

I - 626

可変剛性支承とジョイントダンパーによる桁橋の震動制御

大成建設 正 員 渡辺 典男
 京都大学 正 員 家村 浩和
 阪神高速道路公団 正 員 南 荘 淳

1. はじめに

地震外力に対する構造物の加速度応答は、構造物を免震化することにより大幅に低減することができる。その一方で、構造物は大きな変形を免れない。そこで、本論文では、免震支承により長周期化した構造物に、可変剛性型(Active Variable Stiffness : AVS)制震システムを適用することにより、加速度応答に加え、変位応答を低減することを目的としている。また、同システムにジョイントダンパー(Joint Damper : JD)システムを併用することにより、複数の桁橋を制御するとともに地震応答を低減する制震システムを構築した。以下に、本制震システムの地震動に対する応答低減効果について検討した。

2. 可変剛性型制震システム

AVS制震システムとは、時々刻々変化する地震動の周波数特性に応じて、構造物の剛性を変えることにより、構造物自体の振動特性を変化させるものである。Fig. 1 に、本システムの装置となる可変剛性型支承(Active Variable Stiffness Bearing : AVSB)を示した。設置場所として、橋脚頂部を考えている。同装置は、上部構造物の鉛直荷重を支持する支承部とせん断剛性を変化させる可変剛性装置から構成される。可変剛性装置の基本的構造は、油封式装置である。ピストンで分けられた2つの部屋をバイパスを通し、そのバイパスの途中にバルブを設ける。バルブの開閉により桁部と橋脚との接続状態をロックまたはアンロック状態として、2種類の剛性タイプを実現する装置である。本システムの制御フローをFig. 2 に示した。まず、地震加速度計が地震波を計測すると、コンピュータの中で各剛性タイプの構造物に対する応答計算を行ない、その応答量から、最適な剛性タイプを評価する。そして、上部構造物と橋脚との相対変位がゼロのときに、AVSBの剛性タイプが変化する。

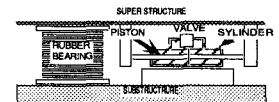


Fig. 1 Active Variable Stiffness Bearing (AVSB)

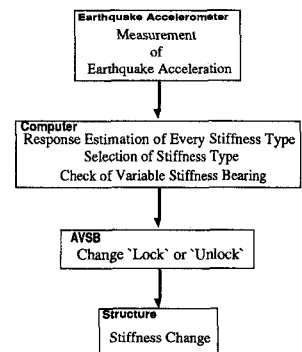


Fig. 2 Feedforward Control Scheme

3. 解析モデル

Fig. 3 に AVS 及び JD システムを併用した制震システムの概念図を示した。同図のように、2つの桁橋梁があり、個々の橋梁を1質点系モデルに近似した。このとき、各々の橋梁の質量及びバネ定数は同一であり、その固有周期が2秒になるように設定した。そして、質点1のみにAVSBを設置した。質点1の固有周期は、0.6秒から2.0秒の間に7タイプの周期を選択できるように設定した。このとき、各剛性タイプに対する系全体の1次及び2次の固有周期は、Table 1 のようになる。さらに、これらの質点をBi-linear型の非線形型バネでモデル化したJDにより連結した。すなわち、本システムは、JDシステムを適用した桁橋梁を、AVSシステムにより能動的に制御しようとするものである。なお、

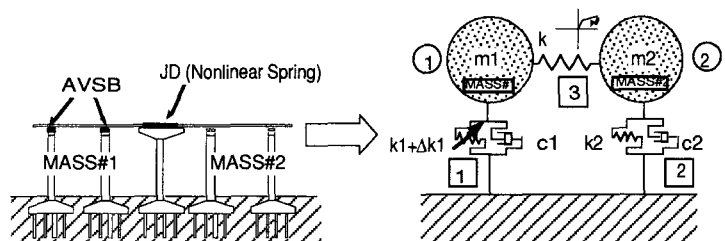


Fig. 3 Analytical Model with AVS and JD System

各部材の減衰は、橋脚についてはダッシュポットによりモデル化し、その減衰定数を0.05とした。また、JDについては、履歴減衰のみを考慮した。入力地震波波形には、八戸記録波形(NS)を採用した。最大入力加速度は235galである。また、地震波の入力方向は橋軸方向とした。解析ケースは、AVSを制御しない場合と総入力エネルギーが最小になるように剛性を変化させる場合の2ケースである。

4. 解析結果と考察

各質点ごとに無制御時の応答と比較し、本システムの応答低減効果について検討する。無制御時として、JD及びAVSシステムを適用していない固有周期2秒の1質点系モデルを採用した。

解析結果をFig.4から Fig.7に示した。制御時を太線で周期2秒の無制御時を細線により同時に表示した。Fig.4は、各時刻において選択された剛性タイプであり、Fig.5は、各質点の変位－復元力特性である。Fig.6の変位応答波形によると、質点1では、ほとんどの時間において、その振幅が周期2秒の無制御時の50%以下に低減している。また、質点2においても変位を非常に良く低減していることがわかる。次に、総入力エネルギーの時刻歴曲線(Fig.7)は、周期2秒の無制御時と比較して、両質点ともにその増加傾向は緩慢であり、地震終了時には、無制御時の半分以下に低減している。すなわち、本システムは、周期2秒の無制御時と比較すると非常に共振しにくいシステムと言える。Table 2は、制御時と無制御時の最大応答値及び総入力エネルギー量を表示したものである。最大応答値として、変位応答、加速度応答及びせん断力に注目した。同表によると、最大変位及び構造物に入力される総入力エネルギー量は、それぞれ50%及び40%以下に低減した。最大加速度及びせん断力については、AVSBを設置した質点1では無制御時と比較して若干大きいのが、質点2では加速度が80%、せん断力が50%程度に低減した。全体的に、全ての応答が低減していることがわかる。

5. まとめ

AVS及びJDシステムを併用した制震システムを構築し地震応答解析を行った結果、同システムにより、最大変位は50%以下に低減し、総入力エネルギーは40%以下に低減した。

[参考文献]小堀 鐸二：制震構造－理論と実際－、鹿島出版会、1993年9月

Table 1 Stiffness Type and Period

STIFFNESS TYPE	PERIOD of MASS1 (sec)	1st PERIOD (sec)	2nd PERIOD (sec)
TYPE 1	0.6	1.45	0.572
TYPE 2	0.9	1.51	0.805
TYPE 3	1.1	1.57	0.925
TYPE 4	1.3	1.65	0.101
TYPE 5	1.5	1.74	0.107
TYPE 6	1.7	1.85	0.112
TYPE 7	2.0	2.00	0.115

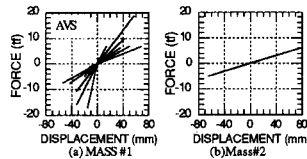


Fig.4 Hysteretic Behavior

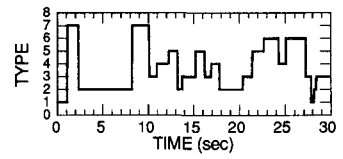


Fig.5 Time History of Stiffness Type

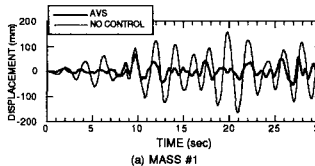


Fig.6 Time History of Displacement

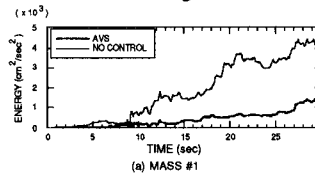


Fig.7 Time History of Total Energy

Table 2 Maximum Responses of No Control and Hybrid System

Model Type			Maximum Responses			Energy (cm ² /sec ²) (x10 ³)
			Dsp(mm)	Acc(gal)	Frz(tonf)	
NO CONTROL			164.8	163.3	16.1	4.19
Hybrid System	Mass1	AVS	68.5	180.2	18.8	1.39
		AVS / NO CONTROL	0.42	1.10	1.17	0.33
	Mass2	AVS	78.2	130.6	7.82	1.78
		AVS / NO CONTROL	0.48	0.80	0.48	0.38
	Total	AVS / NO CONTROL	0.45	0.95	0.83	0.38