

# 報告 プレキャスト RC 柱の耐震実験

岡本大\*1・玉井真一\*2・渡邊弘子\*1・服部尚道\*1

要旨：RC ラーメン高架橋をプレキャスト化することを目的として、プレキャスト RC ラーメン柱の耐震実験を行った。試験体は、柱主鉄筋と基礎のアンカー筋とをカブラによって機械的に接続する方法で製作した。このとき、柱主鉄筋をプレキャスト柱部材に埋設してしまうと、すべての主鉄筋をカブラ接合することは施工上困難である。そこで、柱部材の主筋位置にシースを設置し、主鉄筋を後挿入する方式とした。実験は 1 体打ち試験体、ハーフプレキャスト試験体、フルプレキャスト試験体の 3 ケースについて行い、各々の試験体の耐震性能を比較した。

キーワード：プレキャスト工法、復元力特性、靱性、継手

## 1. はじめに

土木構造物に使用されるプレキャスト部材は RC 部材よりも PC 部材が多い。しかし、RC ラーメン構造をプレキャスト化する場合、柱部材に関しては PC 部材とするよりも RC 部材とする方が力学的特性上適している。プレキャスト RC 部材によってラーメン構造を構築するためには、柱主鉄筋と基礎アンカー筋との接合方法が問題となる。筆者らはこの接合方法として、施工が簡単な、ねじふし鉄筋をカブラによって機械的に接合する方法を採用することとした。このとき、柱主鉄筋をプレキャスト柱部材に埋設してしまうと、すべての主鉄筋をカブラ接合することは施工上困難である。そこで、多少の施工誤差を吸収できるように柱部材の主筋位置にシースを設置し、主鉄筋を後挿入した後グラウトによって一体化する方式とした。

筆者らはこれまでに、この方式によって製作したプレキャストブロック RC 部材に関する曲げ性状、せん断性状、異形鉄筋-グラウト-シース-コンクリートからなる系の付着性状に関する実験を行い、通常の一打 RC 部材と同等な特性を有することを既報にて示した。[1,2,3] 本報告は、プレキャストブロック RC ラーメン柱の復元力特性を、同寸法の場所打ち RC 柱と比較するために、試験体の交番載荷実験を行った結果を報告するものである。

実験対象のプレキャスト RC 柱は、主筋位置にシースを設置しこれに帯筋を巻いた状態でコンクリートを打設する。組立時にシースに主鉄筋を挿入し、これを基礎アンカー筋と接合した後にコンクリート接触面に無収縮モルタルを流し込む。最後にシース内をグラウトすることで一体化する構造となっている。

## 2. 実験の概要

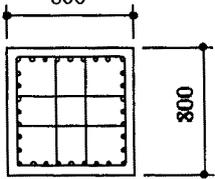
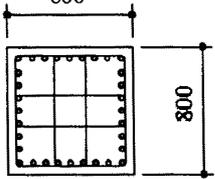
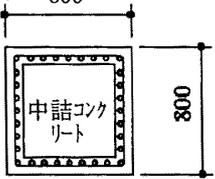
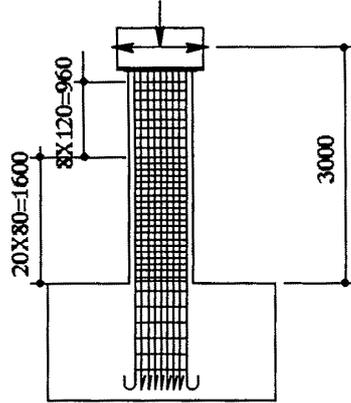
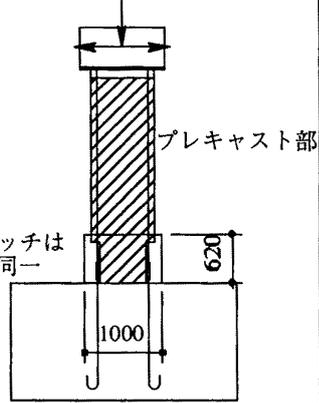
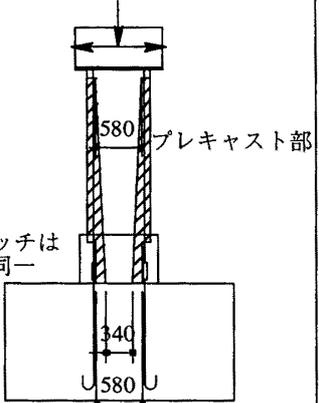
### 2.1 実験条件および供試体

実験は柱部材を充実断面としたフルプレキャスト試験体、柱部材を中空断面として基礎と一体化させた後に中詰めコンクリートを打設したハーフプレキャスト試験体、および通常の場合打ち試験体の 3 ケースについて行い、各々の試験体の耐震性能を比較した。試験体の一覧と概要を表

\*1 東急建設技術研究所 土木構造研究室 工修 (正会員)

\*2 東急建設 土木技術部 技術第 1 課 工修 (正会員)

表-1 試験体一覧とその概要

場所打ち	フルプレキャスト	ハーフプレキャスト
 <p>主筋D25 帯筋D10</p>	 <p>主筋D25 帯筋D10</p>	 <p>中詰コンクリート 主筋D25 帯筋D16</p>
 <p>3000 200X80=1600 120X960</p>	 <p>3000 1000 620 プレキャスト部 帯筋ピッチは No.1と同一</p>	 <p>3000 580 340 580 プレキャスト部 帯筋ピッチは No.1と同一</p>

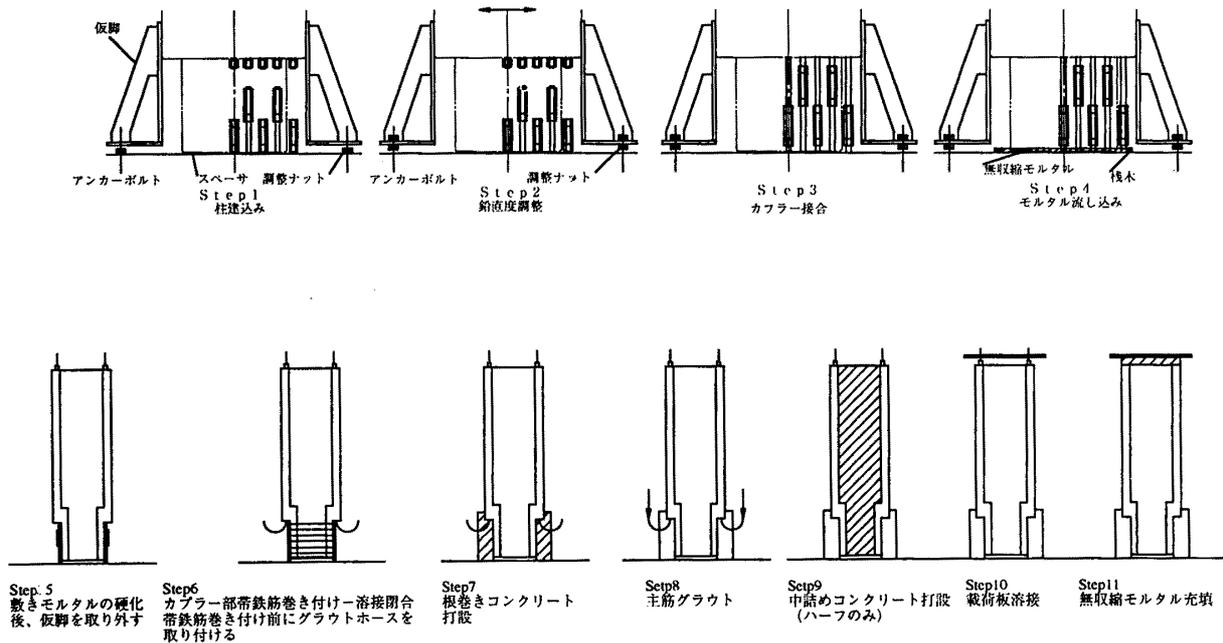


図-1 試験体製作の手順

-1に示す。また、プレキャスト試験体の製作手順を図-1に示す。

実験にはラーメン柱の高さの1/2を取り出したカンチレバー型の試験体を用い、柱の断面は800×800mm、柱下端から載荷点までの高さは3.0m、せん断スパン比は3000/800=3.75とした。

柱上端には軸力と水平力の両方を載荷する必要があるため、この部分は鋼製載荷梁で置き換え、載荷梁と試験体上端のプレートをボルトで接合した。主鉄筋の上端は鋼板に溶接して定着し

た。主鉄筋はD25-32本とし、3ケースとも同一の配筋とした。柱鉄筋比は3.97%である。

帯鉄筋は場所打ち、フルプレキャストでは柱下端部の2D区間でD10ctc80mm、柱中間部でD10ctc120mmとし軌道方向、直角方向ともに中間帯鉄筋を配置する。帯鉄筋比は柱下端部の2D区間で0.45%、柱中間部で0.30%である。

ハーフプレキャスト試験体ではプレキャスト部材を中空とするために中間帯鉄筋の配置が困難である。そこで、帯鉄筋の径を太くして所要の帯鉄筋比を確保することとした。柱下端部の2D区間でD16ctc80mm、柱中間部でD16ctc120mmとし、帯鉄筋比はそれぞれ0.62%、0.41%である。中間帯鉄筋が無いので帯鉄筋比を高めに設計した。

帯鉄筋はプレキャスト柱下端の主鉄筋接合部を除いてすべて溶接閉合型とした。プレキャスト柱下端の主鉄筋接合部には、接合作業後にコ形の帯鉄筋を両側から差し込み重ね継手部をフレア溶接で接合した。この部分には中間帯鉄筋が配置できないため、ハーフプレキャストと同様の設計によりD16を用いた。

## 2.2 使用材料

### (1) 鉄筋

使用した鉄筋の材料特性を表-2に示す。

表-2 鉄筋の材料試験結果

鉄筋の種類	降伏応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 ×10 <sup>6</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )
主筋D25(SD345) (各試験体共通)	3850	1.99
帯筋D10(SD345) (フルプレキャスト)	4100	1.86
帯筋D16(SD345) (根巻き部) (ハーフプレキャスト)	3790	1.91

### (2) コンクリート

コンクリートは呼び強度240kgf/cm<sup>2</sup>のレディーミクストコンクリートを使用した。載荷時の圧縮強度を表-3に示す。

### (3) グラウト

グラウトはW/Cが34%のセメントペーストであり、高強度グラウトとして市販されている高性能減水剤とアルミ粉末を主成分とする混和剤をセメント重量の0.1%添加した。載荷時の圧縮強度を表-4に示す。

表-3 載荷時のコンクリート圧縮強度

試験体	部位	平均強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
場所打ち	柱	310.0
	フルプレキャスト	369.0
ハーフプレキャスト	根巻き	302.0
	柱	355.0
	根巻き	316.0
	中詰め	319.0

## 2.3 載荷方法

載荷装置は図-2に示すように、反力壁に架装した水平ジャッキと4本柱のフレームに取り付けた鉛直ジャッキによって構成されている。試験体はPC鋼棒でフーチング部を反力床に固定した。

軸力は300tf油圧ジャッキにより載荷、ジャッキと載荷フレームの間にはスライド支承を挿入し、柱の変位を拘束しないようにした。このジャッキは定荷重制御装置により制御し、常に一定軸力240tf(軸圧縮応力=37.5kgf/cm<sup>2</sup>)となるように載荷した。水平力はサーボ制御の150tfアクチュエータにより載荷した。載荷方向はジャッキの引側を正方向とした。

表-4 載荷時のグラウト圧縮強度

試験体	平均強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
フルプレキャスト	267.0
ハーフプレキャスト	299.0

載荷サイクルは、まず弾性範囲で鉄筋応力度

が計算上 $2000\text{kgf/cm}^2$ に達するまでを正負1サイクル载荷した。次に、主鉄筋のひずみをモニターしながら荷重制御で正方向へ载荷し、主鉄筋が降伏した時点を降伏荷重 $P_y$ 、降伏変位 $\delta y$ と定義した。

降伏荷重以降は変位制御とし、 $\pm 1\delta y$ 、 $\pm 2\delta y$ 、 $\pm 4\delta y$ 、 $\pm 6\delta y$ 、 $\pm 8\delta y$ ・・・までの载荷を正負3回ずつ繰り返して、最大耐力から負勾配領域に入り、荷重-変位関係の包絡線が降伏耐力を下回るまで载荷を行った。

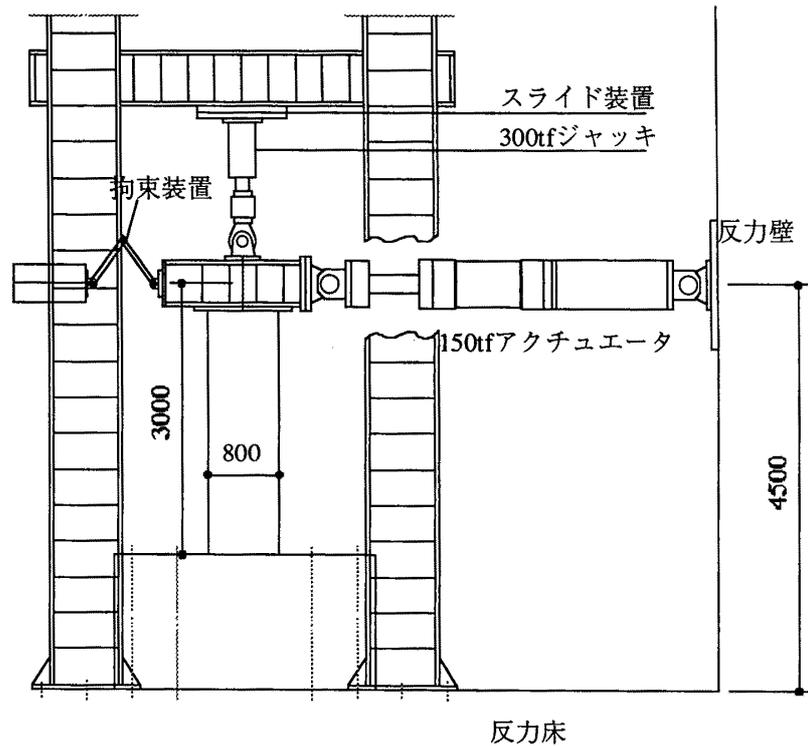


図-2 载荷装置

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊性状

各試験体のかぶりコンクリートあるいは根巻きコンクリートの崩落までのひび割れ状況は図-3のようであった。これらの図を比較すると、ハーフプレキャスト試験体の場合は他の試験体に比べて主筋に沿ったひび割れが多く発生しているが、かぶり部がはく離するまでには至っていない。

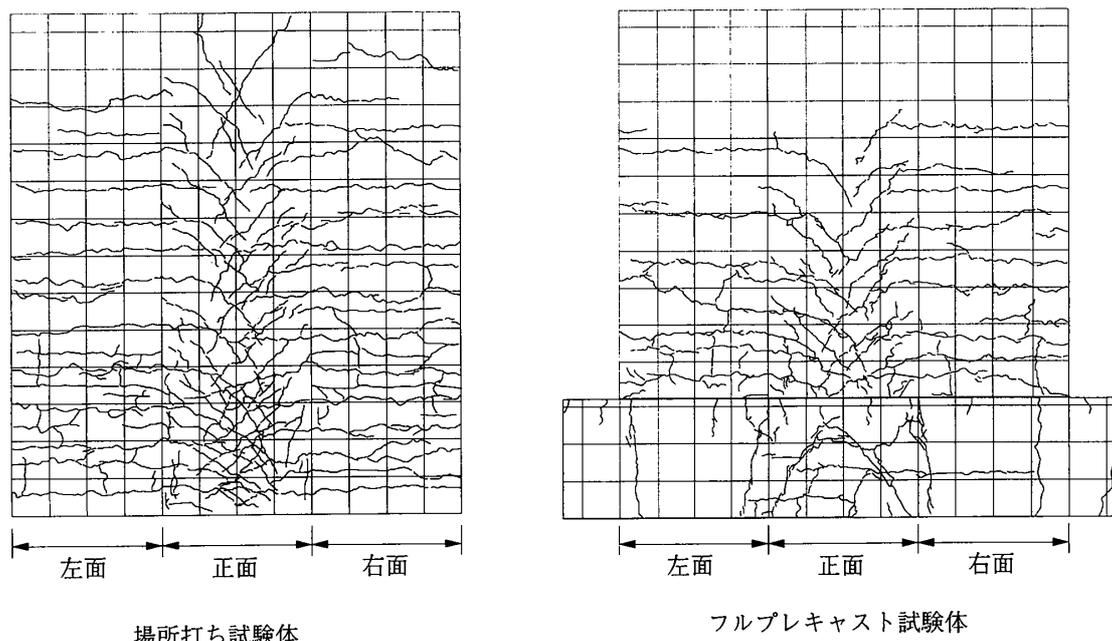
実験時の破壊過程を見ると、場所打ち試験体は正側、負側共に主筋降伏前の鉄筋応力度が $2000\text{kgf/cm}^2$ 迄の载荷によって曲げひび割れが発生した。 $\pm 1\delta y$ の载荷ではせん断ひび割れが発生し、 $\pm 2\delta y$ の载荷によって柱脚部圧縮側コンクリートの圧壊が始まった。 $\pm 4\delta y$ の载荷によって柱脚部のかぶりコンクリートのはく離が生じた。その後、 $\pm 4\delta y$ ~ $\pm 8\delta y$ までの载荷において、柱脚部の約 $20\text{cm}$ の範囲のかぶりコンクリートのはく離・崩落の進展と共に主筋の座屈が生じ、復元力が徐々に低下した。そして、 $+10\delta y$ の载荷過程にて柱主鉄筋が破断して大きな耐力低下を生じ、曲げ破壊に至った。

フルプレキャスト試験体の場合は、鉄筋応力度が $2000\text{kgf/cm}^2$ 迄の载荷によって曲げひび割れが発生すると共に、根巻きコンクリートと柱あるいは根巻きコンクリートとフーチングの境にひび割れが発生した。主筋降伏後 $\pm 2\delta y$ の時点で根巻きコンクリートがはく離し始め、 $\pm 4\delta y$ の载荷時に根巻きコンクリートの崩落が始まり、耐力の低下を生じた。その後 $\pm 8\delta y$ まで徐々に根巻きコンクリートの崩落と共に耐力が低下し、すべての根巻きコンクリートが崩落した後に曲げ破壊に至った。

ハーフプレキャスト試験体の場合もフルプレキャスト試験体と同様な破壊性状を示したが、この試験体の場合は最終的には主筋が破断し、曲げ破壊に至った。

#### 3.2 荷重と変位の関係

図-4~図-6に各試験体の荷重-変位履歴図を、図-7に各試験体の包絡線の比較を示す。

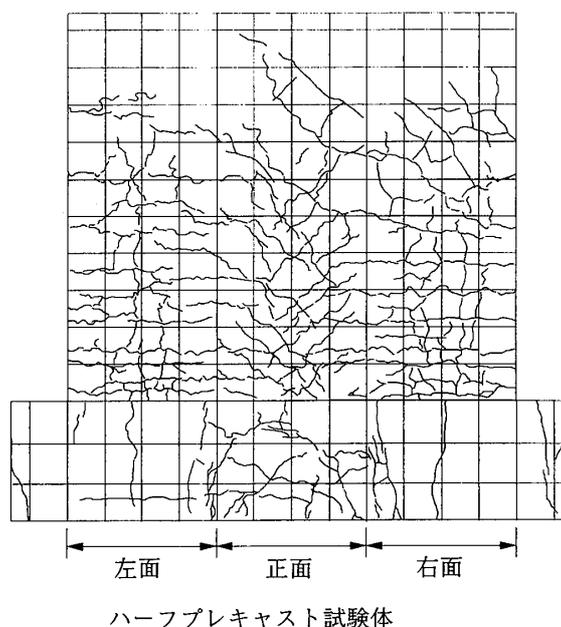


場所打ち試験体

フルプレキャスト試験体

表-5に降伏変位、終局変位、靱性率の正側、負側の平均値の一覧を示す。

これらの図表を参照すると、2種類のプレキャスト試験体の間には差は見られない。場所打ち試験体とプレキャスト試験体とを比較すると場所打ち試験体に比べて2種類のプレキャスト試験体の降伏前の剛性が大きいことがわかる。これは、柱脚部において主筋をカブラ接合していること、載荷初期の段階では根巻きコンクリートが有効であることに起因していると思われる。また、2種類のプレキャスト試験体は変位が $4\delta_y$ を越えた時点で耐力低下を生じている。この原因としては、根巻きコンクリートが崩落したこと、根巻き部に中間帯筋が設置できないために鉄筋比を大きく設計しているものの、鉄筋の座屈の進行が若干早まったことが影響していると考えられ、今後根巻き部の適切な補強方法を検討することが耐力低下の防止に有効であると思われる。しかし、各プレキャスト試験体とも荷重低下後に急激に崩壊に至ることは無かった。これは、根巻きコンクリートが崩落したもののコアコンクリートは帯筋によって拘束されていたためと思われる。



ハーフプレキャスト試験体

図-3 ひび割れ状況

#### 4.まとめ

プレキャストブロックRC柱に関する耐震実験を行った結果、今回行った実験条件の範囲で以下の結論が得られた。

- (1) フルプレキャスト、ハーフプレキャストの違いは柱の復元力特性に影響を与えない。

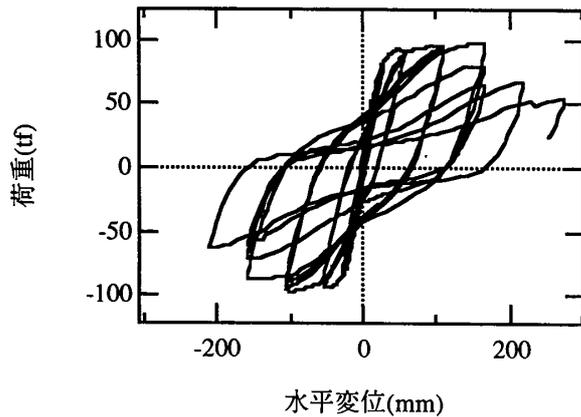


図-4 場所打ち試験体の荷重-変位履歴曲線

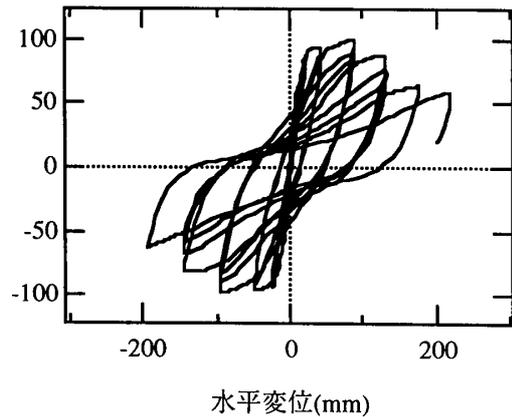


図-5 フルプレキャスト試験体の荷重-変位履歴曲線

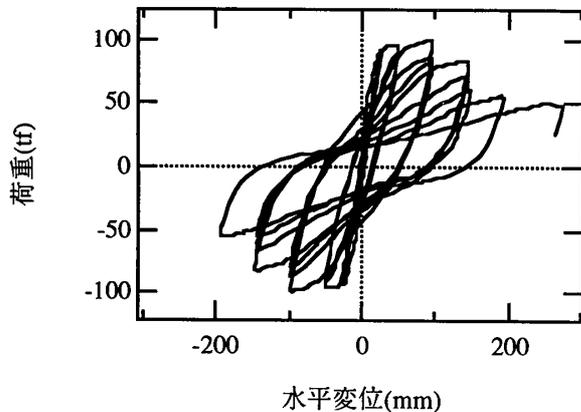


図-6 ハーフプレキャスト試験体の荷重-変位履歴曲線

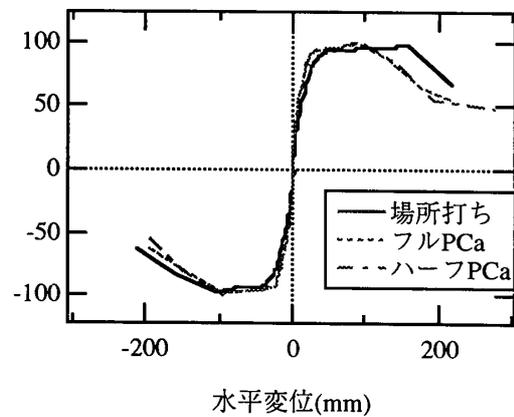


図-7 各試験体の包絡線の比較

(2) 主筋降伏までの段階では、プレキャスト試験体は柱脚部の主筋カブラ、根巻きコンクリートの影響によって場所打ち試験体に比べて曲げ剛性が大きくなった。

(3) プレキャスト試験体は、変形が大きくな

るにつれ根巻きコンクリートの崩落、根巻き部に中間帯筋を設置できないことによる主鉄筋座屈の早急化によって、耐力の低下が場所打ち試験体よりも早くなった。今後、根巻き部分の適切な補強が課題である。

参考文献

- [1] 玉井真一、増田芳久：コンクリート中にグラウトにより定着された鉄筋の付着特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.2、pp1207-1212、1995.6
- [2] 増田芳久、玉井真一：プレキャストブロックRCはりのまげ性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.2、pp35-40、1995.6
- [3] 玉井真一、増田芳久：せん断補強筋を有しないプレキャストブロックRC梁のせん断強度、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.2、pp1217-1222、1996.6

表-5 変位結果一覧

試験体	降伏変位 (mm)	終局変位 (mm)	靱性率
場所打ち	26.9	170.0	6.3
フルプレキャスト	23.3	121.1	5.2
ハーフプレキャスト	24.3	116.6	4.8