

交番載荷実験によるPC箱桁の履歴特性

大塚久哲¹・矢葺 亘²・堤 忠彦³・角本 周⁴・岡田稔規⁵・浦川洋介⁶

- ¹フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究科建設システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
- ²正会員 修(工) 九州大学大学院助手 工学研究科建設システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
- ³正会員 (株)富士ピー・エス 福岡支店技術部設計課 (〒812-0001 福岡市中央区天神2-14-2)
- ⁴正会員 オリエンタル建設(株) 技術部 (〒102-0093 東京都千代田区平河町2-1-2)
- ⁵正会員 八千代エンジニアリング(株) 関東事業部 橋梁・構造部 (〒330-8538 埼玉県大宮市土手町1-15-2)
- ⁶学生員 九州大学大学院工学研究科建設システム工学専攻 修士課程 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

PCラーメン橋等の不静定構造物において、動的解析を行う場合に、上部工の非線形性を考慮した新たな履歴モデルの提案が必要であると考え、本研究では、プレストレスの導入度、鋼材の偏心、外ケーブルの効果などに着目し、実橋梁PC上部構造の縮尺模型を製作し、その交番載荷実験を行った。その結果、PC部材はRC部材に比べ、エネルギー吸収能は低い、復元力が高く、プレストレス量が増すと、耐力は増加し、原点指向性が強くなることなどが確認できた。

Key Words : PC box girder, cyclic loading test, hysteresis loop

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以後、想定する地震力の増加や動的解析の必要性が検討され、既存橋梁の耐震安全性の見直しが行われている。

大きな地震力がPCラーメン橋に作用した場合、従来は弾性部材として扱われていた上部工が非線形領域に入る可能性がある。また、非線形履歴モデルの選定は、動的解析における部材の最大応答評価に与える影響が大きいため、上部構造の履歴モデルを的確に評価することは橋全体の耐震安全性の把握にとって重要である。¹⁾

本研究では、PC上部構造の履歴特性に関する既往研究が少ないことから、PC箱桁の履歴特性に関する知見を得るために、一般的な実橋梁PC上部構造を想定した縮尺模型を製作し、その交番載荷実験を行った。

2. 実験概要

(1) 供試体概要

供試体は1室箱桁断面形状とし、一般的な実橋梁の1/8.5の外形寸法で設計した。使用材料として、 σ_{ck}

= 400kgf/cm²のコンクリートとSD295(D6、D13)の鉄筋を用いた。PC鋼材は現在PC箱桁橋で一般に使用されているPC鋼より線SWPR7A1S15.2を用いた。検討ケースは、プレストレス導入度、鋼材の偏心、PC鋼材の付着の有無(外ケーブル)、および支間中央鉄筋の重ね継手に着目し、比較のためのRC供試体を含め8ケースとした。表1に検討ケースを、図1に各供試体の断面図を示す。

(2) 載荷方法

載荷方法は、単純曲げ載荷(2点載荷)の正負交番漸増載荷とし、軸方向鉄筋初降伏時の変位 δ_{y0} までは荷重制御、その後は δ_{y0} の整数倍を片振幅とした両振り交番載荷を、最大荷重以下に低下するまで行った。

表1 検討ケース

供試体名	プレストレス (MPa)	PC鋼材の本数と位置	PC鋼材の配置	備考
L01	-	-	-	RC部材
L02	3.6	6本(全内ケーブル)	軸力配置	-
L03	3.6	〃	下縁配置	-
L04	3.6	〃	上縁配置	-
L05	6.0	10本(全内ケーブル)	軸力配置	-
L06	3.6	6本(4本外ケーブル)	下縁配置	-
L07	3.6	〃	上縁配置	-
L08	3.6	6本(全内ケーブル)	軸力配置	重ね継手

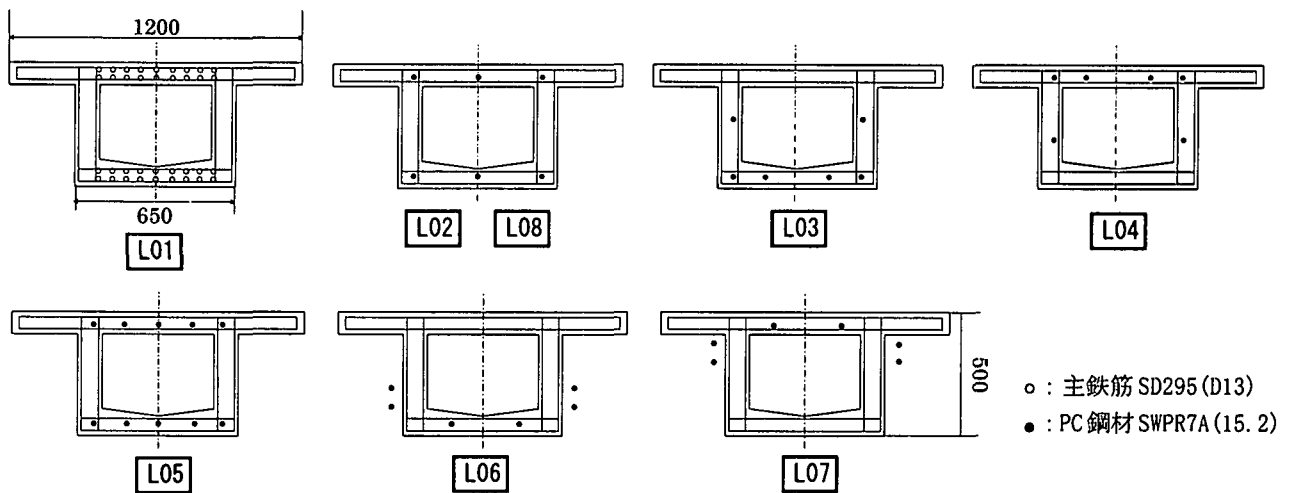


図 1 供試体断面図 (単位 mm)

測定項目は、①変位、②荷重、③曲率、④コンクリートのひずみ、⑤鋼材のひずみであり、主に桁中央部で測定した。

本実験に用いた載荷装置を図2に示す。

3. 実験結果

(1) 曲げモーメントー曲率 ($M-\phi$) 関係

実験で得られた各供試体の $M-\phi$ 履歴曲線を図3に示す。図中には道路橋示方書 V 編²⁾に規定されている応力ーひずみ曲線を用いて算出した $M-\phi$ 骨格曲線を重ねて示している。コンクリート圧縮強度は、材料試験結果を用いた。

RC 供試体 (L01) は、軸方向鉄筋降伏後の剛性低下が著しく、残留変位が大きい、典型的な紡錘型の履歴を示した。本供試体は載荷スパン外で破壊した。L02 は、L01 に比べ最大耐力までの耐力上昇が緩やかで、曲率は伸び、除荷時の剛性が低下することにより、残留変位は小さく、原点付近を指向する結果を得た。これは、PC 鋼材が鉄筋に比べ降伏強度が高く、降伏ひず

みも大きいため、PC 鋼材が降伏前の領域に留まるためであると考えられる。

PC 鋼材を下縁配置、上縁配置した L03、L04 においては、それぞれ鋼材を偏心させた側へ耐力が増加する。

L05 は、L02 (プレストレス 3.6MPa) に対しプレストレス量を 6.0MPa に増加させた供試体であるが、プレストレス導入度の増加により、耐力が 30～40% 程度増加し、原点指向性がより強くなる。

また、L06、L07 は L03、L04 の PC 鋼材 6 本のうち、それぞれ 4 本を PC 鋼材とコンクリートとの付着のない外ケーブルとしたものである。外ケーブル供試体では、内ケーブルに比べて耐力が若干減少したが、曲率は伸びた。ひずみに関しては、内ケーブルが PC 降伏ひずみに達した段階においても外ケーブルは PC 弾性限界にも達しておらず、終局時でも外ケーブルは降伏しなかった。L06、L07 で示した骨格曲線は、外ケーブルの断面積の 20% を内ケーブルに付加した場合の計算結果である。

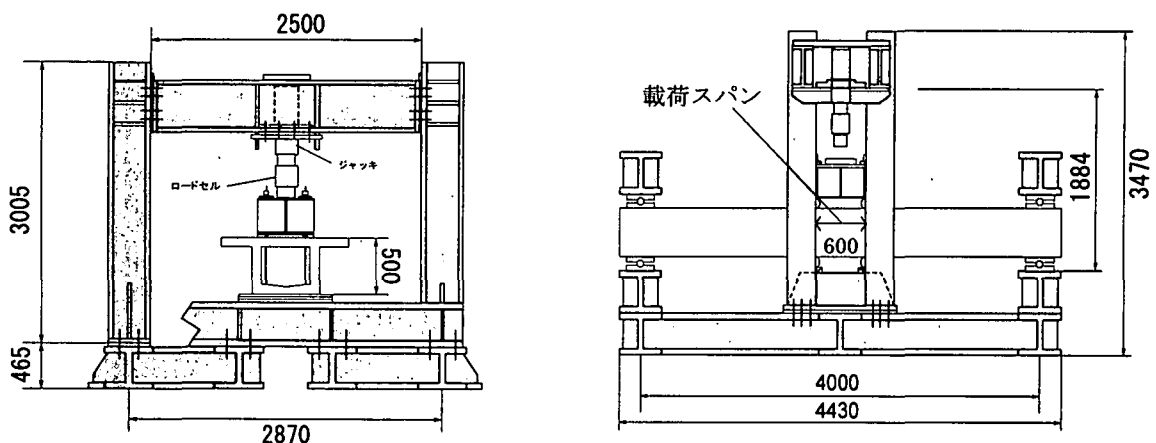


図 2 載荷装置図 (単位 mm)

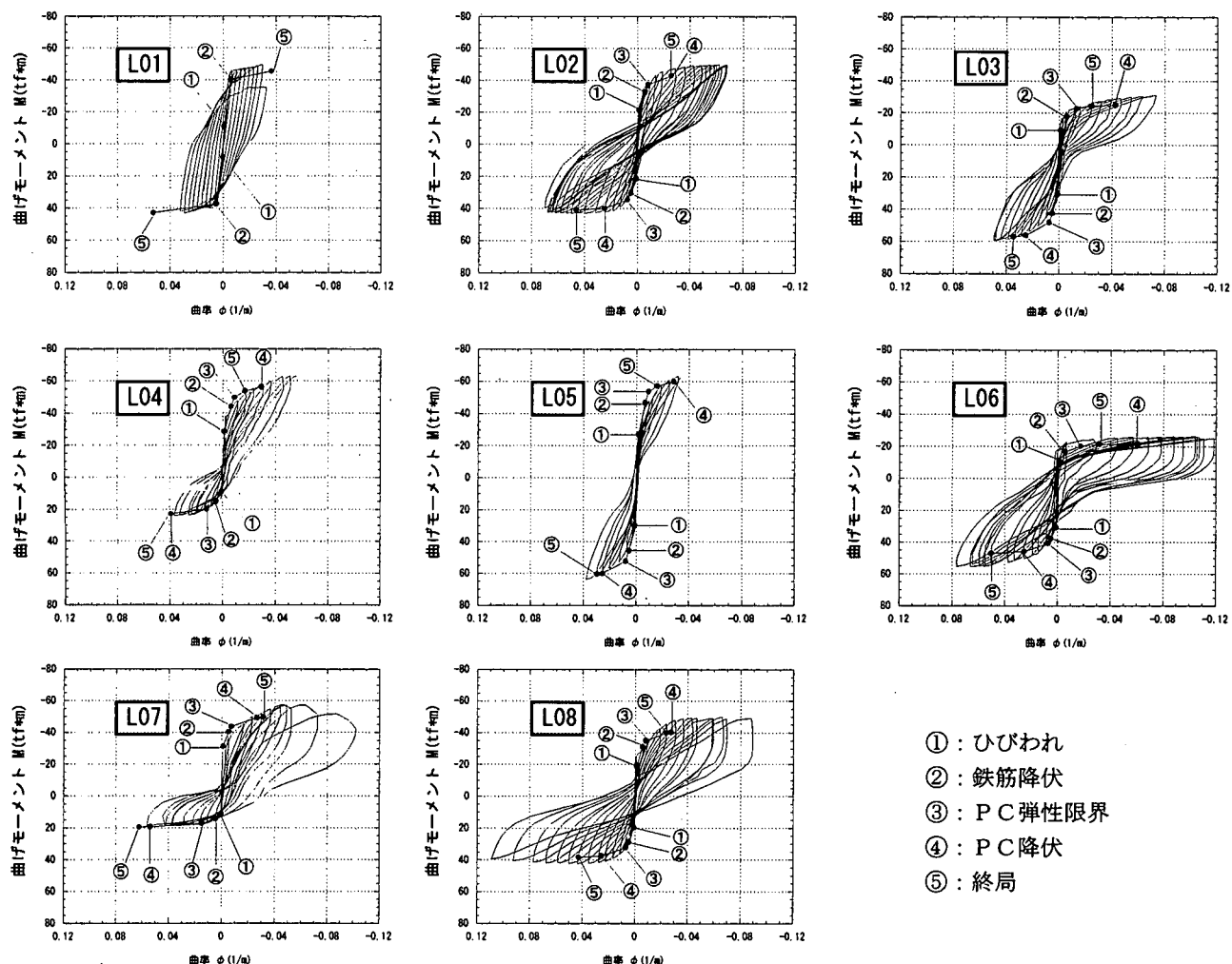


図3 曲げモーメントー曲率関係

L08は、L02と同じ断面で支間中央鉄筋を重ね継手としたものであるが、耐力はL02とほぼ同程度で、中央鉄筋を重ね継手にすることによる耐力の減少は見られなかった。

図3より、骨格曲線は鋼材を偏心配置した供試体においても概ね再現可能であることが確認できた。

(2) イベント

各供試体の実験終了時の破壊状況を表2に示す。供試体によっては、支間中央で破壊せずに、載荷点外側で破壊したり、コンクリートの剥離によって変位制御に支障が生じたりしたため、じん性に関する評価はここでは行わない。

算出したM-φ骨格曲線上の各イベント点(ひびわれ、鉄筋降伏、P C弾性限界、P C降伏、終局)と実験で計測したひずみから得られた各イベント点を、L02供試体において比較した結果を図4に示す。この場合、上側のイベント(引いた時)では、P C降伏と終局時の耐力がほぼ同じであるが、ほとんどのケースでP C降伏時の耐力が終局時のそれより大きい結果となった。

また、終局の定義を圧縮側コンクリートの圧壊、または、引張側最外縁の鉄筋が終局ひずみに達する時とすると、ほとんどのP C供試体では、終局を過小評価する結果となり、実験ではそれ以降も曲率は伸びる傾向にある。これは、コンクリートが圧壊してもP C鋼材が降伏せずに、耐力を受け持っているためであると考えられる。

(3) エネルギー吸収能力

各供試体における累積エネルギーの比較を図5に示す。横軸は軸方向鉄筋初降伏変位 δ_{y0} の整数倍とした載荷サイクルで示した。

図5(a)より、R C供試体であるL01は、他のP C

表2 実験終了時における供試体破壊状況

供試体	実験終了時の破壊状況
L01	載荷位置外側で破壊
L02	載荷位置付近で破壊
L03	〃
L04	〃
L05	コンクリート剥離により曲率測定不能
L06	支間中央で破壊
L07	〃
L08	〃

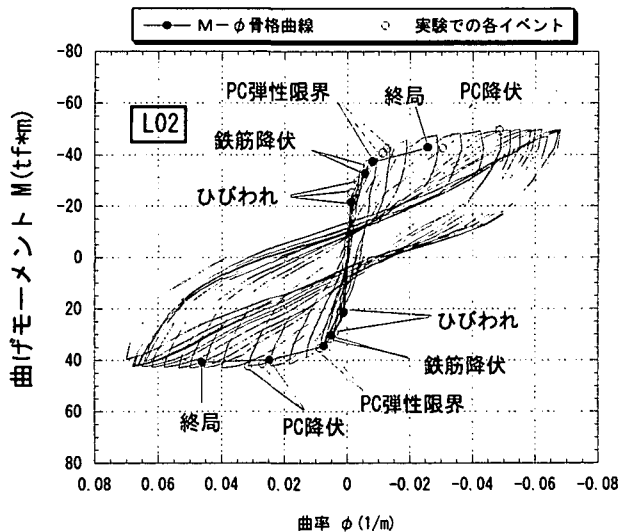


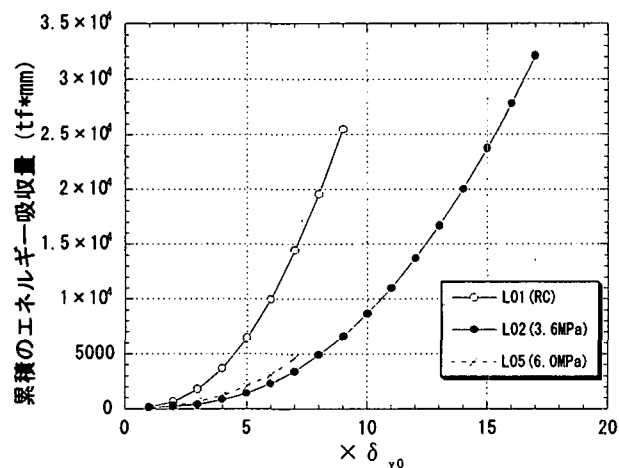
図4 実験での各イベント

供試体に比べ、エネルギー吸収能力が優れていることが分かる。これは、RC供試体では、作用する外力を部材自体が破壊することでエネルギーを吸収するからであり、PC供試体では、エネルギー吸収能力は低いが、残留変位が小さいため載荷後の機能保持に優れていると言える。

PC供試体同士で比較した場合図5(b)では、エネルギー吸収能力に対する、プレストレス量、鋼材偏心、鋼材の付着などの検討項目による差異はほとんど見られなかった。

4. 履歴特性

RC部材の履歴復元力モデルとして実際の設計においても多用される武田モデルや、PC部材の復元力特性として提案されている岡本モデルでは、除荷時の剛性が曲げモーメントが0の付近まで一定であるのに対し、実験データでは除荷に従い早い段階で剛性が低下する。



(a) プレストレス量による比較

また、プレストレス量を増加させると原点指向性がさらに強まるため、その差は顕著になる。³⁾したがって、既存の履歴モデルでは、本実験で得られたPC桁の挙動を適切に再現することは難しいと考えられる。

5. 結論

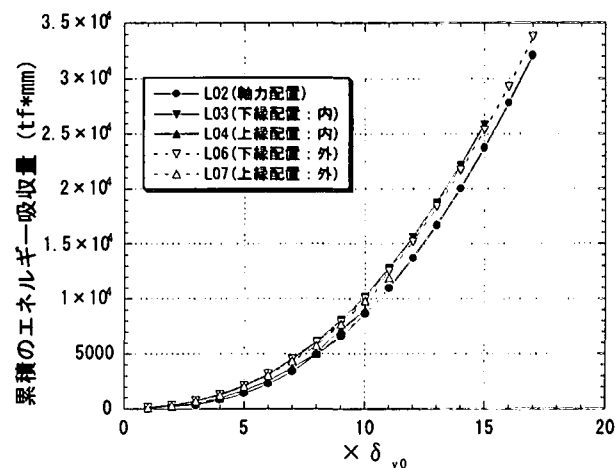
本実験により、PC上部構造の履歴特性に関して次のような知見を得た。

- ・PC供試体は、RC供試体に比べ、エネルギー吸収能力は劣るが、残留変位が小さい。
- ・プレストレス量の増加により、耐力は増加し、原点指向性が強まる。
- ・PC鋼材に付着がない場合、外ケーブルの増加ひずみは、内ケーブルに比べ小さい。
- ・道示のM-φ骨格曲線は、概ね実験を再現できたが、終局を過小評価する結果となった。
- ・鋼材の偏心、付着、プレストレス量の違いによるエネルギー吸収量の差はわずかである。
- ・既存の履歴モデルでは、PC上部構造の履歴特性を適切に再現するのは不十分であると思われる。

今後は、さらに検討ケースを増やして実験を行うことで、PC上部工の履歴特性を提案していく予定である。

参考文献

- 1) 大塚・根井・矢葺・堤・岡田：上部構造の非線形性を考慮したPCラーメン橋の耐震性照査，構造工学論文集，Vol145A，pp. 967-974，1999. 3
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編，1996年12月
- 3) 大塚・矢葺他：交番載荷実験によるPC箱桁の履歴復元力特性，年次学術講演会論文集，1999.



(b) 鋼材の偏心、付着の有無による比較

図5 累積吸収エネルギー