

免震支承－橋脚系の地震時挙動の特性

越峠雅博¹・運上茂樹²・足立幸郎³

¹正会員 建設省土木研究所 耐震研究室交流研究員（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

²正会員 工博 建設省土木研究所 耐震研究室室長（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

³正会員 工修 建設省土木研究所 耐震研究室主任研究員（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

1. まえがき

免震支承を有する橋では、地震時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ことから、現行の基準では地震時保有水平耐力法による耐震設計を行った後、動的解析を行い部材の断面力や塑性率の照査を行うこととされている。このような複数個所で非線形性が生じる構造系の地震応答は、橋脚や支承の剛性や降伏耐力が、動的応答に大きく影響する¹⁾²⁾³⁾。

本論では、動的応答に影響を与えと考えられる橋脚および支承の特性をパラメータにとり、各パラメータが橋脚の応答塑性率や橋脚と支承のエネルギー吸収比に与える影響を、橋脚と支承を2質点系の非線形モデルに置換し、動的解析により検討した結果を報告するものである。

2. 解析モデルおよび解析条件

図-1に解析に用いたモデルを示す。モデルは支承と橋脚の動的応答を検討するために基礎を固定とし、桁と橋脚を単純な2質点に置換した。桁の重量 W_u としては一般的な高架橋を対象として817.22tfを、橋脚天端に配置する重量 W_p としては桁重量の1/5の163.44tfを与えた。

図-2に示すように、免震支承の復元力特性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、鉛プラグ入り積層ゴム支承を想定して1/6.5で一定とした。橋脚の復元力特性としては剛性低下型（武藤型）トリリニアモデルを用いたが、解析を単純化するためにひび割れは無視してバイリニア型とし、2次剛性 K_{p2} は0とした。粘性減衰としては、免震支承に0%を、橋脚に2%を与えた。

入力地震動としては、道路橋示方書V編6.3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

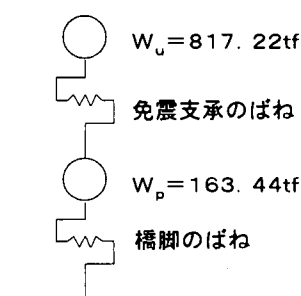


図-1 解析モデル

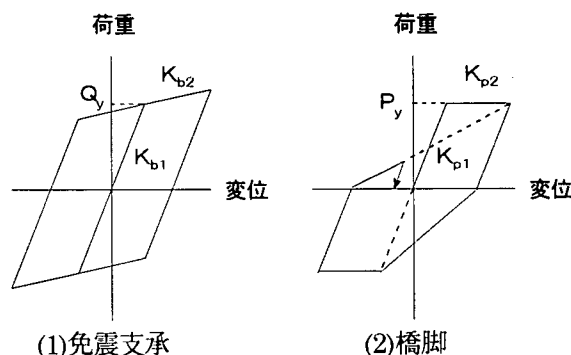
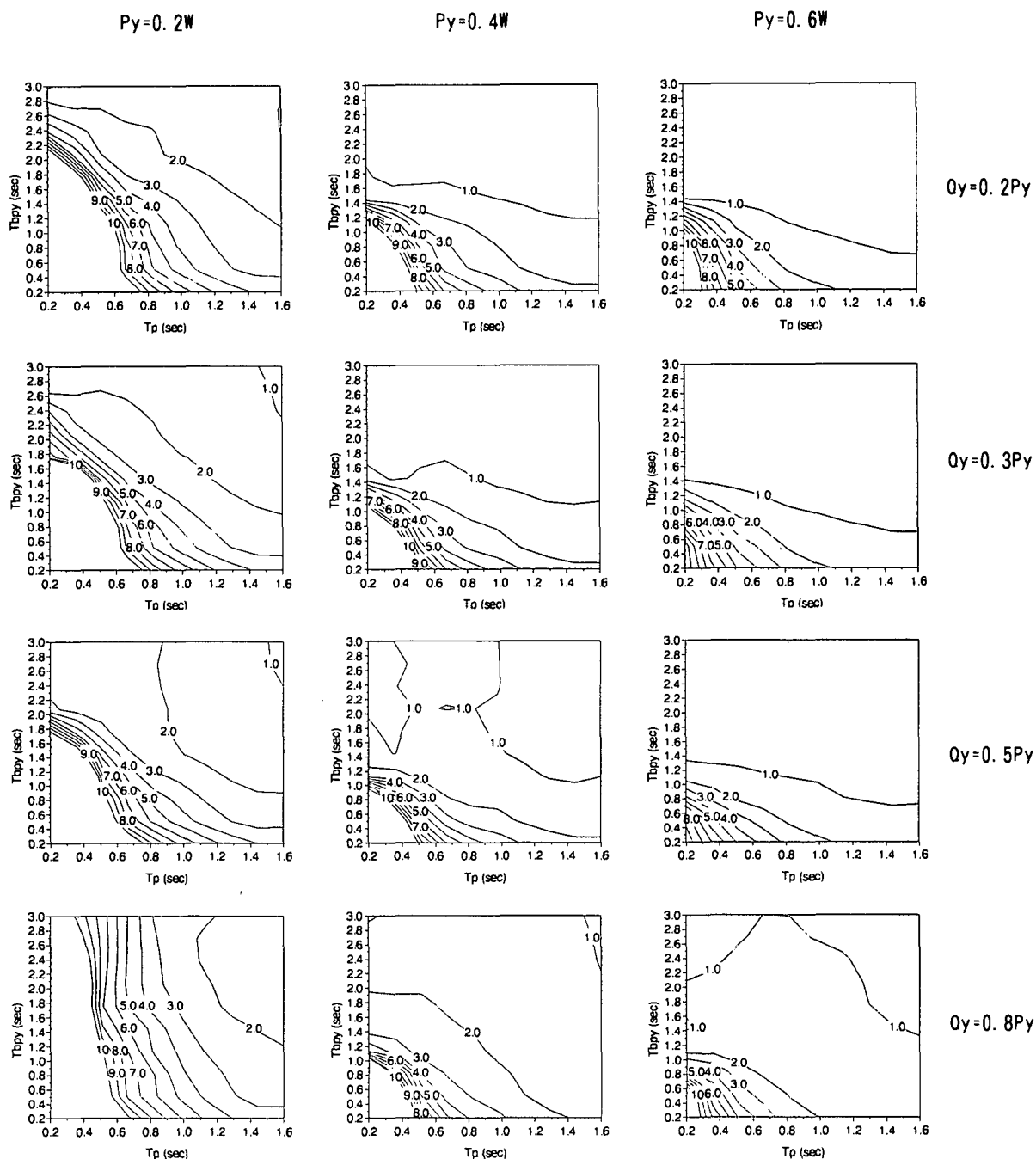


図-2 免震支承および橋脚の復元力モデル

るように、既往の強震記録を振動数領域で振幅調整した標準加速度波形として、タイプIで9波形（地盤種別I、II、III種ごとに各3波形）、タイプIIで同様に9波形を用い、各3波形の平均値を解析結果とした。

応答計算における積分方法はニューマークの β 法を用い $\beta = 1/4$ とした。

動的応答に影響を与えと考えられる橋脚のパラメータとして、橋脚の降伏剛性 K_{p1} から求められる固有周期 T_p を用いた。支承のパラメータとしては、支承の水平荷重が橋脚の降伏耐力に達するときの支承の等価剛性 K_{bpy} から求められる固有周期を用いた。



図－3 橋脚の降伏耐力および降伏剛性を用いた固有周期、支承の降伏耐力および等価剛性を用いた固有周期と橋脚の応答塑性率の関係（タイプⅡ地震動 I 種地盤）

パラメータは、まず橋脚の降伏耐力を桁と橋脚の合計重量 W で基準化して $0.2W$ 、 $0.4W$ 、 $0.6W$ とし、支承の降伏耐力は橋脚の降伏耐力で基準化して $0.2Py$ 、 $0.3Py$ 、 $0.5Py$ 、 $0.8Py$ とした。その各降伏耐力のもとで、橋脚の降伏剛性を用いた固有周期を 0.2 から 1.6 秒まで、支承の等価剛性を用いた固有周期を 0.2 から 3.0 秒まで変化させて解析を実施した。

3. 解析結果

(1) 橋脚の応答塑性率に及ぼす各パラメータの影響

図－3は、入力地震動としてタイプⅡ地震動のI種地盤を用い、動的解析により得られた橋脚の応答塑性率を等高線図にまとめたものである。1、2、3列が、橋脚の降伏耐力 $0.2W$ 、 $0.4W$ 、 $0.6W$ に対応しており、1、2、3、4行が、支承の降伏耐力 $0.2Py$ 、 $0.3Py$ 、 $0.5Py$ 、 $0.8Py$ の組み合わせに対応している。

また各図の横軸が橋脚の降伏剛性を用いた固有周期を、縦軸が支承の等価剛性を用いた固有周期を示して

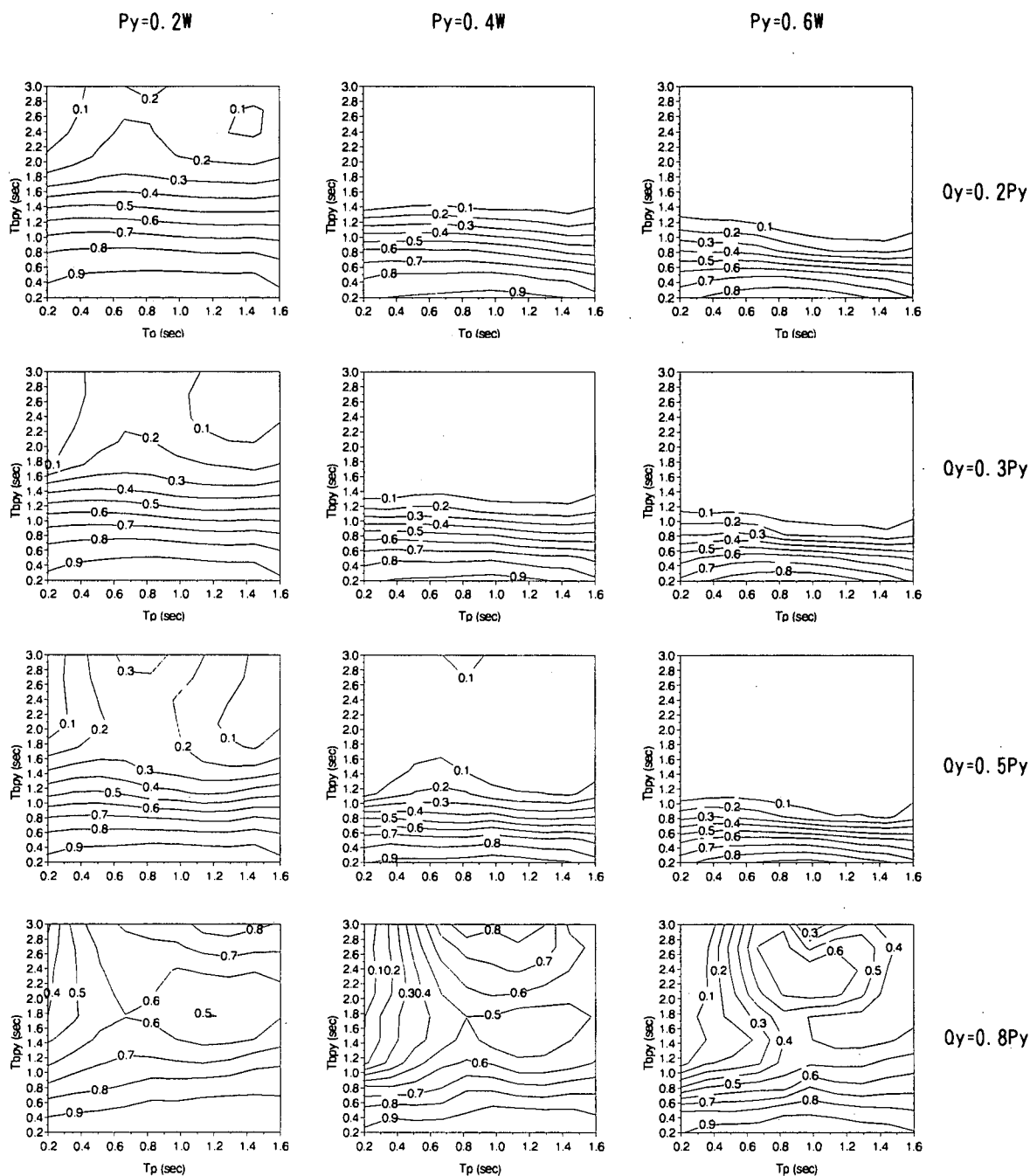


図-4 橋脚の降伏耐力および降伏剛性を用いた固有周期、支承の降伏耐力および等価剛性を用いた固有周期と橋脚の累積吸収エネルギー比の関係（タイプII地震動 I種地盤）

いる。これによれば、応答塑性率のパターンは橋脚の降伏耐力によって決定され、支承の降伏耐力が応答塑性率のパターンに与える影響は少ない。

また、いずれの図においても、図の左下側すなわち橋脚の降伏剛性を用いた固有周期や、支承の等価剛性を用いた固有周期が短周期側へ向かうにしたがい、塑性率を示す等高線の幅が狭くなっていく。このことから、支承と橋脚の固有周期を短周期側にすると、応答塑性率の値が急激に上昇する場合があるので、設計においては橋脚や支承の固有周期の設定に注意を必要とする。

橋脚の降伏耐力が橋脚の応答塑性率に及ぼす影響をみると、橋脚の降伏耐力 0.2 W、支承の降伏耐力 0.5 P y の図において、橋脚の降伏剛性を用いた固有周期 0.5 秒に着目し、橋脚の応答塑性率を 3 程度に抑えようとする、支承の等価剛性を用いた固有周期を 2.0 秒まで長周期化することが必要となる。これを右列の橋脚の降伏耐力 0.4 W あるいは 0.6 W の図で比較すると、1.0 秒あるいは 0.7 秒程度で、応答塑性率を 3 に抑えることが可能となる。このように、橋脚の降伏耐力が 0.4 W 以上あると、橋脚の塑性率を 3 以下に抑える設計が容易となり、この結果は、タイプ I 地震動の I 種地盤

においても同様であった。

一方、支承の降伏耐力が橋脚の応答塑性率に及ぼす影響を、降伏耐力が 0.2W の列の 4 つの図に着目してみると、0.2 P_y、0.8 P_yのほうが、0.3 P_y、0.5 P_yに比較して応答塑性率が大きくなっており、この傾向は、降伏耐力が 0.4 W、0.6 Wにおいても同じように見られる。このことから、橋脚の応答塑性率を最小にする支承の降伏耐力があるものと考えられる。

(2) 橋脚の累積吸収エネルギー比に及ぼす各パラメータの影響

図-4 は、動的解析により得られた橋脚の累積吸収エネルギー比を等高線図にまとめたものである。ここで、橋脚の累積吸収エネルギー比とは、橋脚の累積吸収エネルギー W_p を橋脚の累積吸収エネルギーと支承の累積吸収エネルギー W_b の和で除したもので、 $W_p / (W_p + W_b)$ で表されるものである。

図の累積吸収エネルギー比のパターンより、橋脚の降伏耐力が 0.2 W の場合には、累積吸収エネルギー比が大きく、橋脚へのエネルギー配分が高い。また、支承の降伏耐力が 0.8 P_y の場合にも、累積吸収エネルギー比が大きく、橋脚へのエネルギー配分が同様に高いことがわかる。

一方、橋脚の降伏耐力が 0.4 W、0.6 W で、かつ支承の降伏耐力が 0.2 P_y、0.3 P_y、0.5 P_y の場合には、累積吸収エネルギー比は、橋脚の降伏剛性を用いた固有周期にはほとんど依存せず、支承の等価剛性を用いた固有周期によって値が変化し、周期が長くなるほど橋脚へのエネルギー配分が少なくなる。

支承の降伏耐力が累積吸収エネルギー比に対して及ぼす影響を、降伏耐力が 0.6 W の列の 4 つの図に着目してみると、0.2 P_y、0.8 P_yのほうが、0.3 P_y、0.5 P_yに比較して橋脚へのエネルギー配分が大きくなっており、橋脚へのエネルギー配分を最小とするような支承の降伏耐力が存在するものと考えられる¹⁾。

(3) II 種地盤および III 種地盤における動的解析結果

II 種地盤および III 種地盤においても、応答塑性率のパターンは橋脚の降伏耐力によってほぼ決定し、支承の降伏耐力の影響は少ない。II 種および III 種地盤を対象とした動的解析より得られた橋脚の応答塑性率のなかで、橋脚の降伏耐力が 0.4 W、支承の降伏耐力が 0.5 P_y の条件を抽出して図-5 に示す。図より明らかに、II 種あるいは III 種地盤のほうが、橋脚の応答塑性率は大きくなる傾向にある。

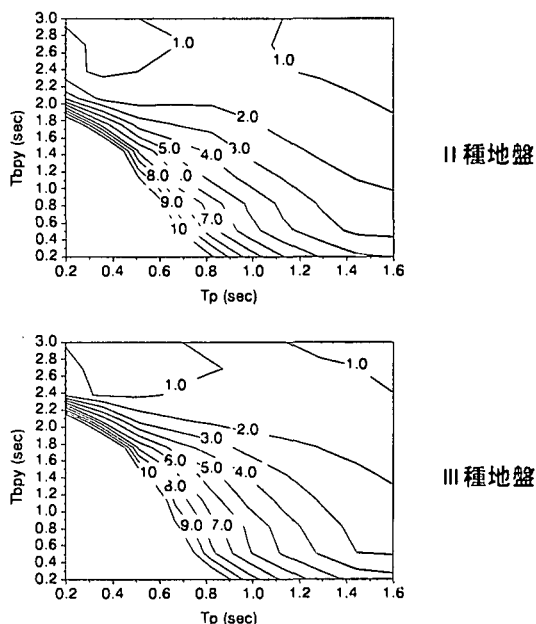


図-5 II 種および III 種地盤の応答塑性率
(P_y = 0.4W、Q_y = 0.5 P_y)

4. 結論

本検討結果をまとめると、以下ようになる。

- ① 橋脚の応答塑性率については、橋脚の降伏剛性を用いた固有周期や支承の等価剛性を用いた固有周期を短周期側にすると、値が急激に上昇する場合があるので、設計においては固有周期の設定に注意を必要とする。また、橋脚の降伏耐力が 0.4 W 以上ある場合には、橋脚の応答塑性率を 3 以下に抑える設計が容易となる。
- ② 累積吸収エネルギー比については、橋脚の降伏耐力が 0.2 W、あるいは支承の降伏耐力が 0.8 P_y の場合には、橋脚へのエネルギー配分が高くなる。
- ③ II 種地盤および III 種地盤においては、I 種地盤より応答塑性率が大きくなる傾向にある。

参考文献

- 1) 庄司、川島、飯山：橋梁の免震設計に用いる支承の降伏強度および等価固有周期の設定、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集、1997
- 2) 運上、高橋：支承と橋脚に塑性化が生じる場合の橋の地震応答特性、土木研究所資料第 3504 号、1997
- 3) 足立、運上：基礎-橋脚系のシステム挙動評価、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集、1997
- 4) 建設省：道路橋の免震設計法マニュアル(案)