

(127) 大型供試体を用いたPC橋脚の耐震性に関する実験的研究

住友建設(株) PC設計部 正会員 ○村田 宣幸
 住友建設(株) PC設計部 正会員 石井 祐二
 オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 吉岡 民夫
 オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 大谷 悟司

1.はじめに

鉄筋コンクリート橋脚の鉛直方向にプレストレスを導入することによって、大地震時の慣性力に抵抗することや、その復元力を利用して地震後の供用性を高めることを目的としたプレストレストコンクリート橋脚(以下、PC橋脚)が提案されている。

本研究は、(社)プレストレストコンクリート技術協会の「橋脚PC構造研究委員会」で行われた研究の一部である。PC橋脚の基本的な耐震性能は、本委員会における縮小供試体を用いた実験的研究^{1)~3)}によって報告されている。高軸応力度下では、一般に橋脚では脆性的な破壊が懸念され、また実構造物では軸方向鉄筋は多段配筋であることが多く、横拘束筋の配置も小型の供試体と異なる場合が多い。そこで、実構造物に近い配筋状態で、かつ高軸応力度下でのPC橋脚の耐震性能を確認する目的で、大型実験供試体を用いた正負交番曲げ載荷実験およびファイバーモデルを用いた解析を行った。

2.実験概要

2.1 供試体

供試体は連続ラーメン橋梁の約1/6縮尺モデルを想定し、独立1本柱とした。断面は標準部で600mm×600mmの中空断面とし、基部の0.5D(=300mm)区間は無垢断面となっている。水平力載荷位置は橋脚躯体基部から3300mm位置とした。せん断スパン比は5.5となる。供試体諸元を表-1に、供試体配筋図を図-1に示す。

基準となる鉄筋コンクリート供試体(以下SB-RC供試体)は軸方向鉄筋としてD16を56本配置するものとし、これに対してプレストレストコンクリート供試体(以下SB-PC供試体)はプレストレスが中空断面部分で4MPa導入されている。SB-PC供試体はSB-RC供試体とほぼ等しい曲げ耐力となるように軸方向鉄筋のランクを落としている。せん断破壊を避けるために各供試体の帯鉄筋はD6を50mm間隔で配置している。

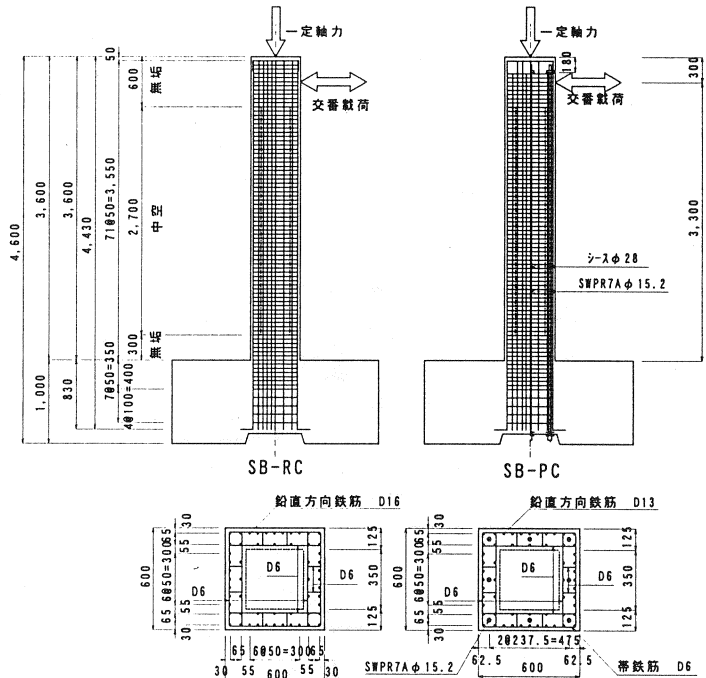


図-1 供試体配筋図

表-1 供試体諸元

供試体名	断面形状	軸応力度 MPa	コンクリート強度 MPa	プレストレス MPa	PC鋼材の グラウト	帯鉄筋	PC鋼材	軸方向鉄筋	曲げ耐力 (kN)
SB-RC	中空	3.0	35.0	—	—	D6φ50mm	—	56×D16	426.6
SB-PC	中空	3.0	35.0	4.0	有	D6φ50mm	8×SWPR7Bφ15.2	56×D13	441.4

2.2 載荷方法

載荷装置の概略図を図-2に示す。

実験供試体の中空断面部における軸応力度が 3.0MPa となるように鉛直荷重(712.5kN)を作用させ、この一定軸力作用下で水平方向に正負交番載荷を行った。載荷は、橋脚基部回転角が 1/200(rad)の整数倍となるように載荷点変位を制御した。ただし、計算ひび割れ荷重作用時と計算降伏荷重作用時のみ荷重制御で載荷を行った。同じ回転角での繰返し回数は1回とした。計算降伏荷重よりも水平荷重が低下した時点で実験を終了した。

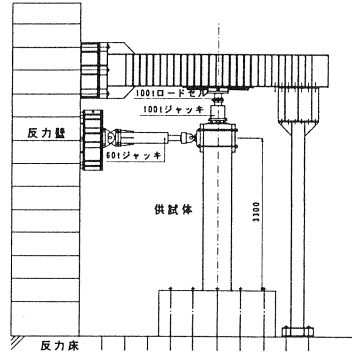


図-2 載荷装置図

3.実験結果および考察

3.1 履歴特性

実験結果の一覧を表-2に、載荷荷重と載荷点変位の関係について実験値と解析値を図-3に示す。

SB-RC 供試体では典型的な紡錘形の荷重-変位関係を示している。SB-PC 供試体は PC 鋼材緊張力による復元力特性によって除荷剛性が小さい履歴曲線を示した。SB-PC 供試体は PC 鋼材の降伏後も耐力の低下を伴わず、SB-RC 供試体とほぼ同等の変形性能を示した。

解析モデル(SB-PC 供試体)を図-4に示す。解析はファイバーモデル法を用い、材料非線形を考慮した。SB-PC 供試体は橋脚基部付近の PC 鋼材の付着が切れたと考えられるため、SB-PC 供試体の解析モデルでは橋脚基部よりフーチング方向に 1D 区間(D は基部断

表-2 実験結果の一覧

		降伏荷重 Py(tf)	最大荷重 Pmax(tf)	終局荷重 Pu(tf)	降伏変位 δy (mm)	終局変位 δu (mm)	変位靱性率 $\delta u / \delta y$
SB-RC	正載荷	332.0	379.5	337.0	29.8	214.5	7.2
	負載荷	-332.0	-374.0	-324.0	-28.8	-214.5	7.4
SB-PC	正載荷	336.0	412.0	363.0	27.6	214.5	7.8
	負載荷	-336.0	-413.0	-322.0	-27.2	-214.5	7.9

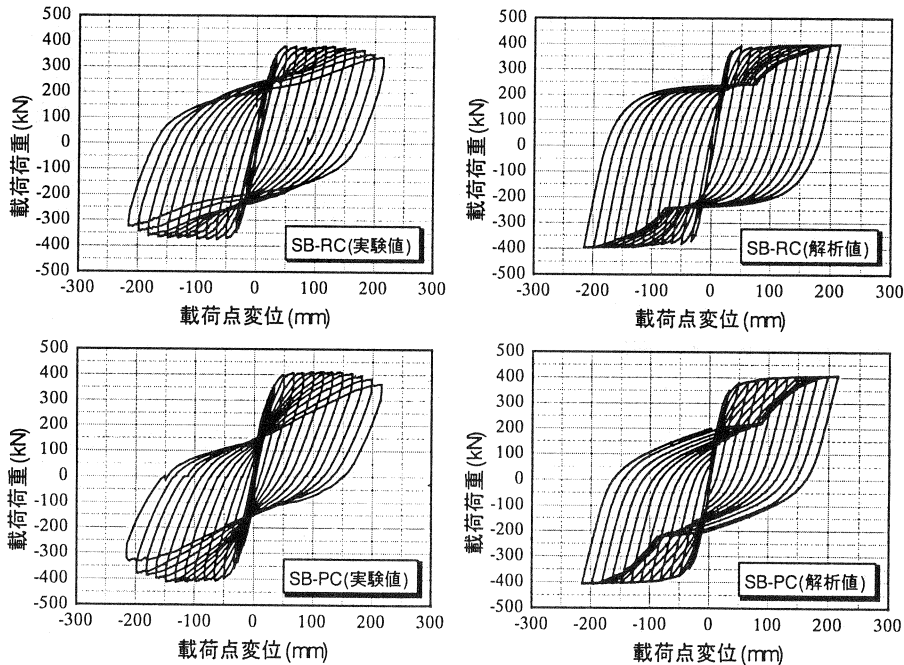


図-3 載荷荷重と載荷点変位の関係

面幅=600mm)と橋脚基部より上端方向に 1D 区間をアンボンド化したものと仮定してモデル化を行った。SB-RC 供試体については単柱モデルとして解析を行った。実験結果と解析結果を比較すると、マクロ的な履歴挙動はほぼシミュレートできると考えられる。しかし、10/200 サイクル以降で履歴ループが実験値よりも大きくなる傾向がある。この原因として PC 鋼材の付着切れ範囲の拡大の影響と推測される。本解析ではアンボンド領域の設定を $1D+1D=2D$ としたが、このモデル化手法を用いる場合、アンボンドとする範囲の設定方法は今後検討しなければならない課題である。

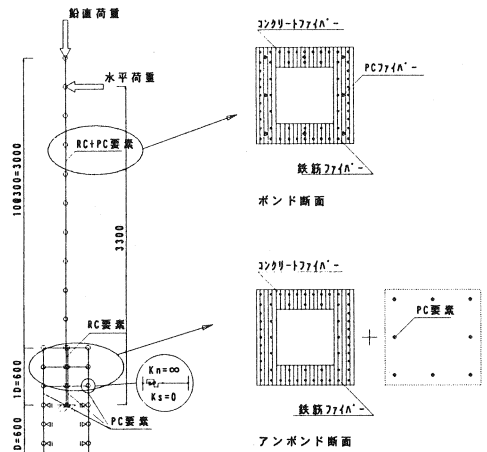


図-4 解析モデル

3.2 破壊性状

各供試体の終局時のひび割れ図を図-5 に示す。SB-RC 供試体は、曲げひび割れが生じた後に軸方向鉄筋が降伏し、その後曲げひび割れがせん断ひび割れに発展した。橋脚基部のかぶりコンクリートが剥離し、軸方向鉄筋が座屈した後に帯鉄筋が破断した。軸方向鉄筋が座屈した後は 13/200(rad)サイクルにて水平荷重が降伏荷重よりも低下したため、実験を終了した。

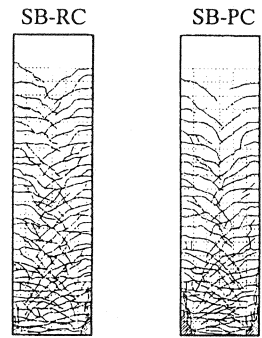


図-5 終局時のひび割れ図

SB-PC 供試体も SB-RC 供試体とほぼ同様の破壊形態であった。しかし、ひび割れは SB-RC 供試体と比較して少なく、橋脚基部周辺に集中している。荷重が進むに従い、繰返し荷重によって軸方向鉄筋の塑性化が進み、軸方向鉄筋の破断が生じた。その後 13/200(rad)サイクルにて水平荷重が降伏荷重よりも低下したため、実験を終了した。

SB-RC 供試体と SB-PC 供試体の実験終了後の目視による基部の損傷範囲を表-3 に示す。SB-PC 供試体は SB-RC 供試体と比較して、かぶりの剥落した範囲が大きく、また SB-PC 供試体の鉄筋の座屈範囲が小さい。これは軸方向応力度が 7MPa(軸力 3MPa+プレストレス 4MPa)であり、SB-RC 供試体の軸方向応力度(3MPa)と比較して軸方向応力度が卓越していることや、SB-PC 供試体の軸方向鉄筋径が SB-PC 供試体よりも小さいこと等の理由によると思われる。

表-3 基部の損傷の範囲

		SB-RC (cm)	SB-PC (cm)
かぶりコンクリート剥落	載荷面	25	33
	裏面	25	28
鉄筋座屈	載荷面	25	20
	裏面	25	20

3.3 エネルギー吸収能

SB-RC 供試体および SB-PC 供試体の累積吸収エネルギー量と荷重点変位の関係(実験値および解析値)を図-6 に示す。プレストレスを導入することにより復元力が生じるため、SB-PC 供試体の P-δ 曲線の 1 ループの描く面積は SB-RC 供試体と比較して小さくなる。実験値については SB-PC 供試体の累積吸収エネルギーは SB-RC 供試体と比較して約 20% 小さい値となった。

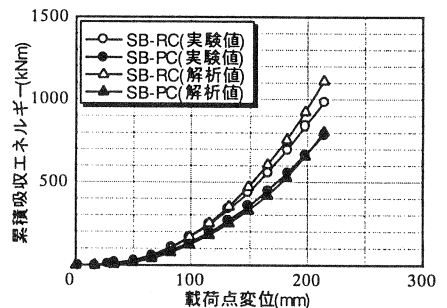


図-6 累積吸収エネルギー量-荷重点変位の関係

SB-RC 供試体、SB-PC 供試体ともに実験値と解析値はほぼ一致することが確認できる。

3.4 残留変位

残留変位比(残留変位/最大変位)と基部回転角関係を図-7に示す。ここでいう残留変位とは各載荷サイクルで荷重が0となったときの載荷点変位すなわち可能最大残留変位である。

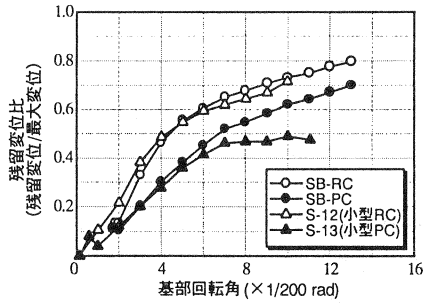


図-7 残留変位比-基部回転角関係

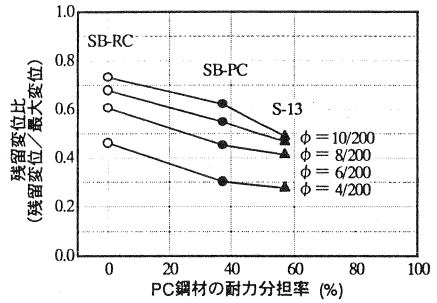


図-8 残留変位比-耐力分担率

参考として本実験における大型供試体と実験条件に近い小型供試体(S-12[RC]および S-13[PC]軸力1MPa,プレストレス 4MPa,中空断面,せん断スパン比 3.75)³⁾を図に併記した。また、図-8に残留変位比とPC鋼材の耐力分担率関係を示す。ここでの耐力分担率とは断面の曲げ耐力に対するPC鋼材による耐力の比率としている。

終局荷重時(13/200rad)のSB-PC供試体の残留変位比はSB-RC供試体と比較して約12%小さい値となっている。一方、小型PC供試体(S-13)の終局荷重時(10/200rad)の残留変位比は小型RC供試体(S-12)よりも約32%小さい値となった。この原因として大型供試体は2段配筋をすることにより主鉄筋比が大きくなり、従ってPC鋼材の耐力分担率が小型供試体よりも小さな値となったためと考えられる。

4.まとめ

実構造物に近い配筋状態の大型供試体を用いたプレストレストコンクリート橋脚の基本的な耐震性能を正負交番曲げ載荷実験および解析によって検討した。本報告で得られた知見を以下に示す。

- 1)一般に高軸応力度下においては橋脚は脆性的な破壊を引き起こす危険性がある。しかし、本実験のように実構造物に近い配筋状態であってもPC橋脚はRC橋脚と同等の耐震性能を持つことを確認できた。
- 2)ファイバーモデルを用いた非線形解析における履歴曲線はほぼ実験値をシミュレートすることが可能であることを確認できた。また、履歴吸収エネルギーもほぼ実験値と同等の値を算出できる。しかし、PC橋脚のモデル化におけるアンボンド範囲の設定方法については今後の課題となる。
- 3)小型供試体と比較して大型供試体の残留変位比は大きい値を示した。これは大型供試体が2段配筋であるために主鉄筋比が大きく、PC鋼材の耐力分担率が小さいためと考えられる。

謝辞

本実験は、(社)プレストレストコンクリート技術協会「橋脚PC構造研究委員会」(委員長:池田尚治横浜国大教授)が行った委託研究の一部である。ここに関係各位に深く謝意を表する。

参考文献

- 1)太田豊・新井英雄・山本哲也:プレストレストコンクリート橋脚の耐震性に関する実験的研究(その1),プレストレストコンクリート技術協会第8回シンポジウム論文集,pp.411~414,1998.10
- 2)清水徹・羽生剛・日紫喜剛啓・新井崇裕:プレストレストコンクリート橋脚の耐震性に関する実験的研究(その2),プレストレストコンクリート技術協会第8回シンポジウム論文集,pp.415~420,1998.10
- 3)鈴木宣政・森拓也・吉岡民夫・大谷悟司:プレストレストコンクリート橋脚の耐震性に関する実験的研究(その3),プレストレストコンクリート技術協会第8回シンポジウム論文集,pp.421~424,1998.10