

慣性力载荷装置を用いた擬似負剛性制御バリアブルダンパーによる地震力低減効果の検証実験

京都大学工学部 学生会員 ○ 小林孝安
 京都大学工学研究科 フェロー 家村浩和
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐晃

1. 概要

擬似負剛性制御[1]は、セミアクティブ制震デバイスの制約範囲内で構造物に負剛性と正の粘性を付加するような制御力を発生させることにより地震応答を低減しようとする手法であり、これまで数値シミュレーションやハイブリッド実験[2]によりその効果が示されてきた。本研究では、擬似負剛性制御を実装したバリアブルダンパーを設置した構造物の地震時応答を、慣性力载荷型ダンパー試験装置を用いた動的加振により再現する実験を行い、特に構造物に作用する地震力の低減効果に着目した検証を行った。

2. 実験装置

実験に用いたバリアブルダンパーは、粘性流体を封入したシリンダー室間を結合するバイパス管にサーボバルブが設置された機構のものであり、サーボバルブの開度を外部信号により調節することで、可変制御力を発生できる。諸元を表-1に、写真を図-1に示す。

表-1 バリアブルダンパー諸元

定格荷重	± 50 (kN)
ストローク	± 50 (mm)
最大速度	20 (kine)
制御方式	電気油圧サーボ
定格粘性係数範囲	200~800 (kN・s/m)



図-1 バリアブルダンパー

慣性力载荷装置は、基本的に1自由度振動系の上に質量駆動型の加振装置を設置した構成の試験装置である。加振装置の重錘をボールねじを介したACサーボモーターを用いた速度制御により運動させ、これに伴って生じる慣性力により、桁を振動させる。試験対象ダンパーは、桁と固定床面との間に装着する。

表-2 慣性力载荷装置

桁の質量 (M)	18.2 (ton)
重錘質量 (m_d)	2.0 (ton)
水平剛性	344.43 (kN/m)
減衰係数	6.32 (kN・s/m)
固有振動数	0.66 (Hz)
桁の最大変位	± 10 (cm)

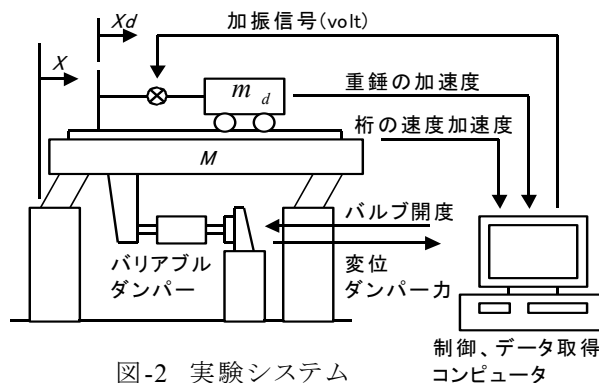


図-2 実験システム

図-2に示す実験システムにおいて、仮想的に質量 $M+m_d$ の構造物を支持点変位加振する場合に、質量 M に生じる相対変位を x とする。ACサーボモーターによる重錘 m_d の駆動入力として次式に示す相対加速度を用いることにより、相対変位 x を桁に発生させることができることが示される。

キーワード 擬似負剛性制御 慣性力载荷装置 バリアブルダンパー セミアクティブ制御

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学 TEL 075-753-5086

$$\dot{x}_d = \frac{M + m_d}{m_d} \dot{z} \quad (1)$$

ここに、 M : 試験装置の桁の質量, m_d : 加振装置の重錘の質量

$\ddot{x}_d$: 重錘の桁に対する相対加速度, $\ddot{z}$: 入力地震動

本研究では、式より得られた重錘の相対加速度時刻歴を積分して得られる相対速度 $\dot{x}_d$ を入力信号として用いることで、加振装置の重錘の運動を制御している。

3. 擬似負剛性制御実験

3.1 正弦波入力試験

擬似負剛性制御に基づきバリアブルダンパーの制御を行うため、目標ダンパー荷重 $F(t)$ を次式により求めた。

$$F(t) = k \cdot x + c \cdot \dot{x} \quad (2)$$

ここに、 $k(<0)$: 負剛性パラメータ, c : 粘性パラメータ

擬似負剛性制御と粘性ダンパー制御(粘性係数を c とする)のケースについて正弦波入力実験を行った。入力の振動数は 0.657Hz(系の固有振動数と同一)、振幅は 20gal である。得られた変位 - ベースシア関係から等価減衰(h)を求めると、擬似負剛性制御の場合 $h=0.568$ となり、粘性ダンパー制御の場合の $h=0.433$ よりも大きくなる。

次に、最大変位応答をほぼ等しくなるよう粘性ダンパー制御の粘性係数を決定し、実験を行った。図-3 より、擬似負剛性制御は粘性ダンパー制御に比べ、ベースシア最大値が低減されている。これは擬似負剛性制御のほうが構造物に与えられる力を低減できることを示している。

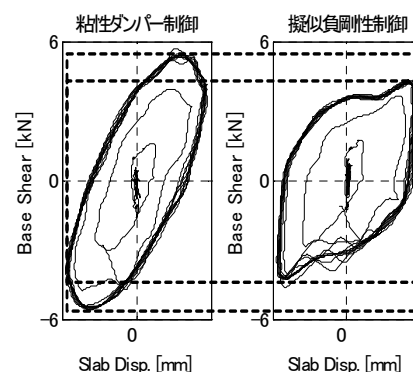


図-3 変位 - ベースシア履歴の比較(正弦波入力)

3.2 地震波入力試験

JMA 神戸 NS と El Centro NS (共に max40gal にスケーリング)を入力した場合の変位 - ベースシア関係を図-4、5 に、JMA 神戸 NS 入力時の応答時刻歴を図-6 に示す。図-6 より、ダンパーを設置しない場合である無制御に比べ、ダンパーを設置することで大きく応答を低減できることがわかる。また、変位 - ベースシア関係を比較すると、擬似負剛性制御のほうが粘性ダンパー制御に比べ、ベースシアが小さいことがわかる。

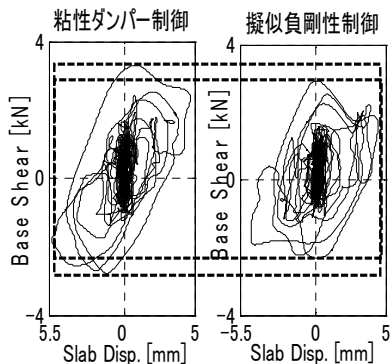


図-4 変位-ベースシア関係
(JMA 神戸 NS)

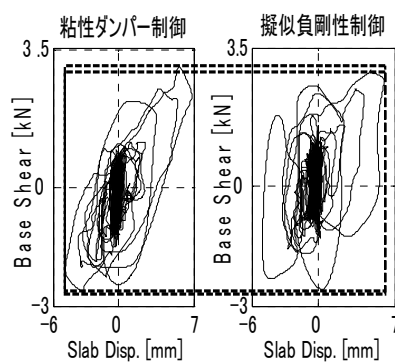


図-5 変位-ベースシア関係
(El Centro NS)

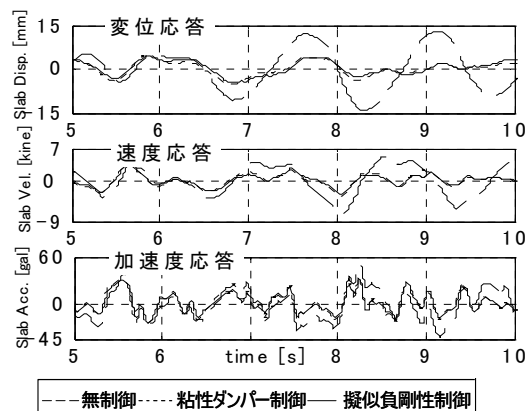


図-6 応答時刻歴 (JMA 神戸 NS 入力)

4. 結論

擬似負剛性制御は同等の粘性係数を持つ粘性ダンパーに比べ最大応答値やベースシア最大値をより効果的に低減する、優れた応答低減効果を示すことが実験的に実証されたといえる。

参考文献

[1] Hirokazu Iemura et al., J. Struct. Control 2003, 10:187-203, 2003.

[2] 家村浩和ほか, 日本地震工学会・大会 - 2003 梗概集, 268-269, 2003.