摩擦履歴型ダンパーを変位制限構造に用いた既設高架橋の地震時挙動に関する検討

阪神高速道路㈱　正会員　○西岡　勉，袴田文雄，平野敏彦
大日本コンサルタント㈱　正会員　田崎賢治，川神雅秀

１．はじめに　既設道路橋の耐震補強で用いられる変位制限構造は道路橋示方書に規定されるタイプ A 支承が損傷した場合の上下部構造の相対変位を抑制するための構造である．現行設計法では上部構造の死荷重支点反力に基づく設計荷重に対して弾性設計されている．しかし，同構造が塑性化しエネルギー吸収性能を有すると，支承損傷後の上下部構造の相対運動による衝撃的な力の緩和や橋脚の応答低減に寄与すると考えられる．ここでは，摩擦履歴型ダンパーを変位制限構造に用いた場合の既設高架橋のレベル 2 地震動に対する地震時挙動を解析し，エネルギー吸収性能を有する変位制限構造による橋脚の応答低減効果を解析的に検討した結果を報告する．

２．解析条件　対象とした橋梁は，支間約 26m の単純桁が連続する既設高架橋の 3 径間分であり，解析モデルを図-1 に示す．バネーマス系の 2 次元フレームモデルであり，橋軸方向を対象として地震応答解析を行う．橋脚は，RC 橋脚で基部にトリリニアの非線形回転バネを有するモデルとした．基礎は，スウェイおよびロッキングの線形バネでモデル化した．各単純桁の左側が固定支承，右側が可動支承であり，固定支承側に摩擦履歴型ダンパーを設置している．固定支承の解析モデルを図-2 に示す．レベル 1 地震動，Ⅱ種地盤の設計水平震度 0.25[1)]相当の耐力 P_s で固定支承が損傷し，支承損傷後，別途設置する段差防止構造上で上部構造が滑ることを仮定している．変位制限構造に用いる摩擦履歴型ダンパーの影響に着目するため，上部構造と段差防止構造間のすべり挙動の摩擦力は無視している．固定支承モデルの初期剛性 K_s は十分大きな値とし，RC 橋脚の降伏剛性の 100 倍程度に設定した．なお，可動支承はモデルの単純化のため損傷を考慮せず，可動支承部のすべりによる摩擦係数も 0 とした．摩擦履歴型ダンパーの解析モデルを図-3 に示す．同図中の F はダンパー抵抗力，δは降伏変位(2mm)，初期剛性は $k_1=F/\delta$，2 次剛性は $k_2= k_1\times10^{-5}$ である．解析パラメータとして，ダンパー抵抗力を F=100～2,000kN まで変化させた．入力地震動は，道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に示されるタイプⅡ，Ⅱ種地盤の加速度波形Ⅱ-Ⅱ-1[1)]とした．地震応答解析の数値積分はニューマークβ法(β=1/4)，積分時間間隔は t=1/1,000sec とした．減衰は，各非線形部材の履歴減衰の他に，橋脚 2%，基礎 20%，固定支承，ダンパーおよび剛部材 0%の粘性減衰を設定し，橋全体の粘性減衰としてレーリー減衰を用いている．

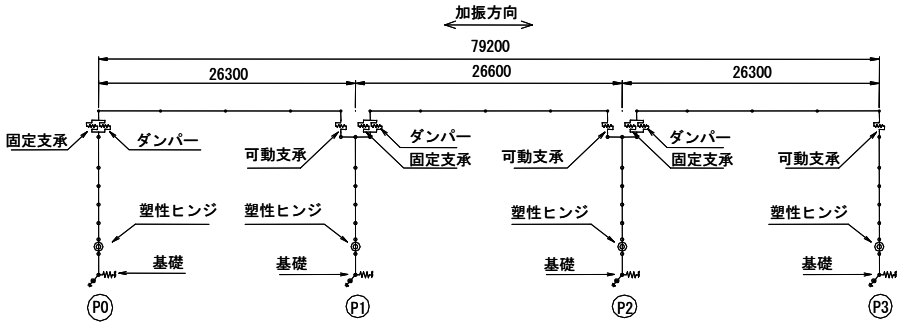

図-1　対象橋梁の解析モデル

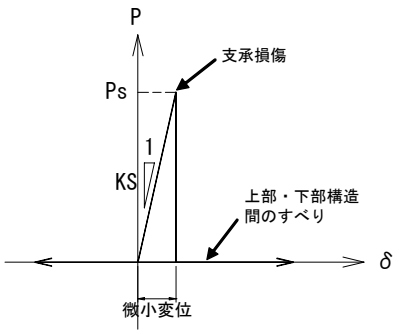

図-2 固定支承の解析モデル

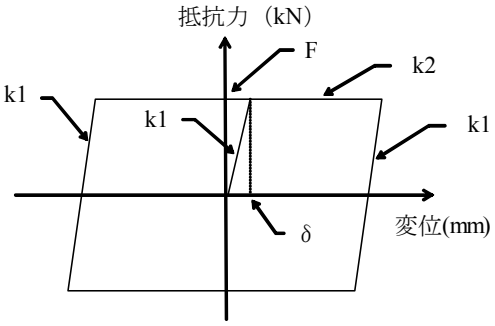

図-3 摩擦履歴型ダンパーの解析モデル

キーワード：摩擦履歴型ダンパー，変位制限構造，橋脚応答低減
連絡先：〒552-0056　大阪市港区石田 3-1-25　TEL 06-6576-3881，FAX 06-6576-1907

３．解析結果　橋脚降伏耐力で正規化したダンパー抵抗力 F/P_y に対する第 2 径間上部構造，P1 橋脚頂部の最大応答変位およびダンパーの最大変形量を図-4 に示す．F/P_y =0.3 付近で橋脚頂部の最大応答変位が最小となり，ダンパーの最大変形量がほぼ最大となる．F/P_y >0.3 の範囲では，橋脚頂部の最大応答変位は単調に増加し，ダンパーの最大変形量は単調に減少する．F/P_y =1.05 では，ダンパー変形量が 0 となり上部構造と橋脚頂部の相対変位がほとんど生じない状態であり，固定支承が損傷しない，または，弾性設計された剛な変位制限構造で固定支承機能が補完された状態に相当する．従来の弾性設計された変位制限構造に比べると，ダンパーを変位制限構造に用いることで橋脚応答が低減することがわかる．RC 橋脚頂部の許容変位が 0.06m であり，$0.2<F/P_y<0.4$ の範囲では，橋脚頂部の最大応答変位が許容変位以下になり，曲げ耐力に対する補強が不要となる．ただし，図-5 に示すせん断耐力に対する最大せん断力 S_{max}/P_s の比が 1.0 を超過するため，RC 橋脚のせん断補強は必要である．また，ダンパーの最大変形量はすべてのケースでダンパー許容変形量以下となった．以上から，ダンパーを変位制限構造として用いることで橋脚の応答を低減することができ，本解析例では，RC 橋脚のせん断補強は必要であるが，曲げ耐力補強を不要とするダンパー設計が可能であり，曲げ耐力を増大させる RC 橋脚の基部補強を不要とできる可能性がある．水上部橋脚など施工条件の厳しい場合に有効な耐震補強対策となる．

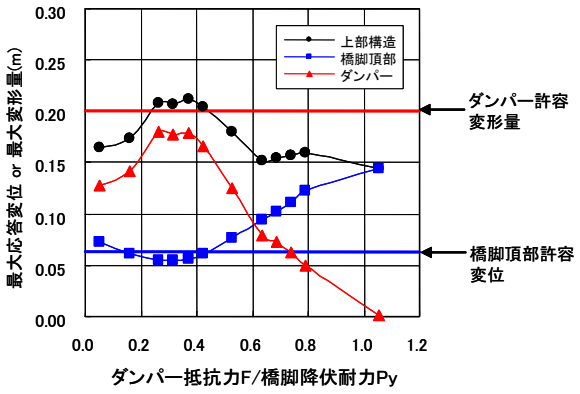

図-4 第 2 径間上部構造，P1 橋脚頂部の最大応答変位およびダンパーの最大変形量

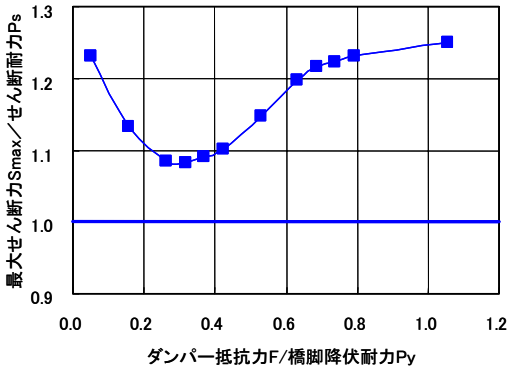

図-5 橋脚のせん断耐力に対する最大せん断力比

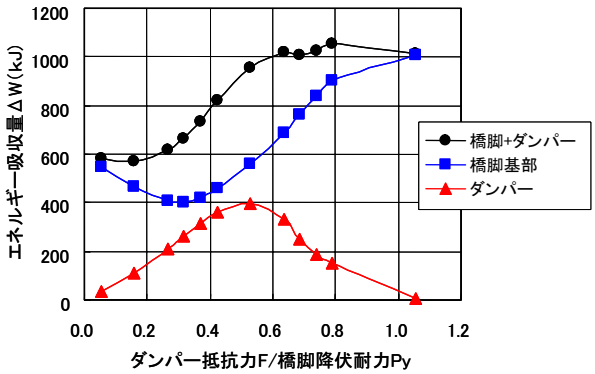

図-6 橋脚基部，ダンパーのエネルギー吸収量の比較

橋脚基部およびダンパーの最大履歴応答ループから算出したエネルギー吸収量の比較を図-6 に示す．F/P_y=0.3 で橋脚基部のエネルギー吸収量が最小なり，F/P_y=0.5 付近でダンパーのエネルギー吸収量が最大となる．橋脚基部とダンパーのエネルギー吸収量の合計値は，F/P_y が 0 から 1 に変化するにしたがって増加する．橋脚基部の塑性化の程度を低減し，橋脚の応答低減効果を最大にする観点からは F/P_y=0.3 付近でダンパー抵抗力を設定するのがよいと考えられる．F/P_y=0.3 の橋脚基部のエネルギー吸収量 405kJ に対して，その約 64%の 260kJ をダンパーがエネルギー吸収している．ただし，F/P_y=0.3 の時の上部構造の最大応答変位が図-4 に示すように 0.21m であり，固定支承が損傷しないまたは補強された場合(F/P_y =1.05)の最大応答変位 0.14m よりも 0.07m 程度大きくなる．桁遊間など既設橋梁の制約条件に留意する必要がある．

４．まとめ　摩擦履歴型ダンパーを変位制限構造に用いた場合の既設高架橋の地震応答解析を行い，ダンパーが橋脚の応答低減に及ぼす影響を解析的に検討した．エネルギー吸収性能を有する変位制限構造を用いることで橋脚基部のエネルギー吸収量が低減し，橋脚頂部の最大応答変位を低減できることがわかった．本解析例では，橋脚降伏耐力に対して 30%程度の抵抗力を有するダンパーを用いると橋脚の応答低減効果が最大となった．

参考文献　1)(社)日本道路協会：道路橋示方書Ⅴ耐震設計編，2002.