

I-B327 エネルギー論に立脚した免震橋の非線形地震応答の検討

東京工業大学工学部 (正) 庄司学 (F) 川島一彦 (学) 飯山かほり

1. 本研究の背景・目的

1995年1月の兵庫県南部地震以降、免震支承を用いた高架橋の耐震化が急速に進められている。高架橋を免震設計する場合には、長周期化による地震力の低減と減衰機構の付加による応答変位の低減という2つの機能を免震支承に受け持たせ、塑性化によるエネルギー吸収は主として免震支承で行うことが望ましい¹⁾。

しかし、耐震設計時に兵庫県南部地震クラスの地震動を想定すると、免震支承のみでなく橋脚にもかなりの塑性化が生じると考えられる。そこで、本研究では、免震支承と橋脚の地震応答がともに非線形化する場合に、それらの相互作用について、系の振動特性パラメータと関連づけることによって検討を行う。具体的には、免震橋を2質点2自由度系でモデル化し、免震支承と橋脚の非線形化の度合いを入力地震動の継続時間内における履歴吸収エネルギーで評価し²⁾、それらと各要素の降伏力の設定、ならびに全体系の等価固有周期との関係について分析を加えた。

2. 免震橋のモデルと振動特性パラメータ

非線形動的解析に用いる免震橋のモデルと各要素の振動特性に関するパラメータの値を図-1に示す。橋脚の質量 m_p は桁の質量 m_s に対する比 m_p/m_s として与え、運動方程式における減衰マトリックスは各別減衰 ξ_m 、 ξ_p を仮定したのちRayleigh型減衰を仮定することによって求めた。免震支承と橋脚の復元力特性には完全弾塑性バイリニア型モデルを用い、各要素の初期剛性 k_m 、 k_p については、支承を剛とした時に系の1次固有周期が1秒となるように設定した。橋脚の降伏力 f_p^0 は、まず線形動的解析を行い橋脚に伝達される復元力の最大値を求め、その後、許容靱性率を5と仮定し、エネルギー一定則に基づいて300tfと定めた³⁾。そして、橋脚の降伏力 f_p^0 に対する免震支承の降伏力 f_m^0 の比 f_m^0/f_p^0 (以下、降伏力比と呼ぶ) を0.2から1.6まで変化させることとした。入力地震動には、道路橋示方書⁴⁾に規定されているタイプI, III種地盤用の設計加速度応答スペクトルに近い特性となるようにフィッティングした標準加速度波形3波(以下、I-III-1, I-III-2, I-III-3と記述)を用いた。なお、これらの3波の加速度応答スペクトルを図-2に示す。

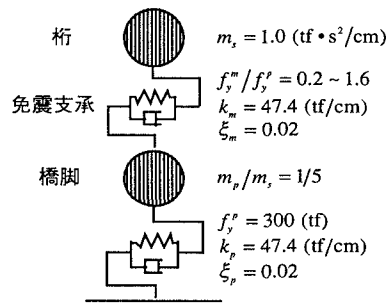


図-1 免震支承橋脚系のモデル

3. 解析結果

3. 1 降伏力比と履歴吸収エネルギーとの関係

降伏力比に対する免震支承と橋脚の履歴吸収エネルギー W_m^0 、 W_p^0 の変化を図-3に示す。基本的には、降伏力比を高めると、橋脚の履歴吸収エネルギーが高まり、免震支承の履歴吸収エネルギーが低くなるという傾向を示す。つまり、免震支承～橋脚間で履歴吸収エネルギーの相互作用がみられる。その上で、第一に降伏力比が0.6から1.0の範囲で2つの要素間の履歴吸収エネルギーが急激に変化すること、第二に免震支承の履歴吸収エネルギーが最大となるのは橋脚を弾性応答に抑えるように降伏力比を最大限まで下げた場合ではないことがわかる。すなわち、橋脚の非線形化を許容できる範囲内に抑え、かつ免震支承の履歴吸収エネルギーが最大となる降伏力比の設定が可能であることが示唆される。

また、橋脚の履歴吸収エネルギー W_m^0 を支承が剛の場合に橋脚が吸収する履歴吸収エネルギー W_p^0 で規準化した場合、降伏力比に対する W_m^0/W_p^0 の変化を図-4に示す。図-4より、標準加速度波形3波を入力した全てのケースでほぼ同じ曲線を描き、図-3と同様に降伏力比が0.6から1.0の範囲で橋脚の非線形化が急激に進むことがわかる。

耐震設計、免震橋、非線形動的解析、履歴吸収エネルギー

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1 TEL 03-5734-2922 FAX 03-3729-0728

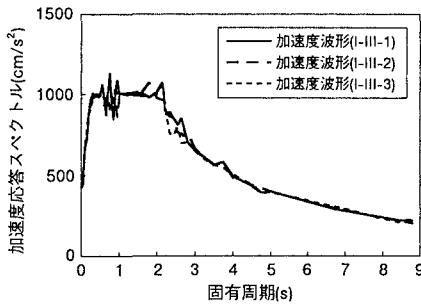


図-2 加速度波形3波の加速度応答スペクトル

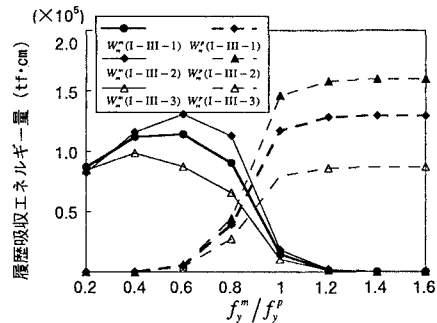


図-3 降伏力比に対する各要素の履歴吸収エネルギー量の変化

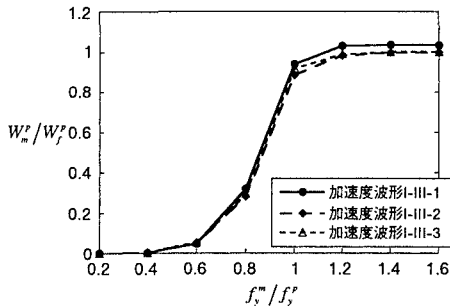


図-4 降伏力比に対する橋脚の履歴吸収エネルギーの変化

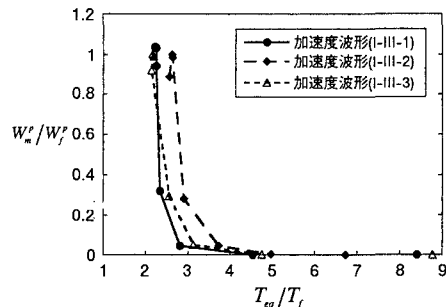


図-5 固有周期比に対する橋脚の履歴吸収エネルギーの変化

3. 2 系の等価固有周期と履歴吸収エネルギーとの関係

免震支承や橋脚が非線形化すれば、全体系の固有周期も本来なら変化するはずである。そこで、非線形動的解析より求めた免震支承と橋脚の履歴曲線から、全体系の等価固有周期を算出し、それらと橋脚の履歴吸収エネルギーとの関係を調べた。なお、等価固有周期は、最大・最小応答の0.7倍に相当する応答の割線剛性を求め、それらが直列に配置されたものとして算出した。

図-5に、系の等価固有周期 T_m を支承が剛の場合の1次固有周期 T_f （今、1秒に設定）で規準化した値 T_m/T_f （以下、固有周期比と呼ぶ）と W_m^p/W_p^p の関係を示す。図-5より、固有周期比が2から4の範囲、すなわち系の等価固有周期が2秒から4秒の帯域では、橋脚の履歴吸収エネルギーの変化が非常に敏感であることがわかる。

4. まとめ

本研究では、履歴吸収エネルギーを非線形化の指標として選び、免震橋における各要素の非線形化の相互作用について、各要素の降伏力の設定、ならびに系の等価固有周期と関連づけることによって検討を加えた。それらのパラメータに対して、各要素の履歴吸収エネルギーが鋭敏に変化する帯域が存在することが明らかになった。このことから、橋脚の非線形化を許容できる範囲に抑え、かつ免震支承で吸収するエネルギーを最大化するためには、振動特性パラメータの閾値の設定が重要であることが示唆された。今後は、入力地震動や復元力特性値の設定をさらにパラメトリックに変化させ、実設計に用いる振動特性パラメータと関連づけながら、免震橋の非線形応答に有為なパラメータの最適化に関する検討を進めていきたいと考えている。

謝辞：本研究を進めるにあたり、建設省土木研究所振動研究室から標準波形を提供していただき、同研究室田村敬一室長、本田利器研究員から波形特性に関して有益な助言をいただきました。

参考文献：1) 土木研究センター：道路橋の免震設計法マニュアル(案), 1993.12. 2) 秋山宏：建築物の耐震極限設計, 東京大学出版会, 1980.9 3) Miranda, E. and Bertero, V.V.: Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design, Earthquake Spectra, Vol.10, No.2, pp.357-379.1994. 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 1996.12.