

# 論文 プレストレストコンクリート高架橋における PC 桁の 地震応答性状

保坂 勲\*1・睦好宏史\*2・稲田文展\*3・Wael ZATAR \*4

要旨：本研究ではプレストレストコンクリート連続桁を有するラーメン高架橋において、地震が橋軸方向に作用したとき、PC桁および桁と橋脚剛結部に作用する正負繰返し荷重に着目し、PC桁および桁と橋脚剛結部の耐震性状が構造物全体の応答性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。まずPC桁の正負交番載荷実験結果から、復元力モデル化を作成した。このモデルを用いて復元力特性の異なるPC部材を有するPC高架橋の弾塑性応答解析を行い、構造物全体の応答性状に及ぼす影響を解析的に明らかにした。

キーワード：PC連続ラーメン橋、PC桁、復元力モデル、除荷剛性

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート(PC)連続ラーメン高架橋の耐震設計では、橋脚に対する耐震性の検討が一般に行われている。しかし、高架橋の橋軸方向に地震が作用した場合、橋脚のみならずPC桁にも正負繰返し荷重が作用し、大きな断面力が発生することが明らかにされている。しかし、橋軸方向に地震が作用した場合における桁および桁と橋脚剛結部の耐震性状についてはほとんど明らかにされていない。一般に、上部構造物のPC桁は主に死荷重と活荷重に対して設計されており、地震で生じる正負の外力に対しては考慮されていない。したがって、大きな地震がラーメン高架橋に生じた場合、桁に大きな損傷あるいは破壊が生じる可能性がある。

本研究では、最も単純な形式である1スパンPCラーメン橋を対象にして弾塑性地震応答解析を行い、PC部材を桁に有するラーメン高架橋の構造物全体の応答性状を明らかにすることを目的とした。まず、PCはり部材の正負交番載荷実験結果から、復元力特性のモデル化を行った。つぎにそのモデルを用いて地震応答解析を行い、PC桁の力学的性状がPCラーメン橋の応答性状、桁と橋脚の損傷程度に及ぼす影響を明らかにした。

## 2. 復元力特性のモデル化

PCラーメン高架橋におけるPC桁は主に死荷重と活荷重に対して設計されている。そのため上記荷重と逆方向の外力に対してはほとんど考慮されていないので、桁に正負の外力が作用した場合の復元力特性は複雑なものとなる。図-1に示すような断面を持つPCはり部材の正負交番載荷実験を行い[1]、その実験結果から復元力特性のモデル化を行った。その実験結果の一例を図-2に示す。

\*1 埼玉大学大学院 理工学研究科建設工学専攻(正会員)

\*2 埼玉大学教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

\*3 埼玉大学大学院 理工学研究科建設工学専攻(正会員)

\*4 埼玉大学大学院 理工学研究科生産科学専攻(正会員)

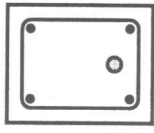
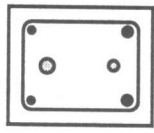
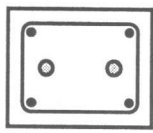
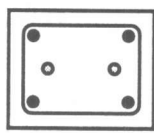
供試体名	No.1	No.2	No.3	No.4
断面 B×D (cm) 20×25				
P C鋼棒	1-17φB種	1-17φB種 1-11φB種	2-17φB種	2-11φB種
普通鉄筋	4-D6	2-D6 2-D13	4-D6	4-D13
α 値	0.50 0.91	0.91 0.52	0.91 0.91	0.52 0.52

図-1 供試体の概要

復元力特性のモデル化は武田モデル[2]を基本モデルとして行った。これは、断面内の普通鉄筋の量が比較的多いPRC部材の復元力特性を精度良く表現できるからである。武田モデルにおいては、除荷剛性Kは以下の式で表される。

$$K = \frac{M_c + M_y}{\theta_c + \theta_y} \left( \frac{\theta_y}{\theta_m} \right) \alpha$$

ここに、Kは除荷剛性、Mはモーメント、 $\theta$ は回転角を表し、添字c、y、mは、クラック発生時、部材降伏時、最大変形時を表す。既往の研究成果[3][4]において、降伏変位以降の除荷剛性は、断面内のPC鋼材と普通鉄筋の割合により、変化することが明らかにされているため、それら既往の研究成果と正負交番載荷実験結果から、以下の式により $\alpha$ を決定し、断面の除荷剛性を求めた(図-1参照)。

$$\alpha = \frac{A_p F_{py}}{A_p F_{py} + A_s F_{sy}} \quad (0.5 \leq \alpha < 1.0)$$

$$\alpha = 0.5 \quad (\alpha < 0.5)$$

ここに、 $A_p$ 、 $A_s$ はPC鋼材、引張鉄筋の断面積、 $F_{py}$

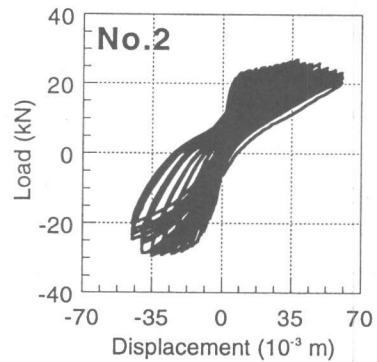


図-2 正負交番載荷実験結果

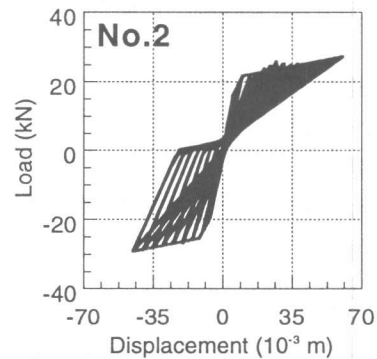


図-3 モデル化した履歴曲線

、 $F_{sy}$ はPC鋼材、引張鉄筋の降伏強度を表す。

PC部材では、RC部材と比較してピンチ効果が顕著に現れるため、最大点指向型の武田モデルでは、荷重が正負反転したときの履歴特性を精度良く表現できない。このためピンチ効果を精度良く表現するために、実験結果に基づいて武田モデルを修正した。このようにして得られた復元力モデルの履歴ループの一例を図-3に示す。

### 3. PCラーメン高架橋モデルの弾塑性地震応答解析

#### 3.1 対象としたPCラーメン橋

対象とした構造物は、現在供用されているPCラーメン高架橋を模したもので、ここでは最も単純な形式である1スパンPCラーメン橋を取り上げた(図-4)。橋脚はすべてRC構造で、断面寸法は400×250mm、軸方向鉄筋量を橋脚断面の3.04%とした。はりは、実構造物では箱桁であるため、それを矩形断面に置き換えて用いた。

本研究では、PCはり部材の力学的性状を変化させる目的で、正負交番載荷実験と同様に、断面をPC構造、普通鉄筋を配置したPRC構造、それらを複合させたはり部材(図-1参照)を桁に有する場合の応答解析を行った。

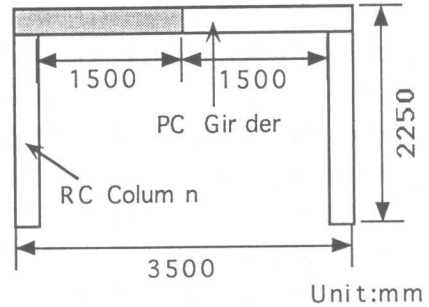


図-4 対象とした構造物

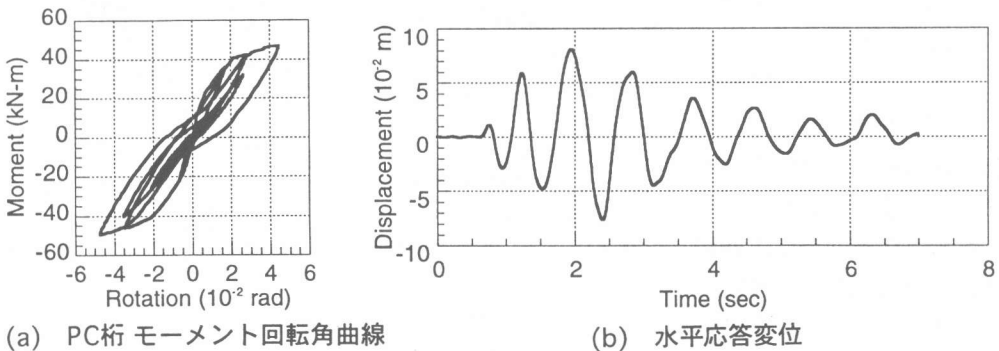


図-5 サブストラクチャー仮動的実験結果

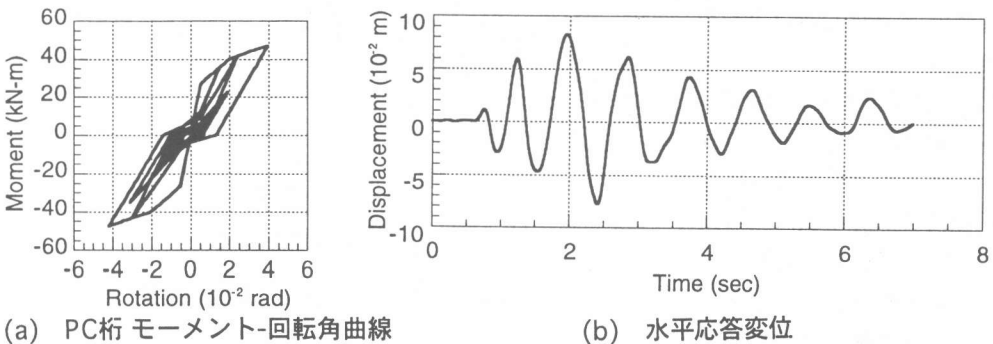


図-6 No.4 地震応答解析結果

### 3.2 応答計算方法

桁および橋脚を部材レベルから応答解析を行うために、各部材ごとに力学モデルを設定する方法を採用した。構造物の減衰はRCが支配的であると考えて一律2%とし、部材降伏後は履歴減衰が支配的であると考えて0%とした。質量マトリクスは整合質量マトリクスとし、数値積分法には、積分条件が非常に緩やかなオベレータースプリティング法[5]を用いた。PCはり部材以外の部材の復元力モデルには武田モデルを使用した。入力地震波には、Kobe 1 995 NS成分の6秒から20秒までの14秒間を、時間軸を0.5倍、最大加速度振幅を818galとした模擬地震波を作成し、これを用いた。

ここで、正負交番載荷実験と同時に行われたサブストラクチャー仮動的実験結果[1][6]と弾塑性応答解析結果との比較を行い、復元力モデルの妥当性を検討した。

図-5(a)にサブストラクチャー仮動的実験より得られたモーメント-回転角曲線を、図-5(b)に橋脚天端の水平応答変位の時刻歴を示す。使用されたPC桁の断面諸元は図-1、No.4によるものである。同様に、図-6(a)、(b)に上記2.で述べた復元力モデルを用いて行った弾塑性応答解析から得られた桁のモーメント-回転角曲線と水平応答変位の時刻歴を示す。実験結果と数値解析結果を比較すると、PC部材のみに着目するならば、数値解析結果では最大変形量がやや小さいものの、履歴特性は良く一致している。また、構造物全体の応答水平変位についても、非常に良い一致を示している。以上のように本解析手法および復元力モデルの妥当性が示されたと言える。

### 3.3 弾塑性地震応答解析

図-1に示すPCはり部材を桁に有する1スパンPCラーメン橋の応答解析結果を示す。

図-7(a)、(b)、(c)に供試体No.1をはり部材とした場合の弾塑性応答解析から得られた桁および橋脚下端のモーメント-回転角曲線、水平応答変位の時刻歴を示す。同様に、

図-8(a)、(b)、(c)に供試体No.2、図-9(a)、(b)、(c)に供試体No.3をはり部材とした場合を示す。

図-1に示すNo.1、No.2、No.3のPC桁を有するラーメン橋において、桁および橋脚下端の部材ごとの最大応答変位にあまり差は見られない。また構造物全体の水平変位を見ても、その最大応答変位はほぼ同じである。このことか

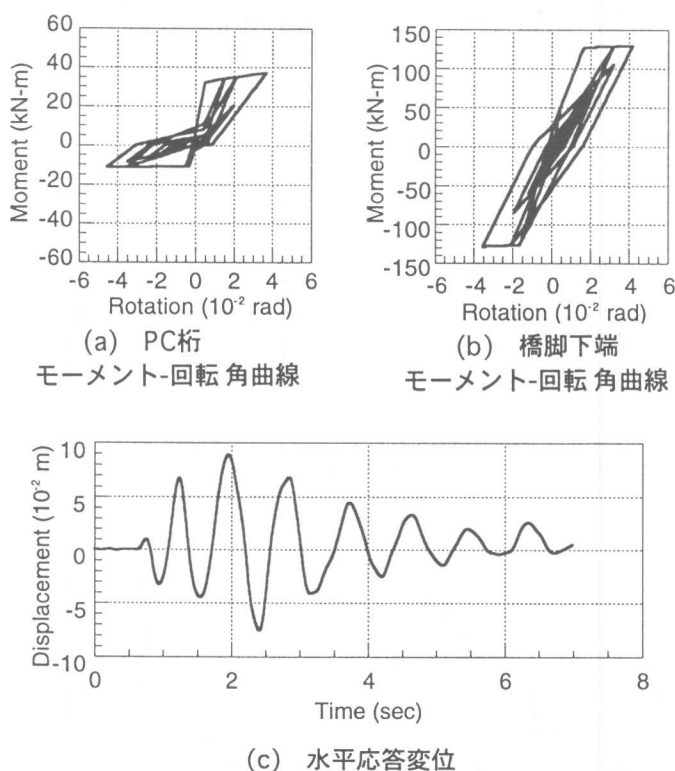


図-7 No.1 地震応答解析結果

ら本研究の範囲内では、ラーメン橋の場合においてPCはり部材の最大耐力がほぼ同じであれば、はりの力学的性状が異なる場合でも、構造物全体の最大応答変位には大きな影響は与えないと言える。

しかし、No.2およびNo.3の場合には、一般のPCラーメン橋に用いられているNo.1の場合と比較して、橋脚下端における最大点到達後の履歴ループが囲む面積が大きくなっていることがわかる。このことは、No.1の場合においては設計荷重と逆方向の外力が作用するとき、耐力は極めて小さいため、橋脚降伏時以降のエネルギーをPC桁で吸収することが出来ず、その影響が最大応答変位以降の応答変位に現れたものと思われる。したがって、PCはり部材の復元力特性により、橋脚の降伏時以降の応答性状は大きく異なることがわかった。

また、一般のPCラーメン橋に用いられているNo.1の場合では、設計荷重と逆方向の外力が作用したときの塑性変形がかなり大きくなっており、実際の構造物では、設計荷重と逆方向の外力がPC桁に作用したときに終局状態に到る可能性がある。以上のことから、PCラーメン橋の耐震設計を行う場合、橋軸方向に地震力が作用した場合には、PC桁の正負方向の外力に対して、耐力、靱性ともに

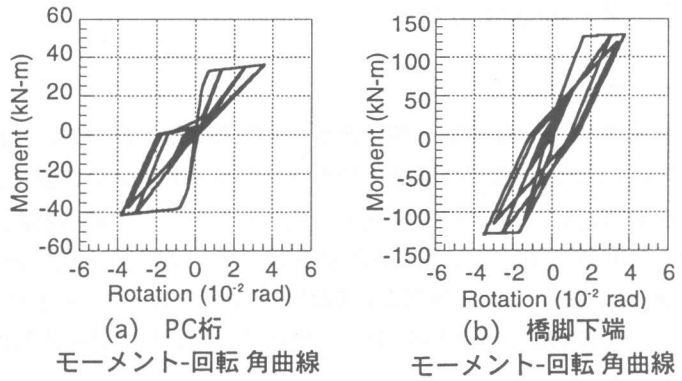


図-8 No.2 地震応答解析結果

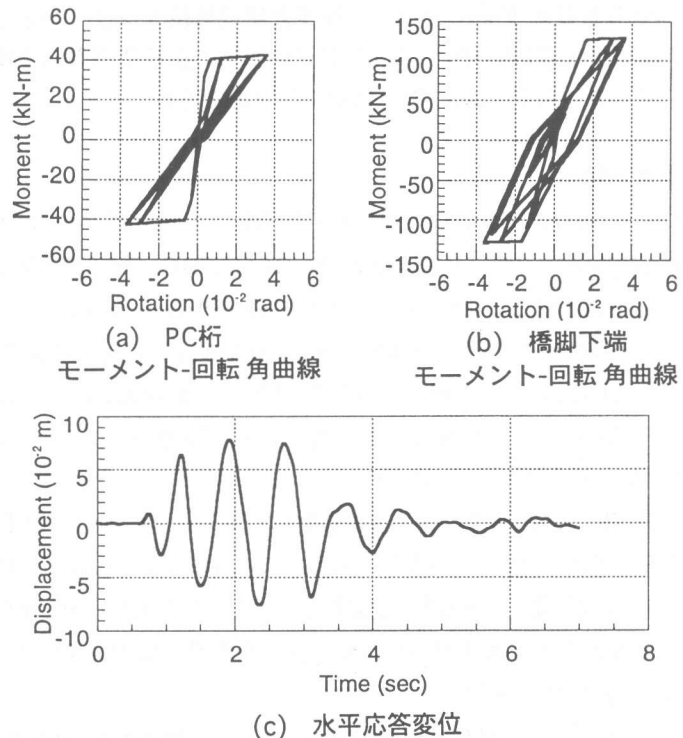


図-9 No.3 地震応答解析結果

十分考慮する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究ではPC連続桁を有するラーメン高架橋において、地震が橋軸方向に作用したとき、PC桁および桁と橋脚剛結部の耐震性状が構造物全体の応答性状及ぼす影響について調べることを目的とし、PC部材の復元力のモデル化を行い、最も単純な形式である1スパンPCラーメン橋を対象に弾塑性地震応答解析を行って、構成部材および構造物全体の構造物全体の応答性状を明らかにした。本研究の範囲から以下のことが結論される。

1) PC部材の復元力特性を、簡単な指標を用いて比較的精度良く表現できる復元力モデルを作成することが出来た。

2) PCラーメン橋梁の場合において、PC桁の最大耐力がほぼ同じであれば、その復元力特性の相違は、構造物全体の最大応答変位にはあまり影響しないと言えるが、橋脚の降伏時以降の応答性状に影響を及ぼすことがわかった。

3) 一般的なPC桁の場合では、死荷重および活荷重方向と逆方向の外力に対する耐力が小さいため、桁が終局状態に到る可能性がある。したがって、PCラーメン橋の耐震設計を行う場合、橋軸方向に地震力が作用した場合には、PC桁の正負方向の外力に対して、耐力、靱性ともに十分考慮する必要がある。

#### 謝辞

本研究を遂行するに当たり、埼玉大学助教授タンゾ・ウィリアム氏より貴重なご助言を頂いた。また、実験を行うに当たり元卒論性金子秀樹君（新構造技術株式会社）には多大な協力を得た。ここに記して、感謝する次第である。

#### 参考文献

- [1] Wael ZATAR, Hiroshi M UTUYOSI, William T ANZO, Isao HOSAKA : DYNAMIC RESPONSE BEHAVIOR OF PRESTRESSED CONCRETE VIADUCT UNDER SEVERE EARTHQUAKE, コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19
- [2] S.Otani, SAKE, a computer program for inelastic of R/C frame to earthquake. Reserch Report UILU-ENG-74-2029, Illinois University, November 1974
- [3] 岡本 伸・加藤博人：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、Jul. 1991、pp.52-63
- [4] 林 三雄・岡本 伸・小谷俊介・加藤博人・傅 金華：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、Jul.1995、pp.57-67
- [5] 中島正愛・石田雅利・安藤和博：サブストラクチャー仮動的実験のための数値積分法- サブストラクチャー法を用いた仮動的実験の開発、日本建築学会構造系論文報告集第417号、pp.107-117、1990.11
- [6] 貞末和宏・睦好宏史・William T ANZO・町田篤彦：サブストラクチャー仮動的実験によるRC2層ラーメン橋脚の地震時弾塑性応答、コンクリート工学論文報告集、Vol.16、No.2、pp.1118-1124、1993.6