

(株)竹中土木 正員 ○平井 卓  
 竹中技術研究所 杉本 三千雄  
 鹿島建設(株) 正員 広中 良和

**1. 概要** 免震橋梁は、保有水平耐力レベルの地震時に、免震装置と橋脚の両者が塑性化する設計が可能である。この時地震入力エネルギーは、免震装置橋脚の両者によって吸収される。系全体のエネルギー吸収の免震装置、橋脚への配分は、入力地震動の特性と両者の履歴特性によって変化すると考えられる。ここでは、免震装置の効果や橋脚の損傷度に関係があると考えられるこのエネルギー分配率がどのような条件で定められるかについて数値実験により検討を行った。

**2. 検討方法** 解析モデルは、I種地盤上に建設された免震橋梁の一橋脚モデルを考え、図-1に示す基礎固定の3質点モデルを考えた。免震装置はバイリニヤ履歴特性の水平バネ、RC橋脚はトリリニヤ履歴特性を有する梁要素とした。このモデルに対しここでは固有周期 $T=1.9\sim 2.0$ secのMODEL-1、 $T=1.2\sim 1.3$ secのMODEL-2の2つのタイプを考えた。それぞれのタイプの特性量は、表-1に示す通りである。 $W1\sim W3$ は各質点の重量、 $K1$ は免震装置の1次剛性、 $Kp$ は橋脚の降伏値剛性である。これらの特性量を変化させないで、それぞれのタイプの免震装置、橋脚のスケルトンを図-2の様に变化させた。免震装置、橋脚のスケルトンの組み合わせによってMODEL-1、MODEL-2それぞれにつき12種類のモデルが考えられ、これらを解析対象モデルとした。入力地震動は、図-3に示す建設省土木研究所によって作成された、I種地盤の保有水平耐力レベルの検討に用いる地震動と、エルセントルNS成分、八戸NS成分の3種類を考え、いずれも最大加速度360galとした。入力地震動と解析モデルの組み合わせで、 $2\times 12\times 3=72$ 種類の非線形時刻歴応答解析を実施した。解析結果として得られる各時刻歴応答よりエネルギー論的観点で検討を行った。

**3. 検討結果及び考察** 多自由度系の振動を表す運動方程式より、次式の様なエネルギー方程式を導く事ができる。

$$\frac{1}{2}m_i \dot{x}_i^2 + \sum_{i=1}^n \int_0^{t_0} c_i \dot{y}_i dt + \sum_{i=1}^n \int_0^{t_0} F_i \dot{y}_i dt = \sum_{i=1}^n \int_0^{t_0} m_i x_i \ddot{z}_i dt \quad \text{①}$$

$X_i$ :各質点の絶対変位  $Y_i$ :各要素の相対変位  $Z_i$ :入力地震動の加速度

この式は、左辺が消費されるエネルギー、右辺が入力されるエネルギーを表しており、次式の様に表す事ができる。

$$\sum_{i=1}^n W_k + \sum_{i=1}^n W_a + \sum_{i=1}^n W_s + \sum_{i=1}^n W_h = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{②}$$

$W_k$ :運動エネルギー  $W_c$ :粘性吸収エネルギー  
 $W_h$ :履歴吸収エネルギー  $W_e$ :弾性ひずみエネルギー  
 $W$ :地震入力エネルギー

今  $W_h' = W_h + W_e$  を累積ひずみエネルギーと定義し、さらにこのエネルギーを免震装置のエネルギー  $W_{hi}'$  と橋脚のエネルギー  $W_{hp}'$  に分けると  $W_h'$  は次式のように表す事ができる。

$$W_h' = W_{hi}' + W_{hp}' \quad \text{③}$$

MODEL-1において、図-3に示される入力地震動に対して累積ひずみエネルギーの時刻歴を求めたのが図-4である。地震終了時刻においては、弾性ひずみエネルギー  $W_e=0$  となり累積ひずみエネルギーは地震継続期間中の履歴吸収エネルギーに等しい。この図の(a)は、橋脚の最大塑性率  $\mu=1.1$  の場合、(b)が  $\mu=4.3$  の場合であるが、地震終了時刻の橋脚、免震装置のエネルギー配分を比較すると(a)の場合は、全履歴吸収エネルギーに占める免震装置の吸収の割合が大きいのに対し、(b)の場合は逆に橋脚の吸収の割合が大きいことがわかる。免震装置を有効に機能させるには、(a)の場合の方がよいと考えられる。そこでこのような履歴吸収エネルギーの配分を決定する条件を明かにするために、橋脚最大変位時の橋脚へのエネルギー分担率と地震終了時の分配率の関係をモデルや入力地震を変えて求めたのが図-5である。橋脚最大変位時の分担率に着目したのは、一般橋梁のRC橋脚の実験的な既往の研究で、橋脚の最大変位が吸収エネルギーと関係が大きいこと

が指摘されている事と橋脚最大変位時のエネルギー分担は簡易な手法で求められると考えたためである。図-5より橋脚最大変位時と地震終了時の分担率は相関があり、最大変位時の分担率が0.5程度以下では、地震終了時の履歴吸収エネルギー分担率を小さくできる事がわかった。

図-6は橋脚最大変位時のエネルギー分担率と橋脚の最大塑性率の関係を求めたものである。この図より橋脚最大変位時の分担率が0.5程度以下となるのは、橋脚の最大塑性率が2.0程度以下の場合であり、図-5の結果とあわせて考えればこの範囲で、橋脚の地震継続期間中の履歴吸収エネルギーの分担率を軽減できると考えられる。

4.まとめ ①免震橋梁の地震継続期間中の履歴吸収エネルギーの橋脚への分担率は、橋脚最大変位時の累積ひずみエネルギーの分担率と関係があり、橋脚最大変位時の分担率を0.5程度以下にすれば地震継続期間中の分担率を軽減し、地震時の損傷を軽減できると考えられる。

②橋脚最大変位時の分担率が0.5程度以下となるのは、橋脚の最大塑性率2.0程度以下の場合であると考えられる

なお、本報告は建設省土木研究所と民間28社との官民連帯共同研究「道路橋の免震構造システムの開発に関する研究」の一環として行ったものであり、関係者各位に深く感謝の意を表します。

(参考文献)

- 1)道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究報告書(その3)、建設省土木研究所、1992
- 2)道路橋の免震設計マニュアル(案)、建設省土木研究所他、1992
- 3)家村浩和、山田善一、William Ianzo、野村武司、橋梁における免震支承の地震エネルギー分担率、第21回土木学会地震工学研究発表会、1991

表-1 2種類のモデル

	MODEL-1	MODEL-2
W1	721.4 tf	1000.0 tf
W2	113.0 tf	150.0 tf
W3	236.9 tf	250.0 tf
K1	6068.4 tf/m	8500.0 tf/m
Kp	2925.9 tf/m	10200.0 tf/m
T	1.9' 2.0 sec	1.2' 1.3 sec

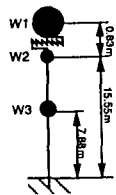


図-1 1橋脚モデル

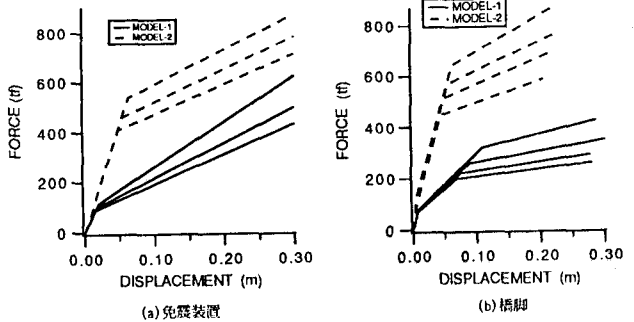


図-2 スケルトンの特性

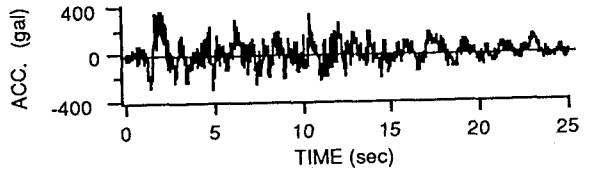
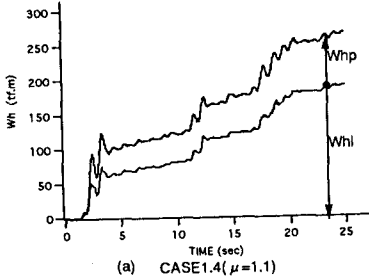
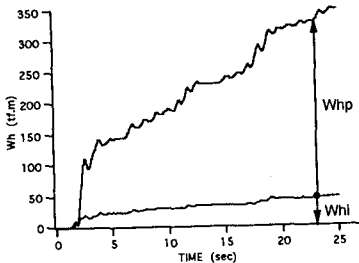


図-3 土木研究所作成入力地震動(1種地震)



(a) CASE1.4( $\mu=1.1$ )



(b) CASE3.1( $\mu=4.3$ )

図-4 累積ひずみエネルギーの時刻歴

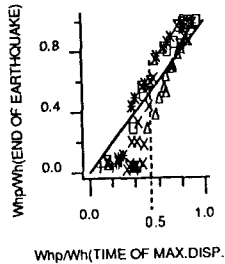


図-5 橋脚最大変位時と地震終了時の分担率の関係

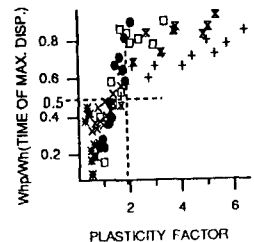


図-6 橋脚の最大塑性率と最大変位時の分担率の関係