

多径間連続橋における擬似負剛性セミアクティブ制御の適用の解析的検討

東京都建設局
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科

正会員
正会員
フェロー

田中 寛人
五十嵐 晃
家村 浩和

1. 概要

多径間連続橋の地震時性能を向上する手段として、上部工を支持するゴム支承にダンパーを併設した場合について、擬似負剛性セミアクティブ制御を行うバリアブルダンパーの適用の有効性を検討した。

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、制御対象構造物の剛性と合わせて、完全剛塑性に近い履歴復元力特性を持たせることが、擬似負剛性制御の基本的な考え方である¹⁾²⁾。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、 $K_D(<0)$ はダンパーによる負剛性、 $C_D(>0)$ は粘性を表す。構造物に負の剛性を与えることにより、構造系が長周期化されるため、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、制御力を決定に必要とするのは、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³⁾。

3. 対象橋梁のモデル化

解析対象は、図2(a)に示す典型的な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見なし、各橋脚と上部工は図2(b)に示す多質点系モデルを使用した。橋脚の復元力特性はトリリニアモデルにより表現した。橋桁部分の質点を結合するバネの剛性は高く、軸方向変形はほとんど生じないと仮定している。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。

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、連続橋の各支承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、各支承にバリアブルダンパー(以下、擬似負剛性ダンパーと呼ぶ)を設置する場合についても、同様に応答解析を行った。剛性 K_D は各支承の剛性を逆符号とした値を用いた。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)付近の値、擬似負剛性ダンパーでは1500～2000(kN/m/s)付近を境にして、低減率は緩やかなものとなっている。

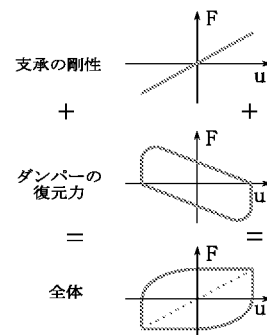


図-1 擬似負剛性制御の復元力特性

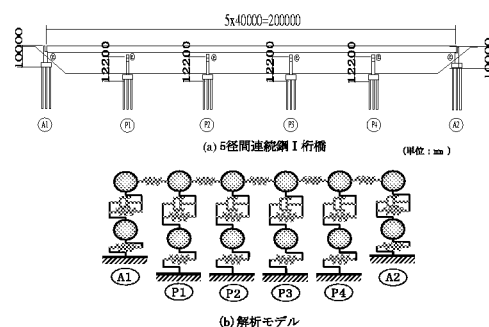


図-2 解析対象橋梁

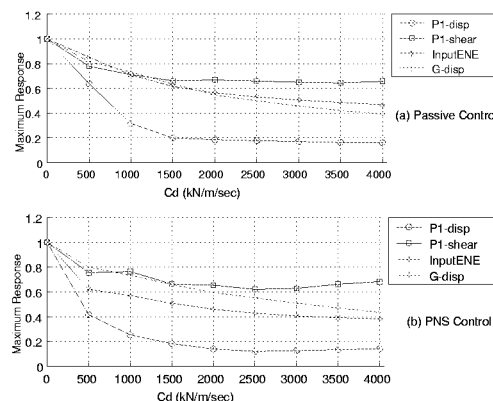


図-3 減衰係数の変化に対する各指標の応答 (TypeⅡ-Ⅱ-2入力時)

Key Words : 擬似負剛性セミアクティブ制御、多径間連続橋

連絡先 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL(075)753-5088 FAX(075)753-5926

粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパーともに良好な応答低減効果を示す粘性係数 $C_D = 2000(kN/m/s)$ の場合について、地震時応答の低減効果の比較を行った。図4に示した各橋脚の最大応答変位による比較より、Type I-II-1 入力時には粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパー設置時で各橋脚の応答にあまり差は無いが、Type II-II-2 入力時には粘性ダンパー設置時に比べて、擬似負剛性ダンパー設置時の方が各橋脚の応答が 20 %程度低減されていることがわかる。図5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によれば、Type II-II-2 入力時にはダンパー自体の吸収エネルギーに大きな差は見られないが、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る結果として、橋脚が負担するエネルギーは低減されていることが大きな要因であることが与されている。

5. ダンパー設置箇所が橋梁の地震時応答に与える影響

4つのダンパー配置位置の組み合わせのパターンについて、粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパーを設置した場合の応答解析を行い、比較検討を行った(図6)。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な影響を及ぼしており、全位置に設置した Case1 では橋梁全体系において擬似負剛性ダンパー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ずれを設置した場合にも、P1 ~ P4 橋脚はほぼ同様の応答値を示している。

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 倍の間で変化させた場合について検討した。構造系の 1 次モードの固有周期は 0.8 ~ 2.5 秒の範囲で変化する。粘性ダンパー・擬似負剛性ダンパーのいず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(図7)。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がわかる。連続橋の各支承の剛性を下げ、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応答の低減をより効果的にするとと言える。

7. まとめ

多径間連続橋を対象とした数値解析より、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) Hirokazu Iemura and Mulyo Harris Pradono : Proceedings of Passive Structural Control Symposium, 2002.
- 2) Hirokazu Iemura and Mulyo Harris Pradono : Journal of Structural Control, December, 2002.
- 3) Akihiro Toyooka : Doctoral Dissertation, Kyoto University, 2003.

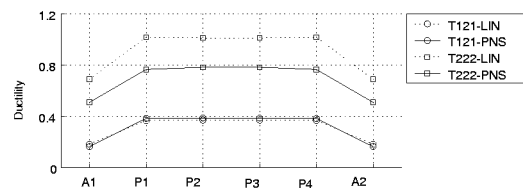


図-4 各橋脚の最大応答変位による比較

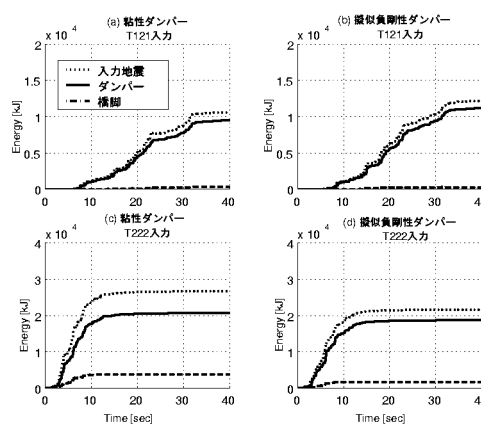


図-5 橋梁全体系の累積吸収エネルギーによる比較

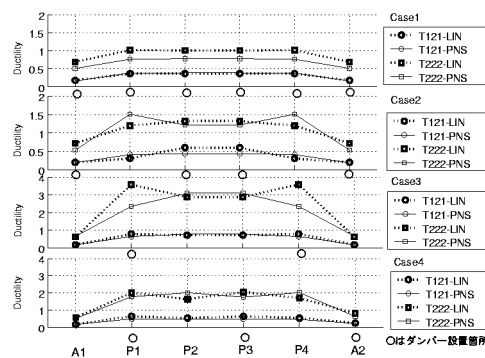


図-6 設置パターン別の各橋脚の最大応答変位

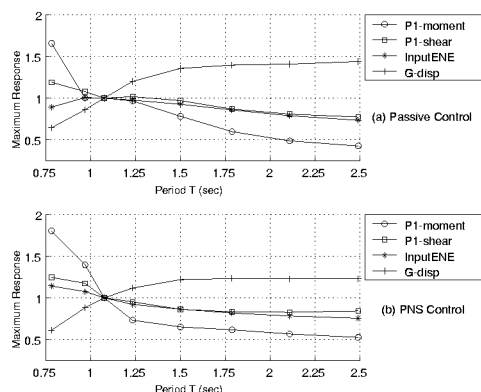


図-7 固有周期の変化に対する各指標の応答 (Type II-II-2 入力時)