

# 外殻PCaを用いた鉄筋コンクリート柱の構造特性と最大耐力

細矢 博\* 河野政典\* 浅野芳伸\*  
小河義郎\*\* 岡 靖弘\*\*\* 上西 隆\*\*\*\*

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造建物の施工の合理化や工期短縮等を目的として、種々のプレキャストコンクリート工法の開発が行われている。その工法の一つとして薄肉中空断面プレキャストコンクリート（以下、外殻PCaと記す）を型枠兼構造体として柱に用いる工法がある。

外殻PCaは、製作場所から建設現場に搬入、重機で建て込まれ柱主筋が配筋された後、中空部に後打ち（中詰め）コンクリートが打設されて柱部材として一体化される。この外殻PCaは、大別すると、PCa工場で遠心成形により製作する場合と、PCa工場または製作サイトで通常のコンクリートの流し込み成形により製作される場合の2種類に分けられる。既往の研究では、異なる製法の外殻PCaごとに、その外殻PCaを用いた柱部材の構造特性について報告されている場合が多いが、製作方法が異なるため2種の外殻PCaでは性状に差があり、それらを用いた柱部材の構造性能も自ずから異なるのではないかとの指摘がある。また、これら2種類の柱の最大耐力の評価に関して十分な資料が得られているとは言い難い。

そこで、遠心成形ならびに流し込み成形により外殻PCaをそれぞれ製作し、これらを用いた柱の水平載荷実験を行い構造特性（主として復元力特性）を比較検討するとともに、設計時に用いられることが多い算出方法で得られた最大耐力の精度について検証した。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

本実験は、30階建て程度の鉄筋コンクリート(RC)造建物の柱を対象としている。試験体の諸元を表-1に、形状・寸法および配筋例を図-1に示す。試験体は、シリーズ1およびシリーズ2から構成される。シリーズ1の試験体は、遠心成形により製作された外殻PCaを用いたRC柱4体(PC-1A, PC-1B, PC-2, PC-3)と、比較検討用に製作された在来一体打ちRC柱3体(RC-1A, RC-2, RC-3)である。また、シリーズ2の試験体は、流し込み成形により製作された外殻PCaを用いたRC柱6体(No.1-1, No.1-2, No.2, No.5, No.6, No.7)と比較検討用に製作された

在来一体打ちRC柱1体(No.8)である。このうち、PC-1AとRC-1A、PC-2とRC-2、No.1-1、No.1-2、No.5、No.6を曲げ破壊型に計画し、PC-1B、PC-3とRC-3、No.2、No.7とNo.8をせん断破壊型に計画した。試験体の縮小率は1/3～1/3.4である。用いた外殻PCaは、中子筋を含め帯筋をあらかじめ内蔵するタイプであり、したがって、全柱試験体とも中子筋を有している。

外殻PCaと後打ちコンクリートを一体化するため外殻PCaの内側表面に設けた凹凸状のシアコッターは、図-1に示すように、シリーズ1では外殻PCa内側の4カ所の入り隅部に設けられ、その平面形状は矩形で、シアコッター面積比( $k_{cac}$ )は0.25である。なお、シリーズ1の外殻PCaは遠心成形で製作されているため、水平断面としては内側表面の中央部分は円弧状である。この表面は遠心成形直後にレイトランス処理されるので、粗骨材が露出している。一方、シリーズ2では、シアコッターは外殻PCaの内側表面全体に設けられ、その平面形状は矩形で、シアコッター面積比( $k_{cac}$ )は0.39である。以後は、外殻PCaを用いたRC柱を外殻PCa柱、在来工法による一体打ちのRC柱をRC柱と記述する。

### 2.2 試験体の材料および製作方法

外殻PCaのコンクリートの設計基準強度( $F_c$ )は、下層階の柱を対象とする場合は60または75N/mm<sup>2</sup>、上層階の柱を対象とする場合は45N/mm<sup>2</sup>に設定した。外殻PCaの中空部に後打ちするコンクリートの $F_c$ は、下層階の柱では45N/mm<sup>2</sup>、上層階の柱では30N/mm<sup>2</sup>に設定した。外殻PCa、後打ちコンクリートともに用いたセメントは普通ポルトランドセメントであり、粗骨材は最大寸法15mmの碎石である。遠心成形外殻PCaは、スランブ180mmのコンクリートを使用し、遠心成形した後に蒸気養生し製作した。流し込み成形外殻PCaは、スランブフロー600mmの高流動コンクリートを横打ちし製作した。また、柱試験区間部分については、下スタブ上で外殻PCaを柱主筋に被せ合わせ、外殻PCa中空部にスランブ210mmのコンクリートを縦打ちし外殻PCaと後打ちコンクリートを一体化した。柱主筋に用いたD13、D16の規格降伏強度は $\sigma_y=390$ N/mm<sup>2</sup>、帯筋に用いたD6の規格降伏強度は $\sigma_y=345, 390, 685$ N/mm<sup>2</sup>の3種類である。

コンクリートならびに鉄筋の材料試験結果を表-2に

\*建築研究室 \*\*環境研究室 \*\*\*東京支社建築設計部 \*\*\*\*本社建築部

表-1 試験体諸元

試験体	工法種別	想定破壊モード	断面		外殻厚t (mm)	内法高さh (mm)	シアスパン比 M/QD	コンクリート強度		軸力比 η	柱主筋		帯筋			
			柱幅b (mm)	柱成D (mm)				外殻 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	後打ち $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )		配筋	鉄筋比 $P_g$ (%)	種類	配筋	鉄筋比 $P_w$ (%)	種類
シリーズ1	PC-1A	PCa	曲げ	320	320	25	1020	1.59	75	0.3	12-D16	2.33	SD390	4-D6@35	1.14	SD390
	RC-1A	RC														
	PC-1B	PCa	せん断	280	280	22	900	1.61	75	-0.7~0.6	20+4-D13	3.89	SD390	4-D6@40	1.14	SD390
	RC-2	RC														
	PC-3	PCa	せん断	320	320	25	730	1.14	75	0.3	20-D16	2.33	SD390	4-D6@35	1.14	SD390
	RC-3	RC														
シリーズ2	No.1-1	PCa	曲げ	300	300	24	720	1.20	45	0.15	12-D13	1.69	SD390	4-D6@50	0.85	SD345
	No.1-2															
	No.2	RC	せん断	280	280	22	1008	1.80	60	-0.7~0.6	20+4-D13	3.89	SD390	4-D6@80	0.53	SD345
	No.5	RC														
	No.6	PCa	曲げ	300	300	24	720	1.20	45	0.3	12-D16	2.65	SD390	4-D6@40	0.71	SD390
	No.7	RC														
	No.8	RC	せん断	300	300	24	720	1.20	45	0.3	12-D16	2.65	SD390	4-D6@60	0.71	SD390

ここで、軸力比:  $\eta = N / (\sigma_B(b \cdot D - A_s) + \sigma_s \cdot A_s)$ ; N: 軸力,  $\sigma_B$ : 後打ちコンクリート圧縮強度,  $\sigma_s$ : 柱主筋降伏強度,  $A_s$ : 柱主筋断面積

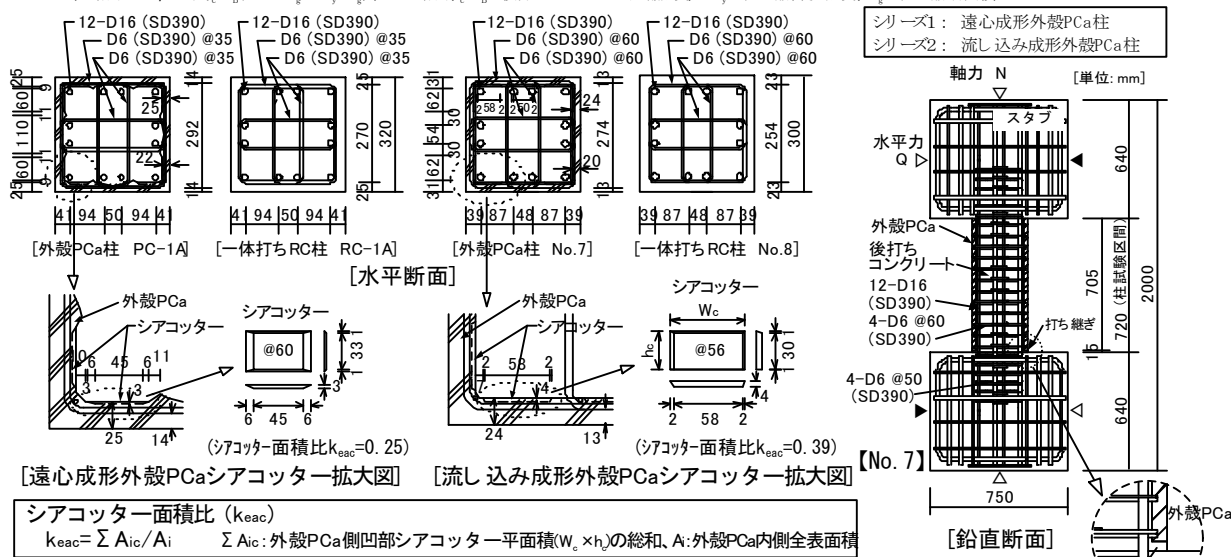


図-1 試験体の形状・寸法および配筋例

示す。

### 2.3 荷荷方法

荷荷にあたっては、試験体の上下スタブを加力装置（建研式加力装置）に固定し、油圧ジャッキを用いて、試験体に軸力を加えた状態で、変位制御により逆対称変形が生じるように水平力を荷荷した。このとき、各荷荷ステップにおける層間変形角(R)のピークを、PC-1A、RC-1A、No.5では $R = \pm(2.5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60) \times 10^{-3}$  radに、No.1-1、No.1-2では $R = \pm(2.5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50) \times 10^{-3}$  radに、PC-2、RC-2、PC-3、RC-3、PC-1B、No.2、No.6~No.8では $R = \pm(2.5, 5, 10, 15, 20, 30, 40) \times 10^{-3}$  radに設定し、各ステップとも2サイクルずつの正負交番繰返し荷荷を行った後、正方向に単調荷荷した。

軸力については、下層階の中柱を対象としたPC-1A、RC-1A、PC-3、RC-3、PC-1B、No.5、No.7、No.8では、軸力比( $\eta$ )にして0.3相当の一定軸力を荷荷した。また、上層階の中柱を対象としたNo.1-1、No.1-2、No.2では、 $\eta = 0.15$ 相当の一定軸力を荷荷した。一方、下層階の外柱を対象としたPC-2、RC-2、No.6では、 $\eta = -0.7 \sim 0.6$ の変動軸力を荷荷した。このとき、予め長期軸力( $N_L$ )に相当する軸力を荷荷した後、 $N_L - N'_E < N < N_L + N'_E$  (N: 軸力,  $N_E, N'_E$ : 地震時軸力)の間は柱せん断力Qに比例する軸

表-2 材料試験結果

試験体	外殻PCaコンクリート				後打ちコンクリート				主筋		帯筋	
	$\sigma_B$	$E_c$	$\sigma_t$	$\epsilon_{co}$	$\sigma_B$	$E_c$	$\sigma_t$	$\epsilon_{co}$	$\sigma_s$	$\sigma_u$	$\sigma_w$	$\sigma_u$
PC-1A	68.4	36.8	-	2750	54.9	33.4	-	-	2660	451	644	-
RC-1A	-	-	-	-	53.3	32.3	-	-	2620	-	-	-
PC-1B	64.7	35.1	-	2430	54.9	33.4	[3.63]	-	2660	469	671	449
PC-2*	73.3	37.7	-	2640	-	-	-	-	2660	469	671	630
RC-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PC-3*	75.1	37.4	-	2900	53.3	32.3	-	-	2620	451	644	-
RC-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.1-1	60.2	28.2	3.71	3330	29.8	25.3	2.21	2160	474	616	400	548
No.1-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	780	997
No.2	55.4	29.2	3.64	3110	31.1	30.4	3.05	2020	444	577	375	536
No.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.6	78.8	34.1	5.49	3340	44.1	34.2	3.79	2280	474	616	470	657
No.7	-	-	-	-	-	-	-	-	444	577	-	-
No.8	-	-	-	-	-	-	-	-	444	577	-	-

ここで、 $\sigma_B$ : コンクリート圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_t$ : コンクリート引張強度(N/mm<sup>2</sup>),  $E_c$ : コンクリート弾性係数(kN/mm<sup>2</sup>),  $\epsilon_{co}$ : コンクリート圧縮変形係数(μm/m<sup>2</sup>),  $\sigma_s$ : 鉄筋降伏強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_u$ : 鉄筋引張強度(N/mm<sup>2</sup>), \*: 外殻PCaコンクリートの試験値は遠心成形供試体による値、他の試験値は円柱供試体による値、[ ]: シリーズ2全荷荷日を通じての平均強度

力を荷荷し、 $N = N_L - N'_E$ または $N = N_L + N'_E$ に達した後は、これを一定に保持させた。

### 3. 実験結果

#### 3.1 ひび割れおよび破壊性状

曲げ破壊型に計画した試験体では、最大耐力に至るまでに柱主筋が降伏し、部材端部に降伏ヒンジが生じ、全ての試験体が曲げ破壊した。せん断破壊型に計画した試

験体では、最大耐力に至るまでに帯筋が降伏し、対角線状にひび割れが進展拡幅し、柱中央部が損傷を受けて、全ての試験体がせん断破壊した。ひび割れの進展状況について遠心成形外殻PCa柱、流し込み成形外殻PCa柱、RC柱を相互に比較すると、種別の違いによらずその進展状況に大きな違いはみられなかった。一方、試験体の水平変形が増大すると、RC柱では外殻PCa柱に比べかぶりコンクリートが厚いため、コンクリートの剥離が顕著となり、外殻PCa柱とRC柱とは破壊の様相が幾分異なっているように見えた。しかしながら、コアコンクリートの損傷程度を目視により比較すると、両試験体に明確な違いは認められなかった。さらに、いずれの外殻PCa柱においても、シアコッターのせん断破壊もしくは支圧破壊による外殻PCaと後打ちコンクリートとの打ち継ぎ界面での滑りは認められず、RC柱と同等の一体性を保持していた。これらから、一定高軸力( $\eta=0.3$ )や変動高軸力( $\eta=0.7\sim0.6$ )を受ける場合でも、外殻PCa柱の破壊性状はRC柱の破壊性状と類似していると考えられる。

### 3.2 柱せん断力-層間変形角関係

柱せん断力-層間変形角(Q-R)曲線を図-2および図-3に示す。また、初期剛性と限界部材角を表-3に示す。ここで、初期剛性は、Q-R曲線上の線形関係とみなされる領域でQ-R曲線を直線近似し、その直線の傾きから求めた。限界部材角は、最大耐力の80%に荷重が低下した時点での層間変形角と定義した。

まず、代表的な曲げ破壊型の試験体のQ-R曲線について述べる。一定軸力( $\eta=0.3$ )を載荷したPC-1A、RC-1A、No.5では、遠心成形外殻PCa柱、流し込み成形外殻PCa柱、RC柱にかかわらずQ-R曲線は紡錘形でエネルギー吸収能力に富み、また、最大耐力以降の急激な耐力低下はみられず、変形能力に富んでいた。同様に、変動軸力( $\eta=0.7\sim0.6$ )を載荷したPC-2、RC-2、No.6でも、最大耐力以降の急激な耐力低下はみられず、高圧縮軸力下においても外殻PCa柱、RC柱にかかわらず靱性に富んでいた。

次に、外殻PCa柱とRC柱が対をなす試験体間のQ-R曲線を比較すると、シリーズ1とシリーズ2では試験体部材寸法が異なるため最大耐力に違いがあるものの、Q-R曲線の形状は類似し、その包絡線は相似的であった。また、Q-R曲線に示す通り、曲げ破壊したPC-1A、RC-1A、No.5では、各試験体の柱主筋降伏時変形角ならびに最大耐力時変形角に大差なく、せん断破壊したPC-3とRC-3、No.7とNo.8では、対応する各試験体の帯筋降伏時変形角ならびに最大耐力時変形角に大差なかった。変動軸力を載荷したPC-2、RC-2、No.6では、圧縮軸力下での最大耐力時変形角に幾分違いがみられたものの、圧縮軸力ならびに引張軸力下での柱主筋降伏時変形角に大差なかった。

一方、表-3に示す初期剛性のうち、PCa柱とRC柱が対をなし、かつ部材寸法が同じである試験体PC-1AとRC-1A、PC-2とRC-2、PC-3とRC-3、No.7とNo.8の初期剛性をそれぞれ比較すると、外殻PCa柱のRC柱に対す

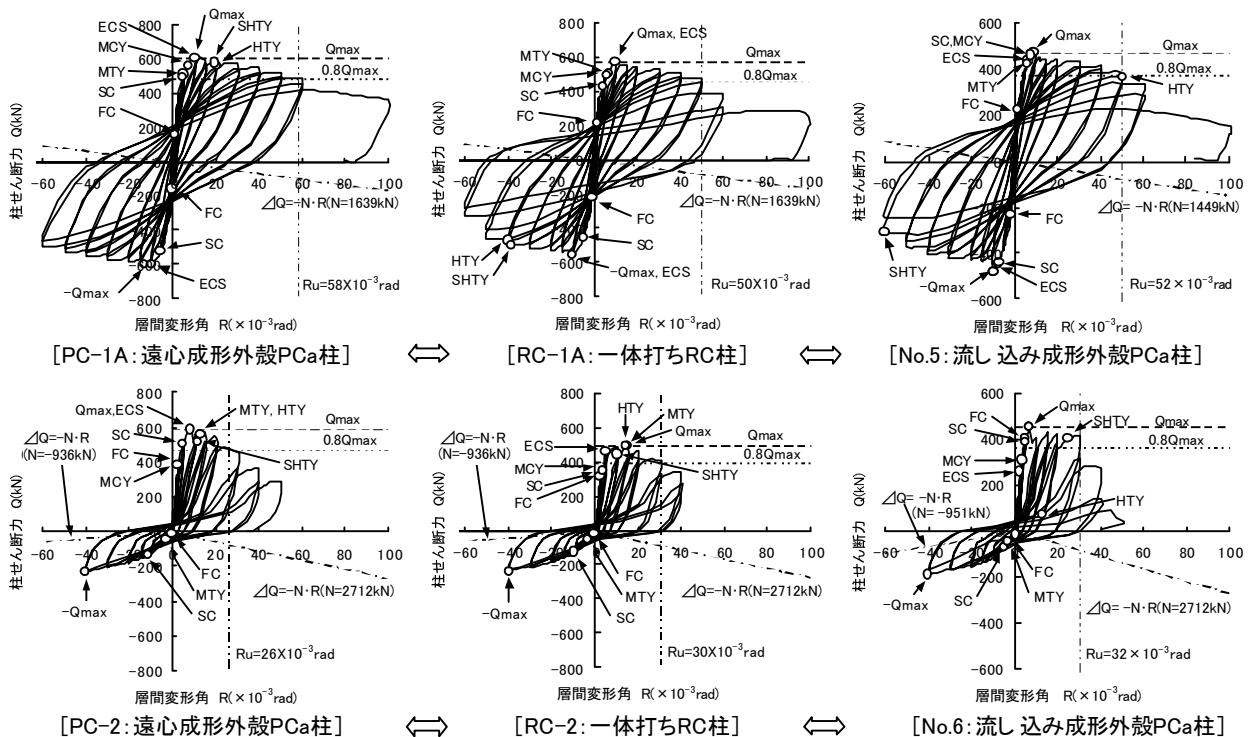
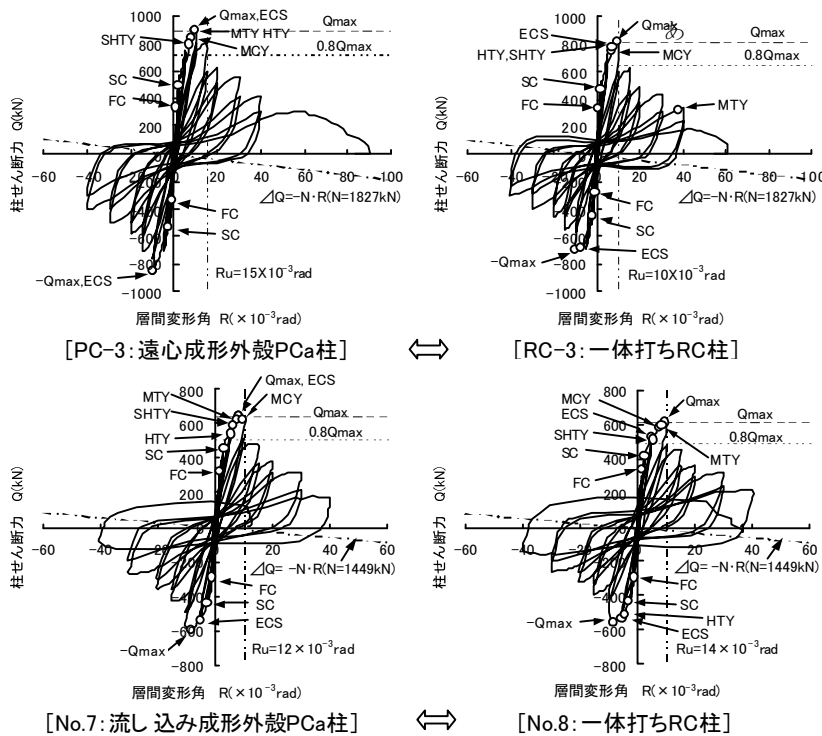


図-2 柱せん断力-層間変形角曲線の比較 (曲げ破壊型の場合)



Qmax: 最大耐力  
 FC: 曲げひび割れ  
 SC: せん断ひび割れ  
 ECS: 材端部コンクリートの圧壊  
 MTY: 主筋の引張降伏  
 MCY: 主筋の圧縮降伏  
 HTY: 帯筋の引張降伏  
 SHTY: 副帯筋の引張降伏

表-3 初期剛性および限界部材角

試験体	工法種別	破壊形式	初期剛性 K <sub>e</sub> (GN/rad)	限界部材角 R <sub>u</sub> (×10 <sup>-3</sup> rad)
PC-1A	PCa	曲げ	220	58
RC-1A	RC		201	50
No.5	PCa		136	52
PC-2	PCa		147	26
RC-2	RC	147	30	
No.6	PCa	103	32	
PC-3	PCa	せん断	320	15
RC-3	RC		297	10
No.7	PCa	せん断	220	12
No.8	RC		221	14
No.1-1	PCa	曲げ	215	44
No.1-2	PCa		208	47
No.2	PCa	せん断	213	17
PC-1B	PCa		265	15

(注) PC-1A, RC-1AとNo.5, ならびにPC-2, RC-2とNo.6では、それぞれ前者2体と後者1体の柱部材寸法が異なるので、初期剛性については直接比較できない。

図-3 柱せん断力-層間変形角曲線の比較(せん断破壊型の場合)

る比は1.00~1.09であり、いずれの場合も外殻PCa柱はRC柱に比べ剛性が大きいものの、差は10%を下まわり大差なかった。これは、曲げひび割れが最初に入り初期剛性に影響を与える柱脚打ち継ぎ部は、外殻PCa柱、RC柱によらず後打ちコンクリートより成るため、両者の初期剛性にほとんど差がなかったものと考えられる。他方、限界部材角についてみると、曲げ破壊型およびせん断破壊型において、遠心成形外殻PCa柱、流し込み成形外殻PCa柱にかかわらず、いずれの外殻PCa柱の限界部材角も対応するRC柱の限界部材角と概ね同等であった。

4. 最大耐力の評価

最大耐力の実験値ならびに計算値を表-4と図-4に示す。ここで、曲げ耐力の計算値については、外殻PCaと後打ちコンクリートの諸元(強度、剛性、断面積)を個別に考慮してファイバーモデルによる断面解析から求めた。また、せん断耐力の計算値については、外殻PCa柱では外殻PCaと後打ちコンクリートは一体となってせん断力に抗するため、結局、柱部材としてはコンクリート強度が平均的に上昇したものと等価であると考え、次頁(1)式に示す通り外殻PCaと後打ちコンクリートの強度と面積から柱の等価コンクリート強度を求め、これを用いて既往のせん断耐力式より算出した。用いたせん断耐力式は、修正荒川mean式<sup>1), 2)</sup>、終局強度型耐震設計指針A法式<sup>3)</sup>、New RC式<sup>4)</sup>、靱性保証型耐震設計指針式<sup>5)</sup>で

る。なお、修正荒川mean式、終局強度型耐震設計指針A法式は、本来の適用範囲を超えるものの、本論では、高強度領域に対しても適用できるものと仮定している。

最大耐力の計算値と実験値との比較に際しては、表-1に示す試験体の他、文献6)~14)の試験体も対象とした。それら全ての試験体は、帯筋が外殻PCaにあらかじめ内蔵され柱主筋が後打ちコンクリートに埋設される形式のものである。先ず、表-4に示す最大耐力の実験値について、外殻PCa柱とRC柱を対で製作した曲げ破壊型のPC-1AとRC-1A、PC-2とRC-2、せん断破壊型のPC-3とRC-3、No.7とNo.8で比較すると、いずれの場合も外殻PCa柱の最大耐力はRC柱と同等かそれ以上であった。本外殻PCa柱程度のシアコッター面積比を有して外殻PCaと後打ちコンクリートとの一体性を確保できれば、遠心成形外殻PCa、流し込み成形外殻PCaにかかわらず、外殻PCa柱の最大耐力は、RC柱と同等もしくはそれ以上を期待できる。

次に、ファイバーモデルによる断面解析から得られた曲げ耐力の計算値と実験値との関係について述べると、計算値に対する実験値の比の平均値は1.09、変動係数は0.07であり、計算値は曲げ耐力を精度よく評価した。また、大部分の試験体が0~20%の領域にあり、計算値は曲げ耐力を小さく評価することが確かめられた。ここで、試験体数が少ないものの、表-4から遠心成形外殻PCa柱と流し込み成形外殻PCa柱の計算値に対する実験値の比について個別に求めると、平均値はそれぞれ1.12と

1.05で遠心成形外殻PCa柱の方が若干大きいものの、標

表-4 最大耐力の実験値および計算値

試験体名	種類	外殻PCa製作法種別	破壊形式	実験値		計算値					実験値/計算値				
				最大耐力	曲げ耐力実強度	せん断耐力					曲げ耐力実強度	せん断耐力			
						断面解析	等価コンクリート強度					等価コンクリート強度	等価コンクリート強度	等価コンクリート強度	等価コンクリート強度
							修正荒川式	終局強度型A法式	New RC式	靱性保証型式					
$exp Q_{max}$ (kN)	$Q_{Fu}$ (kN)	$am Q_{su}$ (kN)	$a Q_{su}$ (kN)	$n Q_{su}$ (kN)	$id Q_{su}$ (kN)	$exp Q_{max} / Q_{Fu}$	$exp Q_{max} / am Q_{su}$	$exp Q_{max} / a Q_{su}$	$exp Q_{max} / n Q_{su}$	$exp Q_{max} / id Q_{su}$					
PC-1A	PCa	C	F	609	557	501	740	677	715	1.09	1.22	0.82	0.90	0.85	
RC-1A	RC	-	F	573	533	490	731	654	609	1.08	1.17	0.78	0.88	0.94	
PC-2	PCa	C	F	585	467	521	573	575	537	1.25	1.12	1.02	1.02	1.09	
RC-2	RC	-	F	498	429	508	564	568	466	1.16	0.98	0.88	0.88	1.07	
No.1-1	PCa	P	F	391	400	329	476	476	482	0.98	1.19	0.82	0.82	0.81	
No.1-2	PCa	P	F	406	399	364	597	579	546	1.02	1.12	0.68	0.70	0.74	
No.5	PCa	P	F	479	447	424	647	557	616	1.07	1.13	0.74	0.86	0.78	
No.6	PCa	P	F	454	377	490	571	548	531	1.20	0.93	0.80	0.83	0.85	
PCM-3 <sup>9)</sup>	PCa	C	F	443	391	415	538	494	603	1.13	1.07	0.82	0.90	0.73	
RCM-1 <sup>8)</sup>	RC	-	F	437	389	414	537	491	460	1.12	1.06	0.81	0.89	0.95	
I-2 <sup>7)</sup>	PCa	C	F	661	624	945	1886	1887	1713	1.06	0.70	0.35	0.35	0.39	
II-1 <sup>7)</sup>	PCa	C	F	487	480	545	1051	1133	947	1.01	0.89	0.46	0.43	0.51	
II-2 <sup>7)</sup>	PCa	C	F	459	432	521	1051	1198	947	1.06	0.88	0.44	0.38	0.48	
SE1 <sup>8)</sup>	PCa	C	F	1066	890	1166	1166	1193	1212	1.20	1.24	0.91	0.89	0.88	
CB-P1 <sup>10)</sup>	PCa	P	F	500	513	543	702	738	665	0.97	0.92	0.71	0.68	0.75	
No.9 <sup>10)</sup>	PCa	P	F	443	402	493	708	657	648	1.10	0.90	0.63	0.67	0.68	
No.12 <sup>13)</sup>	PCa	P	F	511	477	560	768	723	714	1.07	0.91	0.67	0.71	0.72	
No.17 <sup>13)</sup>	PCa	P	F	556	564	693	747	849	690	0.99	0.80	0.74	0.65	0.81	
PC-3	PCa	C	S	892	977	632	742	753	716	0.91	1.41	1.20	1.18	1.25	
RC-3	RC	-	S	815	913	604	726	712	604	0.89	1.35	1.12	1.14	1.35	
PC-1B	PCa	C	FS	807	761	575	735	743	709	1.06	1.40	1.10	1.09	1.14	
No.2	PCa	P	S	433	507	327	351	373	365	0.85	1.32	1.23	1.16	1.19	
No.7	PCa	P	S	638	671	478	501	530	539	0.95	1.33	1.27	1.20	1.18	
No.8	RC	-	S	612	589	441	483	496	432	1.04	1.39	1.27	1.23	1.42	
PCS-4 <sup>6)</sup>	PCa	C	FS	688	723	508	577	616	610	0.95	1.35	1.19	1.12	1.13	
PCS-5 <sup>6)</sup>	PCa	C	FS	746	723	509	577	617	646	1.03	1.47	1.29	1.21	1.15	
II-5 <sup>7)</sup>	PCa	C	S	843	779	691	741	858	718	1.08	1.22	1.14	0.98	1.17	
II-8 <sup>7)</sup>	PCa	C	S	600	755	583	565	643	499	0.79	1.03	1.06	0.93	1.20	
II-10 <sup>7)</sup>	PCa	C	S	677	1015	624	565	718	499	0.67	1.08	1.20	0.94	1.36	
SY1 <sup>8)</sup>	PCa	C	FS	1339	1255	1015	1201	1273	1244	1.07	1.32	1.11	1.05	1.08	
SS1 <sup>8)</sup>	PCa	C	S	1196	1258	931	894	1038	884	0.95	1.28	1.34	1.15	1.35	
CS-P1 <sup>10)</sup>	PCa	P	S	586	702	587	696	735	667	0.83	1.00	0.84	0.80	0.88	
A5 <sup>10)</sup>	PCa	C	S	459	488	347	292	372	310	0.94	1.32	1.57	1.23	1.48	
C2 <sup>10)</sup>	PCa	C	S	531	578	415	437	468	428	0.92	1.28	1.22	1.13	1.24	
No.6 <sup>11)</sup>	PCa	C	S	634	737	533	654	614	592	0.86	1.19	0.97	1.03	1.07	
No.9 <sup>11)</sup>	PCa	C	S	696	798	586	663	648	608	0.87	1.19	1.05	1.07	1.14	
No.12 <sup>11)</sup>	PCa	C	S	622	721	515	691	531	774	0.86	1.21	0.90	1.17	0.80	
No.13 <sup>11)</sup>	PCa	C	S	623	707	501	654	599	591	0.88	1.24	0.95	1.04	1.05	
No.15 <sup>12)</sup>	PCa	C	S	814	793	668	806	595	906	1.03	1.22	1.01	1.37	0.90	
No.19 <sup>12)</sup>	PCa	C	S	883	961	801	974	739	676	0.92	1.10	0.91	1.19	1.31	
No.13 <sup>13)</sup>	PCa	P	S	565	712	538	674	611	598	0.79	1.05	0.84	0.92	0.94	
No.14 <sup>13)</sup>	PCa	P	S	589	682	521	665	585	511	0.86	1.13	0.89	1.01	1.15	
No.18 <sup>13)</sup>	PCa	P	S	683	841	647	667	706	592	0.81	1.06	1.02	0.97	1.15	
PC-A <sup>14)</sup>	PCa	C	FS	776	789	546	777	829	724	0.98	1.42	1.00	0.94	1.07	

C: 遠心成形, P: 流し込み成形, F: 曲げ破壊, S: せん断破壊, FS: 曲げせん断破壊  
 \*: 圧縮縁のコンクリートのひずみ度が0.3%のときの曲げ耐力, またはそれ以前に最大曲げ耐力に至る場合はその値。

平均値	1.09	1.25	1.10	1.09	1.16
標準偏差	0.08	0.13	0.17	0.13	0.16
変動係数	0.07	0.11	0.16	0.12	0.14

(注) 平均値、標準偏差、変動係数は網掛けの部分を対象としている。

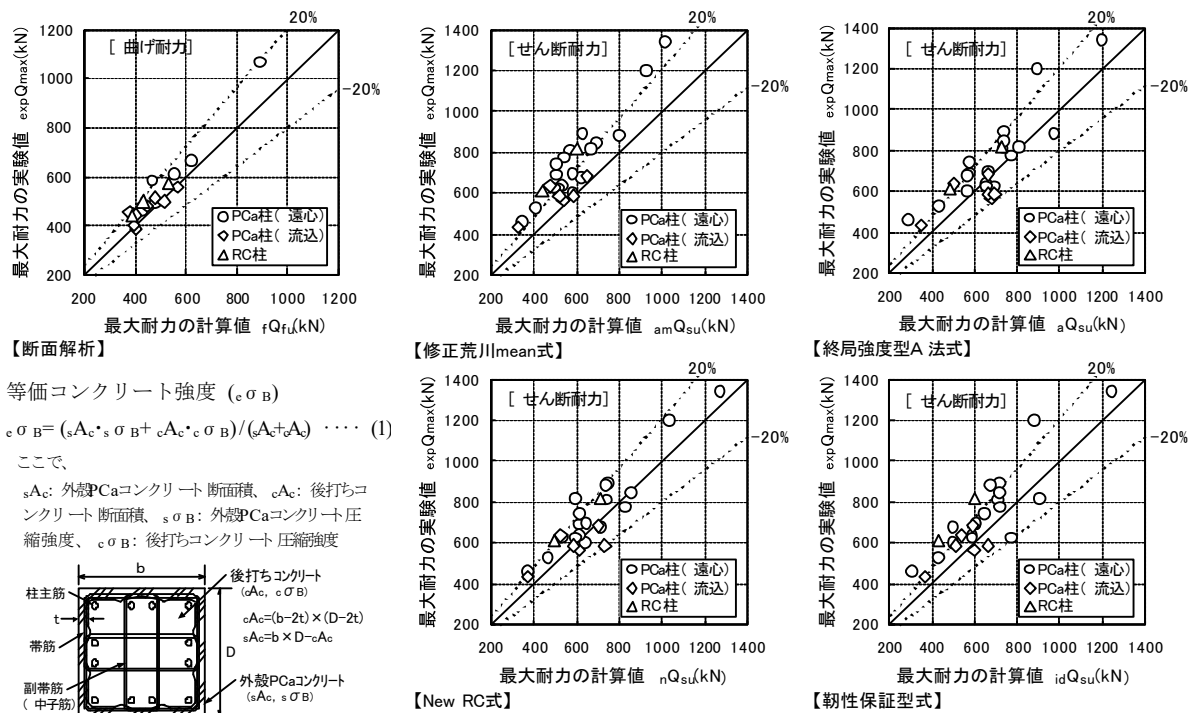


図-4 最大耐力の実験値と計算値との関係

準偏差、変動係数に違いはみられなかった。

一方、等価コンクリート強度を用いて既往の耐力式からせん断耐力を求めた場合について述べると、計算値に対する実験値の比の平均値は、修正荒川mean式では1.25、終局強度型耐震設計指針A法式では1.10、New RC式では1.09、靱性保証型耐震設計指針式では1.16であった。このうち、New RC式では、計算値はほぼ±20%の領域に入り、標準偏差が0.13、変動係数が0.12でばらつきが小さく、4式の中では精度が最も高いこと、修正荒川mean式では、最大耐力を安全側に評価し、かつ高強度領域の試験体を含めても標準偏差が0.13、変動係数が0.11であり、ばらつきが小さいことがわかった。さらに、終局強度型耐震設計指針A法式、靱性保証型耐震設計指針式でも、標準偏差が1.16~1.17、変動係数が0.14~0.16であり、十分な精度を有していた。また、表-4から、各せん断耐力式ごとに、遠心成形外殻PCa柱と流し込み成形外殻PCa柱の計算値に対する実験値の比について個別に求めると、平均値はそれぞれ1.10~1.26、1.01~1.15であり、遠心成形外殻PCa柱に比べて流し込み成形外殻PCa柱が小さいものの、標準偏差はそれぞれ0.11~0.16、0.12~0.18、変動係数はそれぞれ0.09~0.15、0.11~0.18であり、精度上、外殻PCa柱の種別の違いによる差はほとんどみられなかった。

以上から、遠心成形外殻PCa柱、流し込み成形外殻PCa柱にかかわらず、既往の算出方法を採ることにより曲げ耐力ならびにせん断耐力を十分な精度で評価できること、また、各せん断耐力式において精度上の大きな差はないことが確かめられた。

## 5. まとめ

本研究の範囲で得られた知見を以下に示す。

- i) 遠心成形外殻PCa柱と流し込み成形外殻PCa柱の構造特性は類似し、最大耐力は同等であった
- ii) 曲げ破壊型、せん断破壊型ともに、外殻PCa柱とRC柱とではひび割れの進展状況、破壊性状に大きな違いはなかった
- iii) 曲げ破壊型の外殻PCa柱の復元力特性はエネルギー吸収能力に富み、かつ最大耐力以降も急激な耐力の低下はみられず、RC柱と同等の十分な変形能力を示した。また、せん断破壊型においても外殻PCa柱とRC柱の復元力特性は類似した
- iv) 外殻PCa柱とRC柱の初期剛性に大差はないが、外殻PCa柱の最大耐力は、曲げ破壊型、せん断破壊型ともに、RC柱の最大耐力を上回った
- v) 外殻PCa柱の曲げ耐力については、外殻PCaと後打ちコンクリートの諸元を個別に考慮したファイバーモデルによる断面解析で精度良く評価できること、また、せん断耐力については、等価コンクリート強

度を用いた場合、修正荒川mean式、終局強度型耐震設計指針A法式、New RC式、靱性保証型耐震設計指針式いずれによっても、十分な精度で評価できることが確かめられた

## 謝辞

本研究の一部は、(株)奥村組、五洋建設(株)、大末建設(株)、(株)松村組の4社が共同で行ったものである。ご協力いただいた方々に謝意を表す。また、本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた筑波大学 今井 弘教授に深く謝意を表す。

## 【参考文献】

- 1) 荒川 卓：鉄筋コンクリートばりの許容せん断応力度とせん断補強について - 実験結果による再検討 -、コンクリートジャーナル、Vol. 8, No. 7, pp. 11~20, 1970. 7
- 2) 日本建築センター：構造計算指針・同解説、1991年版
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990年
- 4) (財) 日本国土開発技術研究センター：建設省総合技術開発プロジェクト、鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発、平成4年度 構造性能分科会報告書、平成5年3月
- 5) 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
- 6) 中江晃彦、浅野芳伸、早川邦夫、細矢 博：薄肉中空断面プレキャスト工法に関する研究(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 457~458、1995. 9
- 7) 増田安彦、吉岡研三：外殻に薄肉プレキャスト管を使用した鉄筋コンクリートの耐力特性に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、No. 458, pp. 109~118、1994. 4
- 8) 香田伸次、齊藤 豊、山田信一、中澤春生：遠心成型外殻ハーフPCa柱のせん断性状に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、21410, pp. 993~994、1992. 8
- 9) 柳沢延房、磯 健一、上村 右他：薄肉ハーフPCa構法の開発、日本国土開発技術研究報告、No. 13, pp. 9~17、1994. 3
- 10) 泉田伸二、中西靖直、引地和世他：薄肉構造PCaを用いた複合工法の研究(その13)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV、23061, pp. 121~122、1997. 9
- 11) 増田安彦、吉岡研三、野口 隆他：高強度せん断補強筋を用いたハーフプレキャスト柱の耐力・変形性状に関する研究(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、23067, pp. 133~134、1997. 9
- 12) 野口 隆、吉岡研三、福本 昇他：高強度せん断補強筋を用いたハーフプレキャスト柱の耐力・変形性状に関する研究(その4)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、23196, pp. 389~390、1998. 9
- 13) 張 富明、佐藤 武、甲斐 誠、細矢 博、山尾憲一郎、萱嶋宣雄：流し込み成形による外殻PCa柱部材の研究(その11)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、23057, pp. 113~114、2000. 9
- 14) 細矢 博、上西 隆、浅野芳伸：薄肉中空断面プレキャスト工法に関する研究(その4)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、構造IV、23193, pp. 385~386、1998. 9