

# 論文 主筋後挿入方式のプレキャスト耐震壁の耐震性能に関する研究

川島秀貴<sup>\*1</sup>, アダハル ホセ カリンガル<sup>\*1</sup>, 山口輝彰<sup>\*2</sup>, 今井弘<sup>\*3</sup>

**要旨:**主筋後挿入方式を用いたプレキャスト耐震壁に関し、一定軸力下での曲げせん断実験を行った。試験体は、曲げ降伏型4体とせん断破壊型5体の計9体であり、変動因子は主筋の継手位置、重ね長さ、水平接合部の形式である。全体変形、曲げ変形、せん断変形、水平接合部の滑り量等が測定された。曲げ耐力やせん断耐力は、それぞれ、鉄筋コンクリート壁の耐力式でよく表された。重ね長さがある程度以上にあれば、最大耐力に与える重ね長さの影響は小さかった。水平接合部の滑り量は、曲げ降伏型の場合、大きかった。

**キーワード:** シース管、プレキャスト耐震壁、主筋後挿入方式、曲げ降伏、せん断破壊

## 1. はじめに

施工性、輸送性、及び耐震性を比較的よく満足するものとして、耐震壁にも主筋後挿入工法が提案されている。本工法によるPCA耐震壁用の鉛直軸筋(以下、主筋)の重ね継手が十分な継手性能を持っていることは、重ね継手の単体試験体すでに確かめられている[1][2][3]。本研究の目的は、重ね継手で接合されたPCA耐震壁の耐震性能をさらに明らかにすることである。

図-1に、重ね継手の詳細を示す。主筋の突き合わせ部では、スパイラル筋によって4本の添筋がシース管の周りに拘束されている。後から挿入された主筋とシース管との隙間にグラウト材を注入することで両者を一体化し、突き合わされた主筋は添筋を介して重ね継手で接合される。

## 2. 試験体

表-1と図-2に試験体の概要を示す。試験体の外部形状は同一であり、試験部分は、高さ200cm、幅140cm、及び厚さ15cmである。試験体は、全部で9体あり、4体(PCW-8, 9, 10, 及び 11)が曲げ降伏型で、5体(PCW-12, 13, 14, 15, 及び 16)がせん断破壊型である。曲げ降伏型のうち、PCW-8, 9, 及び 10の主筋の継手位置は壁脚部に、PCW-11では壁中段に設けてある。重ね長さはそれぞれ、20d, 25d, 30d, 及び 30d (d:添筋径)である。せん断

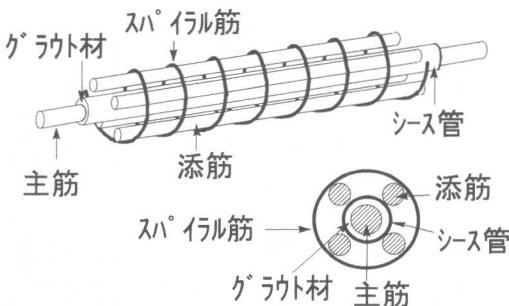


図-1 重ね継手の詳細

\*1 筑波大学大学院工学研究科(正会員)

\*2 株木建設(株)技術研究所、主任研究員(正会員)

\*3 筑波大学構造工学系、助教授、工博(正会員)

破壊型のうち、PCW-12, 13, 14, 及び 15 の主筋の継手位置は壁中段部に、PCW-16 では壁脚部に設けてある。重ね長さはそれぞれ、5d, 10d, 15d, 20d, 及び 30d である。水平接合部の接合方式は、PCW-10 以外は、モルタルシール後のグラウト充填方式であり、PCW-10 のみが敷きモルタル方式である。水平接合部とは図-2 中に示すように、PCA 耐震壁脚部と下梁間の接合部のことである。

主筋は、曲げ降伏型には 4-D25 (SD345)を、せん断破壊型には 7-D25 (SD395)を用い、それぞれ曲げ降伏または、せん断破壊が先行するように設計した。全試験体共通で、添筋は主筋一本に対し 4-D13、縦横壁筋は D10 (SD295A) @200 double、スパイラル筋は 6 φ × 径 80 @60mm、及びシース管は内径 42 φ、外径 46 φ、山高さ 2mm である。

試験体の製作では、壁を横にした状態で主筋の位置にシース管を配置し、縦横壁筋を配筋した後、各シース管周りに、添筋とスパイラル筋を配置して、コンクリートを打設した。上下の加力用の梁にも同様に各主筋位置にシース管を配置し、コンクリートを打設した。PCA 部材の組立では、まず、下梁を設置し、下半分の主筋を挿入し、グラウト材を注入し固定した。次に、PCA 耐震壁と上梁を設置し、脚部をモルタルでシールした後、上半分の主筋を挿入し、壁のグラウト材を同時に圧入した。最後に上梁を設置し、グラウト材を注入した。PCA 壁の底面には、図-3 に示すように、グラウト材を同時に注入しやすいように溝(上辺 30mm × 下辺

試験体番号	破壊形式	主筋	(d:添筋径)		
			軸筋の継手位置	重ね長さ	水平接合部の方式
PCW-8	曲げ 降伏	4-D25 (SD345)	壁脚部	20d	モルタルシール後 グラウト充填
PCW-9				25d	グラウト充填
PCW-10				30d	敷モルタル
PCW-11	せん断 破壊	7-D25 (SD395)	壁中段	30d	
PCW-12				5d	
PCW-13				10d	モルタルシール後 グラウト充填
PCW-14				15d	
PCW-15				20d	
PCW-16			壁脚部	30d	

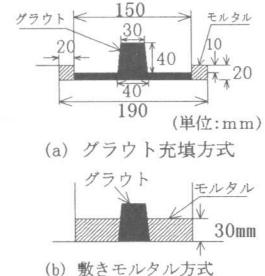
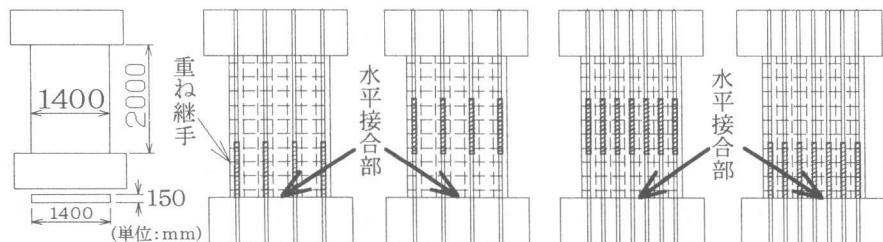


図-3 水平接合部の詳細

表-2 材料試験結果

試験体名	(a) コンクリートとグラウト (単位: kgf/cm <sup>2</sup> )				共通	(b) 鉄筋 (単位: tonf/cm <sup>2</sup> )
	PCW-8	PCW-10	PCW-12	PCW-14		
設計強度	300				600	
4週強度	-	-	-	-	715	
実験時	367	353	356	378	392	778



(a)外形寸法 (b) PCW-8~10 (c) PCW-11 (d) PCW-12~15 (e) PCW-16  
図-2 試験体の概要

40mm×高さ40mmの台形)が設けられている。

表-2(a), (b)に、それぞれコンクリート、グラウト、及び鉄筋の材料特性を示す。コンクリートとグラウトの設計強度はそれぞれ300kgf/cm<sup>2</sup>と600kgf/cm<sup>2</sup>である。

### 3. 実験方法

図-4に示すように、一定な軸応力( $\sigma_0=5\text{kgf/cm}^2$ )の下で、水平方向のアクチュエーターにより、逆対称曲げモーメントが生じるように正負交番のせん断力Qを与えた。折り返し変形角Rは図-5に示すように、1/1600から1/50まで、2周期ごとに2倍に増加した。図-6に示すように、全体の変形は上下の梁の相対水平変位 $\delta$ をゲージホルダーを用いて中段部分で測定し、試験体の部分的な変形はトラス状に変位計を配して、測定した。また、壁の上下端の水平接合部の滑り量も測定した。主筋、添筋、縦横筋、及びスパイラル筋の歪も測定した。

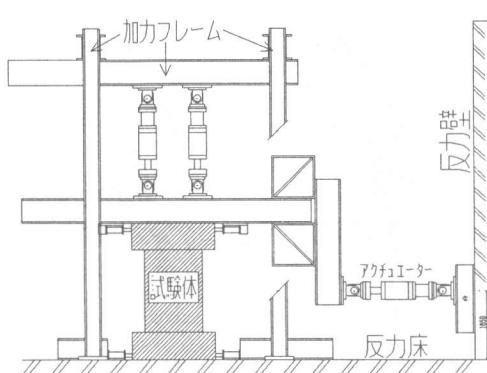


図-4 加力装置

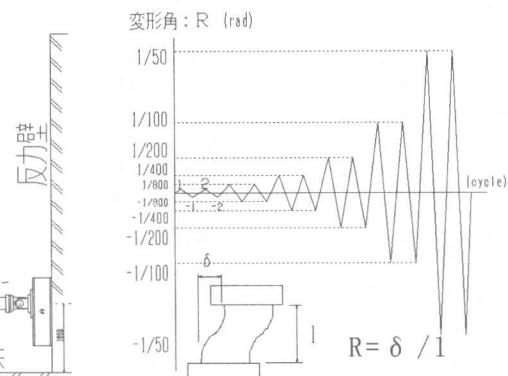


図-5 加力履歴

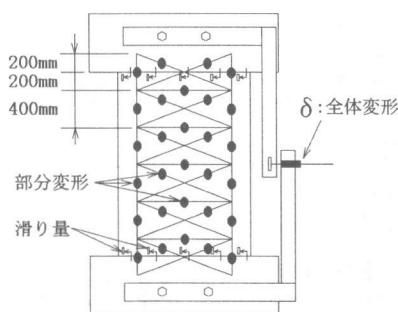
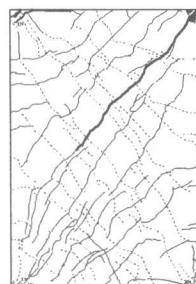


図-6 変位計取り付け位置



曲げ降伏型(PCW-8)せん断破壊型(PCW-15)

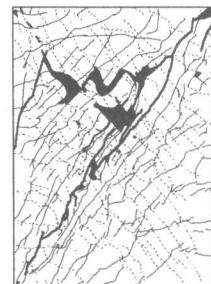


図-7 最終的なひび割れ状況(R=1/50)

### 4. ひび割れ状況

曲げ降伏型とせん断破壊型のひび割れ状況の例を、図-7に示す。曲げ降伏型の場合、 $R=1/1600 \sim 1/800$ で、曲げひび割れが試験体の上下の水平接合部に生じた。 $R=1/400$ に達する前にせん断ひび割れが入り、 $R=1/50$ で広がった。また、上下の隅角部が激しく圧壊した。せん断破壊型の場合、 $R=1/1600$ で主に試験体下部に曲げひび割れが確認され、 $R=1/800$ でせん断ひび割れが発生した。PCW-16では $R=1/400$ でせん断ひび割れが発生した後、 $R=1/100$ ではひび割れ幅が拡大した。さらに $R=1/50$ では壁の上部1/3でかぶり

が激しく圧壊した。

重ね長さによる影響をみると、重ね長さ 5d の場合は、破壊が耐震壁中央部に集中するのと同時に、対角線上のひび割れが進行した。一方、重ね長さ 10d 以上の試験体では、壁の上部 1/3 の部分に破壊が集中した。

## 5. 荷重－変形関係

図-8 に荷重-変形関係の例を示す。曲げ降伏型は、 $R=1/100$  で最大荷重に達した後、 $R=1/50$  の時も、最大荷重時とほぼ同等の耐力を示した。せん断破壊型は、 $R=1/100$  に達する過程で最大荷重に達し、その後に脆性的な破壊により、突然耐力が最大荷重の 60～80% に低下した。その後、繰り返し加力では、耐力を回復できず、最大荷重の 40～60% にまで低下した。図中に示す曲げ耐力とせん断耐力の計算値は、それぞれ表-3 に示す式(1)と式(4)による値である。

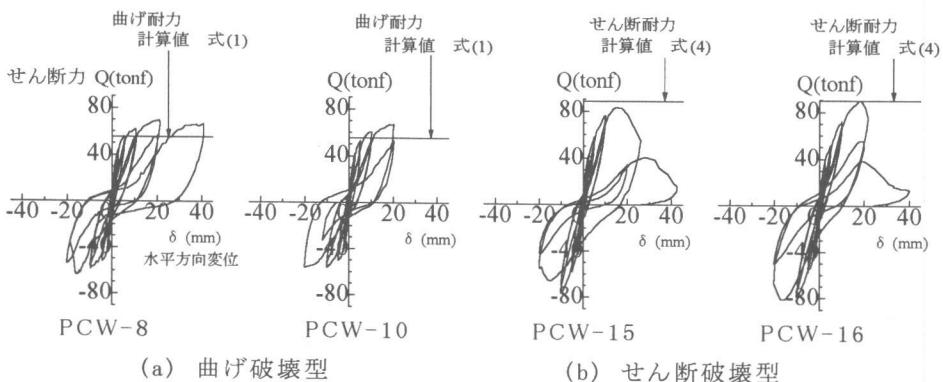


図-8 荷重－変形関係

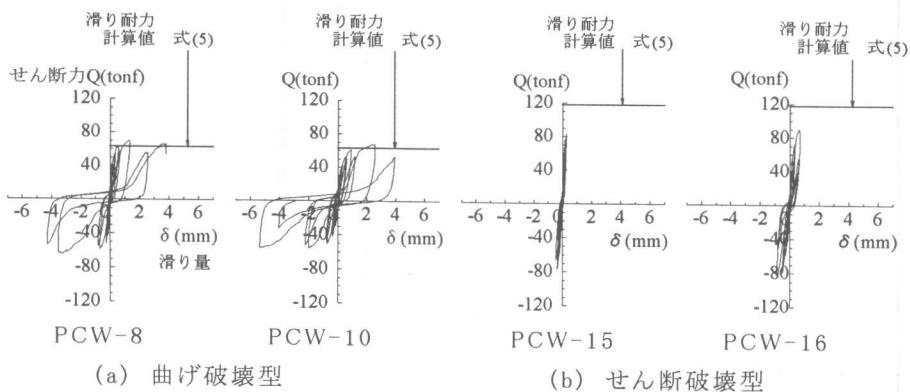


図-9 水平接合部の滑り量

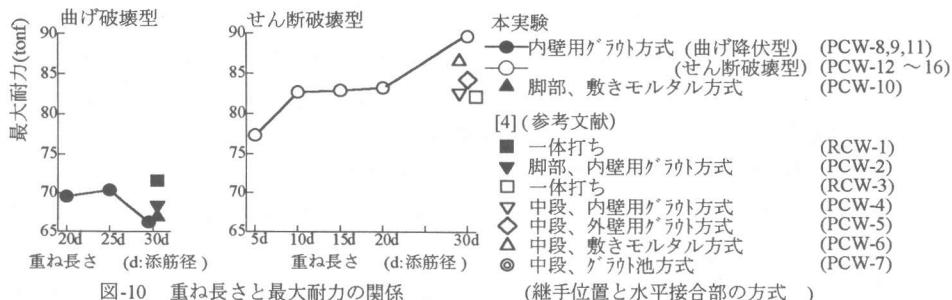
## 6. 水平接合部の滑り

水平接合部での滑り量は図-9 に示すように、曲げ降伏型の場合、最大時で 3～5 mm であり、平均して 4.6 mm であった。敷きモルタル方式の PCW-10 の滑り量は他に比べて少し大きかった。曲げ降伏しなかったせん断破壊型の場合、滑り量は、最大時でも 0.4～0.8 mm であ

った。曲げ降伏型の滑り量が大きかったのは、荷重の履歴にも影響されていると思われる。水平接合部の鉄筋が正負両方向の繰り返し曲げによって大きく降伏し、水平接合部でのひび割れ幅が閉じないで拡大していくため、コンクリートの摩擦による滑り耐力が低下したためと考えられる。

## 7. 重ね長さの影響

図-10 に重ね長さと最大耐力の関係を示す。曲げ降伏型の場合、重ね長さによる最大耐力への影響は認められなかった。これは重ね長さが 20d 以上あれば十分な継手強度があるためである。せん断破壊型の場合、重ね長さが 5d と短い場合では、耐力の低下がみられたが、10d 以上では重ね長さの影響は認められなかった。また、同じ重ね長さ (30d) について比較すると、曲げ降伏型の場合、水平接合部の方式や継手位置に関わらず、ほぼ同じ耐力を示した。これに対し、せん断破壊型の場合、継手位置が脚部にある試験体は中央部にあるものより、1割ほど高い耐力を示した。これは、脚部が添筋によって補剛され、主筋の歪が水平接合部に集中したためと考えられる。なお図-10 には、本実験のほかに、既発表の実験 [4] のデータも使用している。上述したようにせん断破壊型の場合、重ね長さが 10d 以上あれば、最大耐力に影響はなかったが、本実験では 30d 以外は重ね継手が曲げモーメントの小さい中段部に設けられていた。従って、本継手を実際の耐震壁に適用する場合には、はるかに厳しい応力下になることも想定し、十分長い継手長さ(例えば、本実験のように 30d)を採用することが必要とされる。



## 8. 最大耐力

表-3 に耐震壁の耐力の実験値と計算値を示す。曲げ降伏型の場合、曲げ耐力の実験値は、計算値の約 1.2 倍となった。せん断破壊型の場合、最大耐力は広沢式(式(3))でも日本建築学会終局強度型設計指針式 A 法(式(4))でもよく表された。水平接合部の滑り耐力の計

表-3 最大耐力 (単位:tonf)

試験体名	実験値 Q <sub>max</sub>	破壊形式	曲げ耐力		せん断耐力		滑り耐力 式(5)
			式(1)	式(2)	式(3)	式(4)	
PCW-8	69.6		55.3	56.7	69.9	87.2	62.7
PCW-9	70.4		55.3	56.7	69.9	87.2	62.7
PCW-10	66.9	曲げ	55.3	56.6	68.6	85.6	62.7
PCW-11	66.3		55.3	56.6	68.6	85.6	62.7
PCW-12	77.3		104.5	103.4	77.2	85.9	117.7
PCW-13	82.7		104.5	103.4	77.2	85.9	117.7
PCW-14	82.8	せん断	104.5	104.4	79.5	88.4	117.7
PCW-15	83.2		104.5	104.4	79.5	88.4	117.7
PCW-16	89.6		104.5	105.0	81.0	89.8	117.7

式(1)  $M_{WU1} = 0.9 * \sum a_t * \sigma_y * d + 0.5 * N * D (1 - \sigma_0 / F_c)$  ( $a_t$  は曲げ降伏型は引張側  
主筋3本分、せん断破壊型では6本分で全て降伏していると仮定した。)

式(2) ACI の応力ブロック法

式(3)  $Q_{wsu} = \left\{ \frac{0.0679 * pte^{0.23} * (F_c + 180)}{\sqrt{M/(QD) + 0.12}} + 27 \sqrt{\sigma_{wh} * P_{wh} + 0.1 \sigma_0} \right\} * b_{ej}$  (但し、 $Pte$  は式(1)と同様)

式(4) 日本建築学会終局強度型設計指針 A 法

$$V_u = tw \cdot lwb \cdot ps \cdot \sigma_{sy} \cdot \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) tw \cdot lwa \cdot v \cdot \sigma_b / 2$$

式(5)  $Q = 0.7 (\sigma_y \times \sum ah + Nh)$  (日本建築学会 WPC 造設計規準)

(プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工)

算値は、せん断破壊型では十分な余裕があるが、曲げ降伏型の場合、曲げ耐力の計算値を約 10% 上回っているだけであり、余裕がない。このため、曲げ降伏型の場合、せん断破壊型に比べ、滑り量が大きかったものと思われる。

なお、滑り耐力式(5)は、敷きモルタル方式の水平接合部に一定軸力下で単調なせん断力のみが作用したときの滑り耐力を求めるものである。本水平接合部はグラウト充填方式であるが、正負の曲げ降伏を繰り返し受けたため、コンクリートによる滑り耐力がかなり低下しているものと推定される。

## 9. まとめ

主筋後挿入方式の PCa 耐震壁の曲げせん断実験を行い、次に示す知見を得た。

1. シース、グラウト、主筋は一体となって挙動した。
2. 曲げ降伏型の場合、上下端の両隅角部が激しく圧壊した。
3. せん断破壊型の場合、重ね長さ 5d の場合は、破壊が耐震壁中央部に集中するのと同時に、対角線上のひび割れが進行した。これに対し、10d 以上の重ね長さを持つ試験体では、添筋のない、上部 1/3 の部分に破壊が集中した。
4. 曲げ降伏型の曲げ耐力は、計算値の 1.2 倍の耐力を示した。
5. せん断破壊型の最大耐力は、広沢式(式(3))でも日本建築学会終局強度型設計指針 A 法(式(4))でもよく表される。
6. 水平接合部での滑り量は、せん断破壊型の場合、最大時で 0.4~0.8mm であったが、曲げ降伏型の場合、3~5mm と大きかった。
7. 曲げ降伏型の方が滑り量が大きかったのは、正負の曲げ降伏を繰り返して、水平接合部のひび割れ幅が閉じずに大きくなり、コンクリートによる滑り耐力が低下したためと思われる。

## 参考文献

- [1]アダーハル ホセ, 他 3 名: PCa 耐震壁の鉛直筋の重ね継手の引張強度に関する実験的研究、日本建築学会学術講演梗概集、C 構造 II, pp.571-574, 1993
- [2]アダーハル ホセ, 他 3 名: 壁厚の薄い PCa 耐震壁の重ね継手の引張強度に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、C 構造 II, pp.323-326, 1994
- [3]川島 秀貴, 他 3 名: PCa 耐震壁の重ね継手の引張強度に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、C-2 構造 IV, pp.735-738, 1996
- [4]アダーハル ホセ, 他 2 名: 鉛直筋を後挿入する重ね継手を持つ PCa 耐震壁の耐震性能に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、C-2 構造 IV, pp.175-178, 1995