

京都大学工学研究科 学生員 ○ 田中 寛人
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和

1 概要 本研究では、多径間連続橋の地震時応答を低減する手段として、擬似負剛性セミアクティブ制御の有効性について数値解析による検討を行った。

2 擬似負剛性セミアクティブ制御 バリアブルダンパーに負の剛性を持つ復元力を発生させることで、連結剛性との組み合わせの効果により、完全剛塑性に近い履歴復元力特性(図1)を持たせることが、擬似負剛性制御の基本的な考え方である。バリアブルダンパーの制御力 F_D は、以下のように与えられる。

$$F_D(t) = \begin{cases} K_D x + C_D \dot{x} & \text{if } F_D(t) \cdot \dot{x} \geq 0 \\ 0 & \text{if } F_D(t) \cdot \dot{x} \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $K_D(<0)$ は見かけ上の負剛性、 $C_D(>0)$ は見かけ上の粘性を表す。構造物に負の剛性を与えることにより、構造系の固有周期は明らかに長くなるので、負剛性制御の適用は構造物の加速度応答を低減するのに効果的である。また、ダンパー設置部の相対速度と相対変位のみであるため、実際の構造物への適用も容易である。

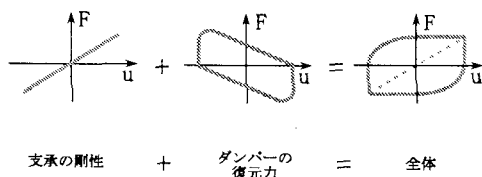


図1 擬似負剛性制御の復元力特性

3 対象橋梁のモデル化 解析対象は、図2(a)に示す5径間連続鋼I桁橋で、地盤種別はⅡ種地盤を想定する。基礎は地盤に剛なものとし、各橋脚と上部工を2質点でモデル化した。橋脚の復元力特性はトリリニア型によりモデル化し、橋桁部分は各橋脚の上部の質点を剛性の非常に高いバネ要素によって連結することにより、ほぼ一体となって動くものと仮定した(図2(b))。構造系の1次モードの固有周期は1.08(sec)となる。入力地震動は、レベルⅡ地震動として道路示方書で規定されているタイプⅠ及びタイプⅡのⅡ種地盤用標準波形(TypeⅠ-Ⅱ-1、TypeⅡ-Ⅱ-2)

を用いる。解析は橋軸方向のみについて行った。解析プログラムはMatlab-Simulinkにより作成した。

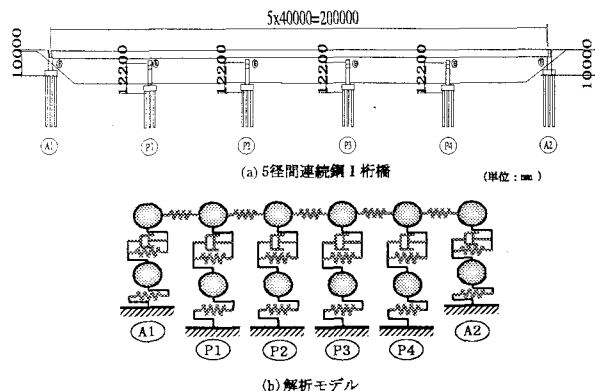


図2 解析対象橋梁

4 粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパー設置時の地震時応答

まず、連続橋の各橋脚に粘性ダンパーを設置しパッシブ制御を適用する場合について検討する。各粘性ダンパーの復元力は $F_D(t) = C_D \times \dot{x}(t)$ によって与え、粘性係数 C_D を0～4000(kN/m/s)の範囲で変化させて応答解析を行った。また、各橋脚に擬似負剛性ダンパーを設置する場合について、剛性 K_D は各支承の剛性を逆符号にした値を用い、同様に応答解析を行った。それぞれの場合の最大応答値の計算結果を図3(a)(b)に示す。図3(a)(b)より粘性係数が増加するに従い、低減効果の指標となる応答は低減する傾向が見られるが、粘性ダンパーでは2000～2500(kN/m/s)を境にして、擬似負剛性ダンパーでは1500～2000(kN/m/s)付近より、低減率は緩やかなものとなる。図4に示した橋梁全体系での累積吸収エネルギーによる比較より、TypeⅡ-Ⅱ-2入力時にはダンパー自体の吸収エネルギーに大差は無いが、粘性ダンパーよりも擬似負剛性ダンパー設置時の方が入力地震エネルギーが低減されているため、結果として橋脚が負担するエネルギーは低減されている。

5 ダンパー設置箇所が橋梁の応答に与える影響 対象橋梁に対してCase1～Case4の各設置パターンで、粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパーを設置した場

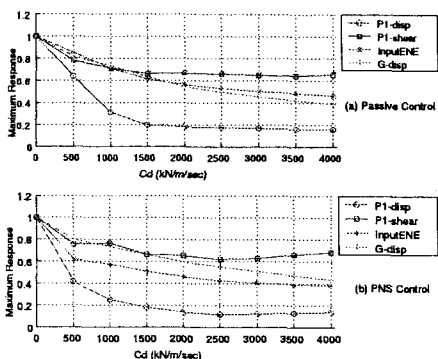


図3 減衰係数の変化に対する各指標の応答 (Type II-II-2 入力時)

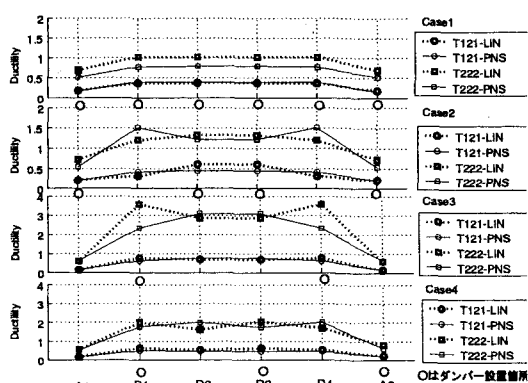


図5 設置パターン別の各橋脚の最大応答塑性率

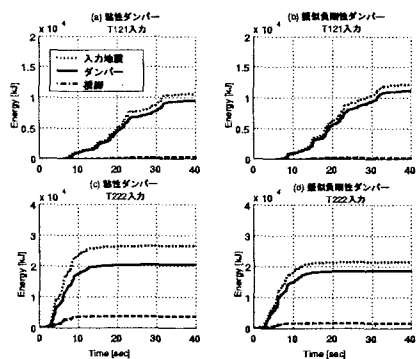


図4 橋梁全体系の累積吸収エネルギーによる比較

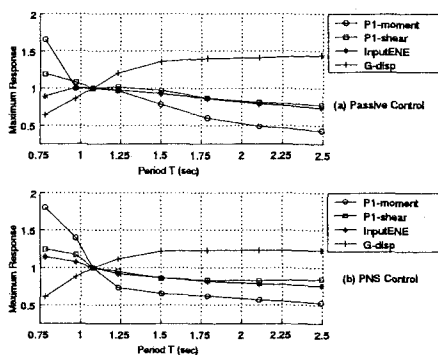


図6 固有周期の変化に対する各指標の応答 (Type II-II-2 入力時)

合の応答解析を行った (図5)。特に Type II-II-2 入力時において、粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパー設置の差異が P1～P4 橋脚の変位応答に大きく影響を及ぼしており、Case1 では橋梁全体系において擬似負剛性ダンパーを設置時の低減効果が良好である。しかし、P2 橋脚・P4 橋脚の応答塑性率より、Case2 では粘性ダンパー設置時の方が、Case3 では擬似負剛性ダンパー設置時の方が応答低減効果は良好である。また、Case4 では、粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパーいづれを設置した場合にも、P1～P4 橋脚はほぼ同様の応答塑性率を示している。

6 擬似負剛性制御の応答低減への固有周期の影響

既設のゴム支承の剛性値を 0.18～2.00 倍に変化させ、構造系の 1 次モードの固有周期を 0.78～2.49 倍とした場合について、粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパーの地震時応答の低減効果について検討した (図6)。解析結果より、粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパーのいづれを設置した場合にも、Type I-II-1、Type II-II-2

の双方の入力に対して、橋梁全体系の長周期化に伴い、各橋脚への作用モーメントは小さくなる。周期が長くなるにつれて橋桁の変位は増加するものの、一定変位以上には増加せず許容範囲に留まることになる。連続橋の各支承の剛性を低くして橋梁全体系を長周期化することは、特に擬似負剛性ダンパーによる地震時応答の低減をより効果的にすると言える。

7 まとめ 多径間連続橋を対象とした応答解析より、擬似負剛性セミアクティブ制御は、特にタイプ2地震動入力時に良好に応答を低減し、橋脚の損傷を低く抑えている。また、既設のゴム支承の剛性を低くして、橋梁全体系を長周期化することで、擬似負剛性ダンパーの適用による地震時応答の低減効果は向上し、良好な耐震性能を示すことが明らかになった。

参考文献

- [1] Mulyo Harris Pradono : Negative Stiffness Dampers for Seismic Retrofit of a Cable-Stayed Bridge, 2002.