

支承と橋脚に非線形の履歴特性を有する 構造系の地震応答特性

（株）荒谷建設コンサルタント 正会員○高橋 光紀
建設省土木研究所 正会員 運上 茂樹

1. はじめに

橋脚が大地震を受けた場合には、橋脚躯体のみならず支承や基礎など複数の箇所では非線形挙動をするので、橋全体系の耐震性を考えた場合には、このような非線形挙動を適切に評価することが重要である。橋脚や支承等複数箇所では非線形の履歴特性を有する構造系の大地震時の破壊に対する安全性を照査するには、各部位の非線形域の応答量を推定することが必要となる。このような非線形応答は、各部位の非線形履歴復元力特性を有する解析モデルに置換し、動的解析を行うことにより求めることができる。

本文は、このような観点から簡単な2質点系モデルにおいて、支承と橋脚に非線形履歴特性を考慮した場合に、両者の非線形性の度合いが支承や橋脚の履歴特性に応じてどのように変化するかを動的解析により定量的に検討した結果をとりまとめたものである。

2. 動的解析の対象とした橋脚と解析モデル

解析対象としたのは、『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)』¹⁾の設計計算例として示されている橋脚(図-1)の橋軸方向である。本橋の上部構造は、有効幅員19.25m(4車線)、支間長40mの10径間連続鋼Iげた橋で、支承は免震支承(高減衰積層ゴム支承)を採用しており、橋脚は高さ13.5mの張出し式鉄筋コンクリート橋脚である。地盤種別はⅡ種地盤で、基礎は場所打ち杭を用いた杭基礎である。

動的解析では、橋脚を図-2のように2質点系にモデル化した。基礎は杭基礎であるが、支承と橋脚の非線形応答特性を検討するため、解析では基礎を固定とした。橋脚と支承の非線形の履歴特性は、それぞれバイリニア型とした。粘性減衰定数としては、橋脚を5%、支承を0%とした。

入力地震動としては、既往の強震記録を「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」²⁾に規定される加速度応答スペクトルに近い特性を有するように振動数領域で振幅調整した加速度波形を用いた。

動的解析のケースとしては、表-1に示した橋脚と支承の条件を基本ケースとし、支承の1次勾配(K_{B1})を1/5倍~10倍、2次勾配(K_{B2})を0~5倍、降伏荷重(Q_y)を1/4~4倍にそれぞれ変化させた。なお、本来は支承の特性を変化させると橋脚の断面や基礎の設計が異なってくるが、ここでは支承の非線形特性に応じてどのように変化するかを検討するため、橋脚の非線形特性は一定とした。

3. 解析結果

図-3は、横軸に基本ケースに対する支承の履歴特性を変化させた場合の比を、縦軸に動的解析結果から得られた橋脚の最大変位量(U_p)と支承の最大相対変位(U_B)を示したものである。これを見ると、 K_{B1} を大きくすると橋脚の変位、支

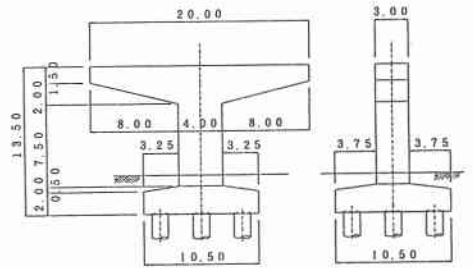


図-1 解析対象橋脚

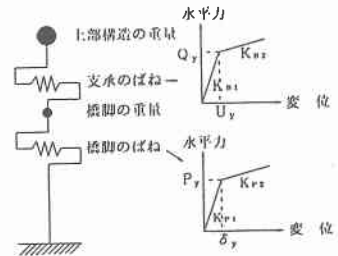


図-2 解析モデル

表-1 支承・橋脚の非線形特性

部 材	バイリニアモデル	
支 承	1次勾配 K_{B1} (tf/m)	7.41×10^3
	2次勾配 K_{B2} (tf/m)	1.43×10^3
	降伏荷重 Q_y (tf)	180
	降伏変位 U_y (m)	2.43×10^{-2}
橋 脚	1次勾配 K_{P1} (tf/m)	1.91×10^4
	2次勾配 K_{P2} (tf/m)	3.88×10^2
	降伏変位 δ_y (m)	2.59×10^{-2}

承の相対変位とも小さくなる傾向がある。これは、 K_{B1} を大きくすると支承の剛性が大きくなるとともに履歴吸収が大きくなったためと考えられる。また、 K_{B1} を2倍より大きくしても橋脚の最大変位は余り変化せずほぼ一定となっている。これは入力エネルギーを支承によってほぼ吸収し、橋脚のエネルギー分担が変化しないためと考えられる。 K_{B2} を大きくすると橋脚の変位は大きくなり支承の相対変位は小さくなる傾向がある。これは、 K_{B2} を大きくすると支承の剛性は大きくなるが、履歴吸収が小さくなるため、橋脚の変位が増大したと考えられる。また、 K_{B2} を1/2倍より小さくしても橋脚の変位は余り変化せずほぼ一定となっているが、これも K_{B1} を2倍より大きくした場合と同様の理由による。 Q_y を大きくすると支承の相対変位は小さくなるが橋脚の変位は基本ケースが最も小さくなる。これは、 Q_y を大きくすると支承の剛性は大きくなるが、 Q_y を小さくしても大きくしても基本ケースに比べ支承の履歴吸収が小さくなるためと考えられる。

図-4は、横軸に支承と橋脚の等価剛性の比(K_{Beq}/K_{Peq})を、縦軸に動的解析により得られた橋脚の最大変位と支承の最大相対変位の比(U_P/U_B)を示したものである。ここで、 K_{Beq} と K_{Peq} は下式により求めた。

$$K_{Beq} = Q_{BE} / U_{BE}$$

$$K_{Peq} = P_{max} / \delta_{max}$$

ここに、 U_{BE} ：支承の有効設計変位(=0.7・ U_B)

U_B ：解析より得られた支承の最大相対変位

Q_{BE} ： U_{BE} のときの水平力

δ_{max} ：解析より得られた橋脚の最大変位

P_{max} ： δ_{max} のときの水平力

これによれば、 K_{Beq}/K_{Peq} と U_P/U_B はほぼ一致し、また、どの履歴特性を変化させても結果に与える影響は少ないことが分かる。

4. まとめ

支承と橋脚に非線形履歴特性を考慮した場合に、簡単な2質点系モデルを用い、支承の履歴特性の変化が橋脚の応答に及ぼす影響について検討した。本検討結果によれば、支承の履歴特性の変化により橋脚の最大変位は、 K_{B1} を小さくした場合、 K_{B2} を大きくした場合及び Q_y を変化させると大きくなり、支承の最大相対変位は、いずれを大きくしても小さくなる。これは、いずれの場合も支承の剛性は大きくなるが履歴吸収が小さくなることによる。また、支承と橋脚に非線形の履歴特性を有する構造系において、等価剛性の比(K_{Beq}/K_{Peq})を用いれば、支承と橋脚の最大変位の比(U_P/U_B)が求められることが分かった。

参考文献

- (社)日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)、平成7年6月
- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、平成8年12月

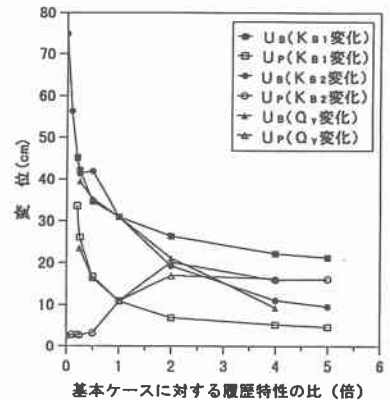


図-3 支承の履歴特性を変化させた場合の橋脚と支承の最大応答変位

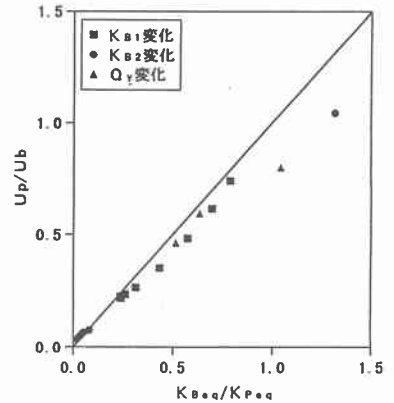


図-4 $K_{Beq}/K_{Peq} \sim U_P/U_B$ の関係