

## I - B 326

## 免震支承－橋脚系の地震応答の簡易推定法について

建設省土木研究所 正会員 越峠雅博  
 建設省土木研究所 正会員 邇上茂樹  
 建設省土木研究所 正会員 足立幸郎

## 1. はじめに

基部のみに塑性化が生じる橋脚系のような1自由度の振動系の非線形応答の推定には、一般にエネルギー一定則による手法が用いられることが多い。免震支承を有する橋に大きな地震力が作用した場合には、免震支承のみならず橋脚にも塑性化が生じる可能性がある<sup>1)</sup>。このような、免震支承と橋脚など複数個所に塑性化が生じる構造物の地震応答を求める簡易的な推定法については、十分に検討されていない。本研究では、免震支承と橋脚からなる構造系を対象に、地震時の橋脚の応答塑性量を推定するために、エネルギー一定則を拡張した簡易応答推定手法を提案し、非線形2自由度系の動的解析結果との比較により、評価手法の妥当性について検討した結果を報告する。

## 2. 動的解析

免震支承－橋脚系は2自由度系にモデル化し、桁の重量  $W_u$  としては一般的な都市高架橋を想定し 817.22tf を、橋脚の重量  $W_p$  は 163.44tf を与えた。橋脚にはひびわれを無視したバイリニア型の武藤モデルを用いた。免震支承はバイリニアモデルとし、1次剛性  $K_{b1}$  と2次剛性  $K_{b2}$  の比は 1/6.5 で一定とした。入力地震動は、道路橋示方書に規定される標準加速度応答スペクトルに近い特性を有するように、既往の強震記録を振動数領域で振幅調整した加速度波形を、

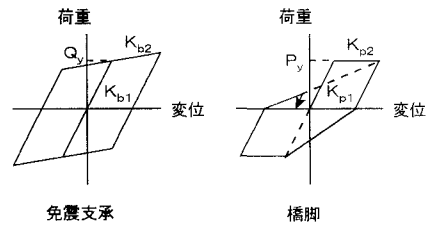


図1 復元力特性

タイプⅠ地震動、タイプⅡ地震動ともにⅠ、Ⅱ、Ⅲ種地盤ごとに各3波形を用い、その平均値を動的解析値とした。免震支承および橋脚は固有周期および耐力をパラメトリックに変化させ、橋脚の降伏耐力  $P_y$  としては桁と橋脚の合計重量  $W$  の 20、40、60% を、支承の降伏耐力  $Q_y$  としては、 $P_y$  の 30、50、80%（支承の等価減衰定数で 15.2、23.3、26.7% に相当）を与えた。また、支承条件を固定とした場合の橋脚の降伏剛性から求まる橋脚の1次固有周期  $T_p$  は 0.2～2.0 秒まで、支承の等価固有周期  $T_{beq}$  は 0.2～3.0 秒まで変化させた。ここで、支承の等価固有周期  $T_{beq}$  は、1次の振動モードを仮定し、桁と橋脚の質点に同一の加速度が加わると仮定した場合に、橋脚降伏時における免震支承の等価剛性  $K_{beq}$  から求めたもので、次式により求めた。

$$T_{beq} = 2\pi \sqrt{\frac{W_u}{g \cdot K_{beq}}} \quad (1)$$

$$K_{beq} = \frac{K_{b2} \cdot P_y \cdot (W_u/W)}{P_y \cdot (W_u/W) + Q_y \cdot (K_{b2} - K_{b1}) / K_{b1}} \quad (2)$$

## 3. 非線形2自由度系の簡易応答推定法

免震支承－橋脚系のような構造系の簡易応答推定法として、Newmark らが提案したエネルギー一定則を拡張した手法を適用する。エネルギー一定則とは、弾塑性復元力特性を有する1自由度系構造物において、弾性応答エネルギーと弾塑性応答エネルギーとがほぼ同量になるという考え方に基づく解法である。ここでは、図2に示すように免震支承－橋脚系全体のシステムとしての弾性応答エネルギーが免震支承の等価弾性エネルギーと橋脚の弾塑性応答エネルギーの和に等しいとして、橋脚の応答塑性率  $\mu_p$  を求めた。本稿では、これをシステムエネルギー一定則と呼ぶこととする。免震支承－橋脚系のシステムエネルギー一定則は次式で得られる。

キーワード 免震支承 RC橋脚 免震橋 エネルギー一定則 非線形動的応答解析 応答塑性率

連絡先 〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地 建設省土木研究所耐震研究室 TEL 0298-64-4966 FAX 0298 64-4424

$$\frac{P_{em}^2}{2K_{eq}} = \frac{P_y^2}{2K_{p1}} + (\mu_p - 1) \frac{P_y^2}{K_{p1}} + \frac{(W_u/W)^2 P_y^2}{2K_{beq}} \quad (3)$$

$P_{em}$ ：等価1自由度系の減衰を考慮した弾性応答水平力  
で式(4)により求める。

$$P_{em} = S_A \left( T_{eq}, h_{eq} \right) \cdot W/g \quad (4)$$

ここで、 $T_{eq}$ は支承の等価剛性  $K_{beq}$  と橋脚の降伏剛性  $K_{p1}$  との合成剛性  $K_{eq}$  から求める全体系の等価固有周期で、 $h_{eq}$  は支承の等価減衰定数  $h_{beq}$  と橋脚の減衰定数  $h_p$  とからひずみエネルギー比例減衰法により求める全体系の減衰定数である。上述の1自由度系に対して、線形加速度法により弾性応答加速度  $S_A$  を計算し、式(4)により  $P_{em}$  を求めた。弾性応答加速度を算出する時には、地震動タイプ別、地盤種別ごとに各3波の地震動波形を用い、その平均値を用いた。

#### 4. 動的解析結果との比較

図3は、システムエネルギー一定則により求める橋脚の応答塑性率と非線形2自由度系の動的解析により求める橋脚の応答塑性率との比を用いて両者の関係を見たものである。各図の横軸は支承を固定とした時の橋脚の固有周期  $T_p$  を、縦軸は支承の等価固有周期  $T_{beq}$  を示している。

図より、 $T_p$  あるいは  $T_{beq}$  の組み合わせにより、応答塑性率の推定精度が変化しているのが分かる。傾向としては、一方の固有周期が短く、もう一方の固有周期が長い場合に、システムエネルギー一定則による応答塑性率の値が大きく評価される。また、橋脚の降伏耐力比( $P_y/W$ )が0.2あるいは支承の降伏耐力比( $Q_y/P_y$ )が0.8になると推定精度が悪くなる。道路橋示方書では、免震橋梁の固有周期は、支承固定時の橋脚の固有周期の2倍程度以上に設定することとされている。したがって、実免震橋梁の  $T_p$  と  $T_{beq}$  の比は、1:1から1:3程度に分布するものと考えられる。この範囲において、 $P_y/W=0.2$ 、 $Q_y/P_y=0.8$ の条件を除くと、比はおおむね1.0~1.5倍であり、実用上十分な推定精度が得られることが分かる。これは、他の地震動のタイプ、地盤種別でも同様の結果が得られた。

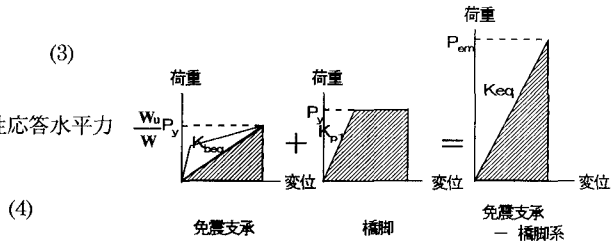


図2 システムエネルギー一定則

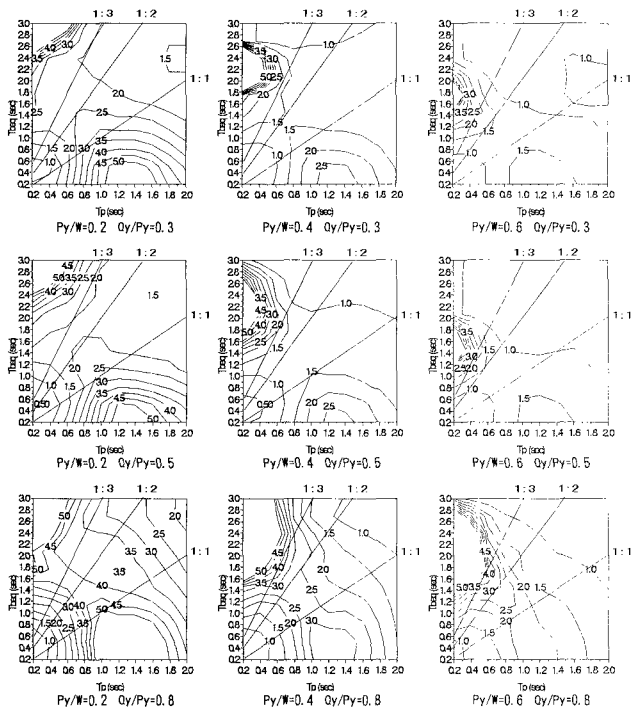


図3 簡易応答推定法による橋脚の応答塑性率の推定精度  
タイプⅡ地震動 Ⅱ種地盤（簡易応答推定法／動的解析）

て、 $P_y/W=0.2$ 、 $Q_y/P_y=0.8$ の条件を除くと、比はおおむね1.0~1.5倍であり、実用上十分な推定精度が得られることが分かる。これは、他の地震動のタイプ、地盤種別でも同様の結果が得られた。

#### 5. おわりに

免震支承－橋脚からなる構造系を対象に、地震時の橋脚の応答塑性量を推定するために、エネルギー一定則を拡張した手法を適用し、動的解析との比較検討を行った。その結果、システムを構成する部材の弾塑性エネルギー和と弾性系応答エネルギーが等価であるとするシステムエネルギー一定則により、地震時の橋脚の応答塑性量の評価が可能であることが示された。

【参考文献】 1) 越中、運上、足立：免震支承－橋脚系の地震時挙動の特性、第1回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、1998.1.