

# 遠心成形プレキャストコンクリート部材の開発（その2）

——「プレカラム」に打込む副帯筋と柱の付着割裂の関係——

増田 安彦 吉岡 研三  
脇坂 達也

## Development of Precast Concrete Member Molded by Centrifugal Force (Part 2)

——Mechanical Influence of Tie Bar in “Pre-Column”——

Yasuhiko Masuda Kenzoh Yoshioka  
Tatsuya Wakisaka

### Abstract

A half-precast column member molded by centrifugal force, “Pre-Column”, was developed to save labor for formwork and installation of reinforcement at the construction site and to save wood resources. In the previous paper, it was reported that the structural performance of a precast concrete column using Pre-Column, which contains hoops and tie bars, was not inferior to that of an ordinary reinforced concrete member.

Shear-flexure structural experiment on precast concrete members using two types of Pre-Columns, one containing hoops and the bars, and the other containing hoops only, are described in this paper. It appeared that the structural performance of a precast concrete member, even when it did not contain tie bars, was not inferior to that of an ordinary reinforced concrete member.

### 概 要

建築工事の省力化、省資源化を推進するために開発された、遠心成形ハーフプレキャスト柱部材「プレカラム」は、建築現場における柱の型枠工事および帯筋の配筋が省略できるなどの特長をもつ。前報では、帯筋と副帯筋を打込んだプレカラムを使用した部材が、在来工法の一体打ち部材と同等以上の耐力・変形性能を有することを示した。

本報告は、副帯筋の有無による2種類のプレカラムと、従来の一体打ち試験体の合計3体の曲げせん断加力実験を行ない、柱部材の耐力性状および主筋付着性状を比較した。その結果、①副帯筋を打込んだプレカラム柱は後打ちコンクリートとの一体性が良く耐力性状が最も優れる。②副帯筋のないプレカラム柱と在来工法の一体打ち柱は同程度の耐力・変形性状を示す、などが得られた。

## 1. はじめに

柱部材の省力化施工を推進するため開発した「プレカラム」（遠心成形中空プレキャスト型枠）は、建築現場での柱の型枠工事およびフープ筋配筋工事が省略できる特長を持つ。

前報<sup>1)</sup>では、プレカラムの実用化を推進するため、その型枠としての性能を調べると同時に、プレカラムを使用した柱部材（以後プレカラム柱と略す）の曲げおよびせん断耐力、変形能力、部材剛性など力学的諸性状を調べ、それらが一体打ち部材と比べ同等以上であることを確認した。しかしながら一連の実験に用いた試験体には、プレカラムにせん断補強筋として、フープ筋と副帯筋（中子筋）を打込んで使用しているため、副帯筋のダボ効果

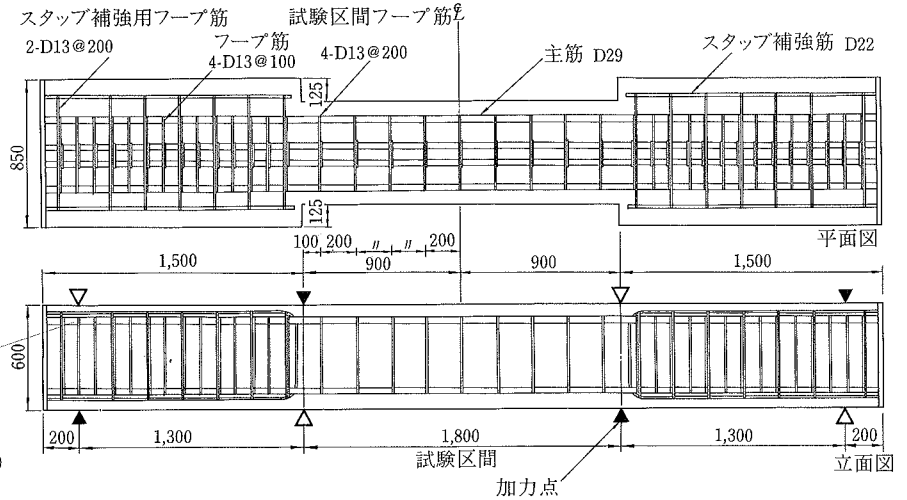
によりプレカラムと後打ちコンクリートとの一体性が向上したことが考えられる。

一方、中低層鉄筋コンクリート造建物では副帯筋のない柱部材も多く存在するため、副帯筋打込みの有無による部材の力学性状の違いを明らかにし、副帯筋が無い場合も従来の一体打ち部材と同等の構造性能を有するかどうかを調べる必要がある。

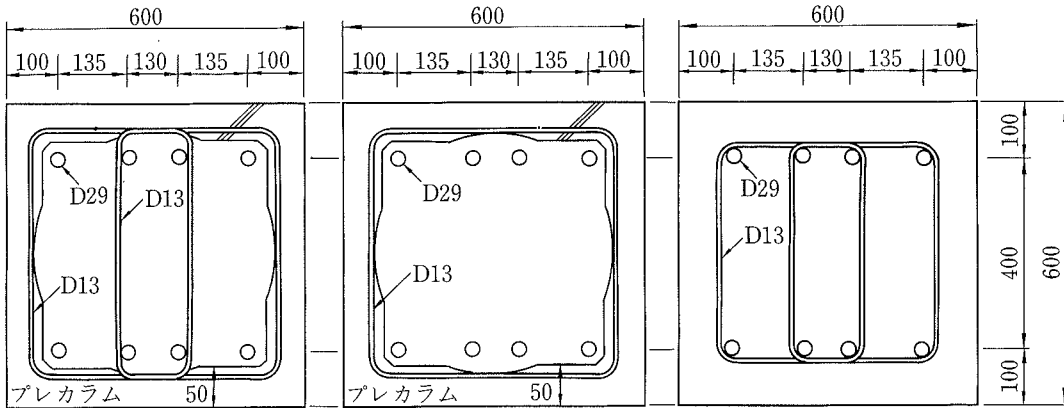
本研究は、せん断補強筋量 ( $p_w$ ) を一定とした実大試験体（断面  $600 \times 600$  mm）で、副帯筋打込みの有無による2種類のプレカラム柱部材と、在来工法による一体打ち柱部材の3種の試験体について、曲げせん断加力下の諸性状を調べ、プレカラムに副帯筋を打込んだことが部材の耐力性状および主筋の付着割裂に及ぼす影響を明らかにすることを目的としたものである。

表一 試験体概要

試験体名	PC-4-200	PC-2-100	RC-4-200
断面	600×600(mm)		
主筋	8-D29 ( $p_g=1.43\%$ )		
フープ筋 ( $p_w=0.42\%$ )	4-D13@200	2-D13@100	4-D13@200
プレカラム	中子筋有り	中子筋なし	一体打ち
軸力	なし		
加力方法	曲げせん断加力		
備考	PC-4-200 試験体名 フープ筋のピッチ 〃 足数 プレカラム試験体(一体打ちはRC)		



図一 試験体形状および配筋



PC-4-200

PC-2-100

RC-4-200

図二 試験体断面

## 2. 実験概要

表一に試験体の概要を示す。試験体は3体で、うち2体がフープ筋の配筋状態が異なるプレカラム柱、1体が在来工法による一体打ち柱である。試験体のせん断補強筋量 ( $p_w$ )、主筋量 ( $p_g$  あるいは  $p_t$ ) などその他の条件を統一している。図一に試験体の形状および配筋を、図二に断面を示す。試験体は通常の柱と同様に縦打ちとし、下部スタップ打込み後プレカラムを建込み、上部スタップ配筋、型枠、試験区間および上部スタップのコンクリート打ちの順で試験体を製作した。なお、一体打ち試験体も同様の手順で製作し、下部スタップと試験区間でコンクリートを打継いでいる。

表二に使用した鉄筋およびコンクリートの材料試験結果を示す。プレカラムのコンクリート強度は、遠心力締固めを行わず、プレカラムと同様の蒸気養生とした供試体の材令28日強度を採用している。遠心力締固めを行なった場合、約5%程度の強度上昇が予想される<sup>2)</sup>。

図三に荷重方法を示す。荷重は逆対称加力による正負

表二 使用材料

1) コンクリート (各3本の平均値)

部 位	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	弾性係数* (kgf/cm <sup>2</sup> )	最大荷重時歪 (10 <sup>-6</sup> )
後打ちコンクリート	302	28.9	2.39×10 <sup>5</sup>	2,370
プレカラム	584	—	4.03×10 <sup>5</sup>	—

2) 鉄筋 (3本の平均値)

径	品 質	降伏強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ (10 <sup>-6</sup> )	弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	伸び (%)	用 途
D29	SD390	4,170	2,250	1.96×10 <sup>6</sup>	5,860	28.1	主筋
D13	SD295A	3,370	1,820	1.88×10 <sup>6</sup>	4,730	21.5	フープ筋

\* 1/3Fc割線係数

交番繰返し荷重とし、部材角 (柱内のり長さに対する層間変位の値)  $R=1/200$ の整数倍で各々2回ずつ繰返し、最後は正荷重で  $R=1/25$ まで変形させて終了した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 耐力性状

いずれの試験体も主筋の曲げ降伏が先行し、PC-4-200

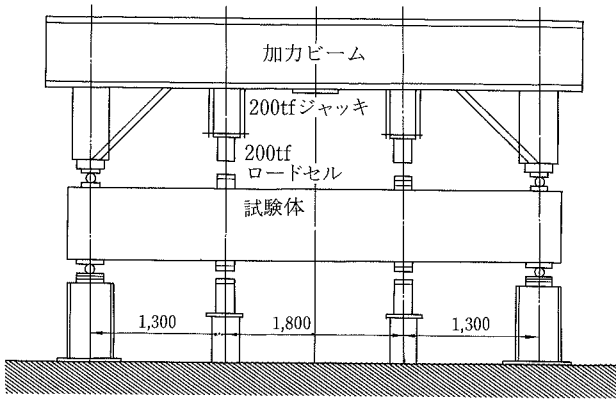


図-3 載荷方法

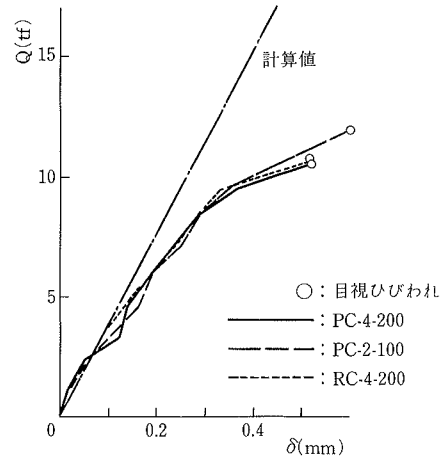


図-4 弾性剛性

試験体は靱性的な曲げ破壊を、他の2体は主筋の付着割裂破壊を生じた。

表-3に実験結果の一覧を示す。同表における降伏および曲げ最大荷重の計算値は、断面の平面保持を仮定し、応力-ひずみ関係に、コンクリートではe関数式を、鉄筋にはひずみ硬化を弾性係数の1%とするバイリニア曲線を用いた断面解析による値である。一般にファイバー法による断面解析では、断面をせい方向に分割し、個々の位置のひずみに対応して算出される断面力の釣合い条件からモーメントおよび曲率を求めるが、プレカラムを使用した部材については断面を縦横に分割し、それぞれの要素にプレカラムあるいは後打ちコンクリートの材料特性値を入力して解析を行なった。その際プレカラムと後打ちコンクリートは完全に一体であると仮定している。本解析では、高強度のプレカラムを使用すると一体打ちの場合より約10%最大耐力が上昇する結果となった。

表-3において、各試験体の降伏荷重、および曲げ破壊を生じたPC-4-200試験体の最大荷重計算値は実験値と良く一致している。これより、PC-4-200試験体では、最大荷重時までプレカラムと後打ちコンクリートの一体性は良好でほぼ一体と見なせることが分かる。また、一体性が向上するために高強度のプレカラムコンクリートが付着割裂抵抗に寄与することが推定される。その他の試験体は付着割裂破壊を生じたものの、曲げ最大耐力計算値に等しい耐力を発揮しており、副帯筋を打込まないプレカラムを使用した場合も在来工法の一体打ち部材と同等の耐力を有することが分かる。

図-4に弾性剛性の比較を示す。同図と表-3より、各試験体の弾性剛性実験値はプレカラムの使用の有無にかかわらず計算値に対してほぼ0.9倍と等しい結果となった。

図-5は各試験体のせん断力-層間変位関係(Q-δ関係)を示す。同図によれば破壊性状に応じて最大耐力時の変形量が異なることが分かる。すなわち、曲げ破壊を生じたPC-4-200試験体はR=1/40まで耐力低下がないのに対して、付着割裂破壊を生じたその他の試験体はR=1/100で最大耐力に達している。

表-3 実験結果一覧

試験体名		PC-4-200	PC-2-100	RC-4-200
弾性剛性	実験値	35.4	32.7	33.3
	計算値	37.9 (tf/mm)		
	実/計	0.93	0.86	0.88
降伏荷重 (tf)	実験値	58.9	58.8	58.9
	計算値	55.7		53.6
	実/計	1.06	1.06	1.10
最大荷重 (tf)	実験値	67.2	64.3	63.6
	計算値	66.3		59.8
	実/計	1.01	0.97	1.06
破壊性状	曲げ破壊		付着割裂破壊	
参考	せん断破壊計算値 95.8tf			

\*最大荷重計算値は曲げ破壊に対する値。

\*降伏および最大荷重計算値はプレカラム部分のコンクリート強度を考慮した。

\*弾性剛性の計算値Kは主筋を考慮せず、次式によった。

$$Q=K \cdot \delta \quad 1/K=K1/(GA)+I^2/(12EI)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K=1.5, G=E/2 \cdot m/(m+1), m=5, I: \text{断面2次モーメント} \\ 1: \text{試験区間長さ, E: コンクリート弾性係数} \end{array} \right\}$$

また、実験値は  $\sum_{i=1}^n (Q_i/\delta_i)/n$  により求めた。

(n: 目視ひびわれの直前のステップ数)

\*せん断破壊荷重計算値は、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」に示されるA法によった。

### 3.2 ひずみ計測結果

図-6はひずみ計測値から求めた応力を用い、計測点間の応力差と距離から算出した付着応力度分布を示す。図中の  $\tau_{bu}$  計算値は、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」に示されている付着割裂強度式<sup>4)</sup>(以後学会式と略す)を基に、副帯筋の拘束効果、プレカラムと後打ちコンクリートの界面を含む割裂パターン(図-7)、および繰返しによる付着劣化を考慮した計算式<sup>3)</sup>によった。また、図-6には学会式による計算値も示したが、それは副帯筋がある場合より

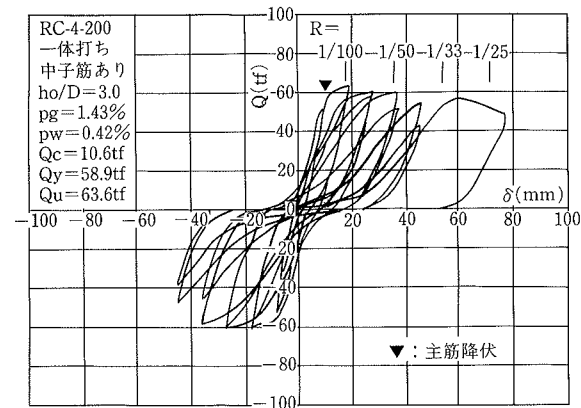
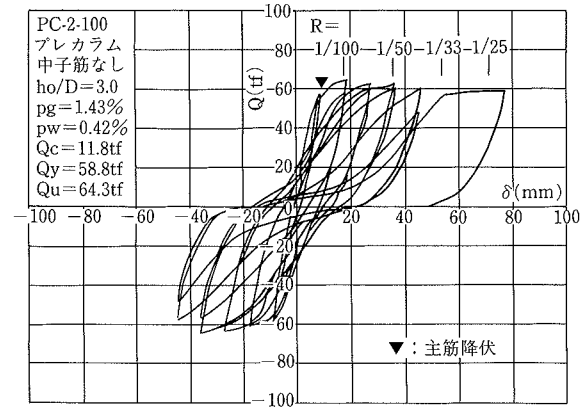
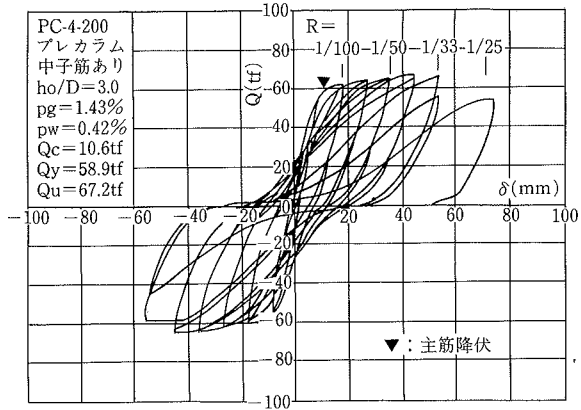


図-5 せん断力-層間変位関係

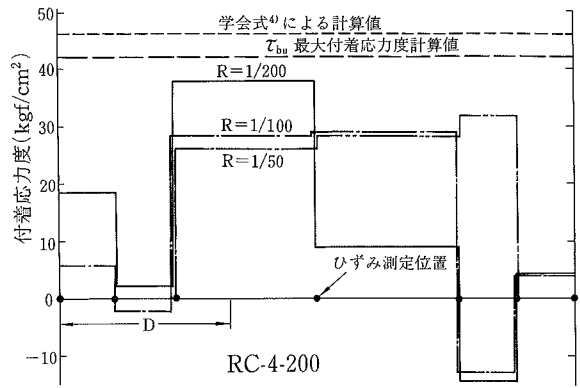
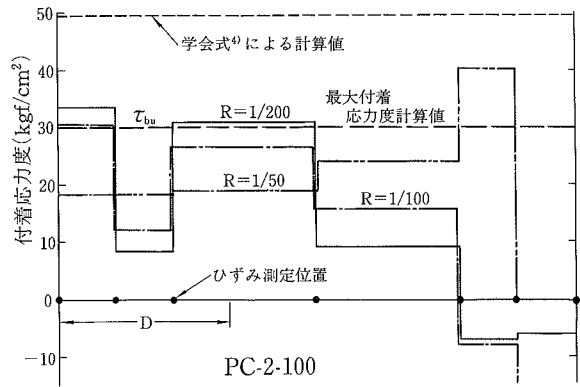
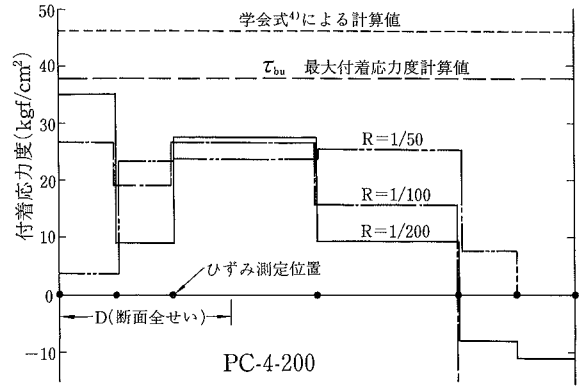


図-6 主筋付着応力度分布

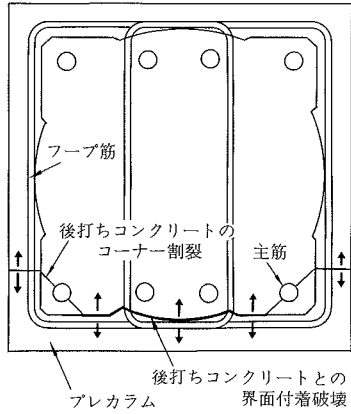
もない場合に高く、かつ実験値よりかなり高めの値を示す。同図で、付着割裂を生じたPC-2-100、RC-4-200試験体の実験値が材端部からおおよそD（断面せい）の位置で付着応力が計算値  $\tau_{bu}$  にほぼ等しいが、材端部の主筋降伏区間およそDを除いた部分の最大耐力時平均付着応力度は、PC-2-200で  $0.75 \tau_{bu}$ 、RC-4-200で  $0.68 \tau_{bu}$  と、いずれも計算値より低い。これは両計算式が主筋降伏と同時にあるいは降伏以前に付着割裂破壊を生じる試験体の実験結果から得られたものであるためと考えられる。すなわち、曲げ降伏後の曲げ・せん断ひびわれが多く発

生した状態での付着割裂強度を求めるには、ひびわれとその周辺の付着喪失部分を除いた実際の付着長さを検討する必要があると言えよう。

図-8にフープ筋のひずみ分布を示す。部材角  $R=1/100$  まではPC-4-200試験体とPC-2-100試験体のひずみ分布状況はほぼ同様であるが、 $R=1/40$ でPC-2-100試験体のフープ筋は引張降伏している。

### 3.3 ひびわれ発生状況

写真-1は載荷終了時の試験体状況を示したものである。付着割裂破壊を生じたPC-2-100試験体とRC-4-200



$$\tau_{bu} = \sigma(\tau_{co} + \tau_{st}) \quad (\sigma = 0.7) \quad \text{①}$$

$\alpha$  : 繰返しによる強度低減係数

$\tau_{co}$  : コンクリートによる強度負担分

$\tau_{st}$  : 横補強筋 (せん断補強筋) による強度負担分

$$\tau_{co} = (0.4b_i + 0.5)\sqrt{\sigma_B} \quad \text{②}$$

$b_i$  は次の  $b_{ci}$  と  $b_{si}$  のうち小さいほうの値とする。

$$b_{ci} = (2\sqrt{2d^2 - d_b})/d_b \quad \text{(コーナー割裂)} \quad \text{③}$$

$$b_{si} = (b' - \Sigma d_b)/\Sigma d_b \quad \text{(全割裂)} \quad \text{④}$$

$d'$  : 隅角部主筋中心からプレカラム内表面までのかぶり厚さ

$d_b$  : 隅角部主筋直径

$\Sigma d_b$  : 一列に並んだ主筋直径の総和

$b'$  : プレカラム部分を除く断面幅

$$\tau_{st} = \{(20/N_t + 5N_w/N_t + 20N_s/N_t)p_w \cdot b\sqrt{\sigma_B}\}/d_b \quad \text{⑤}$$

$N_s$  : 一列の主筋のうち直接副帯筋のかかっているもの本数

$N_w$  : 一列の主筋のうち直接副帯筋のかかっていないもの本数

$N_t$  : 全主筋本数

$p_w$  : ヒンジ領域外のせん断補強筋比

$\sigma_B$  : コンクリート強度

$b$  : 柱全幅

\*②~④式で部材断面幅  $b$  からプレカラム版厚  $\times 2$  を差し引いた断面幅  $b'$  および隅角部主筋中心からプレカラム内表面までのかぶり厚さ  $d'$  を用いる。

\*プレカラムを用いた部材のコーナー割裂は図で示す割裂を意味し、 $\tau_{st}$  の計算は割裂パターンによらず⑤式を用いる。

図-7 割裂パターンと付着割裂強度計算式

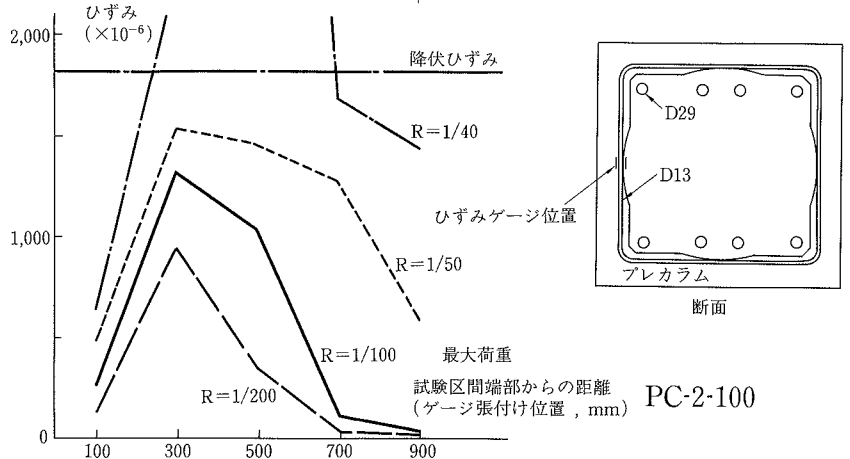
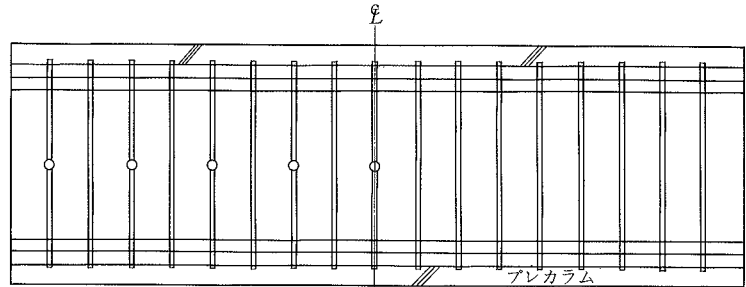
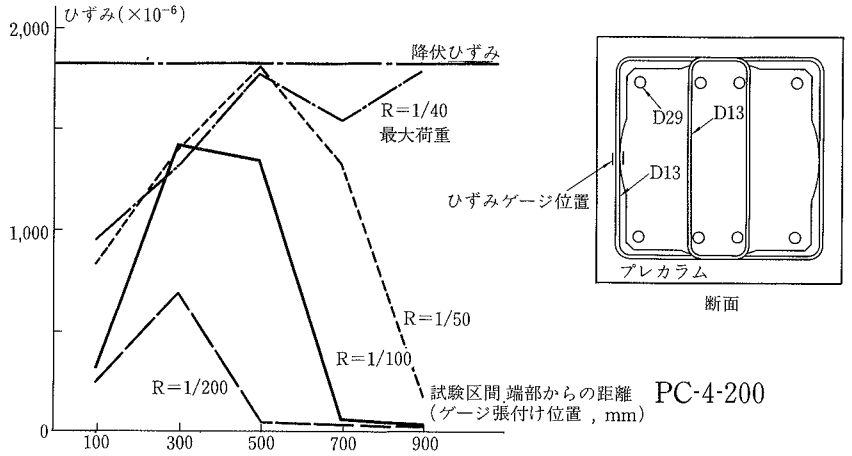
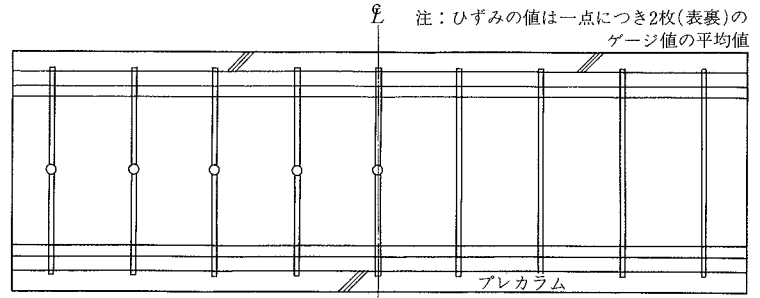


図-8 フープ筋のひずみ分布

試験体は載荷早期から主筋に沿った小さい斜めひびわれ、いわゆる付着割裂ひびわれが試験区間端部からD(部材せい)付近に発生し、変位が大きくなるにつれて拡大すると同時に部材中央方向に進展し、本数も増加した。これらの試験体は写真からも典型的な付着割裂破壊であることが伺える。一方、曲げ破壊を生じた、PC-4-200試験体は付着割裂ひびわれは生じたもののひびわれ幅はあまり拡大せず、むしろ破壊時には曲げ・せん断ひびわれが広がっていることが分かる。

#### 4. まとめ

プレカラムへの副帯筋打込みの有無が部材の構造性能に及ぼす影響を明らかにするため実施した構造性能比較実験により、以下のことが明らかとなった。

① フープ筋と副帯筋を打込んだプレカラムを使用した試験体は、耐力、変形能力に優れ、靱性的な曲げ破壊を生じた。また、試験体の曲げ耐力は、後打ちコンクリートと完全に一体であると仮定した断面解析結果と一致した。

② 副帯筋を打込まないプレカラムを使用した試験体、および在来工法により製作し、副帯筋を用いた一体打ち試験体は、曲げ降伏後に付着割裂破壊を生じたが、両者の耐力・変形性状はほぼ同等であった。

③ 同一フープ筋比では、副帯筋を使用するほうが主筋の付着割裂破壊を生じにくい。また、プレカラムに副帯筋を打込むことで、そのダボ効果により後打ちコンクリートとの一体性が向上し、付着割裂破壊が生じにくくなる傾向がある。

④ 曲げ降伏後に付着割裂破壊を生じた試験体の最大耐力時の主筋平均付着応力度は、曲げ・せん断ひびわれ部分の付着喪失のため、計算値よりも低い値となった。

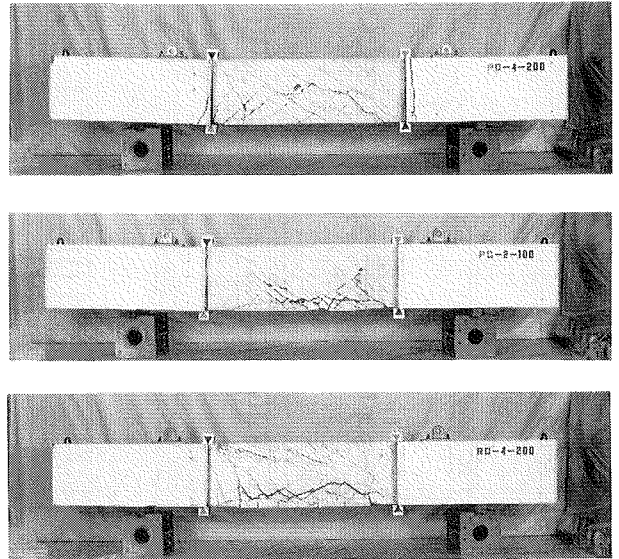


写真-1 破壊状況

#### 参考文献

- 1) 増田, 他: 遠心成形プレキャストコンクリート部材の開発—「プレカラム」の力学的諸性状について—, 大林組技術研究所報 No. 41, p. 61~67, (1990)
- 2) 古藪徳二: 遠心力締固めコンクリートの圧縮強度試験方法について, セメント・コンクリート No. 262, p. 12~21, (1968)
- 3) 増田, 他: 太径異形鉄筋の重ね継手工法の開発(その2)—プレカラムを用いた突合せ継手工法—, 大林組技術研究所報 No. 44, p. 21~26, (1992)
- 4) 日本建築学会編: 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, p. 136~138, (1990)