ筋を用いた試験体は、ループ筋の配筋方法（同一あるいは交互の位置）による違いは見られなかった。
- 3) 接合部がコッターのみの試験体は、端部に配筋したつなぎ筋の鉄筋量によって、鉛直接合部の最大耐力及び変形性能に違いが見られた。
- 4) ループ筋及びコッターのみの接合部形状に対して、接合部内の鉄筋量により鉛直接合部の最大せん断応力度の推定が可能である。ただし、コッターのみでは、梁内と壁脚につなぎ筋の配筋が必要である。

[参考文献] [1] 日本建築学会：プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工、1986

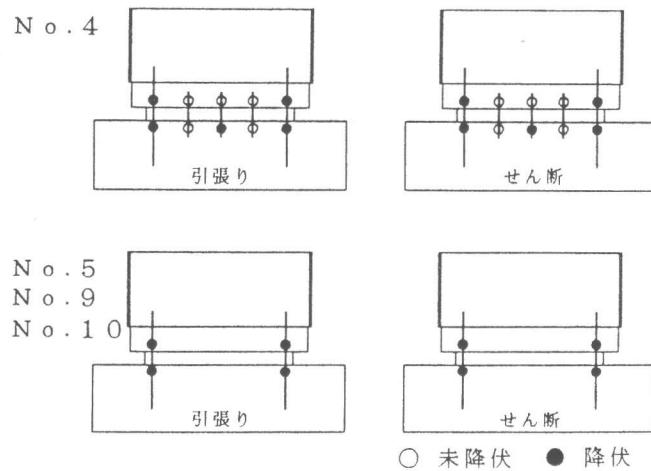


図10 鉄筋の降伏状況模式図

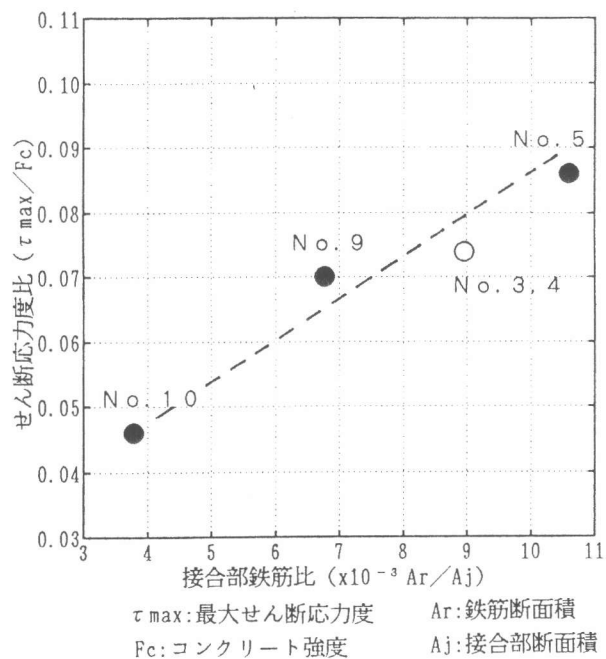


図11 せん断応力度－接合部鉄筋量関係

論文 滑りを完全に拘束したプレキャスト・プレストレスト コンクリート耐震壁の破壊性状と強度評価

望月 洵^{*1}・倉持 春夫^{*2}・高見 徹也^{*3}・藤野 一郎^{*3}

要旨：本研究は、柱とPCaパネルの滑りを完全に拘束したPCa・PC耐震壁、およびリブつきPCaパネルを柱との間にスリットをもつように組み込んだ耐震壁の実験から、その破壊性状を捉え、最大強度の評価を行ったものである。滑りを拘束したPCa・PC耐震壁は高い強度と靱性を示し、既往のマクロモデルの方法で強度の評価が可能であった。また、リブつきPCaパネルを組み込むことで柱の損傷が少なくなり、主架構の破壊を制御できることがわかった。

キーワード：PCa・PC耐震壁、破壊の制御、滑りの拘束、最大強度、マクロモデル

1. はじめに

筆者らは、先にプレキャスト・プレストレストコンクリートフレームにプレキャストパネルを組み込んだ耐震壁（以下、PCa・PC耐震壁という）がRC耐震壁と同じ程度の高い強度と靱性をもつことを実験から示した[1]。このとき、柱はその脚部で深い根入れをもち、滑りが完全に拘束されていたが、PCaパネルは上・下梁とPC鋼棒で圧着接合されているだけで、目地モルタルの滑落にともなうPCaパネルの滑りの発生は避けられなかった。滑りが生じることで不明確な要因が増加し、PCa・PC耐震壁の強度と変形、およびそれらの評価にばらつきが生じた。一方、PCa・PC耐震壁の圧縮柱の脚部には、RC耐震壁の場合と同じようにPCaパネルからのせん断力が集中し、脚部のせん断破壊の可能性がある。これは構造の全体的な崩壊の要因となる。このため、PCaパネルが破壊した際、フレームに著しい破損または破壊が生じないことが耐震設計上望ましいといえる。本研究は、柱脚部の深い根入れとPCaパネルの水平接合部のコッターによって滑りを完全に拘束したPCa・PC耐震壁、および鉛直スリットをもつようにリブつきPCaパネルを組み込むことによって柱のせん断破壊の制御を意図したPCa・PC耐震壁の実験から、その破壊性状を捉え、さらに強度評価を行ったものである。

2. 実験計画

試験体 実験はタイプA 3体、タイプB 1体、およびタイプC 1体のPCa・PC耐震壁について行われた。図1にタイプAの試験体95PCWA-1, 2, 3の形状、配筋、および加力方法を示す。形状と寸法は、上・下梁を除いて実物の1/5程度に設定した。試験体は、連層PCa・PC耐震壁の基層を想定した剛強な上・下梁、せん断補強規準を満たす補強筋と深い根入れをもつ柱、および上・下水平接合部にのみコッターをもつPCaパネルで構成されている。フレームとPCaパネルは鉛直PC鋼棒の手締めによって圧着接合されている。このシー스는グラウトされていない。柱脚部およびPCaパネ

* 1 工学院大学教授 工学部建築学科、工博（正会員）

* 2 ドーピー建設工業（株）、（正会員）

* 3 工学院大学大学院、工学研究科建築学専攻