

鋼製ダンパーを用いた鋼製橋脚橋の地震応答解析

東京都立大学大学院工学研究科 学 藤田 佳洋
 東京都立大学大学院工学研究科 学 佐藤 尚友
 東京都立大学大学院工学研究科 正 長嶋 文雄

1. はじめに

鋼製ダンパーを橋脚基部に設置して(図-1)耐震安全性の向上を図る、制震設計の可能性については文献 1)で既に示した。ただし、入力地震波をⅡ種地盤に限定するなど、解析ケースが限られていた。本報告は、橋脚高さを3種類(H=10, 20, 30 m)に変化させ、入力地震動をL2-Type1,2の2種類、またⅠ・Ⅱ・Ⅲ種地盤について各3波、計18波用いて解析を行い、特に入力地震動の持つ周波数特性による制震、免震構造への影響について詳しく検討したものである。

2. フレームモデルによる非線形時刻歴応答解析

2.1 解析モデル 橋脚モデルは、5径間連続鋼製橋脚橋のうちの1つを取り出し、橋脚高さ10, 20, 30mの1本柱モデル(図-2)とした。橋脚のM-φ関係は、バイリニアでモデル化した。固有振動数が僅かに高くなる鋼製ダンパーと固有振動数が低くなる免震との相補的な効果を期待して、両者を用いた場合についても応答解析を行うことにした。支承モデルは、免震支承(LRB)では等価剛性(イタレーションによる精度保持)と等価減衰定数を持つ線形ばねでモデル化し、免震をしない場合(非免震)は、ばね剛性を十分大きくすることでモデル化した。

2.2 鋼製ダンパー 鋼製ダンパーの設置箇所は、せん断変形の抽出が比較的容易であると思われる橋脚基部、充填コンクリートの上部とする。再来周期300年超レベルの巨大地震を対象にしておき、ダンパーの取換えは考えていない。ダンパー全体の大きさは、幅2.0m×高さ3.0m(パネル型)とし、幅厚比を80に設定した。ダンパーは「ばね要素」としてモデル化し、その履歴特性にはRamberg-Osgood型を用いた(図-3)。以上のモデルに対して動的応答解析を行い、鋼製ダンパー及び免震支承による耐震安全性を検討した。3種類の橋脚高さ(H=10, 20, 30m)と入力地震波計18波に対して非免震・免震とダンパーの有無の組み合わせ4ケース、計216ケースについて解析を行った。

3. 解析結果

3.1 固有周期 非線形時刻歴応答解析に先立って固有値解析より各ケースの固有周期の変化を求めた。図-4に各ケースの固有周期を示すが、ダンパーを設置することで幾分固有周期が短くなることがわかる。

3.2 橋脚基部の損傷度 耐震安全性の評価は指標として耐震安全性評価値 $\alpha = \phi_{max} / \phi_u$ を用いて表し、 α が1を超える場合に橋脚基部は極限状態に達したものと判断する。ここで ϕ_{max} は最大応答曲率、 ϕ_u は圧縮側が降伏した後に引張側端部が降伏する時の限界曲率である。図-5に計算結果を示すが、 α は同種の3地震波による結果を平均して表わした。ダンパーを基部に設置することで、橋脚基部の曲率で約10~40%の減少がみられた。橋脚高さが高くなるにつれてダンパーの効きが悪くなるのは、同一寸法のダンパーを設置したために、橋脚の変形が効率よくダンパーの変形として利用されていないためと考えられる。H=10mの時は、全ての入力地震波タイプ・地盤種に対してダンパーは制震効果を発揮し、耐震安全評価値 α はほぼ1以下に収まった。ダンパーの制震効果は地盤状態が悪くなるほど発揮される傾向があることが分かった。プレート境界型地震に対して免震効果はあまり期待できないと思われたが、Ⅰ・Ⅱ種地盤の入力地震動では、H=30mの場合を除き、橋脚基部の状態が弾性域に留まった。内陸直下型地震に対して免震効果は大きく、Ⅲ種地盤に対しても、かなりの効果を発揮した。鋼製ダンパーと免震を組み合わせた場合には、相補的な効果が見られる。

キーワード：制震、免震、鋼製ダンパー、非線形時刻歴応答解析

連絡先：〒192-039 東京都八王子市南大沢1-1 東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL:0426-77-1111 内(4531) FAX:0426-77-2772

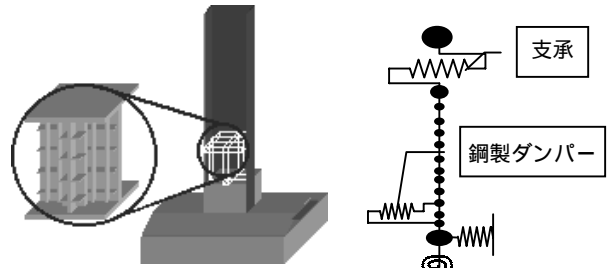


図-1 ダンパー設置位置

図-2 1本柱モデル

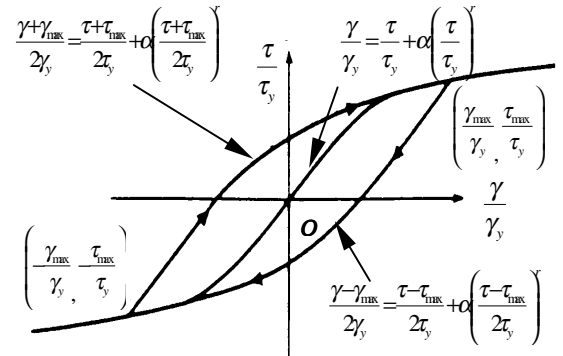


図-3 ダンパーの履歴特性

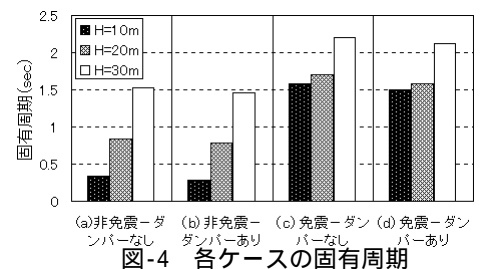


図-4 各ケースの固有周期

3.3 免震装置の最大応答相対変位

橋梁を免震化すると上部工の変位が増加するため、LRB-上部工間の変位量から橋梁の耐震性について判断する必要がある。LRB に生じた最大応答相対変位を図-6 に示す。LRB の水平変位の照査条件でみると、内陸直下型 II 種、III 種地盤の地震動で LRB の変位は照査条件を超える結果となり、LRB にかんがりの負担が強えられることになった。

3.4 履歴ループ 図-7 に各地震動における履歴ループを示す（橋脚高さ 20 m の場合）。これをもとに全ての地震動に対する履歴型ダンパーのエネルギー吸収量を計算した結果、軟弱

地盤ほどエネルギー吸収量が大きくなった。これは橋脚の揺れに応じてダンパーの履歴ループが大きくなったためである。ダンパーの減衰効果が軟弱地盤ほど発揮されたのは履歴ループの面積の増加、すなわち応答変位の増加にあることがわかった。

3.5 加速度応答スペクトルによる考察 加速度応答スペクトルを用いて、ダンパーによる減衰特性について検討した（図-8 参照）。ほぼ全ての地震動で高減衰化によって応答値は下がるが、内陸直下型-I 種地盤の地震動に対してはダンパーの設置による周期変化を受けて応答値が上昇し、減衰効果が小さくなるのがわかる。また、免震化とダンパーによる減衰で全ての地震動で応答値が下がることがわかる。プレート境界型 I・II 種地盤の地震動に対して橋梁の免震化が有効であることを加速度応答スペクトルより確かめることができる。すなわち、プレート境界型の地震に対して橋梁を長周期化しても橋脚の応答値を減少させることはできないが、応答値そのものが小さいことから、免震支承内の減衰機構で応答値の減少を図ることができたものと考えられる。しかし、III 種地盤の場合、地震動の応答値が非常に高いこと、周期によっては応答値が増加する場合もあるため、免震支承内の減衰機構では応答値を下げることはできない。橋梁の長周期化は内陸直下型の地震に対して非常に有効であるが、II・III 種地盤では、長周期化しても加速度応答スペクトルで 1000gal 以上とかなり高い値を示した。それが上部工の変位の増加につながり、LRB の水平変位照査を満足できなかったものと思われる。

4. まとめ

総ケース数 216 ケースの応答解析を行い、鋼製ダンパー、免震支承およびそれらを組み合わせたときの効果や相補的な効果について詳しく検討し、高度な耐震性を有する高架橋の耐震設計法に関する資料を得た。

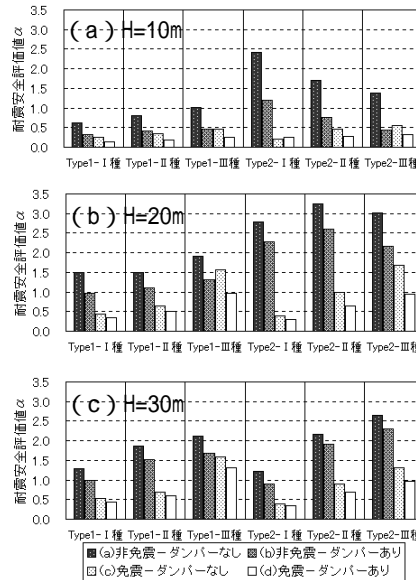


図-5 耐震安全評価値

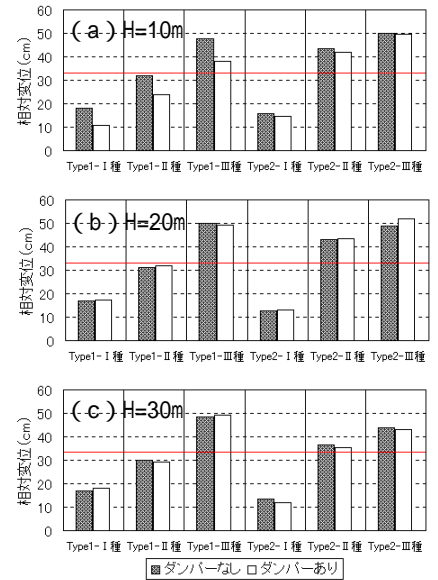


図-6 免震支承に生じた相対変位

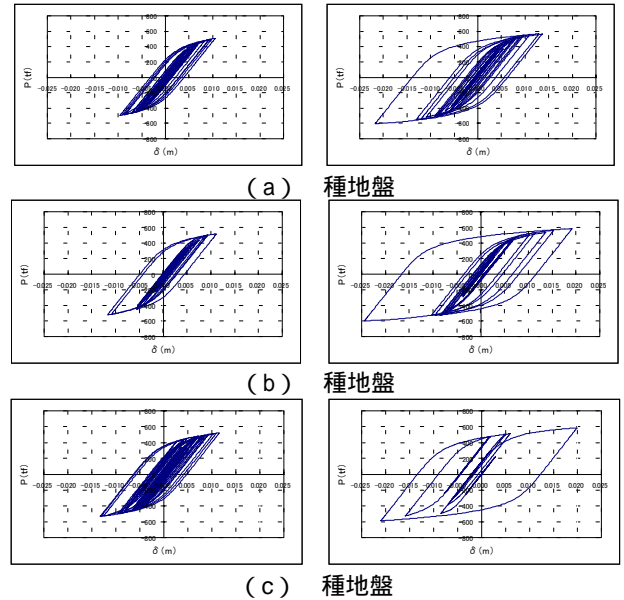


図-7 ダンパーの履歴ループ(H=20m)

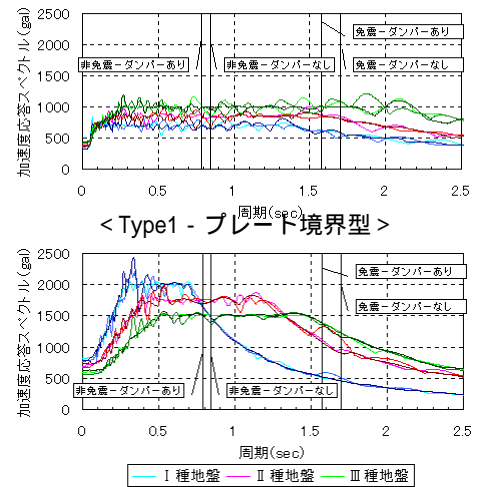


図-8 加速度応答スペクトル

[参考文献] 1) 佐藤・東・長嶋：履歴型ダンパーを用いた鋼製橋脚橋の制震問題に関する検討、土木学会年次講概集，I-A231，平成 14 年 9 月。