

# 論文 曲げ降伏型の PCa 柱の変形性能に関する研究

野本 勉\*<sup>1</sup>・山口輝彰\*<sup>2</sup>・今井 弘\*<sup>3</sup>

**要旨：**主筋後挿入の工法を用いた、曲げ降伏型プレキャストコンクリート (PCa) 柱の変形性能に与える軸力の影響を調べると共に、一体打ち (RC) 柱の変形性能と比較する実験を行った。その結果、曲げ降伏型の PCa 柱は、継手による影響はなく、RC 柱とほぼ同様の破壊機構と変形性能を有することが確認された。

**キーワード：**プレキャスト、一体打ち、柱、主筋後挿入方式、曲げ降伏型

## 1. はじめに

PCa 工法では、PCa 部材の接合位置と主筋の継手位置が、部材の変形性能及び施工性に大きな影響を及ぼす。これまでもいくつかの工法が提案されてきているが、これらの性能を同時に満足できるものは少ない。主筋後挿入の工法は、これらの性能を比較的良好に満足する工法である。この工法では、シーす管と添筋を用いることにより、コンクリートの接合位置は部材端部であるが、主筋の継手位置を部材応力の小さい部材中央部に設けることができる。

主筋後挿入工法による PCa 部材の付着性能、重ね継手の強度、及び柱や梁部材のせん断性能等に関しては、かなり、実験的研究 [1,2]が行われているが、曲げ性能に関してはいまだよく確認されていない。そこで本研究では、主筋後挿入の工法を用いた、曲げ降伏型の PCa 柱の変形性能に与える軸力の影響を調べると共に、RC 柱の変形性能と比較することを目的とする実験を行った。

## 2. 試験体

試験体の断面寸法は図-1 で示すように 45cm×45cm で、高さ 200cm であり、実物の約 2/3 を想定している。試験体数は計 8 体である。表-1 に示すように、8 体の内、3 体は RC で、5 体が PCa で、それぞれ同一の試験体であり、変動因子として、5 種類の軸力を用いている。中段筋を考慮に入れたせん断余裕度は、圧縮軸力の大きい C41M と C41P では 2.0 で、引張軸力の C45M と C45P では 4.4 である。主筋と帯筋は全試験体共通で、主筋：20-D16 (SD390)、帯筋：6-D10 @100 (SD295A、 $P_w=0.95\%$ ) である。PCa

表-1 試験体一覧

試験体		$\sigma_0 / F_c$	$\sigma_0$ kgf/cm <sup>2</sup>	設計せん断 余裕度
PCa	RC			
C41P	C41M	0.25	75	2.0
C42P		0.2	60	2.1
C43P	C43M	0.1	30	2.8
C44P		0	0	4.4
C45P	C45M	-0.1	-30	4.4

注)  $\sigma_0$  : 軸力による軸応力度

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (300kgf/cm<sup>2</sup>)

設計せん断余裕度= $Q_{su} / Q_{mu}$

$Q_{su}$  : せん断強度 (建築学会 A 法)

$Q_{mu}$  : 曲げ降伏時せん断力

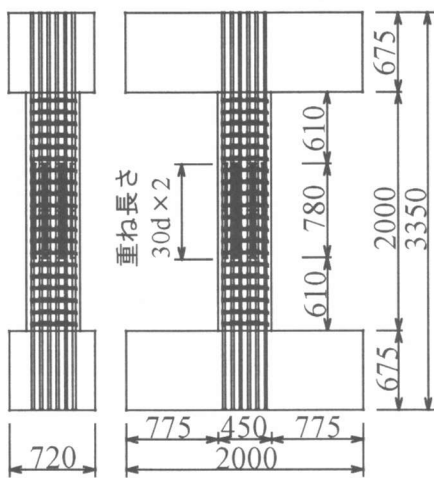
(中段筋を考慮に入れ学会式より求めた)

$Q_{su}, Q_{mu}$  は設計強度を用いて算出した

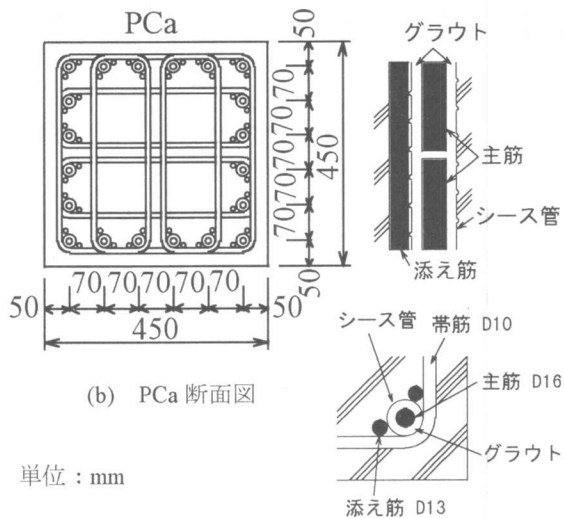
\*1 筑波大学大学院 (現 (株)エスパス建築事務所)、工修 (正会員)

\*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)



(a) PCa 柱



(b) PCa 断面図

(c) 断面詳細図

単位：mm

図-1 試験体図

柱では、主筋位置にシースマン（径 30mm、山高さ 2mm）と添筋（各 2-D13）が配してあり、重ね長さは 30d（d：添筋径）である。2 本の添筋の断面積は、主筋のものより少し大きい。

RC 柱では、柱を横にして配筋し、コンクリートを打設した。PCa 柱の柱部材では、まず主筋の位置にシースマンを配置して、帯筋と添筋を配筋した後、コンクリートを打設する。加力用の上下の梁部材も、柱部材と同じように主筋の位置に、シースマンを配置しコンクリートを打設する。

PCa 部材は次の順序で接合した。下梁の設置—下半分の主筋の挿入—下梁のグラウト材の注入—PCa 柱の設置—上半分の主筋の挿入—柱のグラウト材の注入—上梁の設置—上梁のグラウト材の注入—完成。なお、グラウト材は柱の断面中央にある注入口に通じるパイプより、柱の全主筋に対し同時に注入した。

表-2 にコンクリートと鉄筋の材料試験結果を示す。コンクリートは設計強

表-2 材料試験結果

(a) コンクリートとグラウト (kgf/cm<sup>2</sup>)

試験体	コンクリート					グラウト
	C41M	C43M	C45M C42P	C41P C44P	C43P C45P	共通
設計	300					600
4 週強度	337		328			719
実験時	365	316	331		324	756

(b) 鉄筋 (tf/cm<sup>2</sup>)

径	規格	Es	$\sigma_y$	$\sigma_b$	備考
D16	SD390	1780	4.22	6.28	主筋
D13	SD345	1710	3.86	5.28	添筋
D10	SD295A	1730	3.44	5.76	帯筋

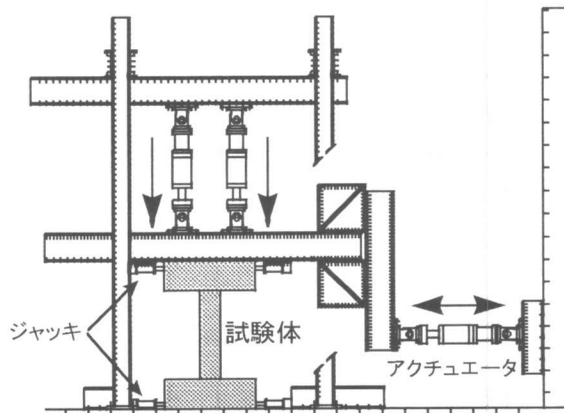


図-2 加力装置図

度とほぼ同じ強度が得られたが、グラウト材は実験時には、 $750\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上になっていた。

### 3. 実験方法

加力は図-2に示すように、2基の鉛直のアクチュエータにより試験体に一定の軸力 $\sigma_0$ を与え、1基の水平のアクチュエータにより、梁に逆対称曲げモーメントが生じるようにせん断力 $Q$ を与えた。加力形式は、正負交番繰り返しの静的加力であり、図-3に示すように部材変形角 $R$ で、 $R=\pm 1/800, \pm 1/400$ を各1回ずつ行い、 $R=\pm 1/200, \pm 1/100, \pm 1/50, \pm 1/25$ を各2回ずつ行った。なお、 $R$ は上下梁の相対水平変位 $\delta$ を柱の内法高さ(2000mm)で除したものである。

図-4に示すように、全体変形は上下の梁の相対水平変位より求め、部分変形は、高さ方向に20cmごとに分割して、縦、横、斜め方向に計測した。また、主筋、帯筋、添筋(PCa)の歪も計測した。

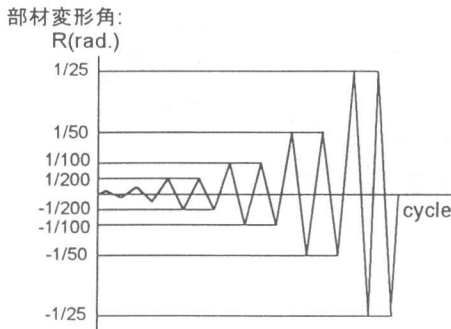


図-3 加力履歴図

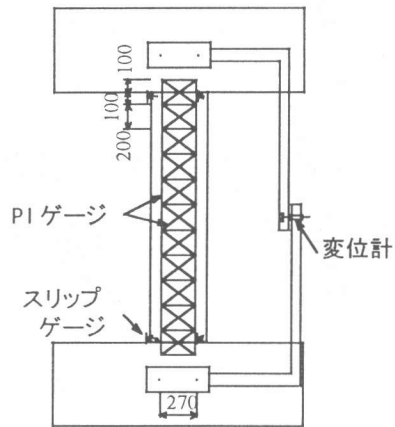


図-4 測定装置図 (mm)

### 4. 実験結果

#### 4. 1 ひび割れ状況

変形角 $R=1/25$ におけるひび割れ状況を、3種類の軸力に分けて図-5に示す。 $R=1/800$ では、ほぼ全試験体の柱頭と柱脚部分に曲げひび割れが発生した。 $R=1/200$ では、全試験体に曲げせん断ひび割れが発生し、引張軸力を与えた試験体(C45M、C45P)を除くと、せん断ひび割れも発生した。 $R=1/100$ では、C45MとC45Pでもせん断ひび割れが発生した。 $R=1/50$ では、圧縮軸力の最も高い試験体(C41M、C41P)では、柱脚部のかぶりが圧壊した。 $R=1/25$ では、圧縮軸力を受ける全試験体で、柱端部のかぶりが圧壊した。

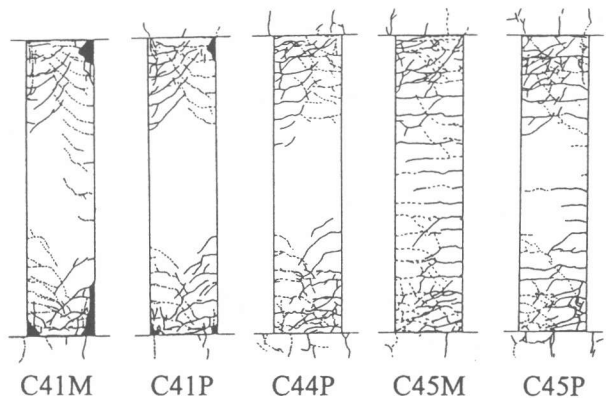
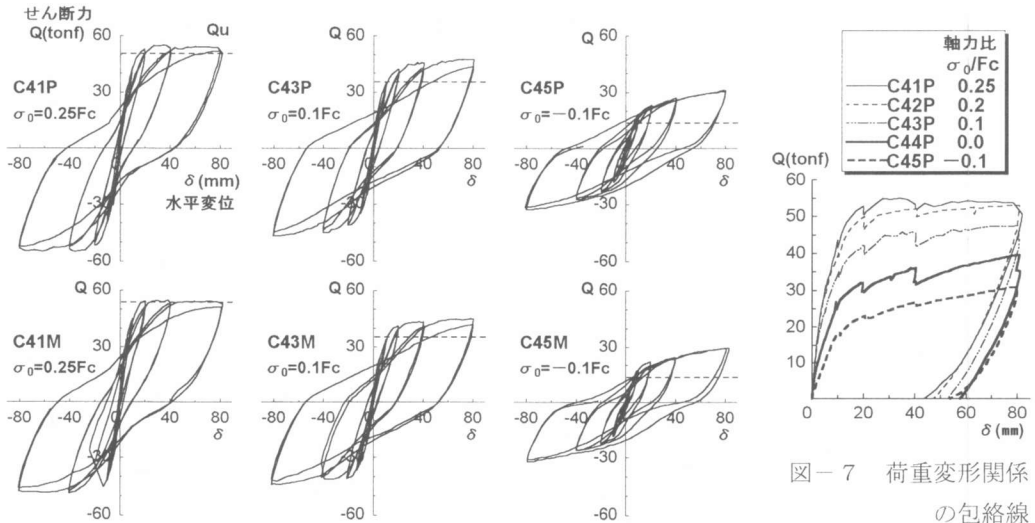


図-5 ひび割れ状況( $R=1/25$ )

また、PCa柱のひび割れ状況は、RC柱とほぼ同じであったが、継手があるためか、柱中央部のひび割れが少ないことが観察された。

## 4. 2 荷重－変形関係

PCa 柱と RC 柱の荷重－変形曲線は、図－6 に示すように、各軸力下とも同じ形状を示しており、明確な違いはみられない。また、計算値  $Q_u$  (図中に点線で示してある) (4. 5 参照) は、圧縮軸力を加えたものに対してはよく対応しているが、引張り軸力を加えたものに対しては、実験値と開きがでている。図－7 に PCa 柱の荷重－変形関係の包絡線を示す。軸力の高いものほど、最大耐力が高くなっている。なお、これらの図では軸力による  $P-\delta$  効果分が補正されている。



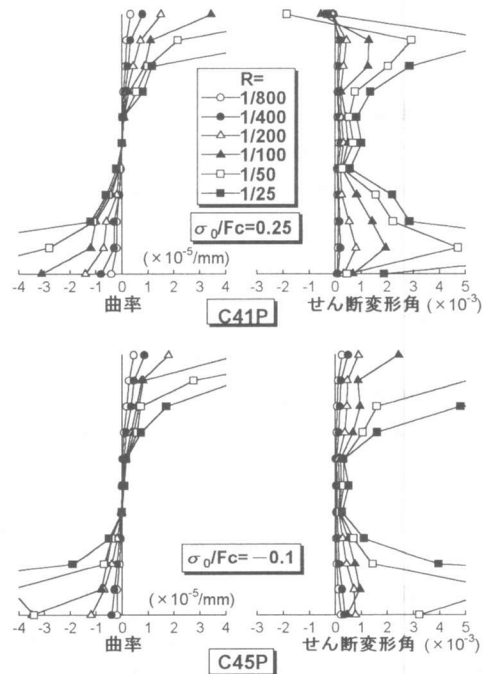
図－6 荷重－変形曲線

## 4. 3 部分変形

図－8 に測定区間ごとの曲率とせん断変形角の分布の例を示す。同じ軸力を受ける PCa 柱と RC 柱の曲率分布とせん断変形角分布はほとんど同じであったので、ここでは PCa 柱のものを示した。曲率は柱の両端部で大きく、その分布形状は曲げモーメント分布とほぼ同じである。せん断変形角も柱頭と柱脚で大きい。柱頭と柱脚部での変形が大部分を占めている。

継手のある中段部分では曲げとせん断の変形が小さく、継手のある中段部分の変形による全体変形への影響はないといえる。

図－9 に全体変形に占める曲げ変形、せん断変形、及び柱部材と上下スタブとの接合部のすべり変形 (合計) の割合を示す。曲げ変形は各区間の曲率に区間長と柱頭までの距離を乗じたものを累加したものであり、せん断変形は、各区間のせん断変形角に区間長を乗じ、累加したものである。



図－8 曲率・せん断変形角分布

高軸力の試験体 C41P では  $R=1/25$  まで曲げ変形が 80% 以上占めているが、引張軸力を加えた C45P では変形が進むとともに、せん断変形とすべり変形の割合が大きくなっている。これは、高軸力下の場合にはひび割れが閉じコンクリートがかみ合う

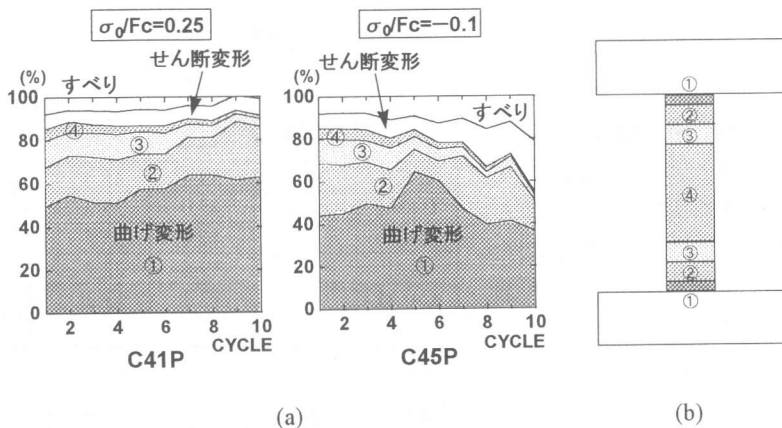


図-9 全体変形に占める変形の割合

下の場合には、ひび割れが閉じないためにせん断変形とすべり変形が増大するためと考えられる。

図-9(a)の曲げ変形中の数字は、図-9(b)に示す4つの区間に生じた変形に対応している。曲げ変形のほとんどが柱の両端部で生じていることが認められる。

#### 4. 4 鉄筋の歪分布

図-10に隅に配置された主筋と添筋の歪分布を示す。また、添筋と主筋の歪を加えた歪の分布も示す。これは、添筋2本と主筋の断面積がほぼ等しいので、両鉄筋に生じている力の和に相当する。PCa柱の主筋と添筋の歪を加えた歪の分布とRC柱の主筋の歪分布の形状はほぼ同じである。ひび割れが少ない柱中段にある添筋の歪は、非常に小さく、継手による影響はないといえる。

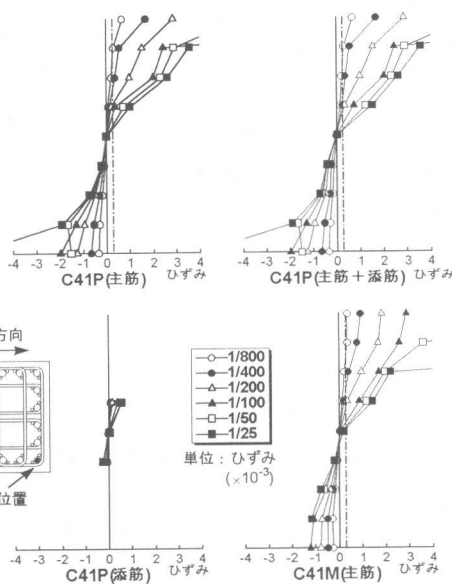


図-10 主筋と添筋のひずみ分布

図-11にせん断補強筋の歪分布を示す。歪は、柱頭と柱脚部で大きく、ひび割れの少ない柱中段部では小さく、コンクリートのせん断歪分布と同じ様に分布している。また、 $R=1/50$  までは  $\epsilon = 1400 \times 10^{-6}$  以下とほとんど弾性域内であり、 $R=1/25$  になって、柱脚部で降伏している。歪分布の形状は、軸力が異なってもほぼ同じであり、この

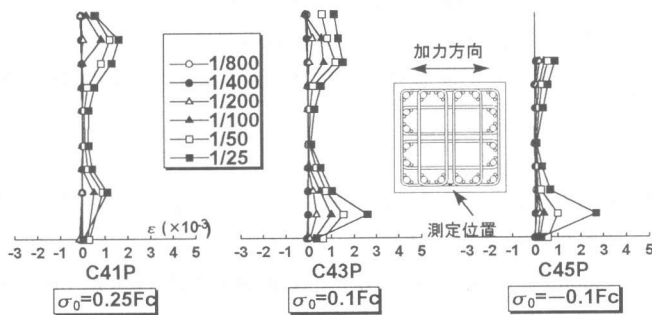


図-11 せん断補強筋の歪分布

ことから、軸力の影響はないと考えられる。

#### 4. 5 最大耐力

表-3と図-12に、曲げ終局強度の実験値と計算値を比較する。計算式(1)[3]は全体的に低めの評価となっており、計算式(2)は圧縮軸力を加えたものに対しては適切に評価していると思えるが、軸力を加えないものや引張軸力を加えたものに対しては低めの評価となっている。ただし、ほぼ降伏しているR=1/100の時の実験値と比較すると、両計算式ともよく対応しており、この計算式が、曲げ降伏時の強度を推定することに適していると考えられる。

表-3 曲げ終局強度  $Q_{mu}$  ( $=2Mu/h$  h:柱の内法高さ)

試験体	N/bDFc	実験値 (tonf)	計算値(tonf)		実験値/計算値	
			(1)式	(2)式	(1)式	(2)式
C41M	0.25	54.6	53.4	60.4	1.02	0.90
C41P		55.0	50.5	57.5	1.09	0.96
C42P	0.2	53.4	46.4	53.4	1.15	1.00
C43M	0.1	45.0	35.2	42.2	1.28	1.07
C43P		47.4	35.5	42.5	1.34	1.12
C44P	0	39.6	22.2	29.3	1.78	1.35
C45M	-0.1	32.2	13.3	12.7	2.42	2.54
C45P		33.1	13.5	13.0	2.45	2.55

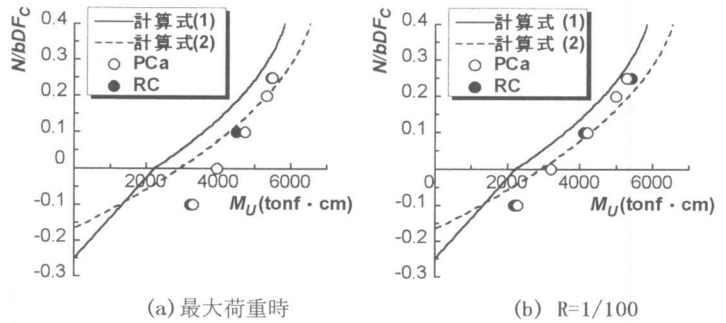


図-12 実験値と計算値の比較

計算式(1)

$$Mu = 0.5ag \cdot soy \cdot g1D + 0.5ND \left( 1 - \frac{N}{bDFc} \right) \quad (N \geq 0 \text{ のとき})$$

$$Mu = 0.5ag \cdot soy \cdot g1D + 0.5N \cdot g1D \quad (N < 0 \text{ のとき})$$

計算式(2)

$$Mu = \sum ati \cdot soy \cdot gi + 0.5ND \left( 1 - \frac{N}{bDFc} \right)$$

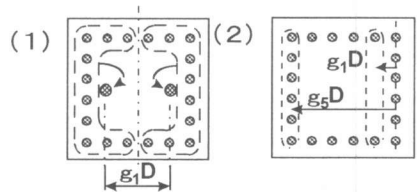
#### 5. まとめ

1) 曲げ降伏型の PCa 柱は柱頭と柱脚で変形の大部分を占め、継手部分の変形は小さく、継手による影響はない。

2) 引張軸力を加えたものは圧縮軸力を加えたものに比べ、せん断変形、及び柱とスタブの接合部のすべりが大きくなる。

3) シース管を用いた重ね継手を持つ PCa 柱は、一体打ちの柱と同等の変形性能を持っている。

4) 計算式(1)と(2)は共に、曲げ終局強度に関しては、軸力によっては実験値との差に開きがあるが、曲げ降伏時の強度に関してはよく対応する。



#### 参考文献

- [1] 斉藤 潔, 山口 輝彰, 今井 弘: 重ね継手を用いたプレキャストコンクリート梁の変形性能に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.2, pp. 787-792, 1994
- [2] Rodolfo YANEZ, et al.: An Experimental Study on Joint Strength of Spliced Bars for Precast Concrete Structures, Transaction of JCI, Vol. 15, pp. 565-572, 1993
- [3] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料, 丸善, 1987