

I-B 45 免震支承を用いた鋼製橋脚の激震時挙動に関する解析的研究

石川島播磨重工業 正会員 ○志治 謙一
名古屋大学 フェロー会員 宇佐美 勉

1. 緒言

1995年1月17日の兵庫県南部地震では、多くの人命が奪われるとともに、土木構造物にも甚大な被害を与えた。現在の耐震設計は、耐力や変形能を大きくさせ、水平方向の揺れに耐えられるような設計であるが、これとは別の発想で免震という技術が脚光を浴びている。免震の基本的な設計思想は、免震支承を用いることによって構造物全体を長周期化し短周期が卓越した地震波から橋脚に作用する慣性力を低減させ、減衰機能を付加することにより、応答変位が過大になるのを防ぐというものである。しかし、免震橋脚に対する研究はまだ十分ではなく、多くの研究課題が残されている。

2. 研究目的

橋梁構造物の免震設計の方法は、そこでは道路橋の免震設計法マニュアル(案)[1]に述べられている。そこでは免震支承の支圧応力度照査や、地震時に免震支承に生じる水平変位の照査等が述べられているが、免震支承によって具体的にどの程度長周期化したらよいのか、免震支承にはどの程度の減衰性能を持たせたらよいのかという点に関する明確な記述はされていない。そこで、本研究では鉛プラグ入り積層ゴム支承を対象とし、①非免震橋の固有周期と免震橋の地震時保有水平耐力法レベルでの固有周期の比および、②地震時保有水平耐力法レベルでの免震支承の等価減衰定数の目標値の2つをあらかじめ定めておいてから、道路橋の免震設計法マニュアル(案)にそった免震橋梁の設計を行う。さらに本研究では、橋脚に生じる損傷を制御することで大地震が発生しても大きな損傷を生じさせず、地震後の機能も保持できるような免震構造物の設計手法の開発を行う。そのために兵庫県南部地震で観測された地震波を用いて1自由度(免震装置を設置しない橋脚のみの状態)、2自由度(免震支承を設置した状態)にモデル化した構造物を対象に時刻歴応答解析を行う(Fig.1参照)。なお復元力特性としては、免震支承に対してバイリニアモデル、橋脚に対して2パラメータモデル[4]を用いる(Fig.2参照)。

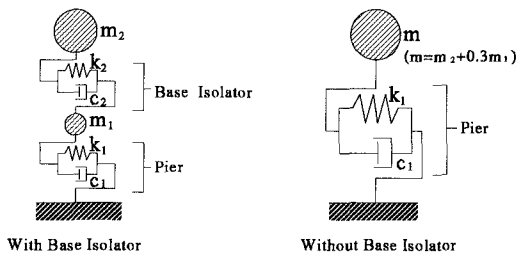


Fig.1 1自由度及び2自由度のモデル化

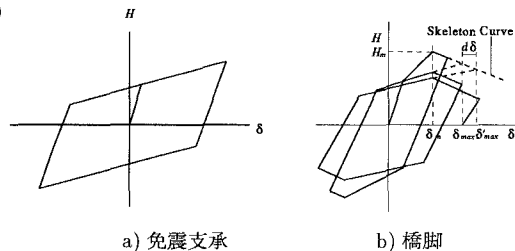


Fig.2 非線形復元力特性

3. 解析対象

本解析の一例として、幅厚比パラメータ R_f が0.3、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が0.2、固有周期がI種地盤のもので0.63秒、II種地盤のもので0.58秒、III種地盤のもので0.54秒の鋼製橋脚を対象とする。これに地震時保有水平耐力法レベルで15%及び25%の減衰定数を持つ免震装置を設置し、2.0~6.0倍の固有周期に長周期化した免震橋を設計する。さらに、その免震橋に兵庫県南部地震で観測された3つの地震波(JMA, JR-Takatori[2], Higashi-Kobe)を用いて時刻歴応答解析を行う。

4. 解析結果

橋脚に生じる損傷度を定義をするが、その前にまず、橋脚の破壊点の定義をする。破壊点の定義方法はさまざまだが、そのうちの一つに最大水平荷重点がある。しかし、幅厚比パラメータ、細長比パラメータがともに小さい柱は荷重-変位曲線が非常になだらかで、水平荷重のピーク点を推定しにくいことと、経済的な理由から、本研究では水平荷重がピーク値の95%まで落ちてきた点 $0.95H_m = H_{95}$ (Fig.3参照)を最大荷重点の代わりに用いることとする。この破壊点を用い損傷度指標 D を次のように定義する。

$$D = \frac{\delta_{max}}{\delta_{95}}$$

ここで、 δ_{max} は橋脚頂部の最大応答変位、 δ_{95} は H_{95} 対応した変位である (Fig.3 参照)。また、この損傷度指標に A, B, C の3つのランク (A:D = 0.25, B:D = 0.50, C:D = 1.00) を設け、損傷度 D と免震橋の固有周期の関係とともに Fig.4 Fig.5 に示す。図中○印を付けたものが非免震1自由度系の結果である。

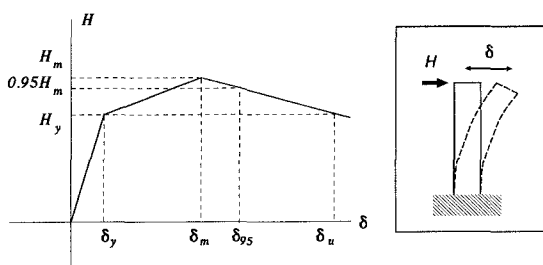


Fig.3 橋脚の荷重—変位曲線

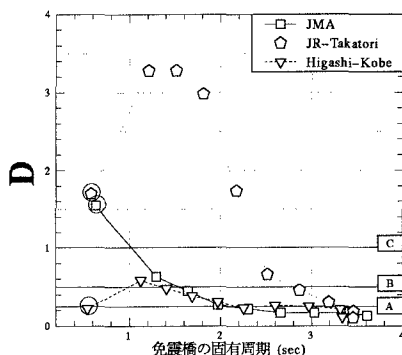


Fig.4 等価減衰定数 15 % のときの解析結果

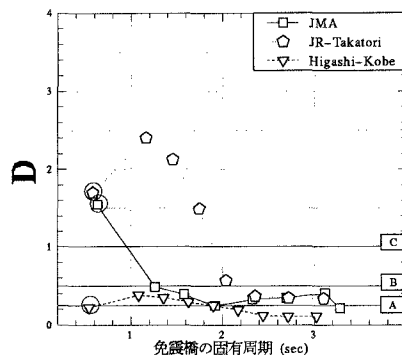


Fig.5 等価減衰定数 25 % のときの解析結果

5. 考察とまとめ

- 1) JMA に対しては構造物を長周期化することで、非免震と比べて橋脚に生じる損傷度を非常に小さくすることが出来ている。JMA は最大加速度こそ非常に大きいが高周期成分が卓越しており、長周期化によってかなりの慣性力の低減が行われたと思われる。この JMA のように低周期成分が卓越した地震波には、免震化が非常に有効である。
- 2) JR-Takatori に対して、等価減衰定数 15 % で設計した場合の 1.0~2.5 秒の固有周期を持つ免震橋は、全て橋脚に非常に大きい変形を生じさせているか、あるいは倒壊のレベルにまで達しているものさえある。この地震波に対して 1.0~2.5 秒の固有周期を持つ構造物がいかに不利であることを示している。しかし、等価減衰定数を 25 % で設計することで橋脚の損傷度を低く抑えることが出来た。このように同じ等価剛性を持つ免震支承でも等価減衰定数を変えることによって全く別の応答を示すことがわかる。
- 3) Higashi-Kobe に対して非免震の場合は橋脚に生じる損傷度はさほど大きくはないが、免震化しても広い周期領域にほぼ一定の損傷度を与えており、長周期化による慣性力の低減はあまり得られなかったものと考えられる。
- 4) 免震支承の等価減衰定数は想定する地震の大きさによって変化するが、今回用いた3つの地震波は全て地震時保有水平耐力法レベルかあるいはそれ以上の規模のものであったので、地震時保有水平耐力法レベルでの免震支承の等価減衰定数を 25 % で設計したものの方が 15 % で設計したものより、総じて橋脚に与える損傷度は小さく抑えられた。

参考文献

- [1] 建設省・官民連帯共同研究：道路橋の免震構造システムの開発報告書，平成4年10月
- [2] NAKAMURA, Yutaka: "Waveform and its Analysis of the 1995 Hyogo-Ken-Nanbu Earthquake", JR Earthquake Information No.23c, Feb. 1995, Railway Technical Research Institute.
- [3] 尾島一博：免震支承の設計とそれを用いた鋼製橋脚の地震時挙動に関する解析的研究，名古屋大学工学部土木学科修士論文，平成7年2月
- [4] 鈴木森晶，宇佐美勉：箱形断面鋼製橋脚の復元力モデルと弾塑性地震応答解析，土木学会論文集に投稿中