

免震橋の荷重低減係数に及ぼす 全体系じん性率の影響

永井 政伸¹・川島 一彦²・庄司 学³

¹学生会員 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

²フェロー会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

³正会員 工修 東京工業大学助手 工学部土木工学科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

剛性の低いゴム支承で支持された橋梁では、じん性率として橋脚系のじん性率を用いると地震力を過小評価することが明らかとなっている。これは、免震支承のような履歴特性を有する支承を用いた場合にも同様と考えられるが、これに関する既往の研究はない。本研究では、免震設計の荷重低減係数を求めるためのじん性率として橋脚系じん性率と全体系じん性率を用いた場合の違いを明らかにするとともに、免震支承および橋脚の履歴特性を考慮した等価線形化法を提案する。

Key Words : *Menshin design, System ductility factor, Column ductility factor, Force reduction factor, Equivalent linear method*

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、道路橋の設計においてゴム支承を用いた水平地震力分散構造や免震設計が広く使われるようになった。剛性の低いゴム支承で支持された橋梁では、じん性率として橋脚系のじん性率を用いると地震力を過小評価することが明らかとなっている。これは、免震支承のような履歴特性を有する支承を用いた場合にも同様と考えられるが、これに関する既往の研究はない。本研究では、免震設計の荷重低減係数を求めるためのじん性率として橋脚系じん性率と全体系じん性率を用いた場合の違いを明らかにするとともに、免震支承および橋脚の履歴特性を考慮した等価線形化法を提案する。

2. 解析対象橋および解析モデル化

解析対象としたのは、図-1に示すような高さ10mのRC橋脚で支持された橋長5@40mの5径間連続鋼板桁(単位橋脚あたりの上部構造重量は710tf)で、鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)により支持されている。地盤種別はⅡ種である。解析では、1基の橋脚・基礎とそれが支持する上部構造部分を図-1に示すような多質点系にモデル化した。固有周期特性が変化

した場合の影響を検討するために、支承剛性を10段階に変化させた。その結果、橋脚には降伏剛性、支

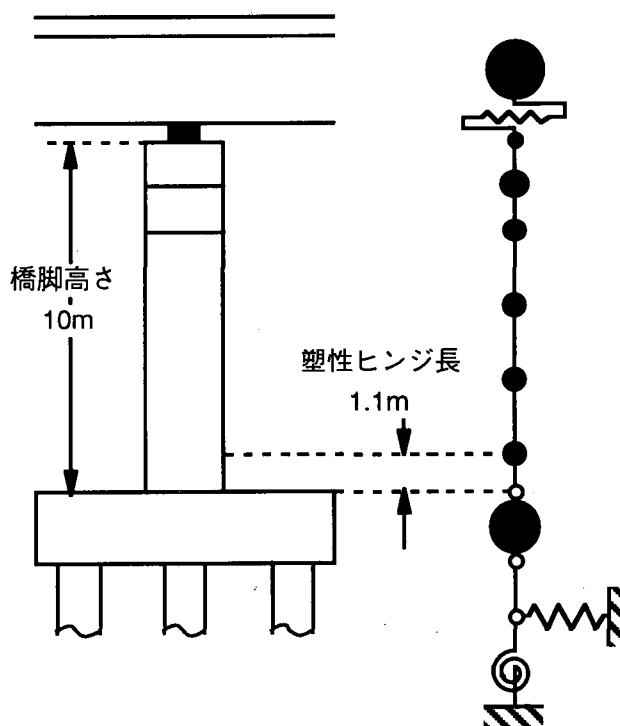


図-1 解析対象橋と解析モデル

承には等価剛性を用いた場合の橋の固有周期は0.96秒～2.55秒の範囲で変化した。非線形履歴特性としては、橋脚には Takeda 型モデル、免震支承にはバイリニア型モデルを用いた。履歴減衰を除く粘性減衰としては、橋脚には2%、基礎には15%を与えた。また、入力地震動としては、平成7年兵庫県南部地震における神戸海洋気象台記録 EW 成分および JR 鷹取駅記録 EW 成分を用いた。

3. 荷重低減係数の評価

$a_L^{\max}$ を線形動的解析により求められた桁の応答加速度、 $a^{\max}$ を非線形動的解析により求められた桁の応答加速度とすると、荷重低減係数は次式のように与えられる。

$$R = \frac{a_L^{\max}}{a^{\max}} \quad (1)$$

道路橋示方書では、免震橋に対する荷重低減係数 R_E を次式のように与えている。

$$R_E = \frac{\sqrt{2\mu - 1}}{c_E} \quad (2)$$

ここで、 μ ：許容じん性率、 c_E ：免震橋の減衰定数に基づく補正係数で、 $1.0 (h < 0.1)$ 、 $0.9 (0.1 \leq h < 0.12)$ 、 $0.8 (0.12 \leq h < 0.15)$ 、 $0.7 (h \geq 0.15)$ である。

免震橋では、桁に慣性力を作用させていくと、最初に免震支承が降伏し、続いて橋脚が塑性化する。これを示すと図-2 のようになる。したがって、免震支承と橋脚がともに塑性変形した場合には、図-2(c) のような履歴を示すことになる。橋脚の変形だけを考えて、橋脚系じん性率 μ_p は次式のようになる。

$$\mu_p = \frac{u_p^{\max}}{u_p^y} \quad (3)$$

しかし、桁の変位には、橋脚の他に免震支承や基礎の変形が寄与する。したがって、これらを考慮すると、橋全体系のじん性率 μ_s は次式のようになる。

$$\mu_s = \frac{u^{\max}}{u^y} \quad (4)$$

ここで、 $u_p^{\max}$ ：橋脚の最大応答変位、 u_p^y ：橋脚の降伏変位、 $u^{\max}$ ：桁の最大応答変位、 u^y ：橋脚が降伏したときに桁に生じる変位である。道路橋示方書では、式(2)の μ として式(3)のように定義した橋脚系の許容じん性率が用いられている。

桁に生じる線形応答加速度を式(2)の荷重低減係数 R_E で除して求めた桁の応答加速度を非線形動的解析結果と比較して示した結果が図-3 である。ただし、ここでは、式(2)の μ として許容じん性率ではなく、

最大応答に相当する応答じん性率(橋脚系および全体系)を示している。また、 c_E は道路橋示方書に規定されるように橋全体系の1次の減衰定数 h から求めた。上述したように、いずれの場合にも免震支承は非線形域に達しているが、橋脚は塑性化しなかったものもあるため、橋脚の塑性化した範囲を図に示している。

図-3 によれば、橋脚が塑性化していない場合には、式(2)において $1/c_E$ だけが考慮されるため、橋脚系じん性率を用いるか全体系じん性率を用いるかの違いは生じない。橋脚も塑性化した範囲に注目すると、神戸海洋気象台記録を入力した場合、式(2)の荷重低

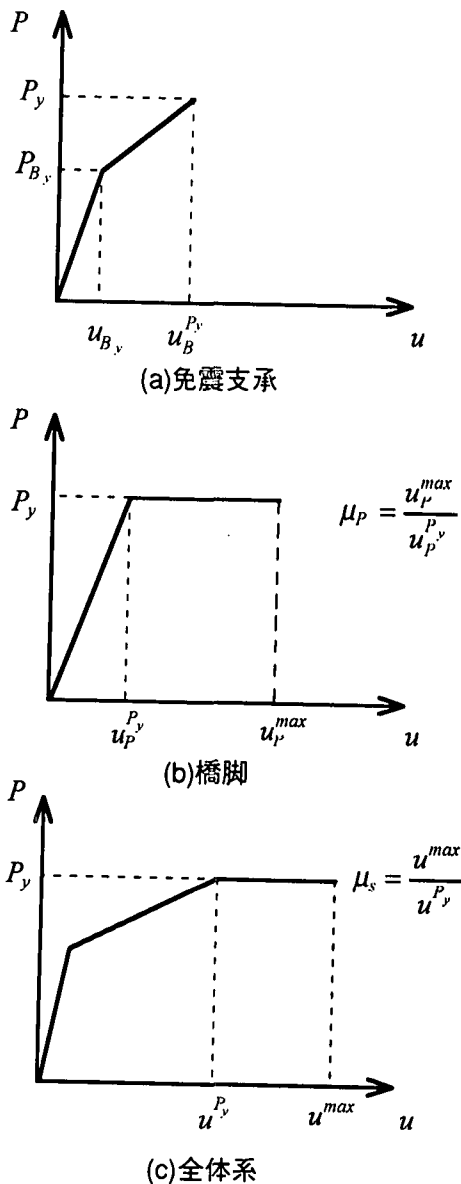
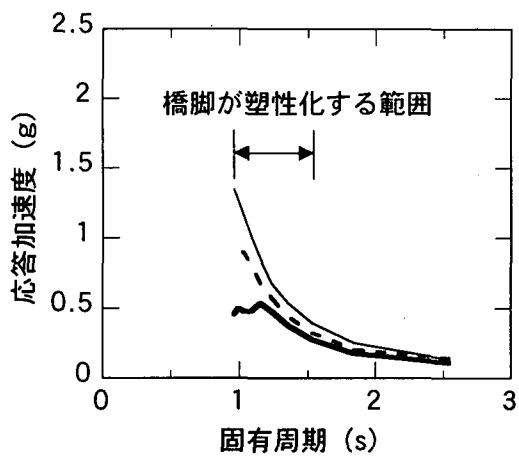
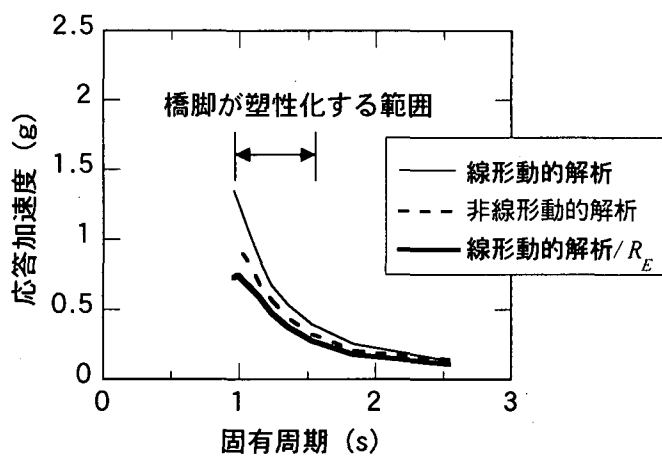


図-2 免震支承および橋脚の変形によって桁に生じる変位

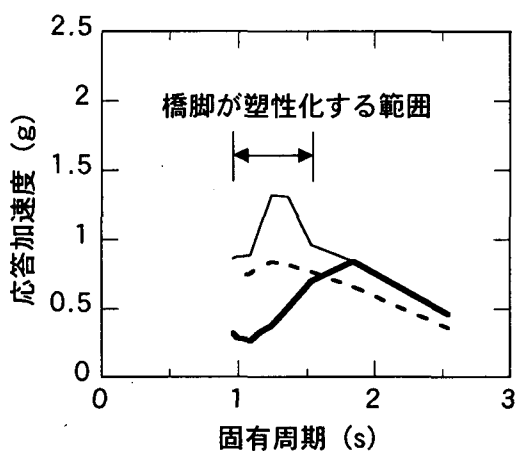


(a)橋脚系じん性率 μ_p を用いた場合

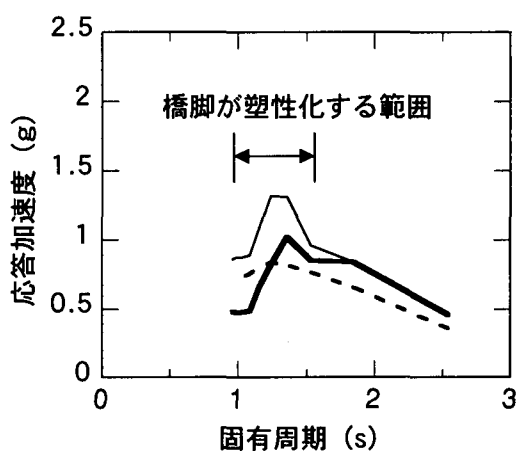


(b)全体系じん性率 μ_s を用いた場合

(1)神戸海洋気象台記録を入力した場合



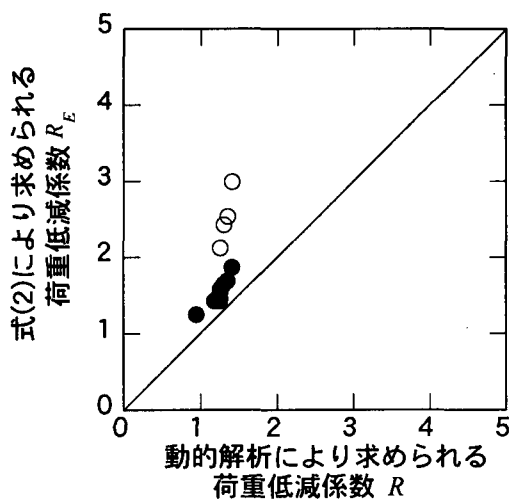
(a)橋脚系じん性率 μ_p を用いた場合



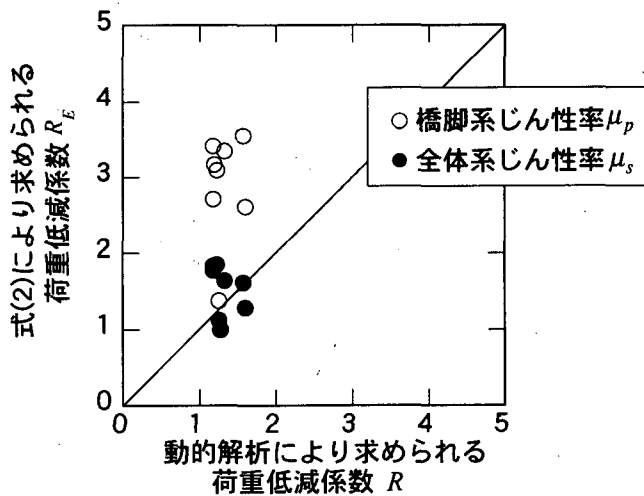
(b)全体系じん性率 μ_s を用いた場合

(2)JR鷹取駅記録を入力した場合

図-3 式(2)による荷重低減係数の推定精度



(1)神戸海洋気象台記録を入力した場合



(2)JR鷹取駅記録を入力した場合

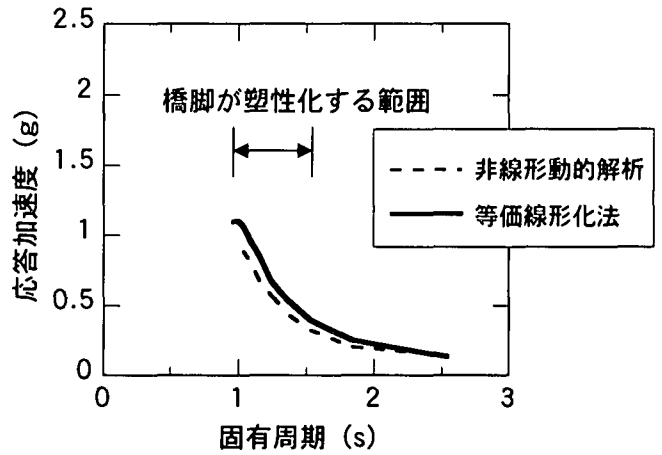
図-4 荷重低減係数の推定精度

減係数 R_E を用いて求めた桁の加速度は非線形動的解析結果に対して、橋脚系じん性率 μ_p を用いた場合には 50% 程度、全体系じん性率 μ_s を用いた場合には 80% 程度となっており、式(2)においては橋脚系じん性率 μ_p を用いるよりも全体系じん性率 μ_s を用いた方が推定精度のよいことがわかる。同様に、JR 鷹取駅記録を入力した場合には、式(2)の R_E を用いて求めた桁の加速度は非線形動的解析結果に対して、橋脚系じん性率 μ_p を用いた場合には 50% 程度、全体系じん性率 μ_s を用いた場合には 70%~125% 程度となっており、この場合にも式(2)においては橋脚系じん性率 μ_p を用いるよりも全体系じん性率 μ_s を用いた方が推定精度のよいことがわかる。

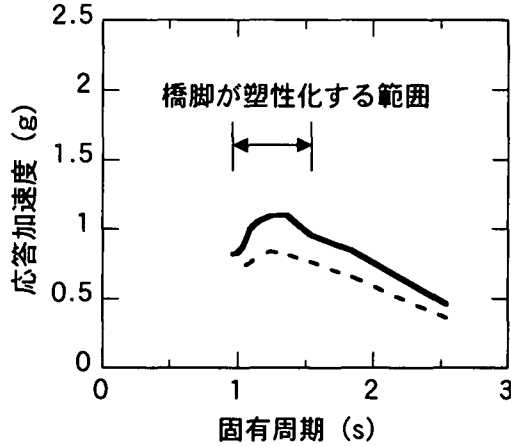
以上の解析において、式(2)によって求められる荷重低減係数 R_E を式(1)により非線形動的解析によって求められる荷重低減係数 R と直接比較した結果が図-4 である。これによれば、橋脚系じん性率 μ_p を用いて荷重低減係数 R_E を求めると、式(1)による荷重低減係数 R を 50% 程度過大評価するが、全体系じん性率 μ_s を用いれば、 R_E は R とよく一致することがわかる。なお、図-4 において、橋脚系じん性率 μ_p を用いても $R_E \equiv R$ となる場合もあるが、これは上述したように免震支承のみが塑性化し、橋脚が塑性化しなかった場合である。

4. 等価線形化法による解析の提案

これまで述べたように、全体系じん性率 μ_s を用いた場合には、橋脚系じん性率 μ_p を用いた場合に比べて推定精度は改善されるが、その推定精度には限界がある。これは、免震橋の場合、免震支承と橋脚の 2 ヶ所で塑性化するためである。そこで本研究では、免震支承および橋脚の等価剛性、等価減衰定数を考慮した等価線形化法を用いることを提案する。等価線形化法では、免震支承や橋脚に生じる最大応答変位を予測して、これに相当する等価剛性や等価減衰定数を繰り返し計算によって求めていく必要があるが、パソコンが進化した現在、設計基準に繰り返し計算が入っても昔のような問題とはならないと考えられる。ここでは、手法の精度の検討に重点があるため、繰り返し計算を行わずに非線形動的解析より求められた免震支承および橋脚の最大応答の 70% に相当する履歴から、等価剛性と等価減衰定数を算出した。これらを用いて等価線形化法により求めた桁の応答加速度を非線形動的解析結果と比較して示すとを図-5 のようになる。これより、等価線形化法は、非線形動的解析結果に比較的近い値を与えることがわかる。



(1)神戸海洋気象台記録を入力した場合



(2)JR鷹取駅記録を入力した場合

図-5 等価線形化法の推定精度

5. 結論

本解析より得られた結論は以下に示す通りである。

- 1) 橋脚系じん性率 μ_p を用いて荷重低減係数 R_E を式(2)により求めると、橋脚と免震支承の両者ともに塑性化する範囲では地震力を過小評価する。一方、全体系じん性率 μ_s を用いれば、橋脚系じん性率 μ_p を用いた場合に比べて、荷重低減係数の推定精度を高めることができる。
- 2) 等価線形化法を用いれば、上記 1) よりもさらに非線形動的解析結果に近い桁の応答加速度を推定することができる。

参考文献

- 1) 板橋、川島、庄司：橋脚系塑性率と全体系塑性率の違いが設計地震力の算定に及ぼす影響、土木学会論文集、No.619/I-47, pp.131-144, 1999.4