摩擦型ダンパーを用いた免震橋脚の解析的検討

(株)大林組　　正会員　○熊崎　達郎
(株)大林組　　正会員　　武田　篤史

１．はじめに

兵庫県南部地震以降多用される免震構造であるが，東北地方太平洋沖地震や熊本地震においてはゴム支承の破断などが報告されており，課題となっている．そこで，積層ゴム支承によらずに免震化を図り，危機耐性の向上を指向した免震橋脚を提案する．本稿では，免震橋脚におけるダンパー減衰力容量ついて考察する．

２．提案する免震橋脚

本研究で提案する橋梁の概要を**図-1** に示す．橋脚を細い複数の柱に分割し，柱の間に摩擦型ダンパーを設置した構造である．柱を細くすることにより長周期化し，免震構造とする．一方で，風荷重やレベル 1 地震動などに対し，過大な変位を抑制するとともに，大地震時において減衰効果を発揮する目的で摩擦型ダンパー[1)]を用いる．免震構造とすることにより地震時の慣性力を低減できるため，レベル 2 地震動に対し，RC 柱の軸方向鉄筋が降伏しないことを前提とした設計を行うことが可能である．つまり，支承を用いない免震構造である．さらに，ラーメン橋梁・ラーメン橋脚とすることで，不静定次数を高くし，構造冗長性の向上を図った．

同様の構造がすでに提案・実用化 [2)3)]されているが，本構造は，地震後にも交換不要の摩擦型ダンパーとしていることや，エネルギー吸収効率を考慮して柱中央にダンパーを集中設置している点に特徴を有する．

３．検討概要

本研究では，前章で述べた提案構造に対し，柱間距離，橋脚の固有周期などをパラメータとして，ダンパー減衰力容量の決定方法について考察する．

解析においては，検討結果の一般性を高めるため，以下のような無次元化パラメータを用いた．F_{damper}/W : ダンパー減衰力容量 F_{damper} と上部構造重量 W の比，b/h : 柱間距離 b と橋脚高さ h の比，a/g : 上部構造位置の応答加速度 a と重力加速度 g の比，M/Wh : 柱の最大曲げモーメント M を上部構造重量 W と橋脚高さ h で除した値．

解析モデルは，橋軸方向を対象として，**図-2** に示すフレーム解析とした．RC 柱とブレース部は塑性化しないことを前提とし，線形梁要素とした．RC 柱の断面定数は，ダンパーを設置しない状態で目標固有周期 T となるように設定した．ブレースの断面定数は，十分な剛性となるように設定した．摩擦型ダンパーは鉛直方向に対する非線形バネ要素とし，摺動開始変位が 5mm となる完全弾塑性型バイリニアモデルを用いた．

作用は，道路橋示方書に示されるレベル 2 地震動，タイプ I，I 種地盤の 3 波を使用して時刻歴解析とした．減衰は剛性比例型とし，ダンパーを設置しない状態の固有周期 T に対する減衰定数を，RC 部材は h=5%，剛体部はおよびダンパーは h=0%とした．

解析パラメータは，b/h を 1/14，2/14，3/14 の 3 通り，ダンパーを設置しない場合における橋脚の固有周期 T を 2.0(s)，3.0 (s)，4.0 (s)の 3 通りとした．各構造に対して，F_{damper}/W を 10 ケース程度計算して，ダンパー減衰力容量の決定方法について考察した．

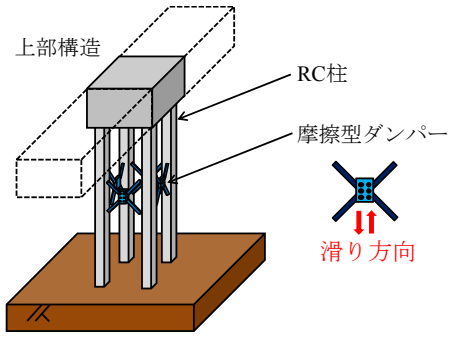

図-1　摩擦型ダンパーを用いた免震橋脚

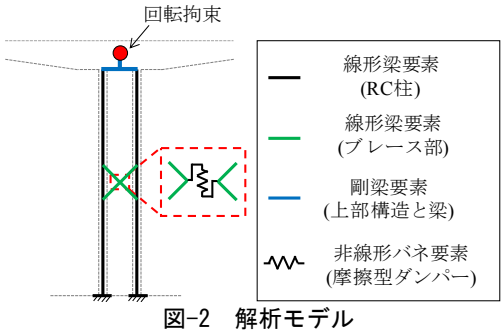

図-2　解析モデル

キーワード　免震橋脚，危機耐性，ダンパー
連絡先　　〒204-8558　東京都清瀬市下清戸 4-640　（株）大林組　技術研究所　ＴＥＬ042-495-1111

4．解析結果

図-3 に，T=3.00(sec)，b/h =2/14 のケースに関して，F_{damper}/W を変動させた際の，a/g の最大値および M/Wh の最大値を入力地震波ごとに示す．a/g はある F_{damper}/W で極値となっている．極値以下では減衰効果により応答加速度を低減できるが，極値以上では等価固有周期（最大変位時割線剛性による固有周期）が小さくなり免震効果がなくなることで，応答加速度が大きくなることを示している．M/Wh もほぼ同様の点で極値となっているが，これは，曲げモーメントが外力(a/g)と連動するためである．

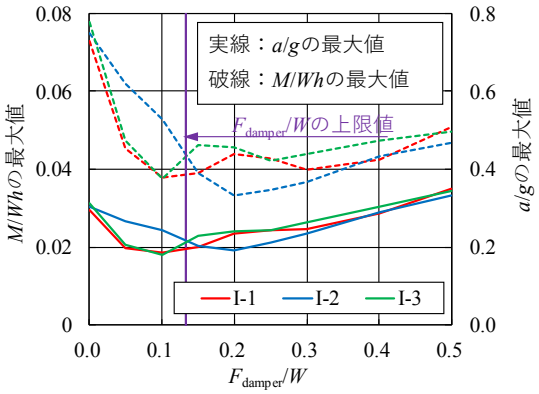

図-3　M/Wh，a/g と F_{damper}/W の関係

一方，図-4 に同ケースに関して F_{damper}/W を変動させた際の最大応答変位を a/g の最大値とともに示すが，最大応答変位も極値を有することがわかる．一般に制震構造はダンパー減衰力容量を大きくすることで変位が低減するが，本構造では応答加速度の増加によりダンパーよりむしろ RC 柱の変形が大きくなるため，単調増加とならない．極値における F_{damper}/W は a/g に関する極値より若干大きくなるが，これは，減衰効果によるものである．

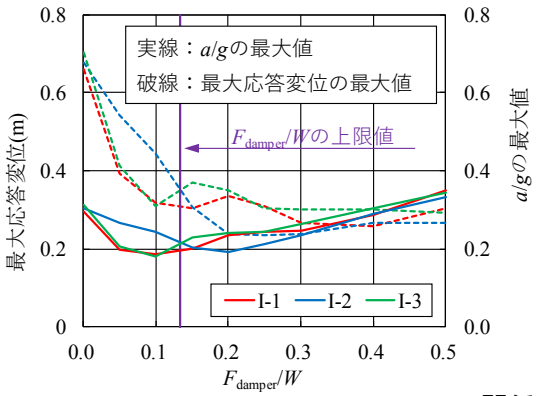

図-4　最大応答変位，a/g と F_{damper}/W の関係

これらより，本構造においては，ある程度以上ダンパーを大きくしても，ダンパーのコストが増大するにもかかわらず，構造性能は低下することがわかる．つまり，用いるべきダンパー減衰力容量に関する上限値の存在が示唆される．そこで，本研究においては a/g の最大値に対して極値をとる F_{damper}/W の 3 波平均を F_{damper}/W の上限値と定義した．ここで，応答最大変位に関する極値としなかったのは，免震橋梁という本構造のコンセプトに対して，加速度の低減がより合致しているためである．なお，ここで示す上限値は，必ずしも最適解ではない．最適値は，実際に設計を行ったうえで，コストなども考慮して定めるのがよい．

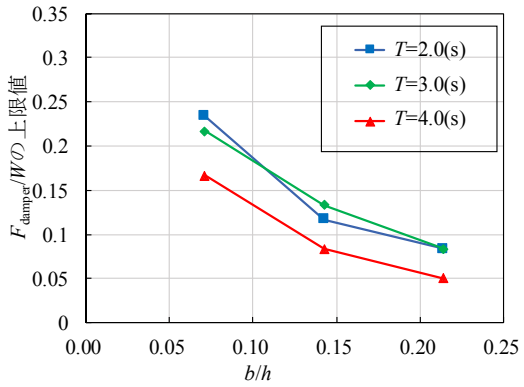

図-5　F_{damper}/W の上限値

b/h および T を変動させて計算を行ったところ，同様に極値を有する結果となった．図-5 に，b/h および T を変動させたときの F_{damper}/W の上限値を示す．　b/h が大きい，すなわち幅の広い橋脚においては，等価固有周期の低減に対してダンパーが敏感に反応するため，F_{damper}/W の上限値が低減する．また，T は 2.0(s)のときと 3.0(s)のときはおおむね同様であったが，T=4.0(s)のときは F_{damper}/W の上限値が低減する．これは，RC 柱の剛性低下に合わせて，ダンパー減衰力容量を低下しなければならないことを示唆していると考えられる．

4．まとめ

危機耐性の観点から免震橋脚を提案し，そのダンパー減衰力容量の大きさについて考察を行った．減衰力容量には，上限値が存在し，その上限値が各種のパラメータによってどのように変動するかを明らかにした．なお，本報告では橋軸方向のみを示したが，橋軸直角方向に関しても同様の結果が得られている．

参考文献　1)武田ほか：皿バネボルトセットを用いた摩擦型ダンパーの性能評価，構造工学論文集，vol.58A，pp.492-503，2012.3　　2) 金治ほか：損傷制御設計を用いた鋼管集成橋脚の開発とシミュレーション技術，第 15 回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，pp.39-52，2012.　　3) 山野辺ほか：制震橋脚構造の性能確認実験，コンクリート工学，Vol.45，No.12，pp.29-36，2007.