

3. 材端部に重ね継ぎ手を有する薄肉U字型 プレキャスト部材を用いたはりの実験的研究

佐藤 尚隆
福本 昇
森 浩二

要 旨

はりにあばら筋とはり下端主筋を打ち込んだ薄肉U字型プレキャスト(PCa)部材を用い、その下端主筋の継ぎ手を材端部での重ね継ぎ手とした場合のはりおよび柱はり接合部の構造性能を知るために、十字型柱はり接合部の曲げせん断実験を行った。

実験の結果、PCa供試体の荷重-変形関係は部材角 $R=30/1000$ まで一体打ちのものと大きな差はみられないことが分かった。

キーワード

プレキャスト／柱はり接合部／定着／重ね継ぎ手

目 次

1. はじめに
2. 供試体および実験方法
3. 実験結果
 - 3.1 荷重-変形関係
 - 3.2 ひび割れ状況
 - 3.3 主筋のひずみ
 - 3.4 横補強筋のひずみ
 - 3.5 はり端部の変形
4. 考 察
5. ま と め

3. EXPERIMENTAL STUDY ON SEISMIC BEHAVIOR OF R/C COLUMN AND U-FORMED PRECAST BEAMS WITH LAP-SPLICES OF LONGITUDINAL BARS

Hisataka Sato
Noboru Fukumoto
Koji Mori

Abstract

The target of this research is to develop the method of connecting U-formed beams which longitudinal bars and stirrup reinforcements are embedded in and RC columns with lap-splices of longitudinal bar at critical section. Five specimens were subjected to the cyclic displacement routine to investigate the effect on the behavior of beam-column connections with lap-splices of longitudinal bars at critical sections.

The results show that precast beam-column connections showed performances similar to a monolithic beam-column connection until the beam rotation angle of $30/1000$.

1. はじめに

鉄筋コンクリート（RC）造建物を建設する際、生産性の向上、品質の向上および工期の短縮を目的として、部材をプレキャスト化する方法は盛んに取り入れられている。当社でも、以前に、独自のラーメンプレキャスト工法の開発¹⁾を行ったが、今回、部材の軽量化および施工の単純化を図ることを目的として、新たな工法を開発した。本工法は、薄肉U字型PCa部材にはり下端主筋およびあばら筋を打ち込み、その下端主筋にはり端部で重ね継ぎ手としたものである。はり端部は部材応力が大きくなる部分であり、一般的にはこの部分に継ぎ手を設けないこととしている。しかし

はり端部の下端に重ね継ぎ手を用いた場合通し筋と同様の架構の履歴性状を示したという報告²⁾もある。本研究は、はり端部に主筋の重ね継ぎ手を設けることがその構造特性にどのような影響を与えるか調査することを目的として十字型柱はり接合部供試体の曲げせん断実験を行ったものである。

2. 供試体および実験方法

供試体は379×379mmの正方形断面を持つ場所打ち鉄筋コンクリート柱部材と、245×357mm（はり幅×はり成）の矩形断面を持つ薄肉U字型PCaはり部材とを組み合わせた十字型柱はり接合部供試体（PCa供試体）を4体と、PCa供試体と同一形状ではり上下筋

表-1 供試体諸元

試験体名	コンクリート圧縮強度		配筋		下筋重ね 継ぎ手長さ	コッター
	プレキャスト部	後打ち部	柱	梁		
P J 50C	F _c = 420kgf/cm ²	F _c = 270kgf/cm ²	12-D16+2-D10 S D345 Hoop 3-R.B. 6.4 @27	10-D16 S D345 Stirrup 2-R.B. 6.4 @108	50 d *	有
P J 30C					30 d	
P J 50					50 d	無
P J 30					30 d	
J 1	一体打ちF _c =270kgf/cm ²		PCa供試体と同一			

* d は鉄筋の公称径

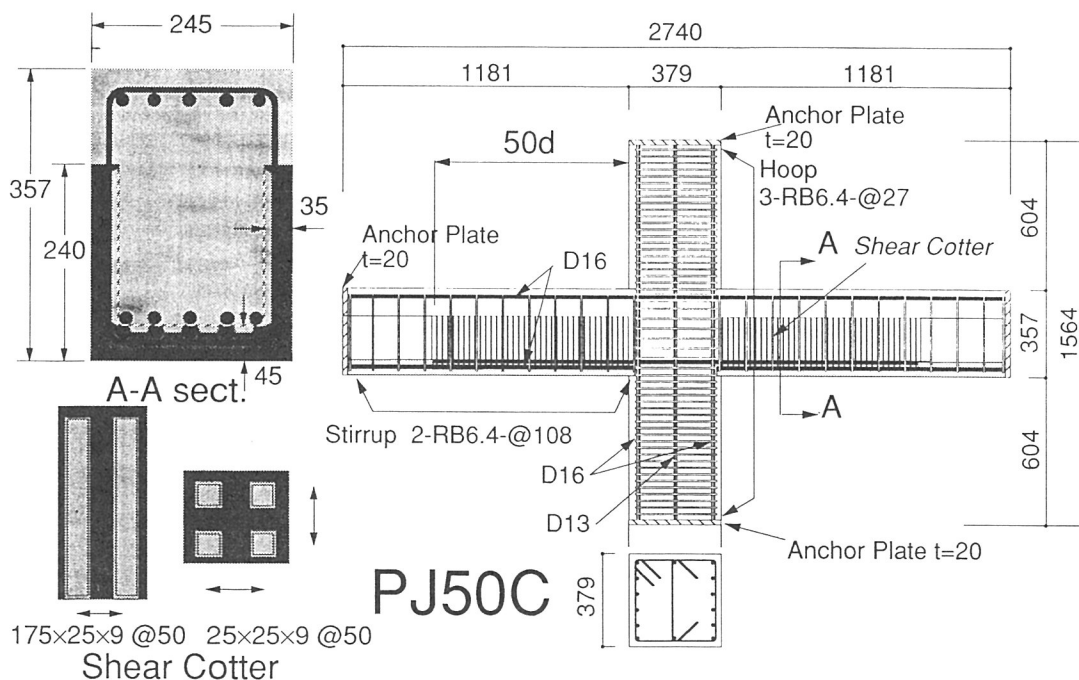


図-1 供試体の寸法と配筋

ともに通し配筋とした一体打ち供試体1体の計5体とした。供試体の諸元および配筋形状を表-1および図-1に示す。柱には12本の降伏強度396MPa、径16mmの異形鉄筋と2本の降伏強度369MPa、径13mmの異形鉄筋を主筋として配した。柱の横補強筋としては、降伏強度1431MPa、径6.4mmの高強度鉄筋で、端部に135度フックを設けた□型フープ筋と中子筋を組み合わせて日型フープ筋としたものを用いた。フープ筋の配筋ピッチは柱部分で27mm、パネルゾーンで41mmとした。はりには上下5本ずつ計10本の降伏強度396MPa、径13mmの異形鉄筋を主筋として配した。あばら筋としては、降伏強度1431MPa、径6.4mmの高強度鉄筋で、端部に135度フックを設けた□型のものを用いた。配筋ピッチは108mmとした。配筋に用いた鉄筋のうちはり

下端主筋とあばら筋は、予め薄肉U字型PCaはり部材に打ち込み、はり上端主筋は後打ちコンクリート内に配している。これら鉄筋の力学的特性を表-2に示す。コンクリートには普通ポルトランドセメントを用いた。コンクリートの力学的特性と配合とを表-3、表-4に示す。コンクリート打設は、薄肉U字型PCaはり部材では、はり底を上にした状態で打設した。供試体は、型枠脱型後コントロールシリンダーとともに湿潤養生した。

実験の変動因子は、はり下端主筋の重ね継ぎ手長さ（ $L=30d, 50d$, d は主筋の呼び径）の違いと薄肉U字型PCaはり部材の重ね継ぎ手部分の内面に設けたシャーコッタ（PCaはり内面： $25 \times 190 \times 9$ 、 $25 \times 25 \times 9\text{mm}$ ）の有無とである。

表-2 鉄筋の力学的特性

呼び名	f_y MPa	e_y %	f_u MPa
φ6.4	1431*	—	1490
D13	369	0.211	524
D16	396	0.234	565

* 0.2%offset時降伏応力

表-3 コンクリートの力学的特性

	f'_c MPa	$E_i \times 10^4$ MPa
J1供試体	32.7	2.57
PJシリーズ梁外殻部	54.6	3.06
PJシリーズ梁後打ち部	26.7	2.29

表-4 コンクリートの配合

設計強度 MPa	セメント kg/m ³	水 kg/m ³	細骨材 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³	混和剤 kg/m ³
26.5	404	202	759	879	1.010
41.2	514	180	782	842	9.766

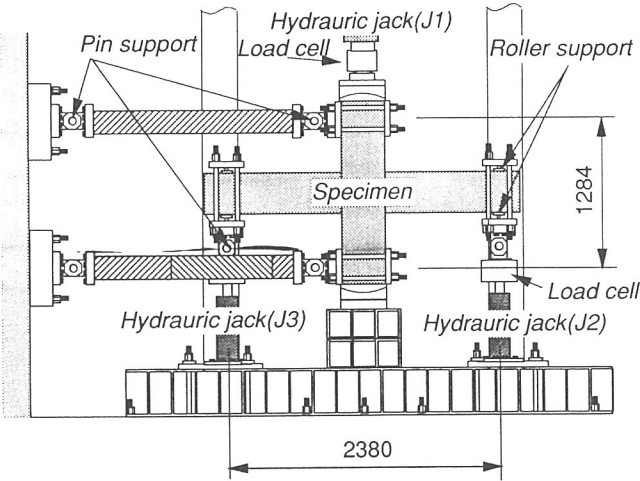
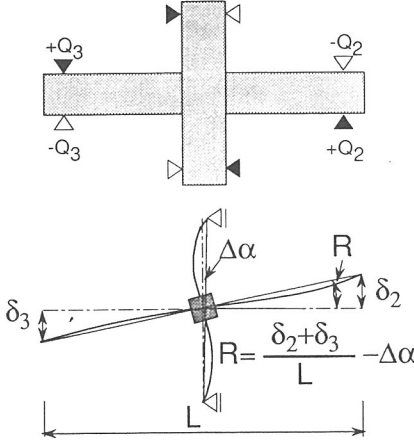


図-2 荷重装置



荷重装置および加力方向と変位を図-2に示す。門型フレーム内に供試体を据えつけ、両端ピンの水平鉄骨材で柱部分の上下を固定した。300 t 油圧ジャッキにより柱頭、柱脚部のピン支承を介して一定軸力（一体打ち供試体で $N/bDf'c=0.5$ 、PCa 供試体で $N/bDf'c=0.2$ ）を与えた。2本の100 t 油圧ジャッキを用いて、左右のはりに逆対称変形を強制した。荷重は、水平軸に対するはりの部材角を制御変位角 R とし、 $R = \pm 10/1000$ 、 $\pm 20/1000$ 、 $\pm 30/1000$ 、 $\pm 40/1000$ 、 $\pm 50/1000$ の各部材角で3回ずつの15サイクルまでの正負交番繰り返しで行った。

計測装置を図-3に示す。層間変位およびはり端部、

と柱はり接合部内の各変位を電気式変位計で計測した。鉄筋のひずみ計測位置を図-4に示す。鉄筋のひずみは、各計測点に貼付した箔ひずみゲージで計測した。

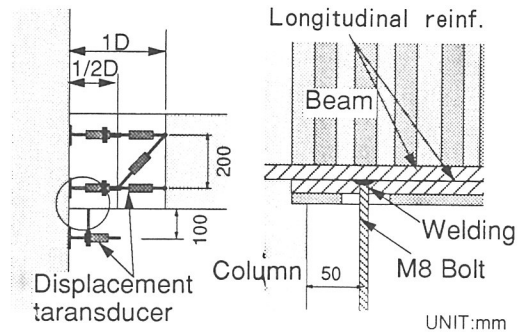


図-3 計測装置

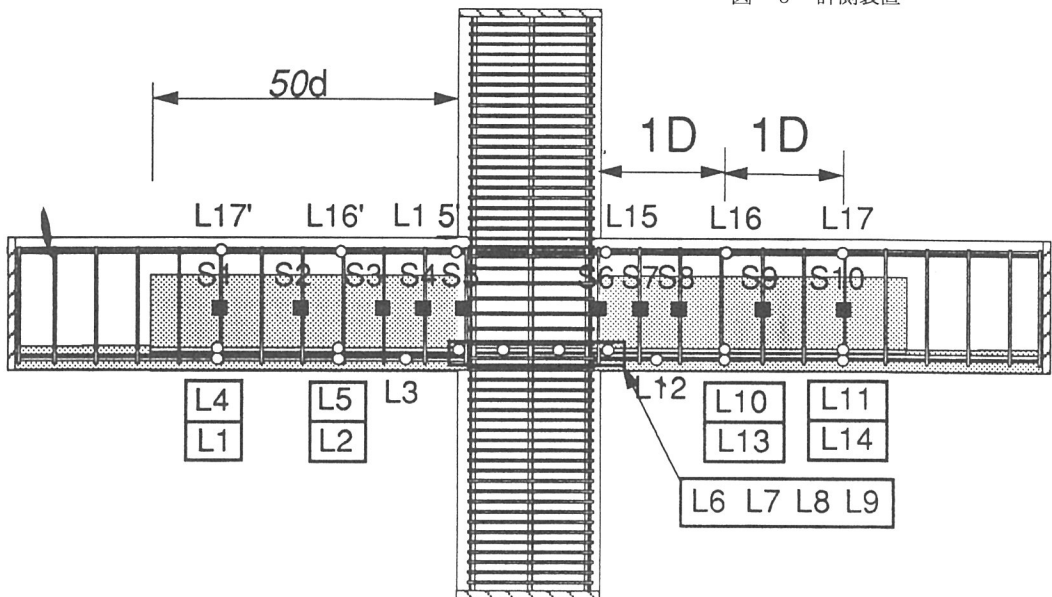


図-4 鉄筋のひずみ計測位置

3. 実験結果

3.1 荷重-変形関係

図-5に各供試体に変形を強制したときの左右の油圧ジャッキの荷重平均値 Q と、部材角 R の関係およびそれらの正加力時の包絡線を示す。各供試体とも $R = 10/1000$ に達するまでに引張り側の主筋が降伏した。 $R = 20/1000$ の変形で各供試体とも最大耐力に達した。いずれの供試体も実験最大荷重ははりの曲げ耐力計算値³⁾より大きく、その比は1.05~1.17であった。 $R = 30/1000$ の変形で各供試体とも耐力が、やや低下した。また $R = 30/1000$ の二回目の繰り返しでは、PJ50シ

リーズに比べPJ30シリーズの耐力の低下が著しくなった。 $R = 40/1000$ 以降では、PJ50シリーズでは徐々に耐力が低下したがPJ30シリーズでは、各変形のピークに達するまでに荷重が低下した。

荷重-変形関係の正加力時の包絡線では、各供試体とも初期剛性に差異はなかった。 $R = 20/1000$ まではPJシリーズはJ1に比べて耐力がやや劣っているが荷重変形関係に大きな差はみられなかった。 $R = 30/1000$ では、PJシリーズの耐力が急に低下しはじめて、特にPJ30の耐力低下が著しかった。PJシリーズのうちPJ50が最もJ1に近い荷重-変形性能を示した。PJ30シリーズでは、シャーコッタが有るPJ30Cの方が、

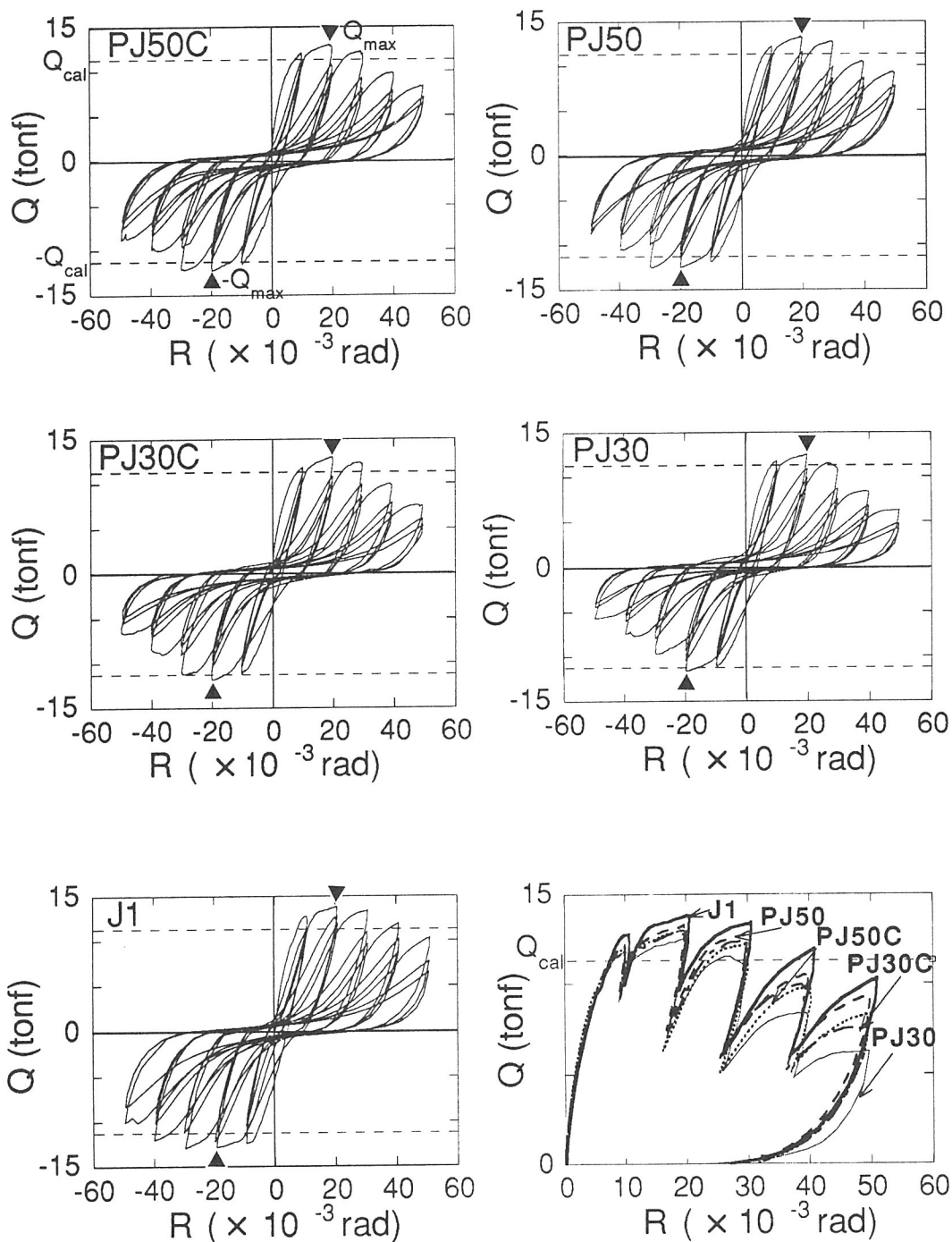


図-5 荷重変形関係

シャーコッタが無いPJ30より変形の増加に伴う耐力の低下は少なかった。しかし、PJ50シリーズではシャーコッタが無いPJ50の方がシャーコッタが有るPJ50C

より変形の増加に伴う耐力の低下は少なかった。

3.2 ひび割れ状況

図-6に各供試体の $R=20/1000$ 時と $R=50/1000$ 時での片側はりのひび割れ状況を示す。

$R=20/1000$ 時のPCa供試体のひび割れ状況いずれの供試体もほぼ同様であった。J1ではひび割れは上端、下端に対称的に発生しているが、PJシリーズでは上端より下端のほうが、広範囲に発生した。PJシリーズの曲げせん断ひび割れは、正加力時におけるひび割れの材軸に対する角度が負加力時より大きかった。各供試体ともに上筋に沿って付着割裂

ひび割れが発生した。

$R=50/1000$ 時では、各供試体とも $R=20/1000$ 時よりあまりひび割れは増えなかったが、はり端部上端のコンクリート破壊が著しく、コンクリート片が剥離した。またその近傍の柱のコンクリートにも圧壊がみられた。PJ30シリーズでは、その傾向がとくに顕著であった。薄肉U字型PCa型枠の底面に主筋に沿った付着割裂ひび割れが発生した。J1ははり全体にわたり上下主筋に沿って付着割裂ひび割れが発生し、はり上端のカバーコンクリートが大きく剥離した。

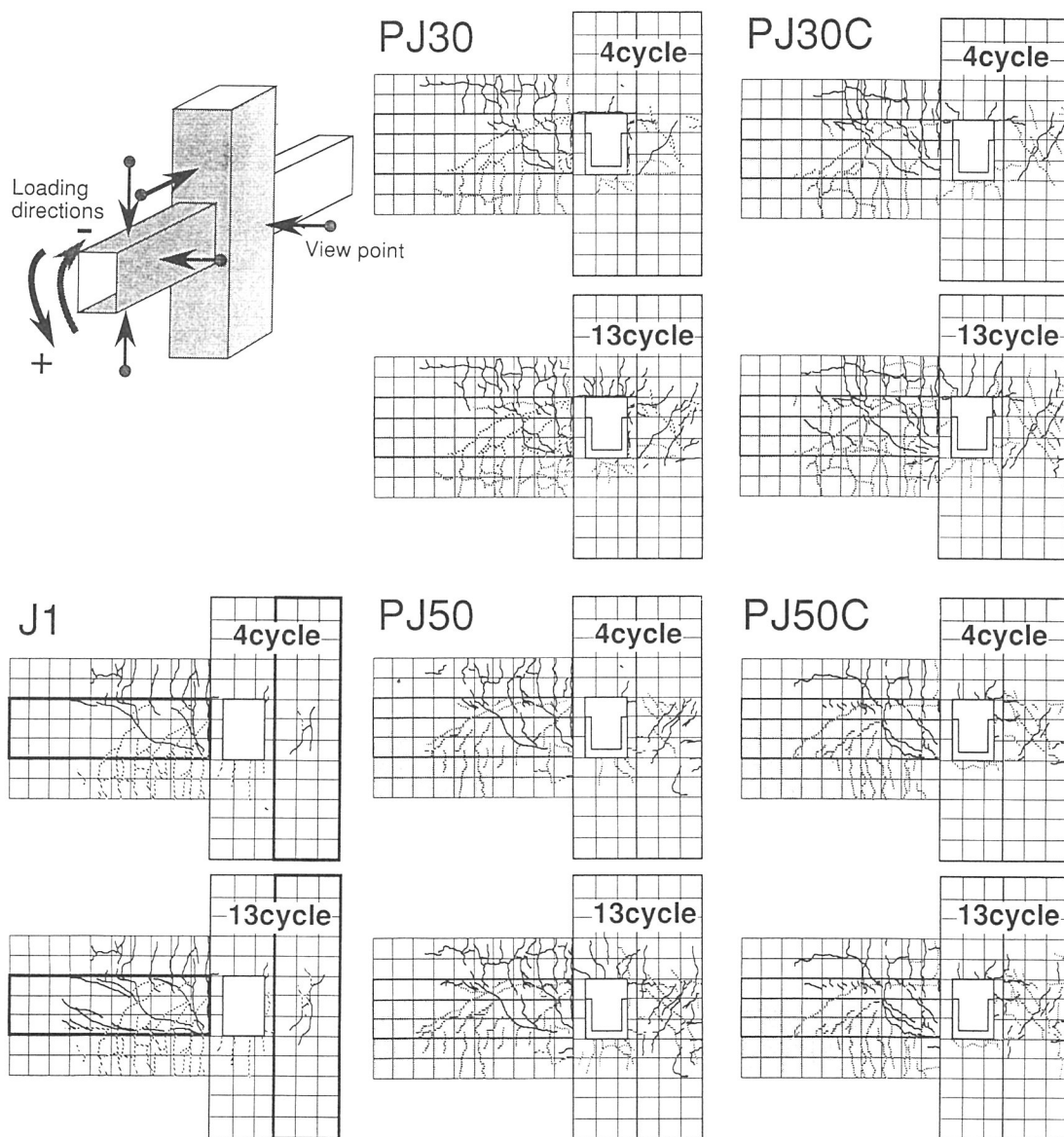


図-6 ひび割れ状況

3.3 主筋のひずみ

図-7に各供試体の $R=+10/1000$ 、 $+20/1000$ 、 $+30/1000$ 、 $+40/1000$ ピーク時の主筋のひずみを示す。グラフの網掛け部分は柱はり接合部の位置を示す。降伏ひずみを超えるひずみは、降伏ひずみ ϵ_y としている。J1では $R=20/1000$ の変形までにはり端部から1D(Dははり成)の位置の上下主筋が降伏ひずみに達した。またはり下端主筋の接合部内でのひずみは降伏に至らず弾性範囲内であった。PJシリーズでは、 $R=10/1000$ の変形ではり上端筋のはり端部から1Dの位置まで降伏ひずみに達した。また、つなぎ筋の危険断面部分では、 $R=20/1000$ の変形までに降伏ひずみに達した。しかし、つなぎ筋とはり下端主筋の重ね継ぎ手部分では、ひずみは弾性範囲内であった。また、

つなぎ筋の柱はり接合部内の位置でのひずみは、J1のものとは比べて大きかった。また降伏ひずみに達するものもあった。PJシリーズ下端主筋の重ね継ぎ手部分のひずみの分布をみると、PJ30C、PJ50では部材角の増加に伴って引張りひずみの増加がみられたが、PJ30、PJ50Cでは、引張りひずみが低下した。とくに、PJ30ではその傾向が著しかった。

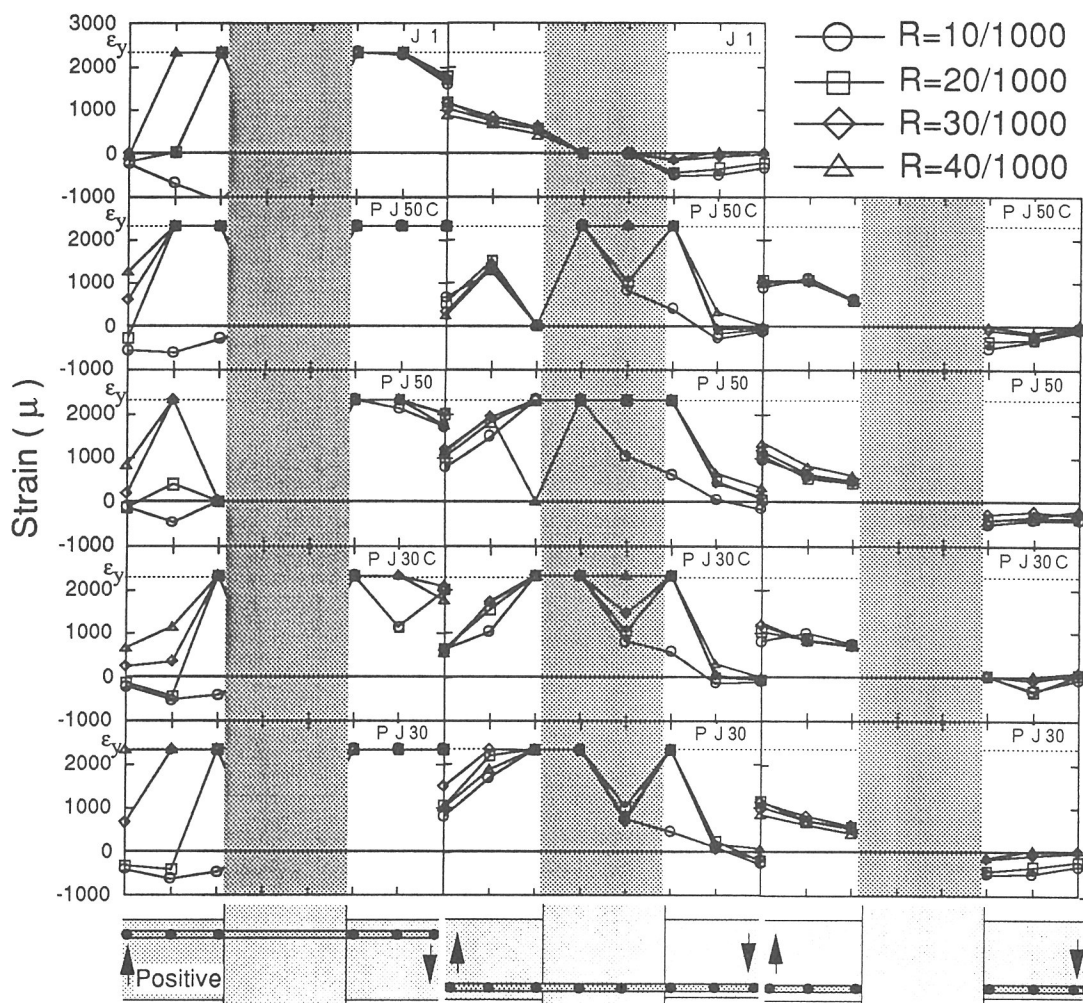


図-7 主筋のひずみ

3.4 あばら筋のひずみ

図-8に、J1とPJ30のひずみと部材角Rの関係を示す。ひずみ計測位置ははり端部から1D、1.5D、2D付近である。J1では主にS1およびS2でひずみが進展した。正加力時、負加力時でよく似たひずみの履歴を示した。S1のひずみは加力の最終段階までひずみは減少しなかった。PJ30では、S1、S2、

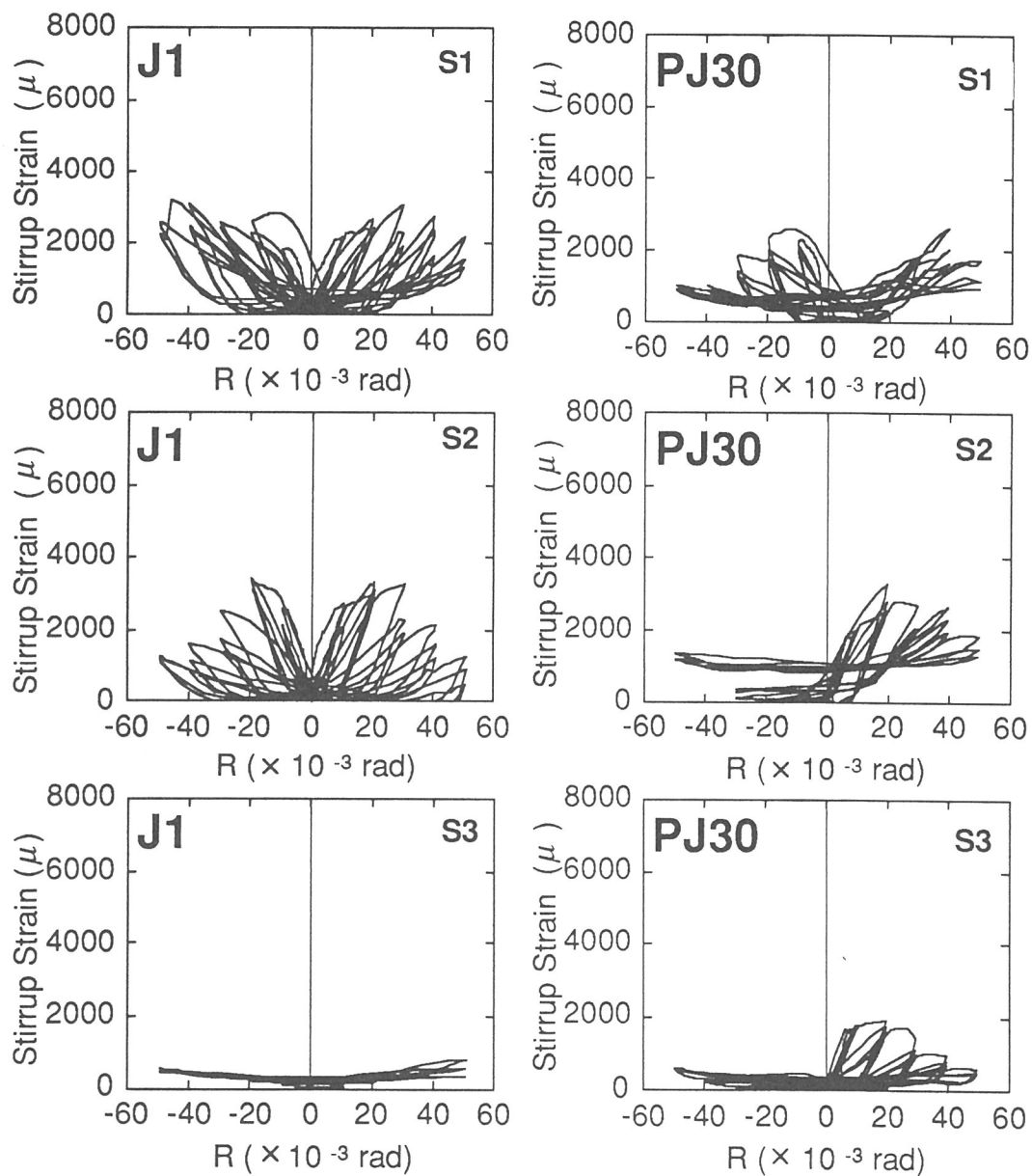
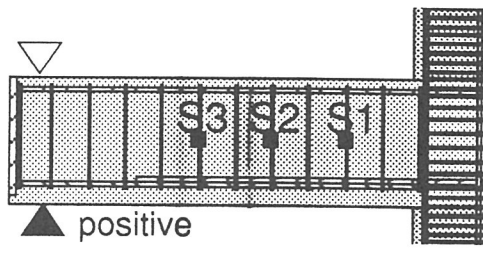


図-8 あばら筋のひずみ

S 3でひずみが進展した。しかし、S 1では $R=20/1000$ の変形までは負加力時のひずみが大きく、 $R=30/1000$ の変形では正負加力時ではほぼ同様のひずみ履歴を示した。S 2、S 3では変形の最終段階まで正加力時でのひずみが大きかった。

3.5 はり端部での変形

図-9に各供試体のはり端から $1/2D$ までの区間の曲率 ϕ_1 およびはり端の $1/2D$ から $1D$ までの区間の曲率 ϕ_2 と载荷サイクルの関係を示す。J 1では変形が進むにつれて ϕ_1 、 ϕ_2 もほぼ同じ比率で増加した。 ϕ_1 は ϕ_2 より常に大きな値であった。一方PJシリーズでは正加力時には ϕ_1 、 ϕ_2 に明確な差は見られなかった。J 1と比較するとPJシリーズの ϕ_1 は正加力時では概ね小さかった。負加力時ではJ 1の ϕ_1 はほぼ同じ値であった。PJシリーズの ϕ_2 は0に近い値であった。

柱面から50mmの位置でボルトを溶接し、それを用いてつなぎ筋の柱面からの変位量を計測した。

図-10にこの相対変位と部材角の関係を示す。この相対変位 δ_r は材端の回転による変位量、つなぎ筋の柱はり接合部からの抜け出し量、およびつなぎ筋のは

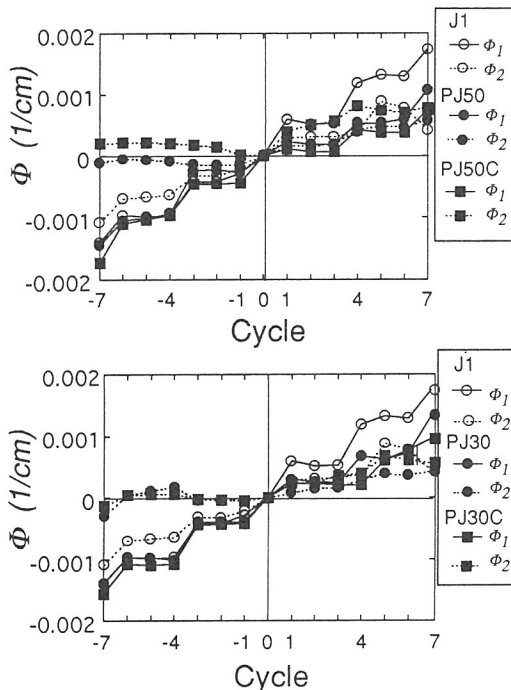


図-9 はり端部の曲率

りからの抜け出し量の各変位成分の和であると考えられる。PJ50シリーズでは、部材角の増加とともに δ_r は増えたが、PJ30シリーズでは負加力時の方が正加力時と比べて同じ部材角での δ_r が大きかった。

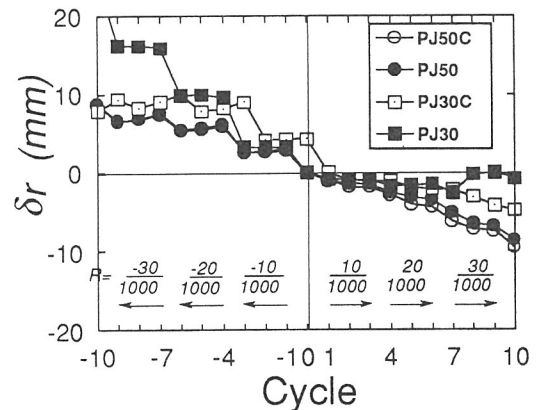
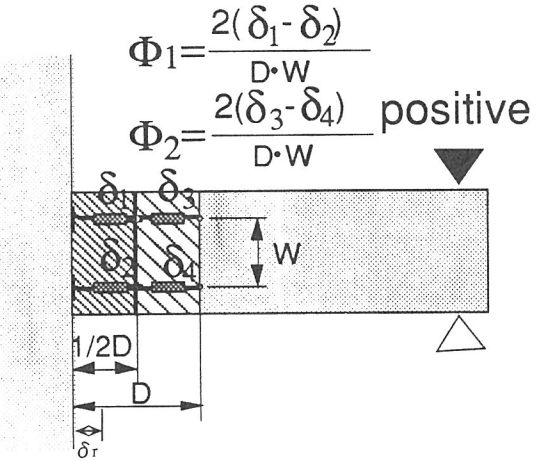


図-10 つなぎ筋の変位

4. 考察

一体打ち供試体とPCa供試体を比較すると耐力および靱性ではPCa供試体の方が劣っていた。計測したはり端部の変位、鉄筋のひずみより原因を推測する。

図-11に一体打ち供試体とPCa供試体のはりの変形状態をモデル化したものを示す。主筋の降伏状況とひび割れ状況から、一体打ち供試体では変形の増加に伴いはり上端主筋とはり下端主筋で危険断面位置からはりの方に向かって主筋の降伏が進み、図のような塑性ヒンジが形成されたと考えられる。しかし、PCa供試体では、変形の増加に伴い危険断面からはりの方に向かってはり上端主筋の降伏が進むが、つなぎ筋の降伏

は危険断面位置からはりに向かって進むのではなく、柱ははり接合部内部に向かって進む。このためにはりがはり下端主筋が引張り応力を受けるとつなぎ筋は、柱はり接合部からの抜け出してくると思われる。ま

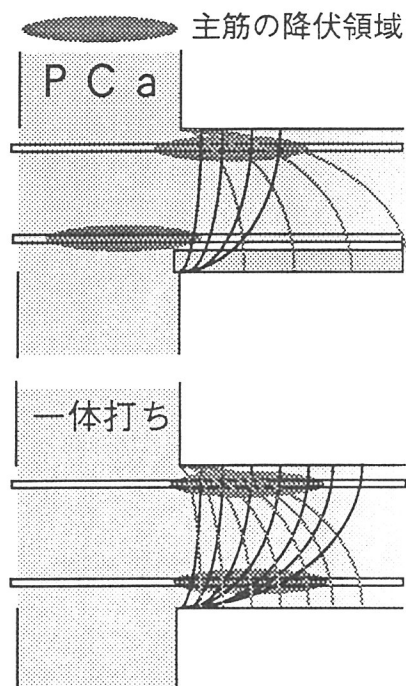


図-11 はり端部主筋の降伏状況

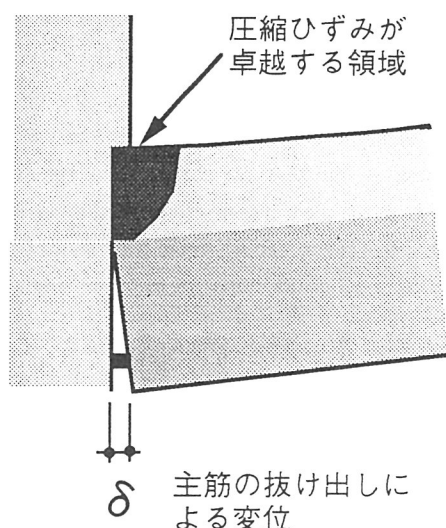


図-12 はり上端の破壊

た、重ね継ぎ手の定着が不十分であるとつなぎ筋は、はり側からも抜け出してくる。このためにはり下端が引張り力を受ける時は、この両方向からの抜け出しによって、はり付け根の下端が開いた状態になる。

PCa供試体ではつなぎ筋の抜け出しにより、はりの端部に回転が生じ完全な塑性ヒンジが形成されない。

PJ30の耐力の低下が最も著しかったのは、図-12に示すようにつなぎ筋のはりから滑りによりはり下端の開きがさらに大きくなり、はり上端コンクリートの圧壊が助長されたことが原因と考えられる。

5. まとめ

本実験から重ね継ぎ手を用いたPCa供試体の変形性能とはり端部の変形について次のような結果が得られた。

- (1) 重ね継ぎ手長さが50 d のPCa供試体は、 $R = 30 / 1000$ までは一体打ち供試体とPCa供試体は同等の変形性能があった。しかし、 $R = 30 / 1000$ を超える変形では、PCa供試体の耐力低下が著しかった。
- (2) 薄肉U字PCa型枠内側のシャーコッタの有無にかかわらず、架構の変形性能の違いはみられなかった。
- (3) はり下端主筋を重ね継ぎ手としたPCa供試体では、はり下筋の主筋の降伏は接合部内に進行した。また、はり上端部分でのコンクリートの破壊が著しかった。

[参考文献]

- 1) 崎山 和隆 他、：浅沼型ラーメンプレキャスト構法（A-RPC）の開発（その1）構法の概要と耐震設計、浅沼組技術研究所報 No.4、pp.1-pp.10、1992
- 2) 市川昌和 他、：プレキャスト十字型柱・はり接合部の変形と強度に関する実験的研究、日本建築学会構造型論文報告集、pp.131- pp.140、1993・11
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 第5版第1刷、pp.611-pp.612