

(55) プレキャストPC橋脚の耐震性に関する実験的研究

長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 丸山 久一  
 (株)福田組 建設本部技術部 正会員 ○関塚 真  
 同 上 小泉 善弘  
 同 上 柳 益夫

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震によりコンクリート橋脚も大きな被害を受けた。橋脚が地震時に大きな慣性力を受ける曲げ部材であることが再認識され、高い耐荷力や優れた力学的復元性を有しているPC部材の優位性が着目されている<sup>1)~3)</sup>。また、建設業においては省力化による生産性の向上と構造物の耐久性の向上が求められており、部材のプレキャスト化は必然である。

本研究の目的はプレストレストコンクリートの高耐荷力・優れた力学的復元性とプレキャスト化による高品質・高生産性とを併せ持つプレキャストPC橋脚の耐震性能評価方法を明らかにし、その構造および設計方法の確立を行うものである。昨年度はプレキャストPC橋脚の基本的な耐震特性を把握し、「その構造物としての妥当性と実現性の確認」を主目的に3体の供試体について実験を行った。本稿ではこの縮小モデル供試体の静的正負交番曲げ載荷試験の結果とその基本的な耐震特性を報告するものである。

2. 実験の概要

2.1 目的

実験の目的はプレキャストPC構造の基本的な特性を把握することである。基本的な特性としては、①荷重-変位包絡線、②荷重-変位履歴曲線、③限界耐力と変位 の3点である。

2.2 供試体

供試体はRC供試体、一体PC供試体、プレキャストPC供試体の3体である。断面寸法は55cm×65cmの長方形断面であり、柱基部から2.4mまでは中空断面となっている。載荷スパンは2.75mである。各供試体の諸元を表-2.2.1、その形状寸法を図-2.2.1に示す。表中のコンクリート圧縮強度は柱部の目標値である。

表-2.2.1 供試体一覧

供試体	断面形状	コンクリート圧縮強度 (MPa)	軸応力度 (MPa)	軸方向鉄筋	帯鉄筋	P C 鋼材		プレスト (MPa)		備考
						軸方向	水平方向	軸方向	水平方向	
RC	中空	30	2.25	92×D6 (SD345)	D6@90 (SD345)	—	—	—	—	一体打ち
一体PC	中空	50	2.25	—	—	10×SWPR7B φ12.7	24×A種 2号φ17	5.59	2.80	一体打ち
プレキャストPC	中空	50	2.25	—	—	10×SWPR7B φ12.7	32×A種 2号φ17	5.59	2.80	プレキャスト

(1) RC供試体

RC供試体はある橋脚の約1/10の縮小モデルである。軸方向鉄筋比および帯鉄筋比を実橋脚とほぼ等しくし、鉄筋にはD6 (SD345) を使用している。このRC供試体を基準とし、一体PC供試体およびプレキャストPC供試体との比較を行った。

(2) 一体PC供試体およびプレキャストPC供試体

一体PC供試体は柱基部で震度法においてフルプレストレスとなるように軸方向のプレストレス量を決め、道路橋示方書・同解説Ⅲ (平成8年12月) に基づき地震時保有水平耐力法の照査を行っている。プレキャスト

スト PC 供試体はこの一体 PC 供試体を水平・鉛直方向に分割してプレストレスにより一体化された供試体である。鉛直継手面に導入した水平方向プレストレスは実験のパラメータとなり得ると考えられるが今回の実験では軸方向のその 1/2 とした。

供試体の柱基部には鉄筋が配筋されておらず、軸方向は PC 鋼より線 (SWPR7B φ12.7)、水平方向には PC 鋼棒 (SBPR785/1030 φ17) が配置されているのみである。プレキャスト PC 供試体の各セグメント間の継手処理はエポキシ樹脂 (t=1mm) で行っている。軸方向の PC 鋼より線は規格降伏強度の約 62%、水平方向の PC 鋼棒は約 28% で緊張されており、緊張後にはグラウト注入を行い PC 鋼材とシーすとの付着を確保している。

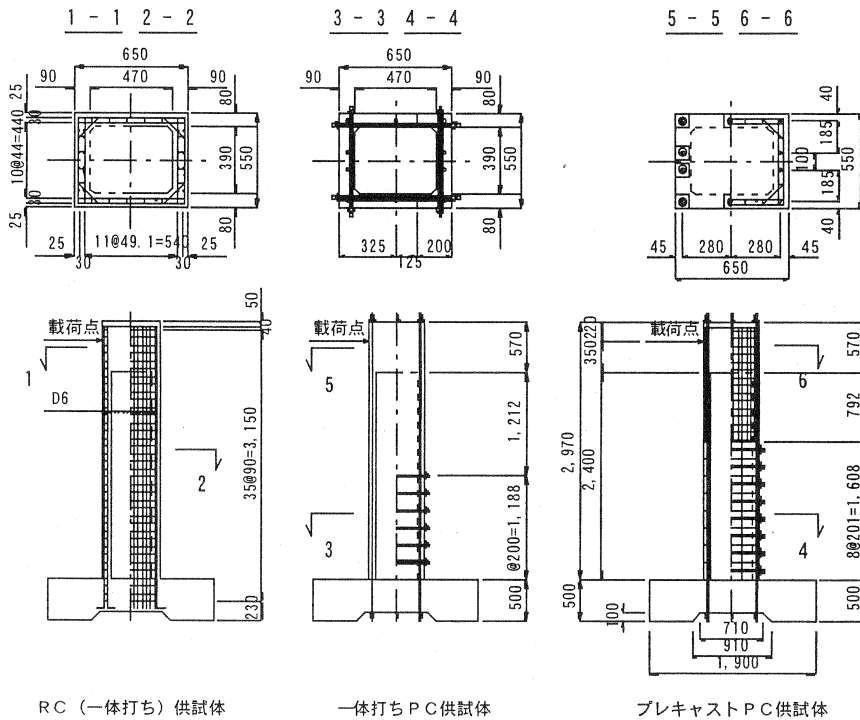


図-2.2.1 実験供試体形状寸法

### 2. 3 荷装置

供試体は鉛直に設置し、反力フレームに設置した加力ジャッキにより軸力を与え、反力壁に設置したアクチュエーターにより水平方向に交番荷した。図-2.3.1 に荷装置を示す。軸力を与えるジャッキはフレームに設置されたスライダにより固定され、スライダが滑ることにより、軸力を一定に保つことができる。

### 2. 4 荷ステップ

荷ステップは目視によるひびわれ発生時 (プレキャスト PC 供試体はセグメント継目部での開き)、鉄筋降伏時 (RC 供試体のみ)、その後は回転角 (=

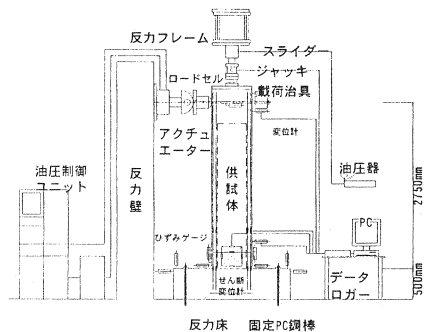


図-2.3.1 荷装置

水平変位/載荷スパン、1/200 の整数倍) により管理し、同じ管理変位量での載荷は 1 回とした。今回の供試体では回転角 1/200 の載荷点変位は 13.75 mm となっている。また、最大荷重を経験した後、水平荷重が最大荷重の 8 割まで低下したところを終局とし、そのサイクルで正負交番載荷を行い実験を終了した。回転角と載荷ステップとの関係を図-2.4.1 に示す。

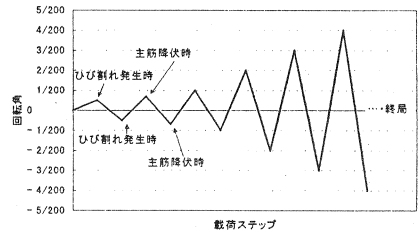


図-2.4.1 載荷方法

### 3. 実験結果

#### 3. 1 最大荷重と最大変形量

最大荷重と最大変形量 (終局時) の関係を表-3.1.1 に示す。表中の下段の値は RC 供試体のそれぞれの値を 1 として、他の試体のそれを基準化した値を示す。終局時は RC 供試体および一体 PC 供試体においては最大荷重の 8 割に低下した時点であり、プレキャスト PC 供試体は PC 鋼材の破断した時点である。

表-3.1.1 最大荷重と最大変形量

		R	C	一体		プレキャスト	
				P	C	P	C
最大荷重 (kN)	実測値	202.9	258.3	264.3			
	基準化値	1.0	1.27	1.30			
最大変形量 (mm)	実測値	96.4	61.2	136.4			
	基準化値	1.0	0.63	1.42			

この結果からプレキャスト PC 供試体は基準である RC 供試体に対して最大荷重および最大変形量において優れた性能を示すことおよびプレキャスト化による耐力の低下は起こらないことが明らかになった。

#### 3. 2 変形特性

##### (1) 履歴特性

各供試体の荷重-載荷点変位の履歴曲線を図-3.2.1 に示す。図中の白点は軸方向鉄筋および PC 鋼材の降伏、黒点は鉄筋の座屈、シースの座屈および PC 鋼材の破断を示している。この図によれば RC 供試体は既往の研究結果と同様に紡錘型の履歴曲線を示し、一体 PC 供試体およびプレキャスト PC 供試体は残留変位が小さく原点指向性の強い履歴曲線を示している。特に、プレキャスト PC 供試体は PC 鋼材の破断後も非常に強い原点指向性を示した。RC 供試体は軸方向鉄筋が座屈すると急激な耐力の減少を生じている。

##### (2) 包絡線と靱性率

各供試体の包絡線を図-3.2.2 に示す。この横軸には RC 供試体と比較するために載荷点より 350 mm 低い DI-2 の位置における変位を用いている。一体 PC 供試体とプレキャスト PC 供試体の初期剛性を比較するとほぼ同様な挙動を示していることからプレキャスト化による剛性の低下は少ないと言える。

各供試体の靱性率を表-3.2.1 に示す。プレキャスト PC 供試体は RC 供試体よりも大きな終局変位を示し

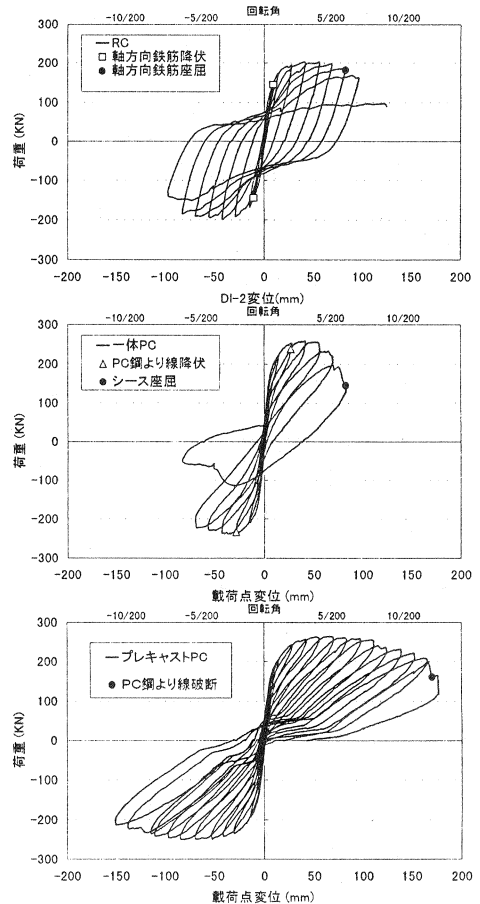


図-3.2.1 荷重-載荷点変位の履歴曲線

たが靱性率の定義から比較すると RC 供試体の約半分程度になる。ここで、プレキャスト PC 供試体の降伏変位は計測ができなかったが、図-3.2.2 よりプレキャスト化による剛性の低下が小さいことから一体 PC 供試体の値を用いた。

表-3.2.1 靱性率

	RC	一体PC	プレキャストPC
降伏変位 $\delta_y$ (mm)	9.2	26.7	26.7(※)
終局変位 $\delta_u$ (mm)	96.4	61.2	136.4
靱性率 $\mu$	10.5	2.3	5.1

ここに、 $\mu = \delta_u / \delta_y$ 、(※)：一体 PC 供試体の値

(3) エネルギー吸収量

各供試体のエネルギー吸収量を比較するために図-3.2.2 の包絡線を各供試体の最大荷重と最大変形量で除して正規化したものを図-3.2.3 に示す。一体 PC 供試体およびプレキャスト PC 供試体の高い復元性能はエネルギー一定則におけるエネルギー吸収量の評価では RC 供試体に劣るものとなる。

(4) 残留変位

各供試体の残留変位-載荷点変位の関係を図-3.2.4 に示す。RC 供試体と PC 供試体の相違は明らかであり PC 供試体の強い原点指向性の性質が確認できる。特にプレキャスト PC 供試体は PC 鋼材破断直前までその残留変位は非常に小さなものとなっている。それに対して RC 供試体は軸方向鉄筋の降伏後、回転角 1/200 から残留変位がみられ、ほぼ直線的に増加している。

(5) 柱基部の鉛直変位

各供試体における柱基部（基部から 100 mm）における鉛直変位と載荷点変位の関係を図-3.2.5 に示す。RC 供試体とプレキャスト PC 供試体は回転角 6/200 までほぼ等しい結果となった。一方、一体 PC 供試体は回転角 2/200 から他の供試体に比べ鉛直変位が大ききな値を示した。つまり、荷重が小さいうちからコンクリートのひびわれが進展し圧縮応力を受ける部分が減少していると考えられる。

(6) プレキャストセグメント継目部の開口変位

プレキャスト PC 供試体における荷重-セグメント継目部開口変位の関係を図-3.2.6 に示す。この値はセグメント継目面に設けたパイゲージ（柱基部に近い方から PI-E1、PI-E2、PI-E3）により測定したものであり回転角 7/200 までのものを示している。

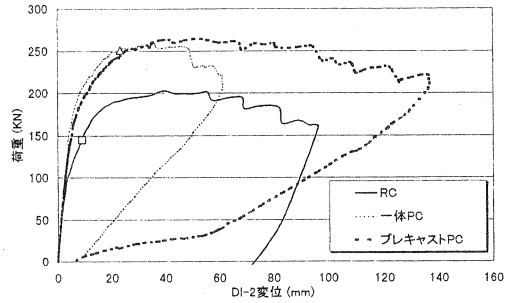


図-3.2.2 荷重-変位 (DI-2) 曲線の包絡線

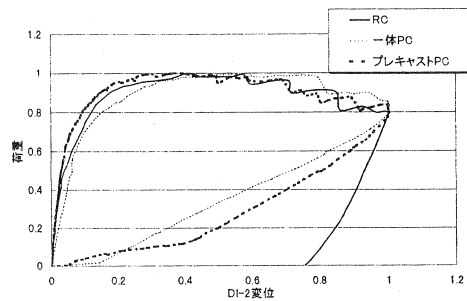


図-3.2.3 正規化した荷重-変位(DI-2)曲線の包絡線

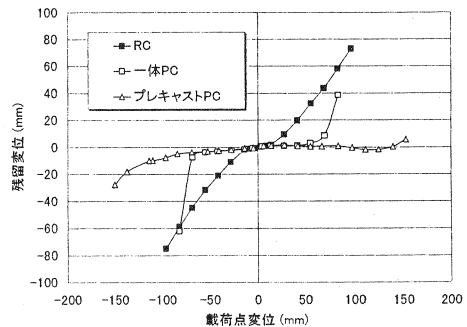


図-3.2.4 残留変位-載荷点変位の関係

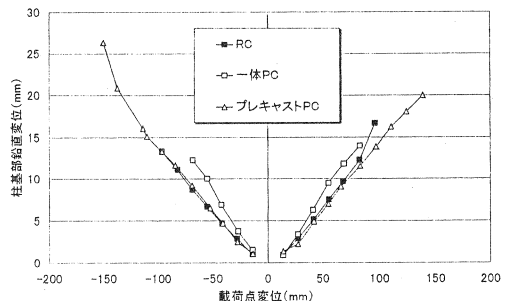


図-3.2.5 鉛直変位と載荷点変位の関係

荷荷が進むにつれ柱基部に最も近いセグメント継目部の変位のみが大幅に増大している。除荷後は各継目部ともその開口変位がほぼゼロに戻っている。プレキャスト PC 供試体ではこのセグメント継目部の開口変位が最大変形量を高めていると考えられる。

### 3. 3 破壊性状

各供試体における終局時のひびわれ状況を図-3.3.1に示す。E面は載荷面であり、図中の点滅部分はコンクリートが圧壊し剥落した部分を示す。また、プレキャスト PC 供試体における点線部分はセグメントの継目部を示している。全体的にはプレキャスト PC 供試体が最もひびわれが少なく終局時の基部の損傷程度も最も軽微であった。また、その側面に斜めひびわれは発生したが鉛直継目部には生じなかった。各供試体の破壊状況 (E面) を写真-3.3.1に示す。

### 3. 4 鉄筋および PC 鋼材のひずみ

#### (1) 軸方向

プレキャスト PC 供試体の PC 鋼より線のひずみは計測できなかったために一体 PC 供試体の柱基部および柱基部から 1d (650 mm) における軸方向 PC 鋼より線の荷重-ひずみ関係を図-3.4.1に示す。

PC 鋼より線のひずみは初期緊張によるひずみ (約

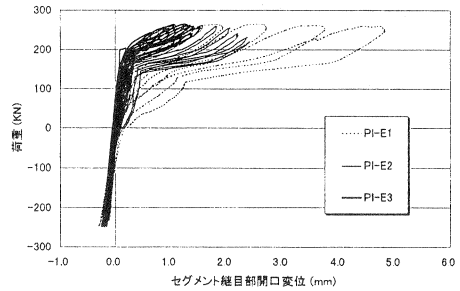


図-3.2.6 荷重-セグメント継目開口変位の関係

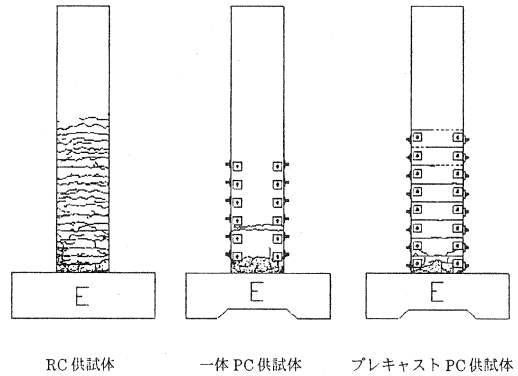


図-3.3.1 供試体の終局時のひびわれ状況

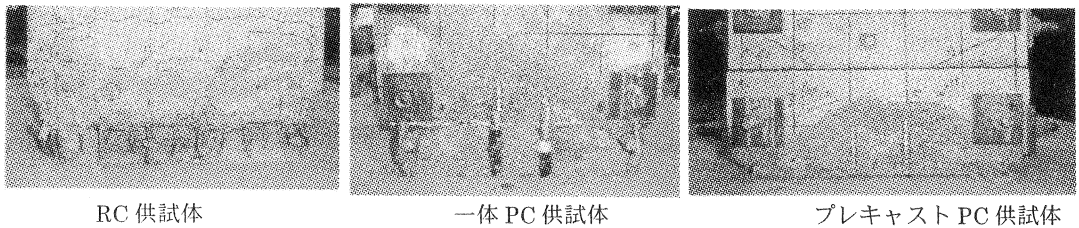


写真-3.3.1 供試体の破壊状況

4960  $\mu$ ) を考慮して補正している。図中の E、W は載荷方向の正負の面に貼付したひずみゲージを示す。柱基部では降伏ひずみ (8000  $\mu$ ) に達しているが柱基部から 1d の位置では増加ひずみが小さく降伏に達していない。柱基部に塑性ヒンジが発生していることが分かる。

#### (2) 水平方向

プレキャスト PC 供試体の柱基部から 300 mm の位置における PC 鋼棒の荷重-ひずみ関係を図-3.4.2に示す。

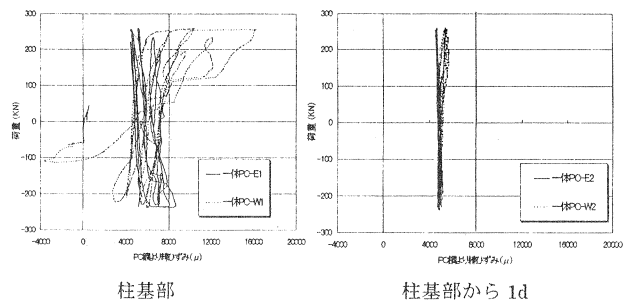


図-3.4.1 一体 PC 供試体の PC 鋼より線の荷重-ひずみ関係

PC 鋼棒のひずみは初期緊張によるひずみ(約 1120 $\mu$ )を考慮して補正してある。荷重方向に平行で側面に取り付けたひずみゲージ n, s の増加ひずみは約 800 $\mu$ となったが降伏ひずみ(約 4000 $\mu$ )には達していない。これは側面の鉛直継目部にひびわれが生じていないことが原因と考えられる。

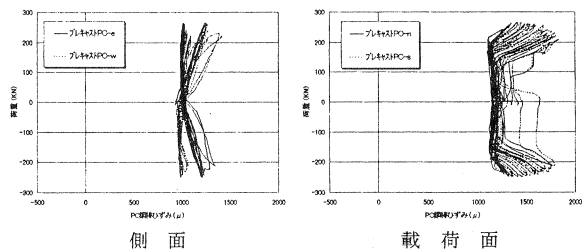


図-3.4.2 プレキャスト PC 供試体の PC 鋼棒の荷重-ひずみ関係

#### 4. まとめ

今回行った正負交番荷重試験結果から得ら

れた一体 PC 供試体およびプレキャスト PC 供試体の耐震特性を以下にまとめる。

- ①プレストレスを導入した一体 PC 供試体およびプレキャスト PC 供試体は残留変位が小さく原点指向性の強い履歴曲線を示した。
- ②プレキャスト PC 供試体は RC 供試体および一体 PC 供試体よりも大きな包絡線を描き、最大荷重および最大変形量において優れた性能を示した。しかし、靱性率やエネルギー吸収量に基づく耐震性能においては RC 供試体に劣る評価となる。
- ③プレキャスト PC 供試体の剛性は一体 PC 供試体とほぼ同じでありプレキャスト化による剛性の低下は小さいと考えられる。
- ④プレキャスト PC 供試体のセグメント間の開口変位は柱基部付近に集中しこれが最大変形量を高めている。
- ⑤プレキャスト PC 供試体の鉛直方向継目部では大きな損傷はみられなかった。このことから鉛直方向継目部が供試体の耐力に及ぼす影響は小さいと考えられる。
- ⑥プレキャスト PC 供試体は RC 供試体および一体 PC 供試体に比べひびわれが少なく終局時での破壊の損傷(柱基部でのコンクリート剥落)が最も小さかった。

このような特性を有するプレキャスト PC 橋脚はセグメント間を貫通する鉄筋のない構造物のため、その耐力は PC 鋼材比とそのプレストレス量に支配される。特に地震後の供用性を考えた場合には、終局時における有効プレストレスの低下評価が重要となる。そのため、今後の課題としては、①最適 PC 鋼材比と導入プレストレス量の決定、②有効プレストレスを健全に維持するための終局の定義と制限<sup>4)</sup>、③PC 鋼材のグラウトとの付着の影響評価、等が考えられる。

#### 謝辞

本研究は長岡技術科学大学の丸山久一教授との共同研究である。実験全般にわたってお世話になった長岡科学大学の中野氏、パイタウン氏および田中氏、また、供試体の製作とさまざまなアドバイスをいただいた(株)ピーエスの方々に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 池田尚治：耐震技術の今後の展望、橋梁と基礎 96-8、pp20-21、1996.8
- 2) 池田尚治：将来の PC 構造、プレストレストコンクリート Vol.38, No.6、pp10-13、1996.11
- 3) 池田尚治・森拓也・吉岡民夫：プレストレストコンクリート橋脚の耐震性に関する研究、プレストレストコンクリート Vol.40, No.5、pp40-47、1998.9
- 4) 森拓也・鈴木宣政・太田豊・濱田直明：プレキャストセグメント橋脚の耐震性に関する実験的研究、プレストレストコンクリート技術協会、第 9 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp679-684、1999.10