

PC 箱桁実験に基づく復元力モデルを用いた PC ラーメン橋の動的解析に関する研究

矢葺 亘¹・大塚久哲²・浦川洋介³・石原眞一⁴・角本 周⁵・荒木秀朗⁶

¹九州大学大学院建設デザイン部門助手 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

E-mail:yabuki@doc.kyushu-u.ac.jp

²九州大学大学院建設デザイン部門教授 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

E-mail:otsuka@doc.kyushu-u.ac.jp

³オリエンタル建設(株)本社第二技術部橋梁チーム (〒102-0093 東京都千代田区平河町 2-1-1)

E-mail:yousuke.urakawa@oriken.co.jp

⁴(株)構造計画研究所耐震技術部 (〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3)

E-mail:s_ishihara@kke.co.jp

⁵オリエンタル建設(株)福岡支店技術部設計チーム (〒810-0001 福岡市中央区天神 4-2-31)

E-mail:meguru.tsunomoto@oriken.co.jp

⁶(株)構造計画研究所耐震技術部 (〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3)

E-mail:h_araki@kke.co.jp

平成 14 年道路橋示方書より, 上部構造に副次的な塑性化を考慮することで, 合理的な耐震設計に向けての検討を行うことが可能となった。PC 箱桁は, 鋼材が偏心配置されかつ桁断面が非対称であることから, 履歴モデルの選定には注意を要することとなる。本研究では, 先に行われた PC 鋼材が偏心配置される PC 箱桁の交番載荷実験により提案した復元力モデルを用い, PC ラーメン橋橋軸方向の動的解析を行い, 既存のモデル等との比較を行った。

Key Words : PC box girder, Rigid frame bridge, Dynamic analysis, Hysteresis loop

1. はじめに

平成 14 年道路橋示方書¹⁾より, 上部構造に副次的な塑性化を考慮することで, 合理的な耐震設計に向けての検討を行うことが可能となった。PC 上部構造の降伏時以降の挙動や塑性化の程度と残留する損傷との関係等が明らかになった²⁾ことによるもので, 従来のレベル 2 地震動に対して弾性域を超えないとする設計では, 太径鉄筋配置によるプレストレスの損失や, 施工性の悪化を招くといった点に関しても改善されることとなった。

PC 部材の塑性化を考慮した動的解析を行うには, その履歴復元力特性の選定が重要であるが, 現在よく用いられている原点指向モデル, 最大点指向モデル, 武田モデルといった履歴則は, PC 載荷実験結果²⁾に照らし合わせた場合, その形状は大きく異なっている。これは PC 上部構造部材の「各断面毎にプレストレス導入度が異なる」, 「橋軸方向断面は PC 鋼材が偏心配置されかつ桁断面が非対称である」といった複雑な非線形性を表現できていな

いことにあり, エネルギー吸収量の違いとともに, 橋全体応答にも大きな影響を与えることになる。

本研究では, 先に行われた PC 鋼材が偏心配置される PC 箱桁の交番載荷実験により提案した復元力モデル³⁾を用い, PC ラーメン橋橋軸方向の動的解析を行い, 既存のモデル等との比較を行った。

2. 既往の研究

PC 部材の載荷実験および履歴則, 動的解析の研究には, 岡本, 加藤らによる PC 建造物の地震応答性状に関する研究^{4), 5)}, 鈴木, 池田らによるプレストレスコンクリート橋脚の復元力モデルに関する研究⁶⁾などがある。

しかしながら本研究で対象とする PC 上部構造部材については, プレストレス導入量, PC 鋼材の非対称配置等の点で大きく異なる。

そこで本研究では著者らが提案する PC 上部構造履歴モデル³⁾を用いた動的解析について報告するものである。

3. 交番载荷実験とPC 上部構造モデルの概要³⁾

本研究で用いたPC上部構造履歴曲線とモデル作成のための実験結果の概要を簡単に示す(詳細は参考文献3))。

対象供試体は、プレストレスの導入量が同等(3.6MPa)でPC鋼材の配置が異なる3供試体(L02,L03,L04)と、PC鋼材の配置がL02と同様でプレストレスの導入量が6.0MPaのL05を選定した。実験結果およびPC上部構造モデルの比較を図-1に示す。PC上部構造モデルは、実験の特徴である「偏心配置されたPC鋼材が引張側となる曲げ方向に対し耐力がシフトしている(L02,L03,L04の比較により)」、「プレストレスの導入度の増大につれ、原点指向性が強まっている(L02,L05の比較により)」といったPC上部構造部材の特徴を再現していることが確認できる。

本モデルでは、PC上部構造部材の復元力特性に影響を及ぼす要因として、プレストレス量、PC鋼材の偏心度および塑性率の3つを提案モデルのパラメータとして設定している。PC鋼材(プレストレス)の偏心度を表すパラメータとしては、正曲げ側と負曲げ側の終局耐力の比 γ を用いた。正曲げ側と負曲げ側の耐力の割合をそれぞれ、 γ_1, γ_2 ($\gamma_1 + \gamma_2 = 1.0$)とする。対称断面では $\gamma_1 = \gamma_2 = 0.5$ 、 $\gamma = 1.0$ となり、PC鋼材の偏心度が大きくなると γ は1より小さくなる(γ は γ_1 と γ_2 の小さい方を分子とする)。さらに、減衰定数 h をプレストレス量 P_p および終局耐力比 γ と塑性率 μ の関数として実験結果より決定している。

除荷曲線の関数近似については、実験結果から除荷曲線を無次元化して抽出し、式(1)で近似している。

$$Y = C \cdot \gamma_1 + (1 - C) \cdot \gamma_2 \quad (1)$$

ここに、

$$\gamma_1 = \sin(-1.5\pi \cdot \chi^p) \quad (1a)$$

$$\gamma_2 = 1 - e^{-q\chi} \quad (1b)$$

p, q は変数で、ここでは偏心量により変化するものとした。図-2に γ_1 および γ_2 の曲線形状と、関数の形状 Y の例を示す。

4. 解析対象と解析条件

本研究で対象とした、PC ラーメン橋と解析モデルを図-3に示す。形式はPC3径間連続ラーメン箱桁橋、橋長226.200m、支間:62.5m+100.0m+62.5m、地盤種別は 種地盤である。

解析の条件は以下のとおりとした。

1. 上部構造: M- ϕ モデル(全断面有効)
2. 橋脚: 塑性ヒンジ領域(M- θ トリリニアモデル)
3. 減衰: レーリー減衰
4. 解析方法: 直接積分法
5. 積分方法: ニューマーク β 法(β 値=0.25)
6. 入力波形: レベル2地震動タイプ

なお、応答の違いを確認するため地震入力波形を1.5倍して入力した。

解析ケースは以下の4通りとした。

1. 上部構造線形
 2. 上部構造非線形(武田型 $\gamma = 0.3$)
 3. 上部構造非線形(武田型 $\gamma = 0.5$)
 4. 上部構造非線形(武田型 $\gamma = 0.7$)
 5. 上部構造非線形(PC箱桁ループ)
- なお、橋脚は武田モデルで $\gamma = 0.5$ に固定した。

5. 解析結果

図-4,5に上部構造の応答分布を、図-6,7に上部構造および橋脚履歴曲線を示す。また表-1,2に各箇所の塑性率を、図-8に加速度、変位の最大値を示す。図-5に示

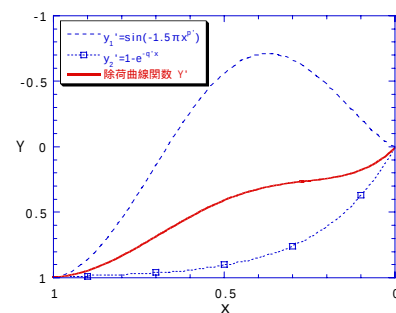
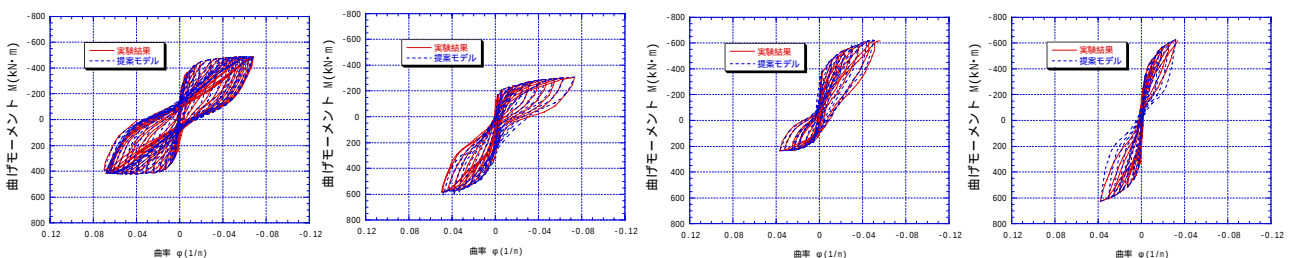


図-2 除荷曲線関数(偏心配置)



L02(軸力配置: 3.6MPa)

L03(下縁配置: 3.6MPa)

L04(上縁配置: 3.6MPa)

L05(軸力配置: 6.0MPa)

図-1 PC 上部構造モデルと実験値による曲げモーメント - 曲率関係の比較

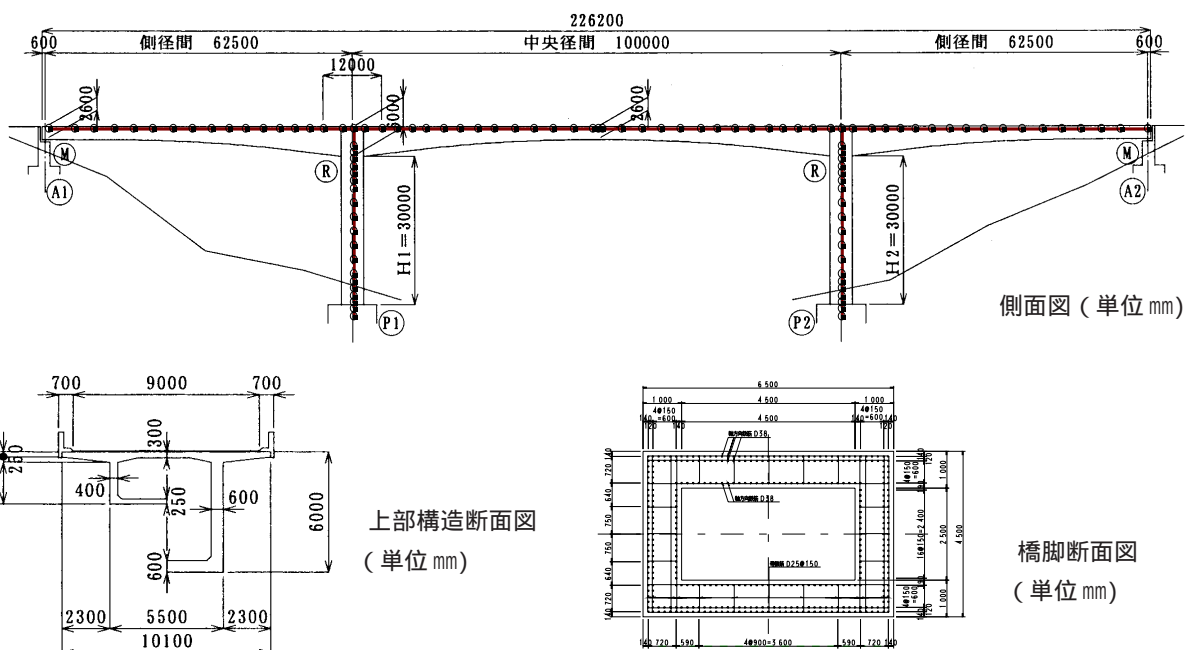


図-3 解析対象と解析モデル

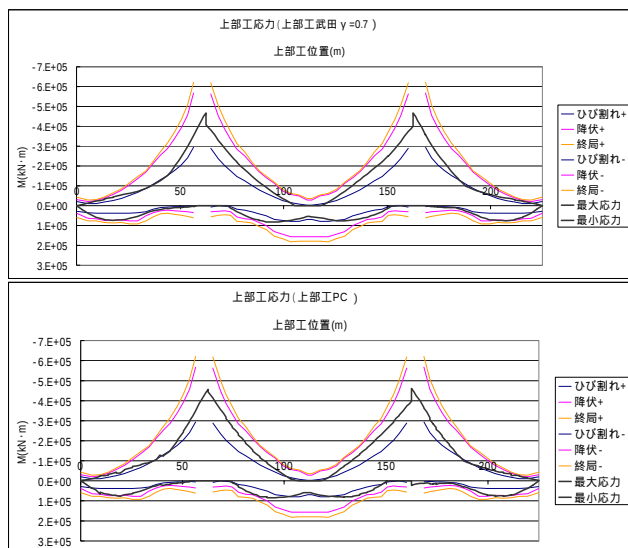


図-4 上部構造モーメント分布

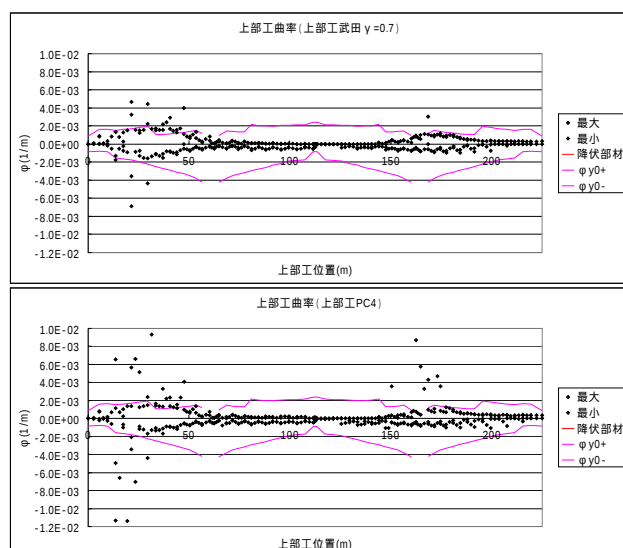


図-5 上部構造曲率分布

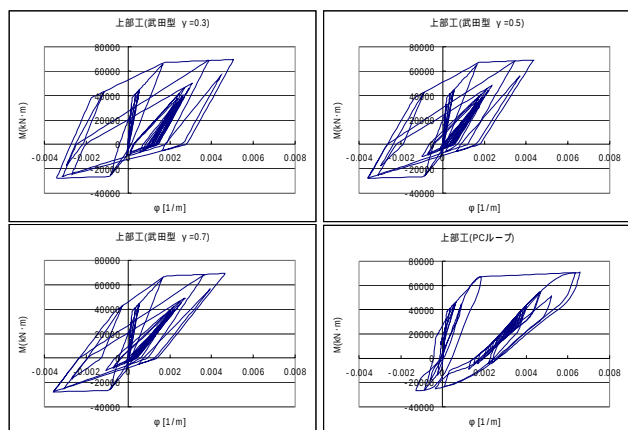


図-6 上部構造履歴比較

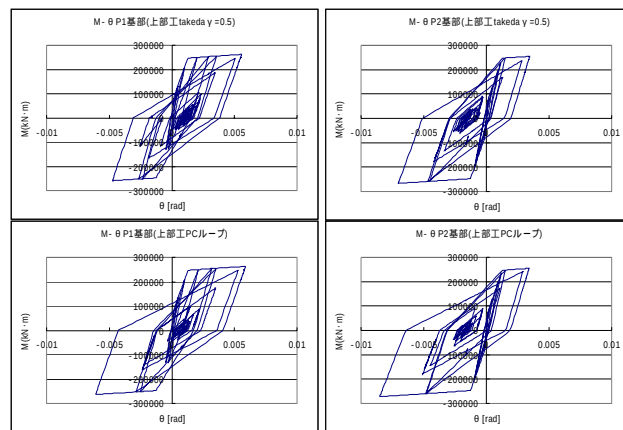


図-7 橋脚履歴比較

表-1 上部構造中央径間中央最大塑性率

● 節点応答最大値(中央径間: 節点33)					
	線形	武田型			PCループ
		$\gamma=0.3$	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.7$	
加速度[m/s ²]	6.421	5.679	5.628	5.664	5.747
変位[m]	0.339	0.295	0.300	0.303	0.314

表-2 橋脚基部塑性ヒンジ最大塑性率

● 最大塑性率(基部塑性ヒンジ位置)					
	線形	武田型			PCループ
		$\gamma=0.3$	$\gamma=0.5$	$\gamma=0.7$	
P1基部	7.346	4.361	4.361	4.396	4.770
P2基部	5.916	5.469	5.517	5.614	6.669

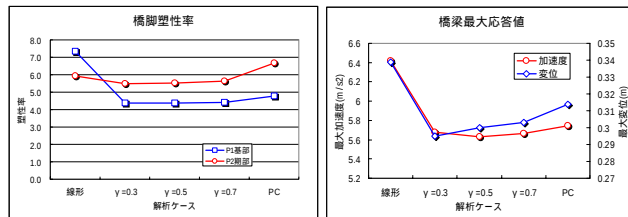


図-8 最大値の比較

すように、上部構造にPC履歴モデルを用いた場合側径間部において、武田モデルを用いた場合に比べ、曲率応答が大きくなっている。

しかしながら、正曲げ方向、負曲げ方向ともに、PCモデル、武田モデルの応答は終局に対し十分な余裕がある結果となった。これは、対象橋梁が平成8年道路橋示方書による設計であり、あらかじめ上部構造にはレベル2地震動に対して降伏以前となる鋼材量が配置されていたため、上部構造のモデル化にかかわらず応答が小さくなり、各ケースに差顕著なが生じなかったものと考えられる。

橋脚の応答は、PCモデル、武田モデルとも大きな差は見られなかった。

6. まとめ

- ・PCの特徴を詳細に表した履歴モデルを作成しPCラーメン橋の動的非線形解析を行った。上部構造線形モデル、非線形武田モデルおよびPCモデルで応答結果を比較した。
 - ・橋梁全体の応答においては、上部構造線形モデルが大きな変位応答を示した。PCモデルと武田モデルの応答結果ではPCモデルの方が応答が大きくなる傾向が見られた。
 - ・上部構造が塑性化する場合、PCモデルの方が全体的に応答曲率が大きくなった。
- 今後は、解析事例の追加を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 耐震設計編，平成14年3月
- 2) 大塚・岡田：PC箱桁の復元力特性に関する交番載荷実験，プレストレストコンクリート，vol.42，No.2，pp.90-97，2000.3.
- 3) 大塚・岡田：交番載荷実験に基づくPC箱桁の復元力特性の提案，プレストレストコンクリート，vol.42，No.5，pp.18-24，2000.9
- 4) 岡本，加藤：PC造建物の地震応答性状，プレストレストコンクリート，Vol.33，No.4，pp.52-63，1991.6.
- 5) 林，岡本，小谷，加藤，傳：PC部材の履歴特性とPC造建物の地震応答性状，プレストレストコンクリート，Vol.37，No.4，pp.57-67，1995.7.
- 6) 鈴木・森・山口・池田：プレストレストコンクリート橋脚の復元力モデル，第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.673-678，1999.10

(2003.10.14 受付)

STUDY ON THE DYNAMIC ANALYSIS OF PC RIGID FRAME BRIDGE USING THE HYSTERESIS ROOP BASED ON THE PC BOX GIRDER EXPERIMENT

Wataru YABUKI, Hisanori OTSUKA, Yosuke URAKAWA, Shinichi ISHIHARA,
Meguru TSUNOMOTO, Hidero ARAKI

This paper presents the dynamic analysis for the longitudinal direction of PC rigid frame bridge considering the nonlinearity of the PC superstructure. In the 2002 highway bridge specifications, since it was considered the slight plastication in the superstructure, the rational earthquake resistant design became possible. However, attention needs to be paid on the selection of the hysteresis model of the PC box girder, since the prestressed concrete steel has been introduced asymmetrically. Therefore, in this study, the analysis using hysteresis model proposed by the cyclic loading test of the PC box girder was carried out, the difference in the response of the new model and the previous model was clearly made.