

(81) 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)

(株)富士ピー・エス 東京支店 正会員 太田 豊
 住友建設(株) P C設計部 正会員 新井 英雄
 同上 正会員 ○山本 哲也

1. はじめに

従来、橋脚は上部工重量を支える軸力部材であると認識されていたが、先の兵庫県南部地震に見られるような大きな応答加速度が作用した場合には、橋脚も曲げの卓越する部材になる。曲げ部材にプレストレスを導入することの有利性は復元力や耐荷力の面で明白であり、コンクリート橋脚もP C構造とすることによって地震後の残留変位や損傷度合に対してきわめて有利な構造となると言える¹⁾。このようなP C橋脚の耐震性能を実験的に把握するため、P C技術協会が出資35社の委託を受け、P C技術協会の委嘱により橋脚P C構造研究委員会が設立された。本論では、平成9年度に行われたP C橋脚の正負交番載荷実験のパラメータおよび供試体の製作方法を述べるとともに、基本ケースとなる中実の鉄筋コンクリート供試体(以降、R C供試体)およびプレストレスレベルの異なる2つのプレストレスを導入した供試体(以降、P C供試体)の正負交番載荷実験結果について述べるものである。

2. 実験方法

2.1 供試体の製作

供試体は柱部の断面寸法を40cm×40cmの正方形断面とした。中空供試体の断面形状は、その断面積が中実供試体の1/2となるよう設定した。また横方向力の載荷位置は柱基部から1.5mとした。供試体の形状図を図-1に示す。

コンクリートには早強ポルトランドセメントを用い、設計基準強度は35MPaおよび60MPaとした。目標スランプはそれぞれ11cm及び8cmで、粗骨材には最大寸法8.5mmの豆砂利を使用した。コンクリートの配合表を表-1に示す。

供試体の軸方向鉄筋は、基本となるR C供試体(S-1, S-7, S-12, S-15、表-4参照)でD13を32本配置することとし、その他のP C供試体はそのプレストレス導入量に応じて段階的に軸方向鉄筋量を下げていった。帯鉄筋量は、実験時

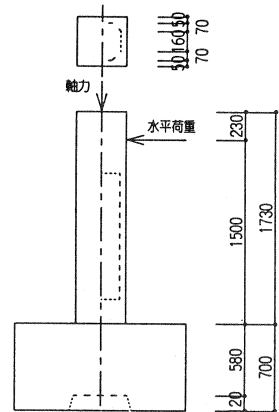


図-1 供試体主要寸法図

表-1 コンクリート配合表および載荷試験時コンクリート強度

設計基準強度 (MPa)	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	水粉体比 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位置 (kg/m ³)					試験時コンクリート強度 (MPa)	
						W	セメント C	石粉	細骨材 S	粗骨材 G		混和剤
35	8.5	11	80.7	39.5	56.5	165	204	214	950	720	4.18	32.3~47.0
60	8.5	8	50.1	39.0	54.5	164	327	93	925	761	4.20	53.3~74.1

の破壊形態がいずれの供試体も曲げ破壊となるよう、せん断耐力を計算し決定した。P C鋼材はSWPR7B φ12.7とSWPR19 φ17.8の2種類を使用し、柱頂部でデッドアンカーにて定着したP C鋼材をフーチング下面から片側緊張した。なお実験時に所定のプレストレス量となるよう導入時に緊張管理を行った後、付着有りの供試体については載荷実験場へ搬出前にグラウトを行った。図-2に代表的な供試体の配筋およびP C鋼材配置を、鉄筋およびP C鋼材の力学的性質を表-2に、グラウトの配合表を表-3に示す。

表-2 鉄筋およびP C鋼材の力学的性質

		降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (MPa)
鉄筋 SD345	D6	387	566	205940
	D10	401	565	205940
	D13	391	567	205940
P C鋼材	SBPR7B φ12.7	1753	1935	194100
	SBPR19 φ17.8	1790	1967	189600

2.2 供試体のパラメータ

今回の実験における検討パラメータは、①断面形状(中実もしくは中空)、②上部工重量による軸圧縮応力度(1もしくは4MPa)、③コンクリート強度(35もしくは60MPa)、④プレストレスのレベル(0, 2, 4もしくは8MPa)、および⑤PC鋼材の付着の有無し、の5つとし、合計17体の供試体を用いて実験を行った。供試体の諸元を表-4に示す。

2.3 載荷方法

載荷装置の概略図を図-3に示す。供試体は鉛直に設置し、反力壁を用いて横方向正負交番載荷を行った。軸力の

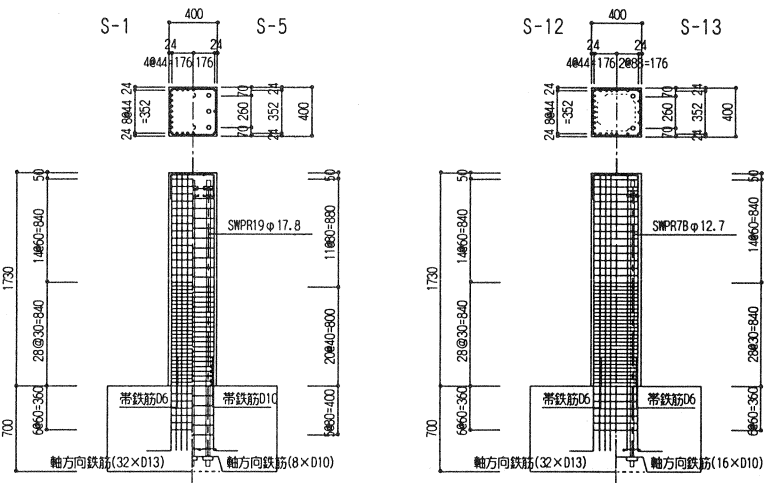


図-2 代表的な供試体の配筋およびPC鋼材配置

表-3 PCグラウト配合表

セメント(kg)	水(kg)	混和剤GF-1700(g)	水セメント比(%)
75	33.75	750	45

表-4 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)	付着の有無	帯鉄筋	PC鋼材	軸方向鉄筋	曲げ耐力(kN)
S-1	中実	1.0	35.0	—	—	D6@30	—	32×D13	194.7
S-2	中実	1.0	35.0	2.0	有	D6@30	4×SWPR7Bφ12.7	16×D13	175.3
S-3	中実	1.0	35.0	4.0	有	D6@30	8×SWPR7Bφ12.7	16×D10	193.9
S-4	中実	1.0	35.0	4.0	無	D6@30	8×SWPR7Bφ12.7	16×D10	188.9
S-5	中実	1.0	35.0	8.0	有	D10@40	8×SWPR19φ17.8	8×D10	277.3
S-6	中実	1.0	60.0	8.0	有	D10@40	8×SWPR19φ17.8	8×D10	311.6
S-7	中実	4.0	35.0	—	—	D6@30	—	32×D13	233.9
S-8	中実	4.0	35.0	4.0	有	D6@30	8×SWPR7Bφ12.7	16×D10	222.5
S-9	中実	4.0	35.0	4.0	無	D6@30	8×SWPR7Bφ12.7	16×D10	224.3
S-10	中実	4.0	60.0	4.0	有	D10@40	8×SWPR7Bφ12.7	16×D10	249.8
S-11	中実	4.0	60.0	8.0	有	D10@40	8×SWPR19φ17.8	8×D10	335.4
S-12	中空	1.0	35.0	—	—	D6@30	—	32×D13	185.6
S-13	中空	1.0	35.0	4.0	有	D6@30	4×SWPR7Bφ12.7	16×D10	125.6
S-14	中空	1.0	35.0	8.0	有	D6@30	4×SWPR19φ17.8	8×D10	152.5
S-15	中空	4.0	60.0	—	—	D6@30	—	32×D13	209.4
S-16	中空	4.0	60.0	4.0	有	D6@30	4×SWPR7Bφ12.7	16×D10	160.6
S-17	中空	4.0	60.0	8.0	有	D6@30	4×SWPR19φ17.8	8×D10	188.4

載荷は、供試体の自由な変形を拘束しないようにジャッキをスライド装置に設置して行い、交番載荷中に所定の軸力が変動しないよう管理した。

横方向荷重の載荷方法は、計算上のひびわれ発生荷重の正負、鉄筋降伏荷重の正負を経験した後、1/200(rad)の回転角(水平変位/載荷スパン=1.5m)の正負整数倍で制御し、同じ回転角での繰り返し回数は1回とした。また、最大経験荷重の80%を下回った時点部材の終局とした。載荷ステップと回転角の関係を図-4に示す。

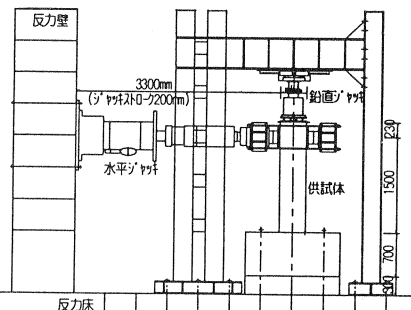


図-3 載荷装置の概略図

2. 4 測定項目

鉛直および横方向荷重は、ロードセルを用いて測定した。変位は載荷点、中間点、柱基部の水平変位および柱基部の鉛直変位(軸方向鉄筋の抜けだし量)を測定した。鋼材のひずみは、軸方向鉄筋およびPC鋼材に添付したひずみゲージを用いて測定した。ひびわれ観察は、ひびわれ発生荷重時、鉄筋降伏荷重時および各載荷ステップで目標とする回転角に達した時点で行った。また、実験終了後に軸方向鉄筋の座屈長を測定した。

3. 実験結果および考察

3. 1 履歴特性と破壊性状

本論の実験結果報告では、中実供試体の軸圧縮応力1 MPaの基準供試体であるRC供試体のS-1、プレストレスを2 MPa および4 MPa 導入したPC供試体のS-2 およびS-3 供試体について述べることにする。なお、これらの供試体の断面諸元等は、表-4に示す通りである。

3供試体とも荷重が進むに従い、曲げひびわれからせん断ひびわれに進行した後、鉄筋のはらみ出し、および座屈が起り、終局を迎えた。S-1 ~ S-3 供試体の載荷荷重と載荷点変位関係を図-5に示す。基準供試体であるRCのS-1 供試体は典型的な紡錘状の履歴特性を示した。一方、PC供試体のS-2 およびS-3 における履歴曲線は、S-1 供試体と比較して原点指向が強い傾向となり、プレストレスの導入により復元性能が向上したと言える。

図-6にひびわれ性状を示す。RC供試体のS-1と比較して、PC供試体のS-2、S-3の曲げひびわれおよびせん断ひびわれの数は少なく、柱基部付近に集中して発生した。このことから、プレストレスを導入することによって、地震時の被害を局所的な損傷にとどめることが可能であると言える。

3. 2 エネルギー吸収能

累積吸収エネルギーを各供試体の最大荷重で除して正規化したものを図-7に示す。終局までの累積吸収エネルギーはS-1がもっとも大きい結果となった。S-2 供試体のエネルギー吸収能はS-1 供試体の約95%であり、S-3 供試体のエネルギー吸収能はS-1 供試体の約74%である。プレストレスレベルが大きくなるほど累積吸収エネルギー量は小さくなる傾向がある。

3. 3 残留変位

道路橋示方書・同解説V耐震設計編では、重要度の高いB種の橋は残留変位を橋脚高の1/100に抑えなければならない、という規定がある。これは地震後の供用性が重要とされているためである。

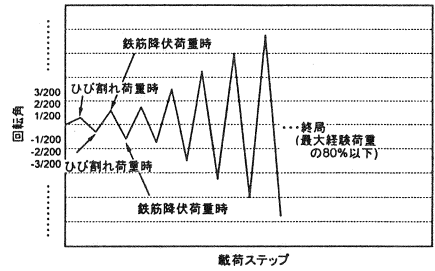


図-4 載荷ステップと回転角

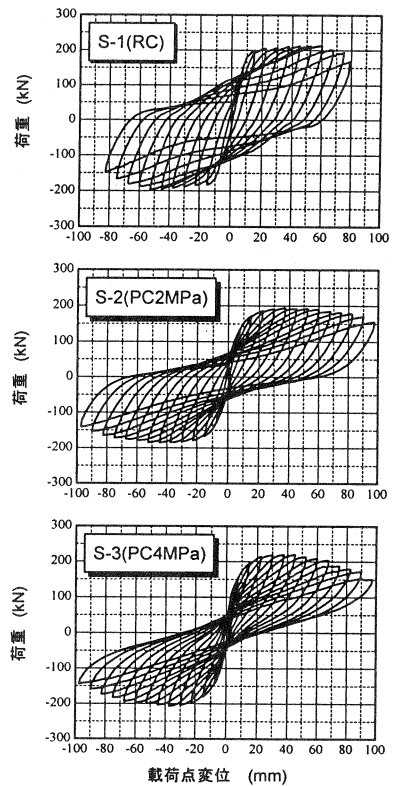


図-5 載荷点変位と載荷荷重

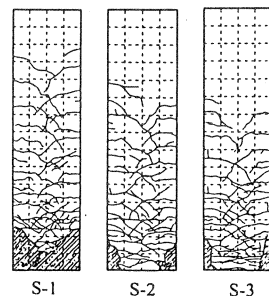


図-6 ひびわれ性状図

図-8に荷重点変位と残留変位の関係を示す。残留変位に関してはS-1供試体が最も大きい結果となった。これは鉄筋が塑性化することによって大きく変形するためである。各供試体の終局時における残留変位を比較すると、S-1供試体の残留変位に対して、S-2供試体はその約91%であり、S-3供試体は約35%である。図-9に残留変位と累積吸収エネルギーの関係を示す。現行の道路橋示方書に従った許容残留変位(15mm)に至るまでの累積吸収エネルギーをみると、S-1供試体とS-2供試体には差はみられないが、4MPaのプレストレスを導入したS-3供試体はS-1、S-2供試体と比較して約3倍のエネルギー吸収能がある。従って、適度なプレストレスを導入することによって、残留変位を抑えつつ、エネルギー吸収能を高めることが可能であることが確認された。

3. 4 変形性能

終局変位を比較すると、プレストレス導入度が大きくなるほど、終局変位は大きくなる傾向がある。変位を無次元化するために終局変位を降伏変位で除した靱性率で比較したものを図-10に示す。プレストレス導入度を上げるに従って靱性率が大きくなっていることから、RCよりもPCの方が変形性能がある。PC鋼材を配置していないS-1供試体は軸方向鉄筋が降伏し、座屈してしまうと、外力に抵抗するPC鋼材がないために、比較的早い段階で耐力が低下する。これに対してS-2およびS-3供試体は、PC鋼材に初期引張ひずみを与えたことにより、軸方向鉄筋が座屈した後も外力に対してPC鋼材が抵抗する。そのためRC供試体と比較してゆっくりと耐力が低下する。これらの要因によって変形性能の差が生じたと考えられる。

4. まとめ

- 1) 橋脚にプレストレスを導入することで、荷重-変位曲線は紡錘形から原点指向形に変化し、橋脚の復元性能が向上した。また、ひびわれの発生も橋脚基部付近に集中することが確認された。
- 2) プレストレスを導入することによって、終局に至るまでのエネルギー吸収能は低下するが、適度なプレストレスは、同一残留変位となるまでのエネルギー吸収量を大きくすることがわかった。

5. 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)」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) 伊藤忠彦・山口隆裕・池田尚治: 軸方向プレストレスを有するコンクリート橋脚の耐震性能, コンクリート工学年次論文報告集, VOL.19-2, 1997.6

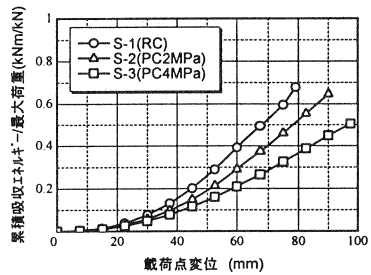


図-7 累積吸収エネルギーと荷重点変位

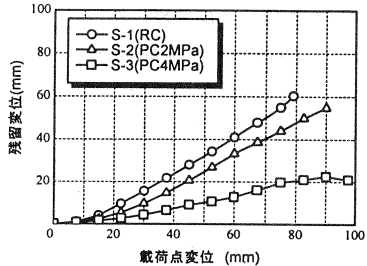


図-8 荷重点変位と残留変位

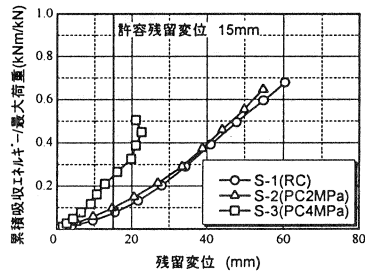


図-9 残留変位と累積吸収エネルギー

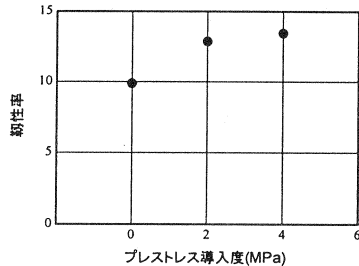


図-10 プレストレス導入度と靱性率