

(82) 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)

大成建設(株) 土木設計部 正会員 清水 徹
 同 上 ○羽生 剛
 鹿島建設(株) 技術研究所 正会員 日紫喜剛啓
 同 上 新井 崇裕

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以来、各方面で耐震設計の研究が活発に進められている。道路橋示方書¹⁾でも抜本的な設計手法の改訂が行なわれ、今後は耐震性能の高い構造形式の開発が望まれている。これらを満足する構造形式としてプレストレストコンクリート(PC)構造が極めて合理的であると考えている²⁾。

そこで軸方向にプレストレスを導入した縮小供試体を用い、PC橋脚の耐震特性を明らかにすることを目的に静的正負交番曲げ載荷実験を行った。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)の研究の一環として行ったものであり、このうち本論文では、中実断面を有し、高軸力状態を設定した5ケースについて報告する。

2. 実験の概要

2.1 供試体

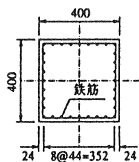
供試体は、断面寸法40×40cmの正方形断面とし、載荷スパン1.5mとする。実験ケースを表-1に示す。実験パラメータは、1) PC鋼材の付着の有無、2) コンクリート強度(35MPa、60MPa)、3) プレストレス導入力(4MPa、8MPa)とした。S-7供試体(RC)の軸方向配筋を基本配筋(D13×32)とし、その他の供試体は耐力を概ね合わせるため、プレストレスのレベルに応じて鉄筋の一部をPC鋼材に置き換えた。鋼材の材料特性を表-2に示す。PC鋼材としてはPC鋼より線を使用し、緊張力はPC鋼材の降伏強度の1/2とした。供試体の主要寸法を図-1に示す。

表-1 実験ケース

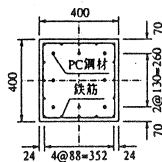
記号	コンクリート強度 (MPa)	軸応力度 (MPa)	プレストレス (MPa)	主鉄筋	PC鋼より線	帯鉄筋	付着
S-7	35.0	4.0	—	D13×32	—	D6@30	—
S-8	35.0	4.0	4.0	D10×16	SWPR7B 12.7×8	D6@30	有
S-9	35.0	4.0	4.0	D10×16	SWPR7B 12.7×8	D6@30	無
S-10	60.0	4.0	4.0	D10×16	SWPR7B 12.7×8	D10@40	有
S-11	60.0	4.0	8.0	D10×8	SWPR19 17.8×8	D10@40	有

表-2 鋼材の材料特性

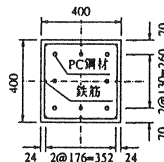
鋼材	降伏点	引張強度	弾性係数
SD345D6	387	566	206000
SD345D10	401	565	206000
SWPR7B 12.7	1753	1935	194100
SWPR19 17.8	1790	1967	189600



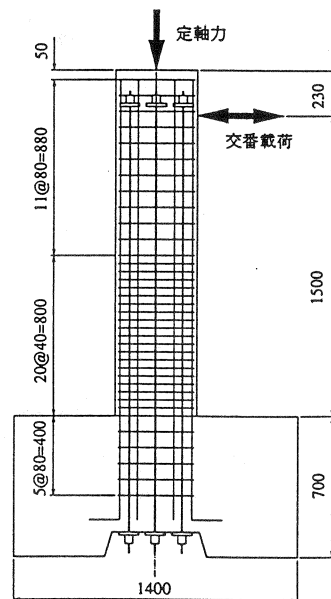
S-7 供試体



S-8, 9, 10 供試体



S-11 供試体



側面図

図-1 供試体の主要寸法

2. 2 載荷要領

載荷は供試体を鉛直にP C鋼棒を用いて設置し、鉛直方向に定軸力を与えながら、水平方向に静的正負交番載荷を行った。軸力の載荷には偏心が生じないようにスライド装置を用いた。載荷ステップはひび割れ発生時、計算上の鉄筋降伏時、その後は回転角(1/200radの整数倍)で管理し、同じ管理変位置での載荷は1回とした。最大荷重の80%以下となった時点を終局とし、実験を終了した。

3. 実験結果

荷重と載荷点変位の関係を図-2に示す。RC橋脚のP- δ 曲線が典型的な紡錘型の履歴曲線を描くのに対し、P C橋脚のP- δ 曲線は原点指向型の履歴曲線を描いている。これはP C鋼材の復元力特性によるものであり、このため除荷後の残留変位が小さくなっている。破壊状況を説明すると、RC供試体は柱基部のコンクリートが剥離・剥落し、主鉄筋が座屈した後、耐力が低下し終局を迎えた。それに対しP C供試体はいずれも柱基部のコンクリートが剥離・剥落した後、主鉄筋が座屈から破断に至っても急激な耐力低下は起こらず、徐々に終局を迎えた。高軸力(鉛直荷重+プレストレス)により、早期に脆性的な破壊挙動が起こる事が予想されたが、どのケースにおいても粘りある挙動を示し回転角で9/200~11/200radの変形性能を有した。P C鋼材及び帯鉄筋は実験終了まで破断しておらず、じん性能の向上には帯鉄筋の横拘束が大きく影響したと思われる。

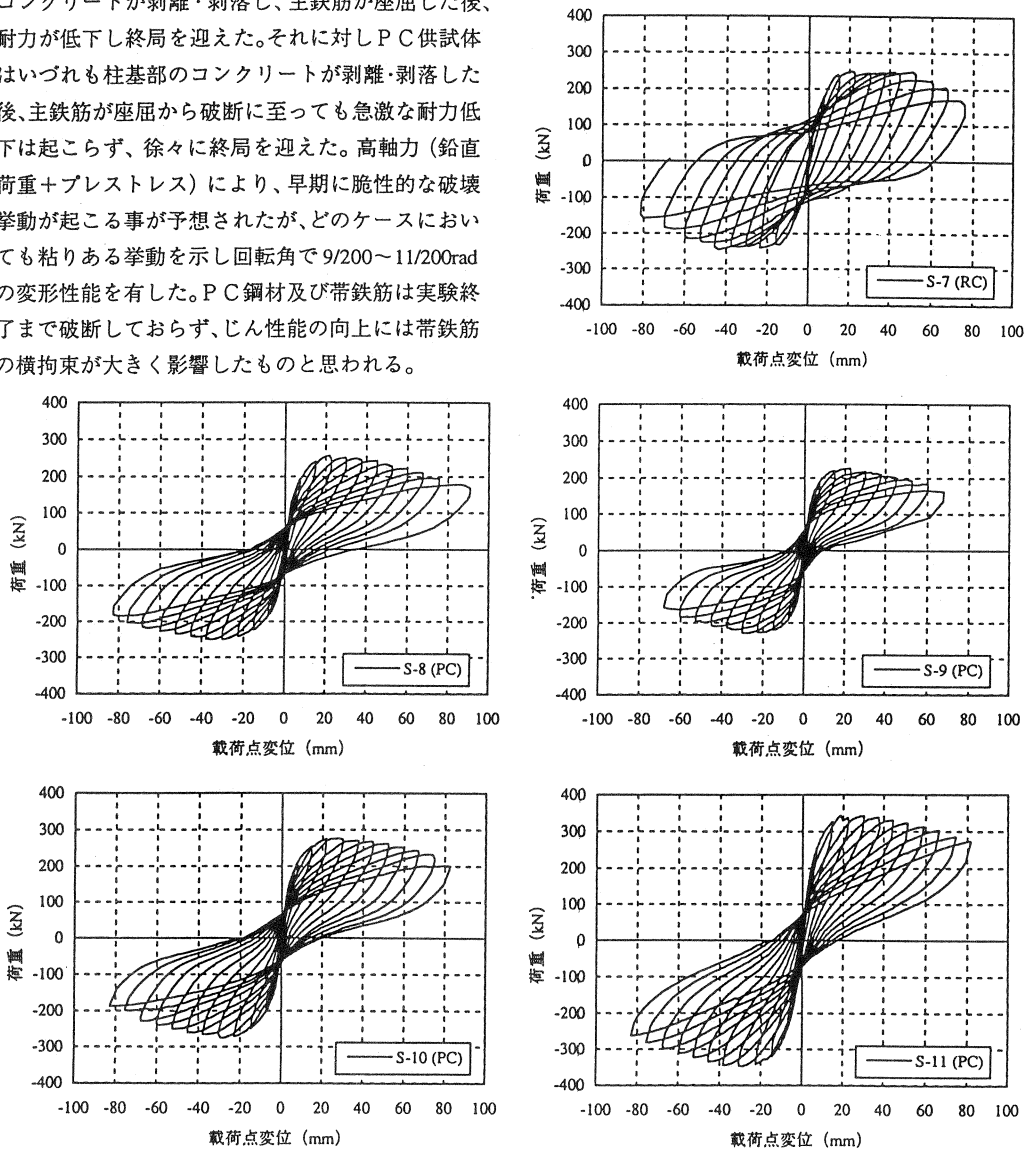


図-2 荷重と載荷点変位との関係

4. 考察

4. 1 PC鋼材の付着の有無による影響

S-8 供試体とS-9 供試体とを比較して、PC鋼材の付着の有無による影響を検討した。残留変位と載荷点変位との関係を図-3に示す。アンボンド供試体 (S-9) はボンド供試体 (S-8) に比べて、各載荷ステップで65%程度に残留変位が小さくなった。また柱基部でのPC鋼材の増分ひずみと荷重との関係を図-4に示す。ボンド供試体でのPC鋼材のひずみが降伏に達しているのに対し、アンボンド供試体でのPC鋼材のひずみは終局時まで弾性範囲内に留まり、これが残留変位の差に表れたものと思われる。

累積吸収エネルギーと載荷点変位との関係を図-5に示す。ここで累積吸収エネルギーは、P- δ 曲線の各ループで囲まれた面積 (履歴吸収エネルギー) を累積したものであり、各供試体で曲げ耐力が多少違うため、最大荷重で除した値を用いた。同じ耐力にして比較した結果、各載荷点変位に対しほぼ一致しており、顕著な差は見られなかった。しかし鋼材量を同じとし付着状態のみを変化させた場合には、アンボンドにすると曲げ耐力が減少し、それに伴ってエネルギー吸収は小さくなった。

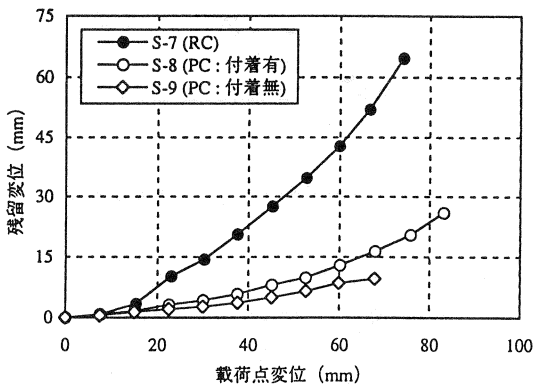


図-3 残留変位と載荷点変位

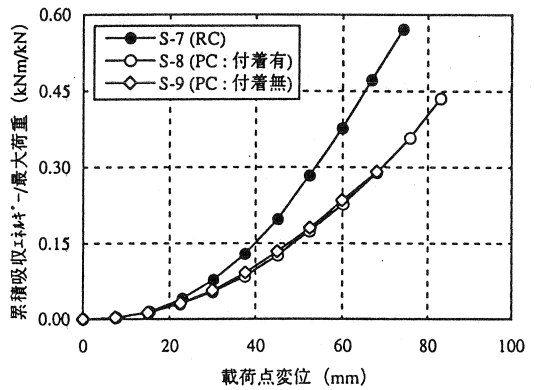


図-5 累積吸収エネルギーと載荷点変位

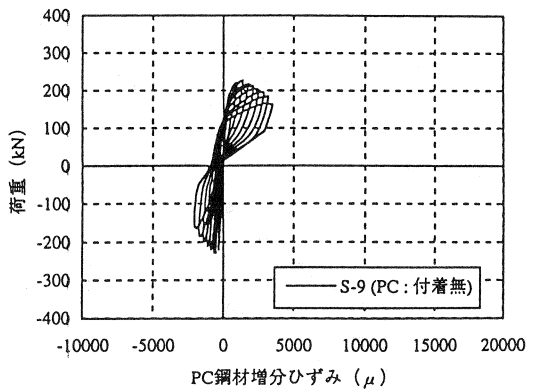
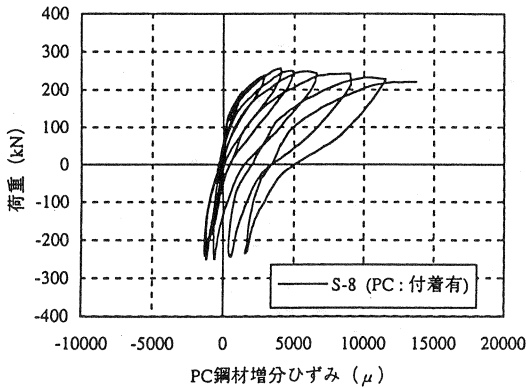


図-4 PC鋼材の増分ひずみと荷重との関係

4.2 コンクリート強度の違いによる影響

S-8 供試体と S-10 供試体とを比較して、コンクリート強度の違いによる影響を検討した。残留変位と載荷点変位との関係を図-6 に示す。各載荷点変位に対しほぼ一致しており、顕著な差は見られなかった。また累積吸収エネルギーと載荷点変位との関係を図-7 に示す。同じ耐力にして比較した結果、コンクリート強度が高い方がエネルギー吸収は85%程度に小さくなった。これはコンクリート強度のみを高くした場合には、曲げ耐力が高くなるがエネルギー吸収はほぼ同じである理由による。

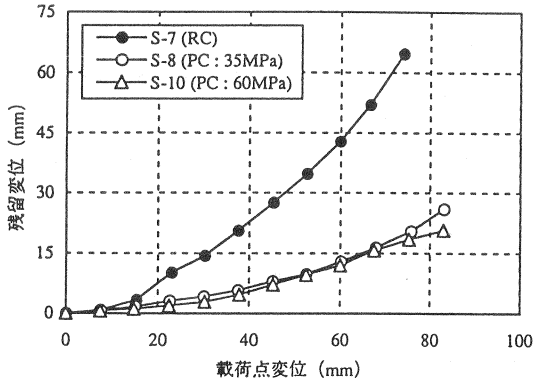


図-6 残留変位と載荷点変位との関係

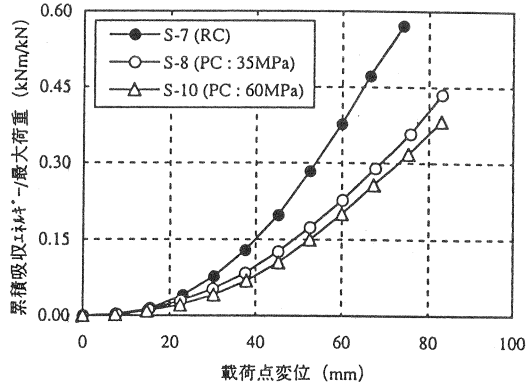


図-7 累積吸収エネルギーと載荷点変位

4.3 プレストレス導入力の違いによる影響

S-10 供試体と S-11 供試体とを比較して、プレストレス導入力の違いによる影響を検討した。残留変位と載荷点変位との関係を図-8 に、累積吸収エネルギーと載荷点変位との関係を図-9 に示す。プレストレス導入力が大きくなると、残留変位及びエネルギー吸収は90%程度に小さくなった。

一般にプレストレス導入力が大きいほど、残留変位およびエネルギー吸収は小さくなるが、一連の実験結果から最適なプレストレス導入力は4MPa程度と思われ、それ以上プレストレスを導入してもその影響は小さく、ほぼ同等であると考えられる。

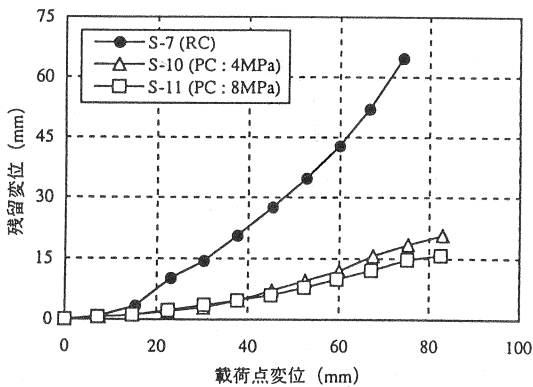


図-8 残留変位と載荷点変位との関係

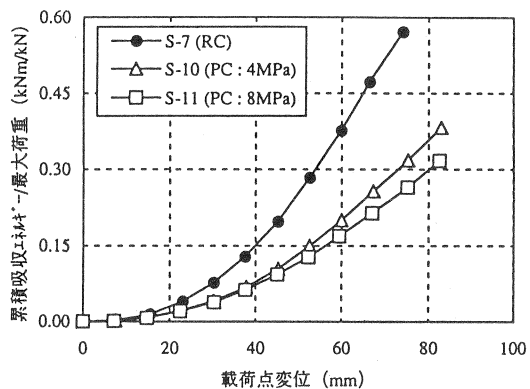
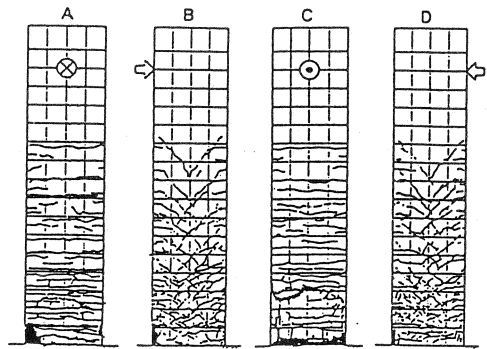
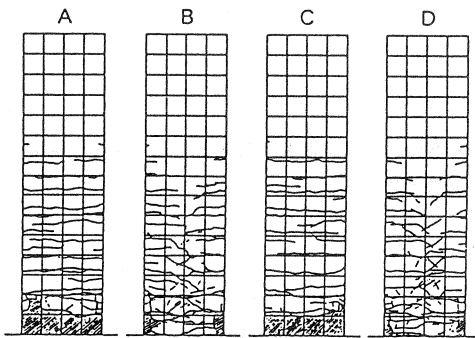


図-9 累積吸収エネルギーと載荷点変位との関係

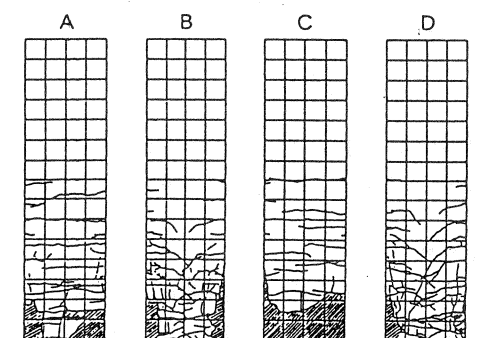
また主鉄筋座屈時 (8/200rad) のひび割れ状況を図-10に示す。載荷面をA面とし反時計回りにB、C、D面とした。RC橋脚は柱全体にひび割れが発生しているのに対し、PC橋脚はプレストレスの効果によりせん断ひび割れ (B、D面に見られる斜めひび割れ) の発生が少なく、ひび割れが柱基部に集中している。またプレストレス導入力が大きいほど、その損傷は軽微であった。



S-7 供試体 (RC)



S-10 供試体 (PC : プレストレス=4MPa)



S-11 供試体 (PC : プレストレス=8MPa)

図-10 主鉄筋座屈時 (8/200rad) のひび割れ状況

4.4 許容残留変位下でのエネルギー吸収能

PC橋脚は原点指向型の履歴ループを描くためRC橋脚よりエネルギー吸収能は劣っている (図-11)。しかし、現行の道路橋示方書^りでは「重要度が高い橋 (B種) の橋脚は、地震後の許容残留変位を橋脚の回転角として1/100rad」としており、この範囲内で考えれば別の解釈ができる。累積吸収エネルギーと残留変位の関係を図-12に示す。本実験の許容残留変位 (1.5cm) の条件下では、逆にPC橋脚の方がエネルギー吸収は大きくなる。すなわち、許容残留変位という規定を設ける事により、PC橋脚はもっとも耐震的 (エネルギー吸収能力的) に優れている事になる。

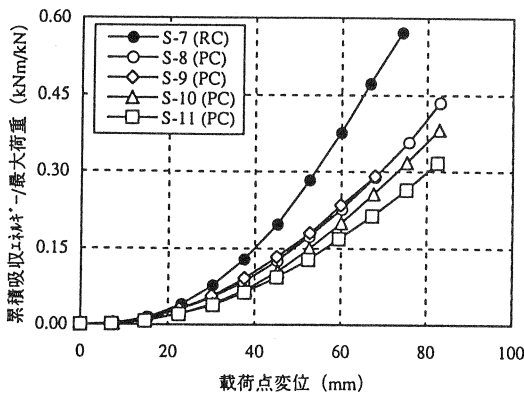


図-11 累積吸収エネルギーと載荷点変位の関係

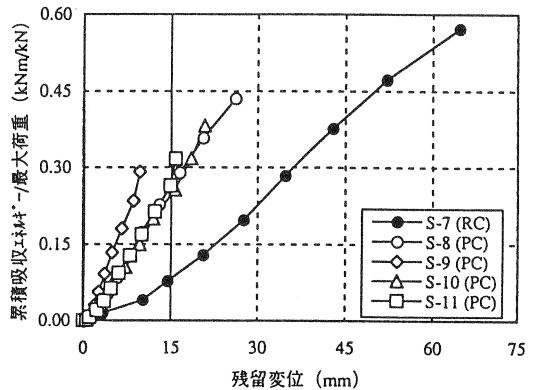


図-12 累積吸収エネルギーと残留変位の関係

5. まとめ

- 1) 高軸力(鉛直荷重+プレストレス)により早期に脆性的な破壊挙動が起こる事が予想されたが、十分な帯鉄筋を用いれば急激な耐力低下も見られず、PC特有の残留変位が少なく、またじん性の高い粘りある変形性能を有することが確認された。
- 2) PC鋼材の付着がない場合、PC鋼材は弾性範囲内で挙動し、付着がある場合と比較して残留変位を小さくすることができる。ただしエネルギー吸収能は僅かに少なくなる。
- 3) コンクリート強度の違いによる影響は、残留変位についてはほぼ同等であるが、エネルギー吸収については、同じ耐力にして比較するとコンクリート強度を高くした方が僅かに少なくなる。
- 4) プレストレス導入力が大きいほど、残留変位、エネルギー吸収能は僅かに少なくなる。一連の実験結果からは、最適なプレストレス導入力は4MPa程度と思われ、それ以上のプレストレス導入力(8MPa)を入れても顕著な差は表われなかった。
- 5) 道路橋示方書で定める許容残留変位の概念を用いれば、PC橋脚はRC橋脚よりエネルギー吸収能に優れていると言える。

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)の研究の一環として行ったものである。ここに関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説、V耐震設計編、pp59-65、平成8年12月
- 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) 新井崇裕、日紫喜剛啓、池田尚治:プレストレストコンクリート橋脚の耐震性能に関する実験的研究、第53回年次学術講演会、土木学会、1998.10
- 4) 羽生剛、畑明仁、田中篤、池田尚治:軸方向にプレストレスを導入したコンクリート橋脚の耐震性に関する実験的研究、第53回年次学術講演会、土木学会、1998.10