

論文

[2058] 遠心成形プレキャストコンクリート柱の曲げせん断実験

正会員○増田安彦（大林組技術研究所）

正会員 吉岡研三（大林組技術研究所）

協坂達也（大林組技術研究所）

1. はじめに

近年、建設労働者の不足や高齢化が深刻な問題となっており、建築工事の省力化、プレキャスト化が急務とされている。このような背景から、ヒューム管などのように遠心力を応用してコンクリートを締め固める成形方法を用いて、フープ筋や中子などを打ち込んだ、薄肉中空角型プレキャストコンクリート管（以後 PCa管と呼ぶ）を開発し、これを柱型枠兼用の構造部材として使用する工法を考案した。PCa管の使用によって、柱の型枠工事、柱フープ筋の配筋が省略されるなど様々なメリットが得られるが、その使用にあたっては、現場施工による内部充填コンクリートと PCa管との一体性や部材の耐力などの諸性状について、十分な検討が必要となる。

本論文は、PCa管を使用した柱部材の実大および小型試験体の曲げせん断加力実験を実施し、その諸性状を、在来工法による一体打ち柱部材と比較した結果について述べたものである。

2. 実験目的及び概要

(1) 実験目的

写真-1 にフープ筋および中子を打ち込んだ PCa管を示す。PCa管は遠心力成形によるため、コンクリート強度（4 週コア強度）は 675kg/cm^2 と高い。この PCa管内に主筋を配置し、内部コンクリートを充填して製作した半プレキャスト柱部材が、通常の一体打ち柱部材と異なる点は、フープ筋が主筋と緊結されていないこと、PCa管コンクリートと内部コンクリートの強度、剛性が異なること、内部と外部のコンクリートの付着によって部材を一体化することなどである。そのため、半プレキャスト柱部材の耐力、内外コンクリートの一体性、せん断補強筋の補強効果、主筋の座屈などに関する構造性能を明らかにし、PCa管の使用法、部材の設計法を確立することが必要となる。

本実験では、フープ筋を打ち込んだ PCa管（Aタイプ）、およびフープ筋を打ち込まずに、かぶりコンクリートの一部として使用するワイヤーメッシュを打ち込んだ PCa管（Bタイプ）を用いた半

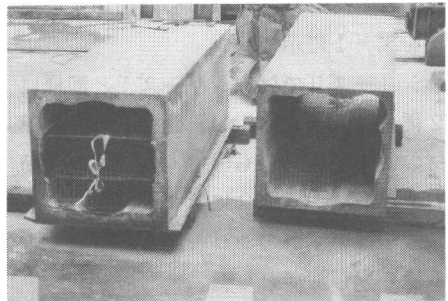


写真-1 PCa管の形状

表-1 実験概要

	試験体	断 面 (mm)	主 筋 (p_x %)	フープ筋 (p_w %)	軸 力 (*FcBD)	PCa管 タ イ プ
シリーズⅠ	I-1	600× 600	8-D32 (1.76%)	4-D16 ø100 (1.33%)	な し	B
	I-2					A
	I-3					一体打ち
	I-4		A			
	I-5		B			
	I-6		一体打ち			
シリーズⅡ	Ⅱ-1	400× 400	12-D19 (2.15%)	2-D16 2-D13 ø85 (1.92%)	1/3	A
	Ⅱ-2				1/4	A
	Ⅱ-3				1/4	B
	Ⅱ-4				1/3	一体打ち

ワイヤーメッシュ I-1,5 : $\phi 4$ 100×100、II-3 : $\phi 3$ 100×100
継手は重ね継手

プレキャスト柱部材の、曲げせん断加力下における構造性能を、一体打ち部材と対比させて検討することを目的とした。

(2) 実験概要

表-1 に実験概要を示す。実験は、軸力のない実大試験体の曲げせん断実験（シリーズⅠ）と、軸力を作用させた小型試験体（シリーズⅡ）の2つのシリーズよりなっており、試験体数は、シリーズⅠが6体、シリーズⅡが4体の計10体である。表-2 に材料強度を示す。

シリーズⅠは、AタイプとBタイプの2種の PCa管を使用し、フープ筋量を2種に変化させた実験で、破壊モードが異なる場合、すなわち曲げ破壊とせん断破壊を生じる場合の各々について、半プレキャスト柱部材の諸性状を調べることを目的としている。試験体の断面および形状を図-1 に示す。

シリーズⅡでは、シリーズⅠと同様に2種の PCa管を使用し、軸力下の各柱部材の性状を調べるもので、試験体の断面および形状を図-2 に示す。

載荷はいずれのシリーズも、正負交番繰り返し載荷とした。

3. 実験結果および考察

3.1 シリーズⅠ

(1) 耐力・変形状

表-3 にシリーズⅠの実験結果の一覧を、図-3 に各試験体のせん断力-層間変位関係（Q- δ 関係）を示す。まず、フープ筋量が多く、部材が曲げ破壊を生

表-2 使用材料

シリーズ	鉄 筋				コンクリート	
	径	弾性係数 kg/cm ²	降伏強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	圧縮強度 kg/cm ²	弾性係数 kg/cm ²
Ⅰ	D13	1.85X10 ⁵	3530	5160	181 Ⅰ-1~3	1.61X10 ⁵ Ⅰ-1~3
	D16	1.78X10 ⁵	3500	5100		
	D32	1.95X10 ⁵	3560	5490	196 Ⅰ-4~6	2.35X10 ⁵ Ⅰ-4~6
	D35	1.95X10 ⁵	3861	6230		
Ⅱ	D13	1.86X10 ⁵	3470	5160	252	2.37X10 ⁵
	D16	1.82X10 ⁵	3710	5660		
	D19	1.85X10 ⁵	3650	5970		

* コンクリートの弾性係数は1/3 割線弾性係数

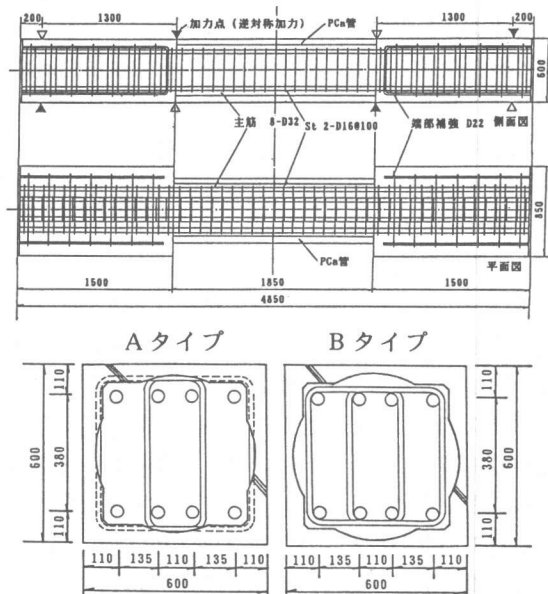


図-1 シリーズⅠの試験体

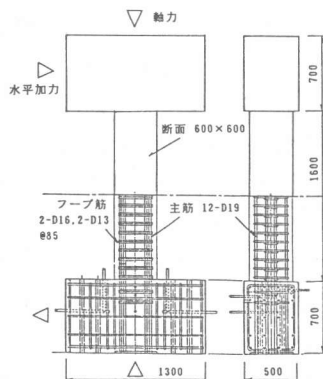
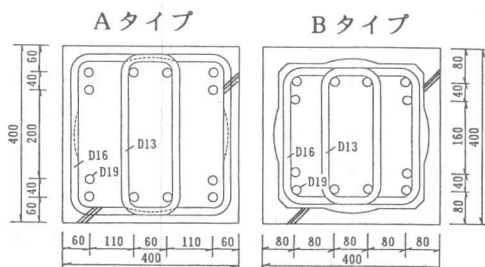


図-2 シリーズⅡの試験体

じる試験体 I-1～I-3では、主筋降伏変位の7倍まで繰り返し载荷を行なったが、いずれの試験体も、耐力性状、 $Q-\delta$ 関係に大差なく、A、Bいずれのタイプの PCa管を使用しても、曲げせん断荷重下における履歴性状、耐力性状は一体打ちのものと同等であることが分かる。一方、せん断破壊を生じる試験体 I-4～I-6のうち、Bタイプ PCa管を使用した I-5試験体は、PCa管の厚みの関係上、他の試験体より主筋が内側にあるため耐力が低く、最大耐力時の変形量も小さい。この試験体のせん断破壊は、PCa管に打ち込んだワイヤーメッシュの破断とほぼ同時に生じた。I-4、I-6試験体は、主筋位置が同じであるにもかかわらず、AタイプPCa管を使用した I-4試験体のほうが、一体打ちの I-6試験体よりも、わずかであるが最大耐力、およびその時の変形量ともに優れている。I-4試験体は、主筋が降伏した後にはフープ筋が降伏し、せん断破壊を生じたのに対して、I-6試験体は、主筋の降伏はなく、変位14.8mm（部材角 $R=8/1000$ ）でフープ筋が降伏し、せん断破壊を生じた。また、図-3より、破壊後の耐力低下も I-6試験体のほうが大きいことが分かる。

図-4は、曲げ破壊を生じた試験体の弾性剛性を比較したものである。図中の1点鎖線は、内部充填コンクリートの弾性係数を用いた計算値を示す。いずれの実験値も計算値より小さい傾向があるが、PCa管の有無、タイプによる差はあまり見られない。

以上のことから、主筋とフープ筋とが緊結

表-3 シリーズ I 実験結果

試験体	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6
弾性剛性 実験値 t/cm	202	200	192	420	358	333
計算値 t/cm	239	239	239	349	349	349
実/計	0.85	0.84	0.80	1.20	1.03	0.95
Q_y 実験値 t	59.9	58.2	58.3	115.9	104.7	111.9 ^{*1}
Q_y 計算値 t	51.7	51.7	51.7	103.2	97.0	103.2
実/計	1.16	1.12	1.13	1.12	1.08	1.08
Q_u 実験値 t	66.9	67.4	65.5	124.0	107.5	120.7
Q_u 計算値 t	53.7	53.7	53.7	109.0 ^{*2} 78.2 ^{*3}	103.2 ^{*2} 76.1 ^{*3}	109.0 ^{*2} 78.2 ^{*3}
実/計	1.25	1.26	1.22	1.14 ^{*2} 1.59 ^{*3}	1.04 ^{*2} 1.41 ^{*3}	1.11 ^{*2} 1.54 ^{*3}

*1 負荷重の値、正荷重で降伏なし *2 荒川式 (mean) より
*3 建築学会終局強度型耐震設計指針 (案) 塑性ヒンジ計画なし

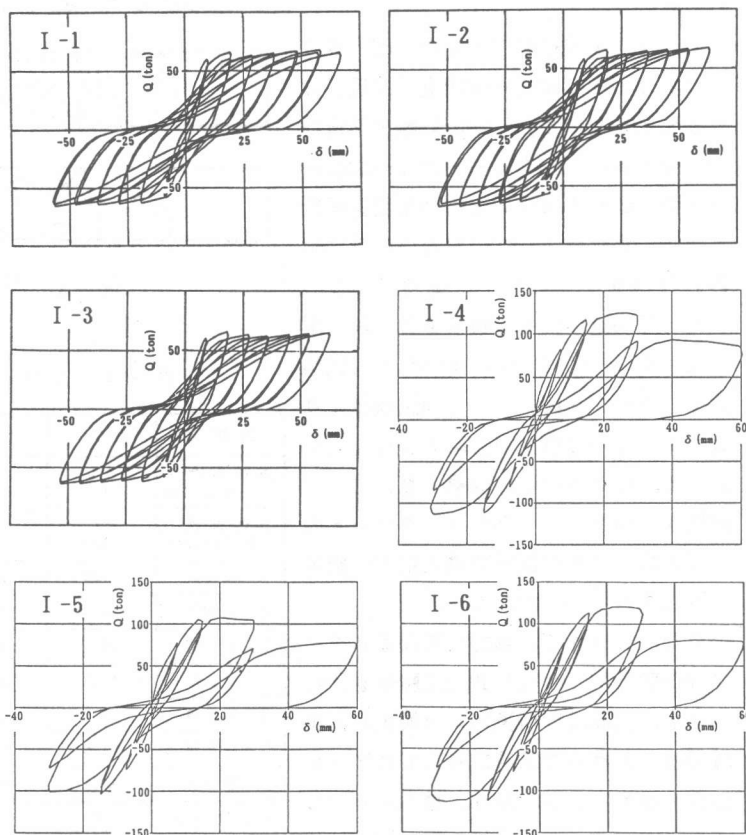


図-3 せん断力-層間変位関係 (シリーズ I)

されていないことが、部材の曲げ及びせん断耐力、変形性状、初期剛性に及ぼす影響はほとんど無く、むしろ高強度コンクリート内にフープ筋を打ち込むAタイプ PCa管を使用した試験体のほうが、せん断耐力が高い傾向にあることが分かる。

(2) ひびわれおよび破壊状況

載荷後のⅠ-1～Ⅰ-3試験体のひびわれ状況を図-5に示す。Ⅰ-1試験体は、材軸方向に1本大きなひびわれが生じている。この位置には、内部コンクリート打ち込み時の側圧が原因と思われるひびわれが既に生じていたが、変位が δ_y を超えると、このひびわれ周辺からPCa版のかぶりコンクリートは剥離し始め、この部分だけが拡大する傾向が見られた。

Ⅰ-2試験体はⅠ-3とほぼ同様のひびわれ性状を示しており、かぶりコンクリートの浮きも $4\delta_y$ を超えるまで生じず、一体性は良好であった。これはPCa管内に中子を打ち込んだこと、フープ筋の一部が露出していたことが有効であったためと考えられる。

3.2 シリーズⅡ

(1) 耐力性状

表-4に実験結果の一覧を、図-6に各試験体のせん断力-層間変位関係($Q-\delta$ 関係)を示す。図中のX軸と平行な一点鎖線は、コンクリートのS-S曲線をe-関数で表わす梅村式を用いた断面解析によって求めた、一体打ち部材の最大耐力計算値を示す。まず、軸力が等しいⅡ-1とⅡ-4試験体を比較すると、最大耐力はAタイプのPCa管を用いたⅡ-1試験体のほうが、一体打ちのⅡ-4試験体より大きく、さらに最大耐力時の変位も大きいことが分かる。この結果より、軸力が作用する場合は、PCa管コンクリートの強度が高いことが部材の最大耐力に影響を及ぼすことがうかがえる。

また、表-4で、軸力の異なるAタイプPCa管部材、Ⅱ-1とⅡ-2試験体を比較すると、主筋降伏荷重および最大耐力実験値は、各々の計算値に対してほぼ一定の値を示すことがわかり、軸力が変化しても半プレキャスト部材の耐力性状は、あまり変わらないことが推定される。

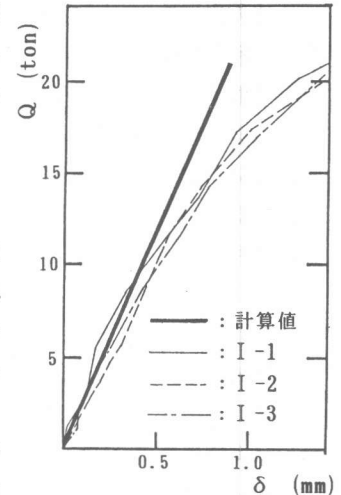


図-4 弾性剛性

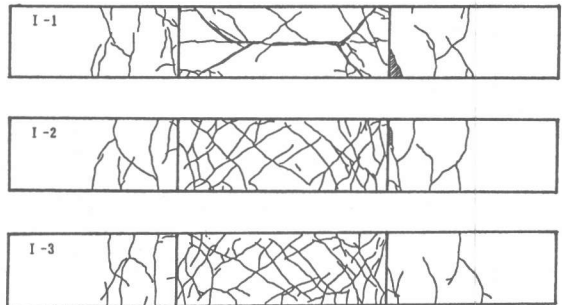


図-5 ひびわれ状況

表-4 シリーズⅡ実験結果

試験体	Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4
弾性剛性 実験値 t/cm	112	114	103	98
弾性剛性 計算値 t/cm	120	120	120	120
実/計	0.93	0.95	0.86	0.82
Q_y 実験値 t	43.9	40.2	40.1	41.3
Q_y 計算値 t	39.1	35.3	32.9	39.1
実/計	1.12	1.14	1.22	1.06
Q_u 実験値 t	49.7	46.8	40.4	44.7
Q_u 計算値 t	41.0	38.2	35.0	41.0
実/計	1.21	1.23	1.15	1.09
主筋の座屈	有 R=60/1000	無	無	有 R=60/1000

表-4によれば、Bタイプ PCa管を使用したⅡ-3試験体は、他の試験体と比べ、主筋降伏荷重が計算値に対して比較的高く、逆に最大耐力が比較的低い。また、図-6からも、Ⅱ-3試験体は、同軸力のⅡ-2試験体よりも最大耐力時の変位が小さいことが分かり、主筋降伏時と、最大耐力時の荷重および変位にあまり差がないことがうかがえる。これらの現象は、Bタイプ PCa管に打ち込んだワイヤーメッシュが、主筋の引張降伏とほぼ同時に破断し、その後 PCa管と内部コンクリートの剥離が著しかったことが原因と思われる、内部コンクリートと PCa管が剥離した場合、その後の部材耐力の上昇は期待できないことが分かる。

図-7は各試験体の弾性剛性の実験値と計算値を比較したものである。計算値は断面の鉄筋量を考慮せずに求めたものであるが、同図によれば、PCa管使用試験体の弾性剛性が一体打ちよりも高い傾向がある。これは軸力が作用することで、PCa管コンクリートの強度、剛性の影響が表われたものと思われる。同時にひびわれ発生荷重以下では、PCa管の種類にかかわらず内部コンクリートとよく一体化した挙動を示すことが分かる。

(2) 主筋の座屈

軸力の大きいⅡ-1及びⅡ-4試験体において、ともに層間変位96mm（部材角 $R=60/1000$ ）で主筋の座屈が生じた。いずれの試験体も、かぶりコンクリートが剥落し、主筋が露出した状態となった時に座屈を生じたが、図-8のせん断力-軸方向変形量関係が示すように、座屈後の軸方向変形状、および荷重の低下傾向は両者全く同様であった。PCa管を使用した部材で、主筋がフープ筋と緊結されていないことが主筋座屈に及ぼす影響は、あまり明確ではないと言える。

(3) ひびわれおよび破壊状況

図-9に載荷後の試験体状況を示す。Ⅱ-3試験体を除く全ての試験体で、試験区間の両端すなわちヒンジゾーンでかぶりコンクリートの剥落が見られる。

Ⅱ-3試験体では、変位19.2mm（ $R=12/1000$ ）でかぶりコンクリートが試験区間ほぼ全域で剥離し、以後の変形が中央部のひびわれ1本に集中した。そのため $R=12/1000$ 以後にひびわれは発生

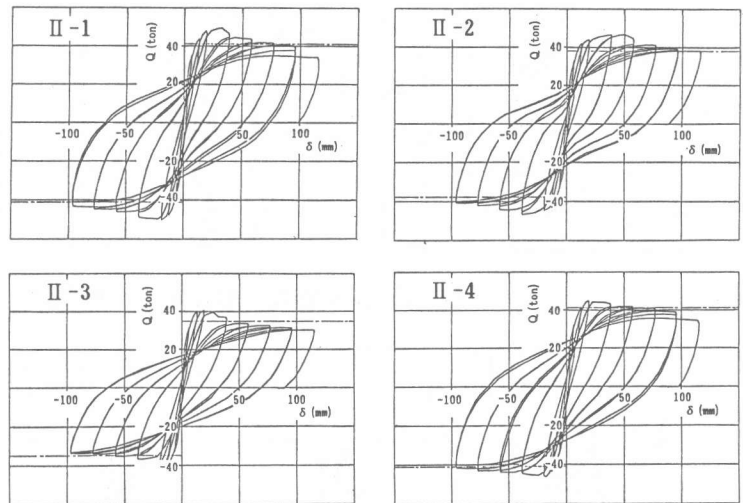


図-6 せん断力-層間変位関係（シリーズⅡ）

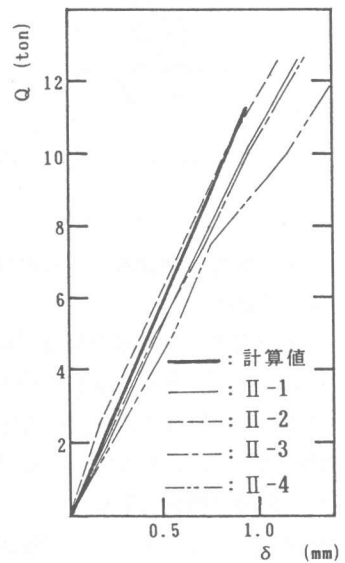
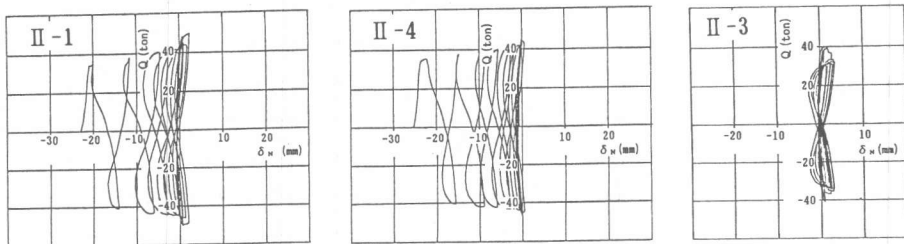


図-7 弾性剛性



主筋座屈のない例

図-8 セン断力-軸方向変形量関係

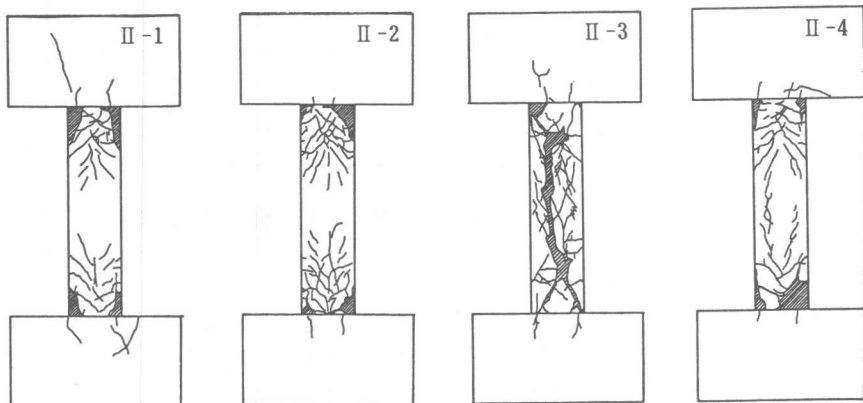


図-9 ひびわれ状況

せず、中央のひびわれのみが開いていく結果となった。

4. まとめ

遠心成形による薄肉角型プレキャストコンクリート管（PCa管）を、型枠兼用部材として使用した、半プレキャスト柱部材の曲げせん断加力実験によって以下に示す結果が得られた。

（１）実大試験体の曲げせん断実験において、主筋曲げ降伏型の半プレキャスト柱部材は、PCa管の種類にかかわらず、一体打ち部材と比べて、荷重-変位関係、弾性剛性、主筋降伏荷重において同様の性状を示した。一方、試験体のひびわれ状況は、かぶりコンクリートの一部にPCa管を使用した（Bタイプ）試験体に、主筋降伏後ひびわれが一か所に集中する現象が見られたが、フープ筋などを打ち込んだPCa管（Aタイプ）を使用した試験体のひびわれ状況は、一体打ち試験体のそれと大差なく、内外コンクリートの一体性はおおむね良好であった。

（２）せん断破壊型の半プレキャスト柱部材の実験結果より、AタイプPCa管を使用した部材の方が、PCa管コンクリートが高強度なため、従来の一体打ち部材よりも、せん断耐力に優れることが分かった。

（３）軸力を加えた小型試験体の曲げせん断実験において、AタイプPCa管を使用した試験体は、PCa管コンクリートの強度の影響によって、一体打ち試験体よりも最大耐力が高く、弾性剛性も高くなる結果が得られた。一方、主筋の座屈性状は、両者ほとんど同様であった。BタイプPCa管を使用した試験体では、弾性剛性、降伏荷重はやや高くなるが、ワイヤーメッシュが破断すると、その後の耐力の上昇は望めないことが分かった。また、各試験体のひびわれ状況は軸力のない試験体と同様の傾向が見られた。