

(79) PC橋脚の耐震性能とプレストレス量に関する実験的研究

(株)ピー・エス 正会員 ○中村 修
 九州大学 工学部 松下 博通
 九州大学 工学部 坂口 伸也
 九州大学 工学部 榎本 真

1. はじめに

兵庫県南部沖地震以来、構造物の耐震性能の見直しが多く行われてきている。この中で、橋梁下部工の柱部材は、塑性変形能力を持たせることで巨大地震にも耐え得るように設計することとなった。¹⁾ これまでの道路橋示方書による耐震設計法では、橋梁下部工の柱部材は鉄筋コンクリート(以下RC)部材でも十分に安全性が確保されているとされてきたため、上部工においてはごく一般的に用いられているプレストレストコンクリート(以下PC)部材が用いられることはほとんど無かったが、地震時には大きな水平力を受ける部材であるという事を考えると、PCの高い耐荷性能・変形性能を利用するべきであると考えられる。²⁾

しかしながらPC部材を橋梁下部工の柱部材として用いる場合の、最適なプレストレス量の決定方法はまだ明らかにされていない。本研究では比較的せん断スパン比の大きい曲げ破壊先行型の一本柱形式の供試体を用いて静的な交番水平力載荷試験を行い、プレストレス量が耐震性能に対しどのような影響を与えるかを明らかにし、最適なプレストレス量を決定するための基礎的な特性を把握することが目的である。

2. 実験概要

本研究では導入プレストレス量・載荷軸力をパラメーターとし、図1に示すような25cm×25cmの断面を有する7体の供試体を用いて実験を行った。軸方向鉄筋としてSD295 D13×4本を配置し(軸鉄筋比0.81%)、帯鉄筋としてSD295 D10 ctc100mm(体積比1.90%)を配置した。PC鋼材はSBPR930/1080φ13を4本配置している。これらの同一形状・同一断面・同一鋼材配置の供試体に0~5.88N/mm²の軸圧縮応力度をPC鋼棒でプレストレスとして与えたもの(PC0~PC60)5種類と上載荷重として与えたもの2種類(PC15外、PC45外)を用意した。表-1に各供試体のプレストレス量・上載荷重の組み合わせおよび曲げに対する力学的な諸数値を示す。いずれもコンクリート標準示方書の規定に従った基本的な数値である。プレストレスはポストテンション方式で柱上部より片引きで導入し、グラウトを注入してコンクリートと一

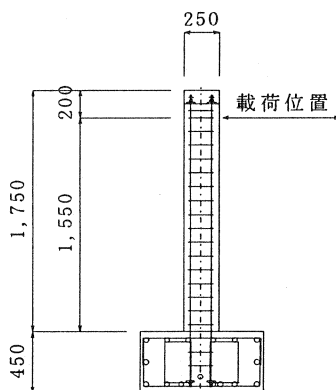
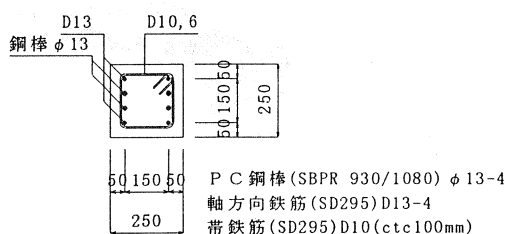


図-1 試験供試体概要

体化を図った。コンクリートの設計基準強度は呼び強度 40N/mm^2 とした。

载荷には2軸载荷試験装置を用い、上乗荷重があるものについては一定軸力载荷状態で、その他のものについては無载荷で、柱基部より 1.55m の位置に水平力を繰り返し回数1回で静的

表-1 試験供試体の力学的特性値

供試体種別	軸圧縮応力度 (N/mm^2)	PC鋼材張応力 (N/mm^2)	上乗荷重 (kN)	モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}$)		
				鉄筋降伏	PC鋼材降伏	設計断面耐力
PC0	0.00	0.0	0.0	26.0	54.9	57.2
PC15	1.47	173.2	0.0	34.2	55.8	58.3
PC30	2.94	346.3	0.0	41.9	56.1	58.8
PC45	4.41	519.5	0.0	50.3	56.8	61.5
PC60	5.88	692.7	0.0	54.8	51.3	61.6
PC15外	1.47	0.0	91.9	34.5	63.7	66.1
PC45外	4.41	0.0	275.8	50.7	79.9	81.5

に交替载荷を行った。水平力の制御は柱基部の鉄筋が降伏するまでは荷重制御とし、鉄筋降伏後は降伏時の水平変位 δ_y の整数倍を単位とする変位制御によって行った。

3. 実験結果および考察

各供試体の荷重-変位履歴曲線を図-2 から図-8 に示す。図中の σ_{pc} はコンクリートの軸圧縮応力度、 σ_{pe} はPC鋼材の初期引張応力度、 M_{sy} 、 M_{py} 、 M_u はそれぞれ柱基部断面の引張鉄筋降伏時の曲げモーメント、PC鋼材降伏時の曲げモーメント、設計断面耐力のモーメントを表しており、それぞれの荷重-変位履歴曲線の中にその位置を矢印で示している。

3.1 破壊状況

いずれの供試体も曲げひび割れが発生した後引張鋼材が降伏し、曲げひび割れの進展とともにかぶりコンクリートが剥落、その後コアコンクリートが圧壊して耐力を失う曲げ破壊先行型の破壊形式であった。引張鋼材の降伏は、ほとんどの供試体は鉄筋→PC鋼材の順であるが、PC60のみはPC鋼材→鉄筋の順である。これは実験開始時のPC鋼材有効引張応力度がPC60の場合にはPC鋼材の降伏点の約76%であり、PC鋼材の降伏点までの残りのひずみ量が鉄筋の降伏ひずみよりも少ないためである。PC0~PC45までの結果と比較すると、鋼材降伏後の挙動にさほど大きな違いは見られない。PC鋼材が破断して急激に耐力を消失する事も無いため、PC鋼材の降伏後の伸び能力が期待でき、PC部材の引張鋼材の降伏の順序は耐震設計上は大きな問題とはならないと思われる。

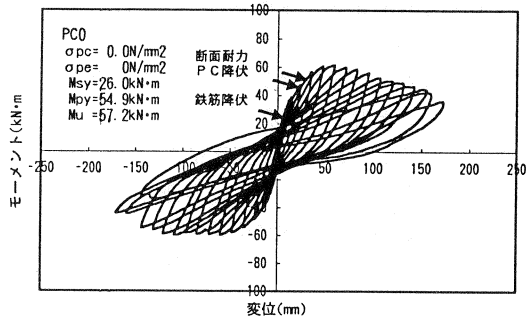


図-2 PC0 荷重-変位履歴曲線

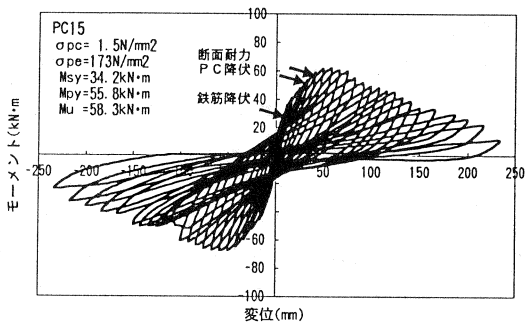


図-3 PC15 荷重-変位履歴曲線

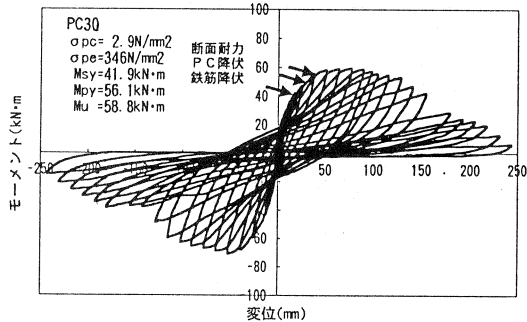


図-4 PC30 荷重-変位履歴曲線

3.2 プレストレス量の違いによる差異

PC0~PC60までの比較によると、プレストレス量の違いは最大耐荷力に達するまでの上り勾配、履歴曲線が囲む面積に表れているが、最大耐荷力に達した後の下り勾配には大きな差は見られない。各ケースの最大耐荷力およびPC鋼棒降伏時のモーメントには大きな差が見られないが、引張鋼材降伏時のモーメントに大きな違いがあるため、上り勾配の直線区間に差が現れている。既往の研究³⁾によれば、RC橋脚の同様の载荷試験の場合は鋼材降伏後に直ちに最大耐荷力となりしばらくその値を保持するが、PC橋脚の場合は鋼材降伏後もなだらかに耐荷力が上昇している。プレストレス量が少ないものほどその量は大きである。これには圧縮側コンクリートの応力度も関係するが、前項と同様にPC鋼材の降伏後の伸び能力が期待できることを表している。また、プレストレス量は引張鋼材の降伏と密接な関係があることが明かであり、その関係は一般的な降伏モーメントおよび設計断面耐力にて算定できる。

3.4 エネルギー吸収能

最大耐荷力発現後の荷重-履歴曲線の1回の履歴が囲む面積はPC30以下はほぼ同程度であり、PC45、PC60に比べて、より弾性的な挙動を示している。これは図-9の累積消費エネルギーにも表れており、PC30とPC45の間(コンクリート軸圧縮応力度 $3\sim 4\text{N/mm}^2$)でエネルギー吸収能が大きく変化している。

3.5 内力と外力の差異

軸圧縮応力度をプレストレスで与えた場合と外力で与えた場合の違いを確認するために、PC15と同じ軸圧縮応力度を外力で与えたものをPC15外、PC45と同様のものをPC45外とした結果を図-7、8に示す。PC鋼材は単なる高強度の引張鋼材にすぎないという設定である。試験装置の問題でPC15、PC45と同程度の変位を与えることが不可能であった。PC鋼材の高強度の効果が最大耐荷力までに良く表れている。最大耐荷力発現後は、軸圧縮応力度の与え方による差が表れた。

すなわち、軸圧縮応力度を外力で与えたものの方が、残留変位が大きく、RC橋脚に近い挙動を示すと

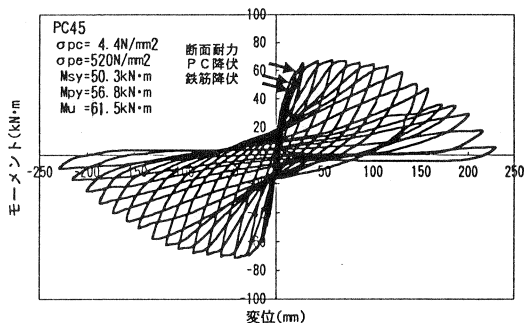


図-5 PC45 荷重-変位履歴曲線

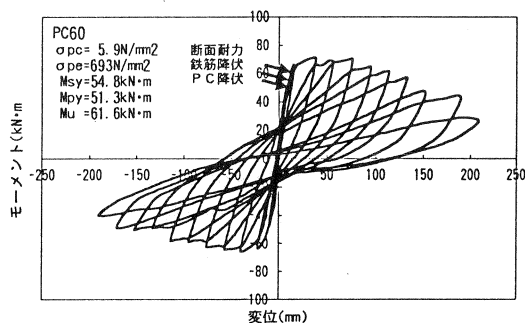


図-6 PC60 荷重-変位履歴曲線

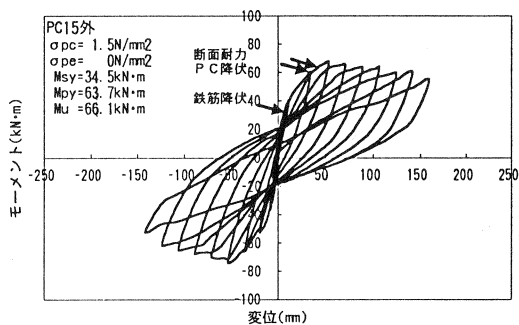


図-7 PC15 外 荷重-変位履歴曲

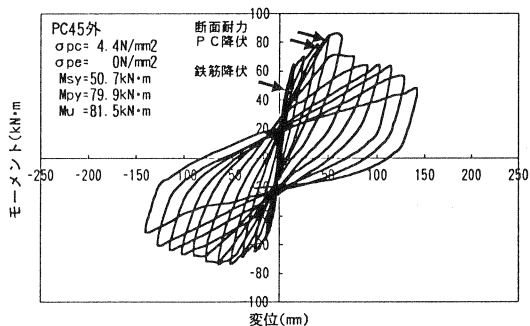


図-8 PC45 外 荷重-変位履歴曲

いう点である。特にPC45外の場合はその傾向が著しい。すなわちプレストレスを導入することにより残留変位の少ない構造物とすることができるが、履歴が囲む面積が少なくなるため吸収できるエネルギーは少なくなることがわかる。

4. おわりに

プレストレス量および軸圧縮応力度の与え方を変化させたPC橋脚の静的水平交番載荷試験を行い、以下のような結果が得られた。

- (1) PC部材の引張鋼材(鉄筋とPC鋼材)の降伏の順序は耐震設計上は大きな問題とはならないと思われる。
- (2) PC鋼材の降伏後の伸び能力を期待しても良い。
- (3) プレストレス量の差は、最大耐力発現までの挙動に大きく影響を与える。
- (4) プレストレス量の差は、エネルギー吸収能に影響を与える。エネルギー吸収能は、軸圧縮応力 $3 \sim 4\text{N/mm}^2$ を境に大きく変化する。
- (5) 軸圧縮応力度をプレストレスで与えた場合と外力で与えた場合は、荷重-変位の履歴は異なる。プレストレスで与えたものの方が残留変位の少ない、吸収エネルギーの少ない履歴となる。

RC橋脚に比べて耐荷性能・変形性能が大きく残留変位が少ないPC橋脚は、吸収エネルギーが少ないことが耐震設計上の短所となる。よって全ての下部工の柱部材としてその長所が発揮されるとは言いが、構造特性によっては有利になる場合があると考えられる。今後はPC橋脚の長所が発揮できる構造特性を特定する事が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 日本道路協会 平成8年
- 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 No6、pp.10-13、1996.11
- 3) 例えば 太田稔：繰り返し荷重下における鉄筋コンクリート橋脚の挙動に関する実験的研究
土木学会論文集 No292 pp65-74 1979.2

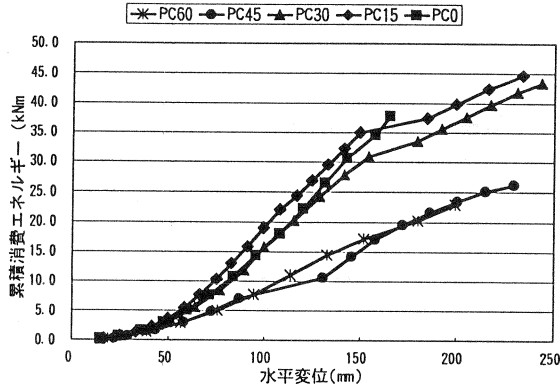


図-7 累積消費エネルギー