

報 告

[1111] フープ筋付プレキャスト型枠を用いた RC 柱部材に関する  
実験研究

正会員 松崎 育弘 (東京理科大学工学部)  
正会員 ○関口 智文 (東京理科大学大学院)  
池田 正基 (東急建設建築技術部)  
青木 雅秀 (東急建設構造設計部)

1. 序

近年建築現場において、型枠大工・配筋工などの職人の不足及びそれに伴う労働賃金の上昇等が深刻な問題になっている。このような状況のもと、現場での作業量の削減、工期の短縮を目的とした施工の合理化、品質の向上等を目指してRC造のプレキャスト（以下PCa）化が注目されている。なかでもPCa造の利点と在来のRC造の施工性・柔軟性を合わせもつハーフPCa造はここ数年その研究・開発<sup>1)</sup>が盛んになってきている。ハーフPCa造は型枠工事の作業量・工費の削減に注目し、建設工事全体の労働生産性を高めようとするものである。現在のRC造における柱部材は、一部でオールPCa部材の利用がなされているものの、その大きさから作業性・輸送性・コスト的な問題があり、いまだ場所打ちRCが主流となっている。またPCa型枠工法においても非構造体の埋め込み型枠として評価しているのが一般的である。

本研究は、フープ筋と隅角部に位置する主筋を埋め込んだ薄肉中空PCa部材を型枠としてはもちろんのことそれを構造体として用い、中空部に場所打ちコンクリートを打設し両者が構造的に一体化するように意図したPCa柱部材（以下PCa部材）を提案し、この部材がもつ基礎的な構造性能を把握しようとするものである。

2. 本PCa部材の特徴

本プレキャスト部材のモデル図を、図1に示す。本工法の特徴は以下に挙げるような点である。

- 1) フープ筋はシェル内に埋め込み、端部はFB溶接とする。またフープ筋には高強度鉄筋等の使用も考慮する。
- 2) 隅角部の主筋はシェル内に埋め込み、内側主筋は中空部に位置させる。そして、隅角部主筋はスプライススリーブにより、内側主筋はガス圧接によりつなぐ。
- 3) シェル内面にはPCa部と場所打ち部を一体化させるためのシアコッターを設ける。

次に本工法の施工方法としては、まず在来工法同様柱主筋（隅角部の主筋を除く）を圧接した後、PCa部材を上部から落とし込む。

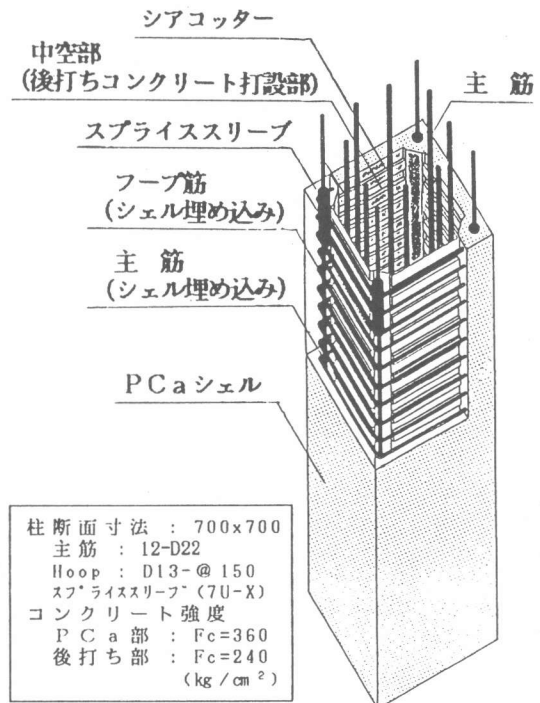


図1 PCa工法モデル図

次に、接合部・梁・床を在来型枠によって形成してから、柱中空部・梁・床同時にコンクリートの打設を行い、スプラインリーブにグラウトを行って隅角部主筋をつなぐものとする。

本工法のメリットとして、施工的には、1) 型枠工事等の省力化が図れる、2) シェル表面は直仕上げが可能であるので仕上げ作業がいない、3) 工期の短縮ができる、等である。また構造的には、4) シェル部のPCa化により特殊工法を用いた補強も可能で、例えばかなり高密度な配筋もできコンクリートに対し拘束効果が期待できる、5) 中空部に高強度(低スランプ)コンクリートの打設がしやすい、6) シェル内に主筋を埋め込むことによりシェルも構造体となり無駄なく利用できる、等の点が挙げられる。

### 3. 構造実験概要

本研究で提案した柱部材の構造性能を把握するため、せん断(Sタイプ)、曲げ(Bタイプ)の2シリーズについて実験を行った。なお、本実験で用いたPCa部材のシアコッターの設計にあたっては中・低層建物の柱部材に作用する平均せん断応力度が設計レベルでは  $15 \text{ kg/cm}^2$  程度であること等を考慮して、図2に示すような形とし、このレベルまでは一体性を保つことができるよう意図した。

[せん断シリーズ] 表1に試験体一覧、表2に鋼材材料試験結果を示す。PCa部材に与えた要因は、1) シアコッターの有無(TPC, TPNタイプ)、2) 型枠内の帯筋量( $p_w$ )の2種類とし、これらの要因が部

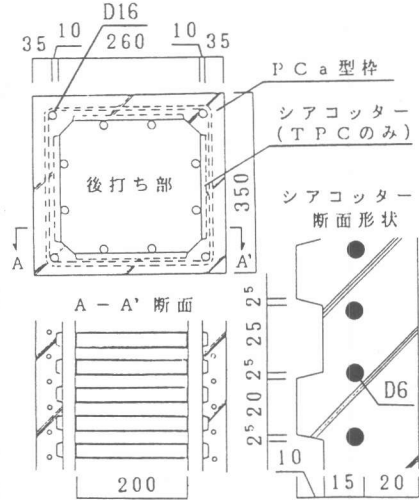


図2 PCa柱部材断面形状図

表1 試験体及び実験結果一覧

試験体名	$c\sigma_a$ ( $\text{kg/cm}^2$ )		$p_w$ (%)	$eQsu$ (tf)		$cQsu①$ (tf)		$eQsu$ ( $cQsu②$ )		$eQsu$ (tf)	$[e\tau su]$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
	後打ち部	PCa部		$cQsu①$	$cQsu②$	$cQsu②$	$cQsu②$				
1 TPC-D2-S	342	522	0.2	32.4	30.6	1.06	31.4	1.03			
2 TPN-D4-S	330	415	0.4	37.2	31.9	1.17	41.0	0.91			
3 TPC-D4-S		464		40.9	32.8	1.25	41.9	0.98			
4 TPC-D6-S	342	456	0.6	47.0	35.0	1.34	53.0	0.89			
5 TPN-D8-S		454		46.6	36.9	1.26	64.1	0.73			
6 TPC-D8-S		436	0.8	51.1	36.4	1.40	63.6	0.80			
7 TC-D4-S	330		0.4	42.0	31.2	1.35	40.3	1.04			
8 TC-D8-S			0.8	46.0	35.4	1.30	62.7	0.73			

表2 鋼材材料試験結果

鉄筋	降伏点 $\sigma_v$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	引張強度 $\sigma_u$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	ヤング係数 ( $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )
D16	11000	12200	1.84
D13	3630	5510	1.86
D6	3770	5350	1.62

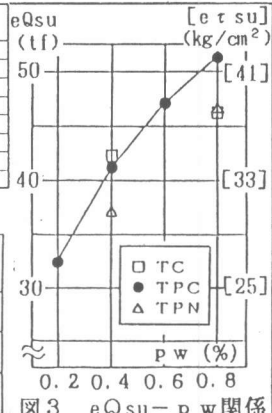


図3 eQsu-pw関係

[試験体説明] TPC-D2-S  
(1) 構・工法略称  
TPC: PCa部材 (シアコッター有)  
TPN: PCa部材 (シアコッター無)  
TC: 一体打ち  
(2) せん断補強筋比:  $p_w$   
(3) せん断破壊先行型

[記号説明]  $\sigma_a$ : 軸圧縮応力度 ( $30 \text{ kg/cm}^2$ )  $p_w$ : せん断補強筋比  
 $c\sigma_a$ : コンクリート圧縮強度  $eQsu$ : せん断終局耐力実験値  
 $cQsu①$ : せん断終局耐力計算値 (広沢式)  
 $cQsu② = b \cdot j \left( \frac{0.115 k_u k_p (180 + c\sigma_a)}{M/Qd + 0.115} + 2.7 \sqrt{p_w \cdot \omega y} + 0.1 \sigma_a \right)$   
 $k_u = 0.74$   $k_p = 0.74$  但し、 $c\sigma_a$ は、等価断面コンクリート強度とした  
 $cQsu②$ : せん断終局耐力計算値 (終局強度型耐震設計指針案式)  
 $cQsu② = b \cdot j_c \cdot p_w \cdot \omega y \cdot \cot \phi + \tan \theta \cdot (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot v \cdot \sigma_a / 2$   
 $\tan \theta = \sqrt{(\sqrt{D}) + 1} - \sqrt{D}$   $\beta = (1 + \cot 2\phi) \cdot p_w \cdot \omega y / (v \cdot \sigma_a)$   
 $v = 0.7 - \sigma_a / 2000$   $\cot \phi = (2.0)$

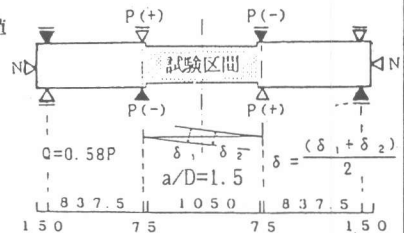


図4 加力模式図

材に及ぼす影響を確かめた。また、これら P C a 部材と一体打ち ( T C タイプ ) との比較を行うものとした。なお、せん断補強筋には D6 ( SD30 ) を、主筋にはせん断破壊を先行させるため D16 に焼き入れ加工を施したものをを用いた。加力は、図 4 に示すような逆対称モーメント载荷とし、広沢せん断耐力式の 80% で正負 1 回繰り返し、 2 回目の正载荷でそのせん断耐力を確認した。なお、軸力は  $\sigma_0$  ( N/bD ) = 30 kg/cm<sup>2</sup> とし、 P C より線を介して導入した。

〔曲げシリーズ〕 試験体は、 P C a 部材 ( T P C , T P N ) 、一体打ち ( T C ) 各一体ずつの計 3 体とし、いずれも曲げ降伏を先行させるため、主筋には D13 ( SD30 ) を使用した。加力はせん断シリーズと同様とし、载荷履歴は部材角を制御して 1/200 ( rad ) で 1 回、 1/100 ( rad ) で 3 回、 1/50 ( rad ) で 2 回繰り返し、最終的に 1/25 ( rad ) まで変形させた。

#### 4. 実験結果

〔せん断シリーズ〕

1. せん断終局耐力及び変形性状 図 5 に、共通要因を  $p_w = 0.4\%$  にした場合の各タイプのせん断力 ( Q ) - 支点間相対変位 (  $\delta$  ) 包絡線を示す。 T C , T P C タイプに比べ T P N タイプは、  $Q = 23.0$  ( tf ) 以後の剛性低下が早く、そのせん断終局耐力も若干低い値を示しているが、初期剛性・せん断終局時の変形性能においては工法による差は見られなかった。また、 T P C , T P N はせん断終局耐力を迎えた後の耐力の低下が T C に比べて少ないという傾向がみられた。図 3 に、せん断終局耐力 (  $eQ_{su}$  ) - せん断補強筋比 (  $p_w$  ) 関係を示す。各試験体とも  $p_w$  の増加にともなってそのせん断終局耐力は高くなる傾向がみられた。

2. せん断終局耐力と計算値との比較 図 6 に、せん断終局耐力実験値 (  $eQ_{su}$  ) と広沢せん断耐力式<sup>2)</sup>による計算値 (  $cQ_{su①}$  ) の比較を示す。全試験体において実験値は、構・工法に関わりなく広沢式の 1.0 ~ 1.4 倍の値を示している。次に、図 7 に実験値と終局強度設計指針案式<sup>3)</sup> (  $cQ_{su②}$  ) の比較を示す。この図から、  $p_w$  が大きくなるにしたがい実験値は計算値を下回る傾向が強くなることわかる。

3. ひび割れ性状 図 8 に各タイプの破壊状況の一例として、 T C - D4 - S , T P C - D4 - S , T P N - D4 - S の最終ひび割れ図及び各々の試験体を実験終了後にカッティングして観察した内部ひび割れ図を示す。

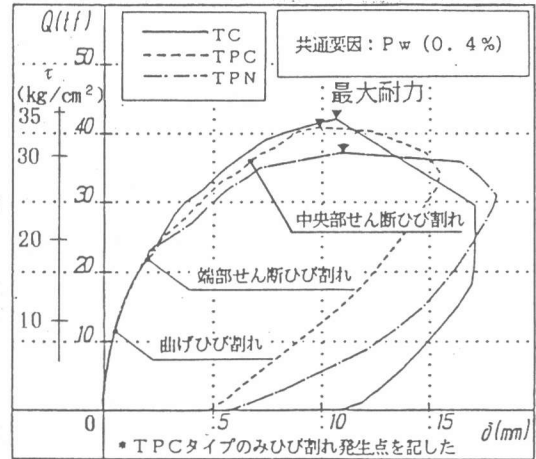


図 5 Q -  $\delta$  包絡線の比較 (  $\tau = Q/bD$  )

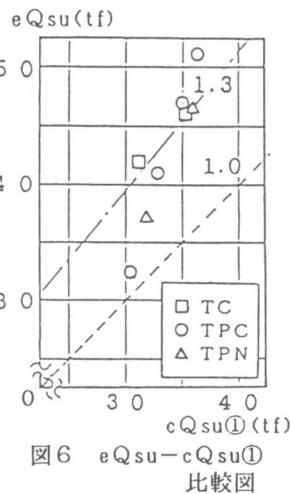


図 6  $eQ_{su} - cQ_{su①}$  比較図

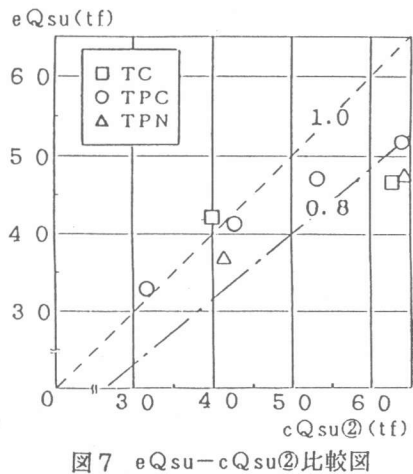


図 7  $eQ_{su} - cQ_{su②}$  比較図

外部のひび割れ伸展状況は、TPC-D4-Sを例に挙げると、「 $Q=11.0$ (tf)でPCa部分の打ち継ぎ面に沿って曲げひび割れ(①)が、 $Q=22.0$ (tf)で試験体端部にせん断ひび割れ(②)が発生し、さらに加力を続けると、 $Q=36.0$ (tf)あたりから試験体中央部にせん断ひび割れ(③)が分散して入り始め、やがて加力点から伸びているせん断ひび割れ(④)が大きく開いてせん断終局耐力( $Q=40.9$ (tf))に至る」という経過であった。このTPCタイプを基準に、その他の試験体について比較すると、TPNタイプは、中央部に分散して入るせん断ひび割れがかなり早い段階( $Q=24.0$ (tf))から発生しており、最終破壊時にはPCa部分と後打ち部分の打ち継ぎ面に沿った様なひび割れ(⑤)がみられた。またTCタイプでは、(⑥)に示すひび割れが伸展し圧縮域の圧壊を伴って最大耐力に至っており、このひび割れは下端では主筋に沿ったものとなっていた。なお、中央部にせん断ひび割れが発生したのは最大耐力時であった。次に、内部のひび割れ状況を外部と比較してみると、TCタイプでは最大耐力時に大きく口開いた(⑥)のひび割れが内部でも同じように口開いており内部と外部のひび割れ性状は一致していた。また、TPCタイプでは(⑦)のひび割れがPCa部分と後打ち部の打ち継ぎ面でシアコッターを破壊しながら伸展している一方、内側の主筋に沿った形で伸展するひび割れも見られた。なお、図9に示すようにシアコッターの後打ち部分のコンクリートは、伸展してきたせん断ひび割れの到達位置から3箇所程が破壊されていた。しかしながら、このコッターの破壊は部分

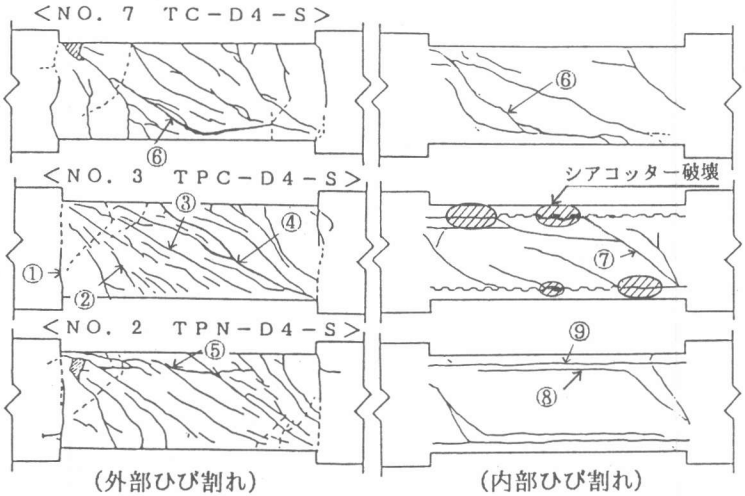


図8 ひび割れ状況図

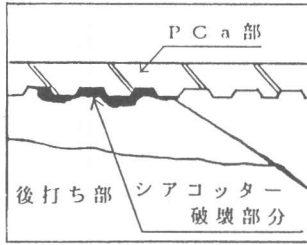


図9 シアコッター破壊状況

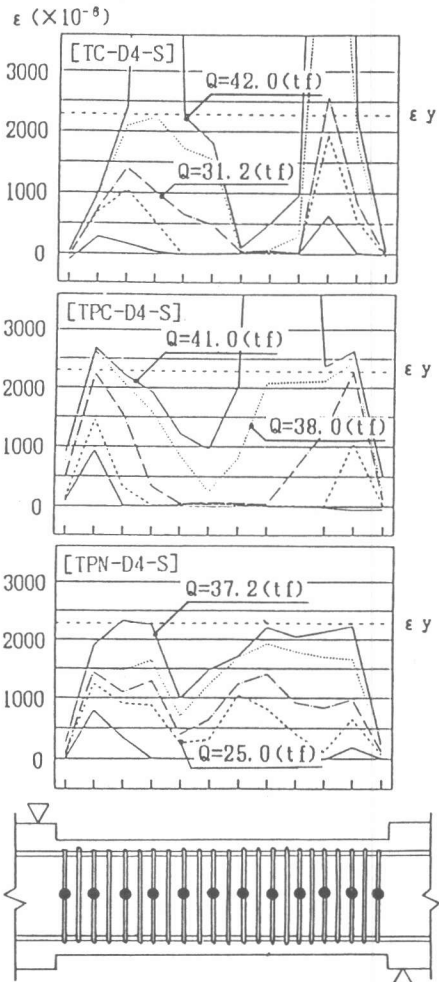


図10 せん断補強筋のひずみ分布

的なものであり、部材全体としての一体性は最大耐力時まで保たれていると思われる。最後にTPNタイプについて見ると、内部にみられた主なひび割れは、内側の主筋に沿ったひび割れ(⑧)とPCa部分と後打ち部分の打ち継ぎ面に見られるひび割れ(⑨)のみであり、PCa部の中央に分散して発生していたせん断ひび割れは内部には全く見られず、外部と内部では違った挙動を示していたと思われる。

4. せん断補強筋のひずみ分布 図10に、共通要因を $p_w = 0.4\%$ にした場合の各タイプのせん断補強筋のひずみ分布を示す。この図から、TCタイプは試験区間端部のひび割れ発生と共にその部分のせん断補強筋がひずみ、端部のせん断補強筋が降伏して破壊に至ったことがわかる。これに対し他の2タイプは、試験区間中央部のせん断ひび割れの発生に伴いTPCタイプは最大耐力近くで、TPNタイプでは $Q = 24.0$ (tf)ぐらいからそれぞれ中央部のせん断補強筋がひずんでおり、特にTPNタイプでは全てのせん断補強筋が一様にひずむという傾向が見られた。

5. 実験結果 [曲げシリーズ]

1. 耐力及び変形性状 表3に試験体一覧を示す。また図11には変形性状の一例としてTPC-D4-Bの $Q-\delta$ 曲線を、図12には各タイプの包絡線の比較をそれぞれ示す。これらの図から、各試験体とも部材角 $1/25$ (rad)まで耐力の低下は認められず良好な履歴性状を示していることがわかる。また、初期剛性・主筋降伏耐力・最大耐力・変形性状については3体ともほとんど同じ性状を示しており、PCa部材が一体打ち部材と同等な履歴特性を有していることが確認できた。なお、繰り返しによる影響では $R=1/100$ (rad)での履歴より2回目の繰り返しでループが安定するという傾向がみられた。

2. ひび割れ状況及びせん断補強筋のひずみ分布 図13に、TPC・TPN各タイプの最終ひび割れ状況及びせん断補強筋のひずみ分布を示す。なお、TCタイプはTPCタイプと全く同じ性状を示していた。TC・TPCタイプでは材端部に存在する曲げひび割れ、曲げせん断ひび割れが開閉を繰り返しており、ひずみ分布においても両材端部の補強筋がひずんだだけで中央部の補強筋は全くひずんでいない。つまりこのタイプにおいては変形は両材端部に形成された降伏ヒンジに大部分を依存しているものと思われる。一方、TPNタイプでは部材角 $1/120$ (rad)以降試験区間中央部に多くのせん断ひび割れが入り始め、補強筋の降伏についても中央部の補強筋が材端部の

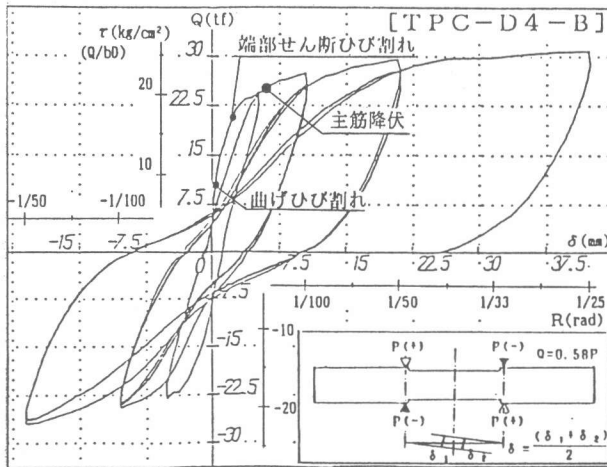


図11 せん断力(Q) - 支点間相対変位(δ)関係

表3 試験体一覧(曲げシリーズ)

試験体名	後打ち部	PCa部
	$\sigma_g$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_g$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1 TPN-D4-B	330	374
2 TPC-D4-B		412
3 TC-D4-B	350	

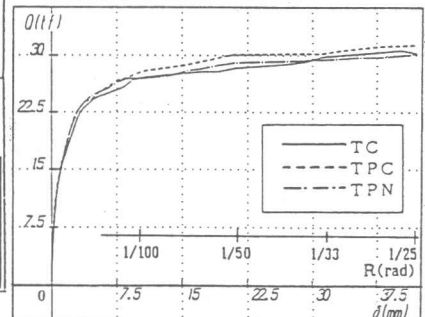


図12 Q-δ包絡線の比較(曲げシリーズ)

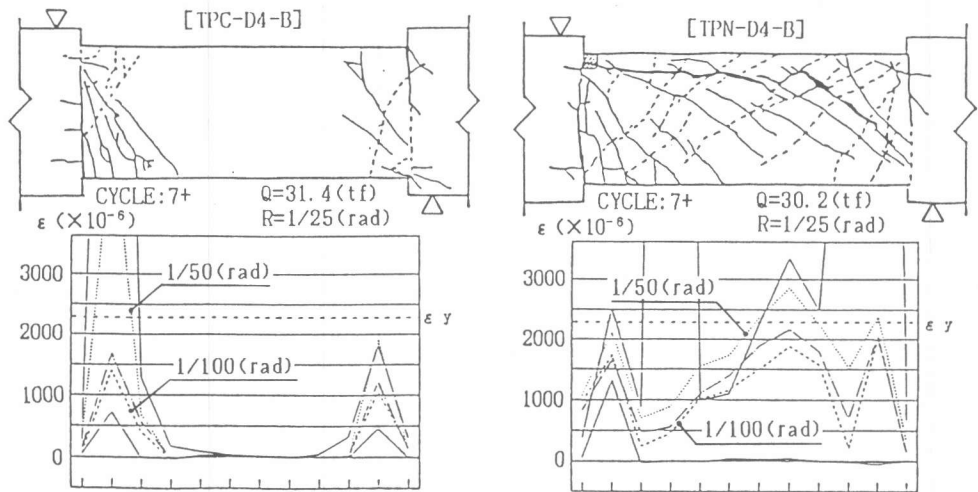


図 13 最終ひび割れ状況及びせん断補強筋のひずみ分布

補強筋を先行する形となった。部材角  $1/25(\text{rad})$  では中央部のせん断ひび割れが PC a 部と後打ち部の打ち継ぎ面に沿った形で伸展しており、これらのひび割れがある程度変形をかせいでいるものと思われる。

## 6. 結論

以上述べたような本 PC a 柱部材のせん断・曲げ実験により次の結果が得られた。

- 1) 本研究で提案したシアコッター付き PC a 柱部材 (TPCタイプ) は、せん断耐力・せん断耐力時の変形性能とも一体打ちの柱部材とほぼ同等に評価でき、PC a 部と後打ち部は最大耐力時まで一体性を保っていると思われる。
- 2) シアコッター無しの PC a 柱部材 (TPNタイプ) は、一体打ち・TPCタイプに比べ若干低いせん断耐力を示しており、低荷重レベルから中央部に分散したせん断ひび割れが発生し、PC a 部と後打ち部が違った挙動を示すのでこの点に注意を要する。
- 3) 曲げ降伏耐力及び曲げ降伏以後の履歴性状については、TPC、TPN両タイプとも一体打ちの柱部材と同等に評価できる。また、曲げ降伏以後のひび割れ性状については、TPCタイプは一体打ちとほぼ同様であるのに対して、TPNタイプは PC a 部中央にかなりのせん断ひび割れが見られた。

[謝辞] 本研究をまとめるにあたり御指導・御協力頂いた東急工建㈱の皆様、東京理科大学松崎研究室助手の中野克彦氏、並びに昭和63年度松崎研究室卒研生 堀内正宣、村松稔也両君に深く感謝致します。

## [参考文献]

- 1) 武井、宮永、新林：RCラーメン構造の外殻部をプレキャストとした柱部材の耐震性能に関する実験研究(その1 柱部材実験)(その2 柱-梁接合部実験)，建築学会大会 pp1827-1830 昭和58年
- 2) 広沢、後藤：軸力を受ける鉄筋コンクリート部材の強度と粘り(その2 既往の資料に関する検討)，建築学会大会 pp819-820 昭和46年
- 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(案)・同解説