

第Ⅰ部門

擬似負剛性ダンパーの簡易モデル化と地震応答解析

京都大学工学部

学生員

○多田翼

京都大学大学院工学研究科

フェロー

家村浩和

京都大学大学院工学研究科

学生員

Mulyo Harris Pradono

概要

本研究は擬似負剛性ダンパーの簡易モデルを作製し、構造物に適用した場合の解析的な検討を行ったものである。1自由度モデルを対象に、従来の線形粘性ダンパーによるパッシブ型制御手法と擬似負剛性ダンパーによる制御手法の比較を行い、数値応答解析によってそれらの効果を検証した。そして、地震時応答の低減手段として擬似負剛性ダンパー制御手法が従来の線形粘性ダンパーよりも有効であることを明らかにした。

擬似負剛性ダンパーの簡易モデル化

本研究では図1に示すような、一方向に小さな摩擦力を持ち逆方向に大きな摩擦力を持つダンパーを提案した。さらに摩擦力の大きさを、ダンパーの中央から外側にいくほど大きくなるとしている。このダンパーの変位-復元力履歴曲線は図1下段左のようになる。そして、図1下段右に示す変位-復元力履歴曲線のように簡易化する。この変位-復元力履歴曲線を持つダンパーの制御力 F_D は以下になる。

$$F_D = \begin{cases} -kx & \text{if } x \cdot \dot{x} < 0 \\ 0 & \text{if } x \cdot \dot{x} \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 k ：構造物の剛性、 x ：ダンパーの相対変位、 $\dot{x}$ ：ダンパーの相対速度。式(1)よりこのダンパーは擬似負剛性ダンパーと見ることができる。

変位倍率による比較

擬似負剛性ダンパー及び粘性ダンパーに対して、固有周期 p を一定とし入力波の周期 ω を変化させた場合における変位倍率 ($= x/z$)、絶対加速度倍率 ($= (\ddot{x} + \ddot{z})/\ddot{z}$) を求める。図2は、入力波を正弦波とした時の結果である。

相対変位倍率については、周波数比 ω/p がおよそ0.8~2.5においては擬似負剛性ダンパーの応答が低く抑えられているのがわかる。また、絶対加速度倍率については、変位における場合と同様の範囲で応答が低く抑えられているのがわかる。特に周波数比 $\omega/p = 1.0$ の時、粘性ダンパーの応答が大きくなっているのに比べ、擬似負剛性ダンパーのそれは変位、

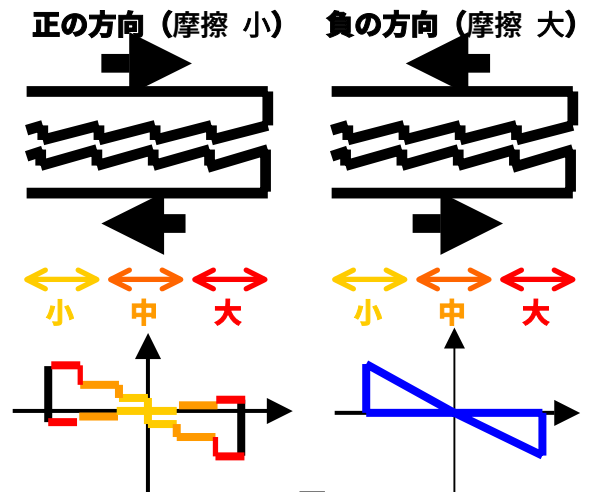


図1

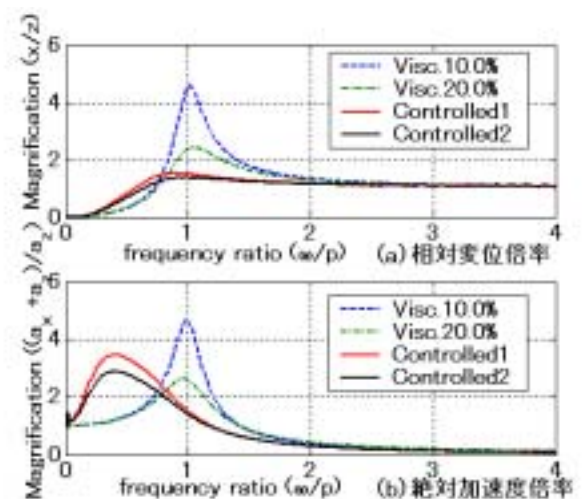


図2

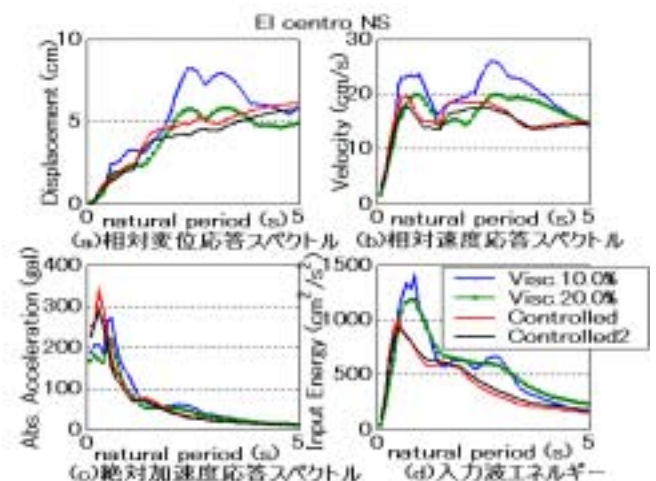


図3

加速度ともに非常に低く抑えられている。

応答スペクトルによる比較

系の固有周期 T が 0.1 秒から 5.0 秒までの範囲で El centro 地震及び八戸地震について、相対変位応答スペクトル、相対速度応答スペクトル、絶対加速度応答スペクトルをそれぞれ求めた。結果を図 3、図 4 及び図 5 に示す。図 3(c)と図 4(c)及び図 3(d)と図 4(d)を比較すると、固有周期 2.2 秒以上の構造系では擬似負剛性ダンパーの絶対加速度応答及び入力地震エネルギーが粘性ダンパーより小さくなっている。固有周期が 2.2 秒を越えるような構造系において、擬似負剛性の荷重特性が、地震応答の低減に非常に有効であることを示している。一方、兵庫県南部地震については図 5(c)及び(d)より、固有周期 0.6 ～1.2 秒の構造系では擬似負剛性ダンパーの絶対加速度及び入力地震エネルギーが粘性ダンパーより低くなった。兵庫県南部地震のような地震では固有周期 0.6～1.2 秒の構造系に対して擬似負剛性ダンパーが有効であることが言える。

結論

- ・本研究で提案した不可逆摩擦の性質を持つダンパーの負剛性値の絶対値は構造物の剛性値と等しく、そのモデル化が簡単であるという利点がある。
- ・粘性ダンパーによるパッシブ制御と比較して、擬似負剛性ダンパーと連結剛性を組み合わせた復元力の最大値を増大させることなく、入力地震波エネルギーを小さくすることが可能である。
- ・1 自由度系モデルを用いた地震応答スペクトルの比較より、El centro 地震、八戸地震のような地震では、固有周期 2.2 秒以上の構造系において、また、兵庫県南部地震のような地震では固有周期 0.6～1.2 秒の構造系において擬似負剛性ダンパーの方が粘性ダンパーよりも、入力地震波エネルギーならびに、最大加速度応答を低減することができる。

参考文献

- [1]阿部雅人・藤野陽三：高架橋構造全体系の耐震性能向上を考えたパッシブ制震装置の最適化,土木学会論文集 No.605/ I -45,pp241-pp252,1998 年 10 月。
- [2]S.J.Dyke and B.F.Spencer,Jr:A Comparison of Semi-Active Control Strategies for the MR Damper,Proceedings of the IASTED International Conference,1997.
- [3]Hirokazu Iemura and Mulyo Harris Pradono:Passive and Semi-Active Seismic Response Control of a Cable-Stayed Bridge,Earthquake Engineering and Structural Dynamics,vol9,pp 189-204,2002.
- [4]Hirokazu Iemura and Mulyo Harris Pradono:Negative Stiffness Dampers for Seismic Retrofit of a Cable-Stayed Bridge,Proceedings of Passive Structural Control Symposium,pp7-pp16,2002.

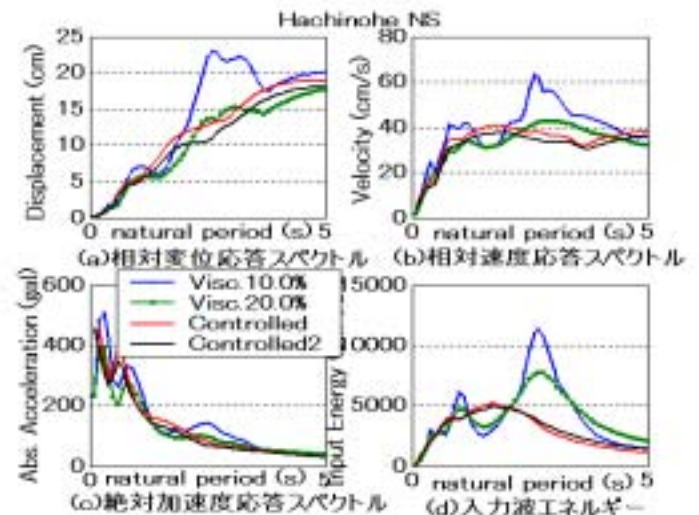


図4

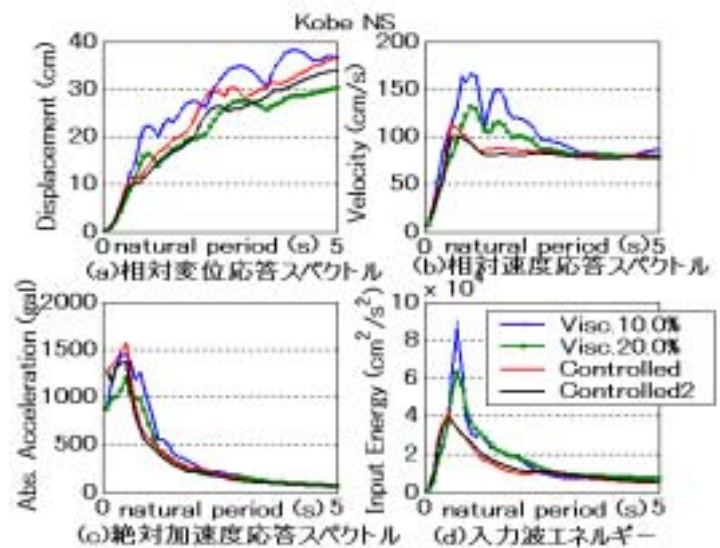


図5