

(222) バリアブルダンパーによる橋の振動応答制御とその解析

建設省土木研究所 川島 一彦
運上 茂樹
向 秀毅

1. はじめに

著者らは、日本独自のダンパーストッパーといわゆるエネルギー吸収装置としてのダンパーの両者の特性を合わせることが、橋梁の耐震設計上有効であると考え、ダンパーの減衰特性を橋の振動性状に応じて変化させることが可能なバリアブルダンパー装置を開発するとともに、橋梁用の耐震装置としての応用性や実現性を検討してきた^{1)~3)}。

本文では、バリアブルダンパーの実大模型を開発試作するとともに、模型橋を用いた振動台実験によりその効果を検討した結果を報告する。

2. バリアブルダンパーの実大模型の開発

(1) 実大模型の概要

写真-1は、バリアブルダンパーの実大模型を示したものである。バリアブルダンパーの最大減衰力は20tfとし、シリンダーは、ロッドを含めた全長が1,184mm、シリンダー中間部にピストンを有するもので、シリンダーの有効断面積は137.4cm²、最大ストロークは±13cmである。ピストンをまたいでシリンダーから鋼管によりバイパスを設け、これを2つのサーボバルブを介してオイルタンクに接続する。サーボバルブは、電磁比例リリーフ弁と呼ばれるもので、ある圧力(制御圧力)になるとそれ以上の圧力を解放する弁構造であり、ピストンの抵抗力は、シリンダーの左室及び右室の粘性体の圧力差により発生させる。サーボアンプからサーボバルブへの入力電圧は0~5Vとし、0Vで制御圧力最小(減衰力最小)、5Vで制御圧力最大(減衰力最大)となる。なお、シリンダー内に封入する粘性体としては、加振負荷装置に通常用いられるオイルを用いた。

バリアブルダンパーの減衰特性の制御は、橋桁等の変位や速度に応じてパーソナルコンピュータにより行う。センサーにより取り込んだ変位等は、AD変換器を介してパーソナルコンピュータ上で制御するため、変位等のサンプリング時間を適切に設定する必要がある。

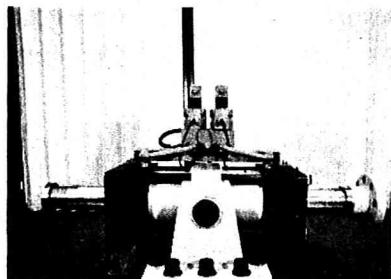


写真-1 バリアブルダンパーの実大模型

(2) バリアブルダンパーの実大模型の制御性

バリアブルダンパーに必要な減衰抵抗を適切に設定するために、実大模型単体の動的載荷実験によりその基本的な特性を検討するとともに、制御性を検討した³⁾。実験では、所定の制御を行うように電圧をサーボアンプに入力して、ロードセルを介して固定した加振負荷装置により強制変位を与えた。サーボアンプへの入力電圧、ダンパーの抵抗力、ダンパーのストローク量を計測した。

図-1は、バリアブルダンパーの制御例を示したものである。同図には、制御値と実際に計測された値を比較して示している。ここで、変位のサンプリング時間は0.01秒である。これによれば、バリアブルダンパーはほぼ制御値通りに抵抗力を与えることができる。

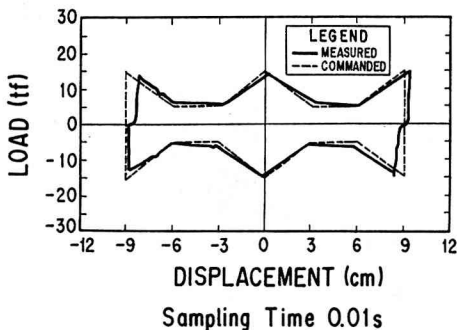


図-1 バリアブルダンパーの制御例

3. バリアブルダンパーの模型橋の振動台実験

(1) 模型振動台実験の概要

バリアブルダンパーによる橋の地震応答制御効果を検討するために、模型橋の振動台実験を行った。写真-2は大型振動台(6m×8m)と模型橋を示したものである。模型橋は、図-2に示すように橋脚の高さが1.6m、桁の長さ及び総重量が、それぞれ、7.6m及び約40tfの単純桁である。支承条件としては、

各橋脚に2個、計4個の積層ゴム支承を用いた弾性支持とし、橋の1次固有周期が1秒になるようにゴム支承のばね係数を定めた。ゴム支承は、図-3に示すように総厚が10cm、せん断弾性係数は 6 kgf/cm^2 とし、ばね係数は50%ひずみ時で 160 tf/m とした。バリアブルダンパーは、写真-3に示すように桁と橋脚天端を結ぶように設置し、桁の相対変位を測定しながら図-4に示すようにダンパーの特性を制御した。

ゴム支承は、変形に伴う非線形性を有しているため、その剛性と減衰特性はせん断ひずみに依存する。このため、まず、正弦波入力による加振実験を行い、模型橋の等価剛性及び等価減衰定数を求めた。振動台の加速度振幅は、 20 cm/s^2 及び 40 cm/s^2 の2種類とした。その後、実際の地震波を振動台に入力してバリアブルダンパーによる橋の地震応答制御効果を検討した。振動台への入力地震動としては、昭和58年日本海中部地震により八郎潟の堤防で観測された実際の地震記録を用いた。最大加速度を 200 cm/s^2 、時間軸を1/2にした波形を用いた。時間軸を1/2にしたのは、地震動の卓越振動数と模型橋の固有振動数を近づけて振動しやすくするためである。

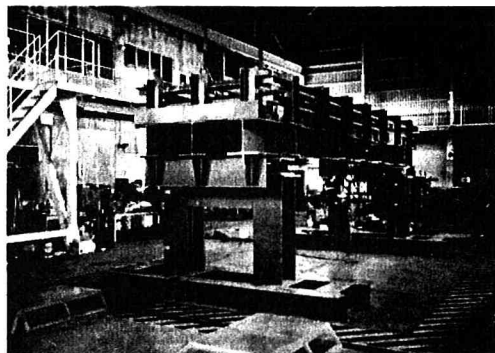


写真-2 模型橋の振動台実験

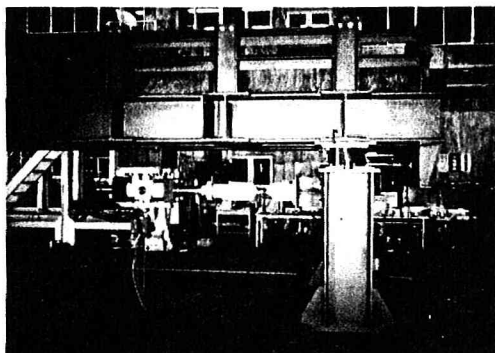


写真-3 バリアブルダンパーの模型橋への設置状況

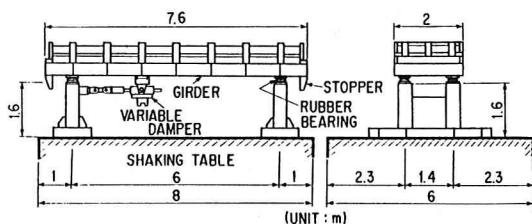


図-2 模型橋

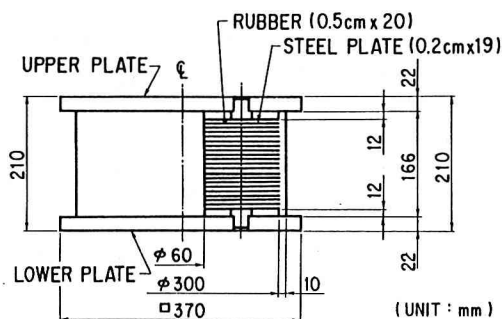


図-3 模型橋に用いたゴム支承

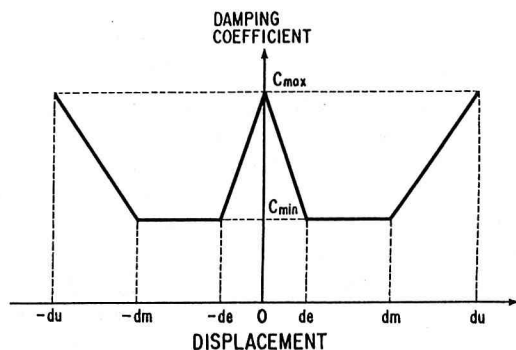


図-4 バリアブルダンパーの制御方法

(2) 模型橋の動的振動特性

図-5は、模型橋の桁の変位の振動数応答曲線を示したものである。加速度振幅を 20 cm/s^2 及び 40 cm/s^2 の場合の桁の最大変位は、それぞれ、2.8cm、9.8cmとなり、固有周期は、加速度振幅を2倍にすることにより1.15Hzから1Hzに減少する。図-6は、正弦波加振実験から求めた模型橋の等価剛性と等価減衰定数を示したものである。等価剛性は振動振幅とともに減少する。減衰定数の振動振幅依存性は大きくない。後述する実験結果のシミュレーション解析ではこのようにして求めた等価剛性及び等価減衰定数を用いた。

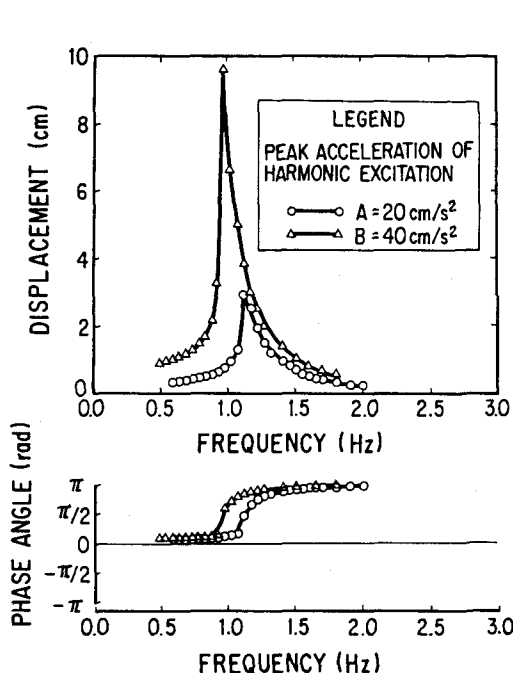


図-5 模型橋の固有振動特性

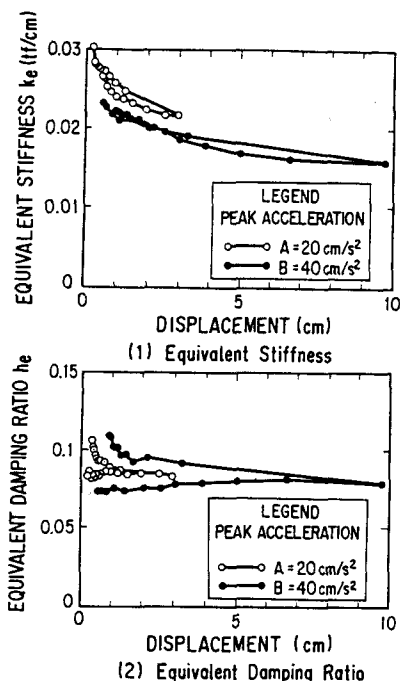


図-6 模型橋の等価剛性及び等価減衰定数

(3) バリアブルダンパーによる地震応答の制御効果

図-7及び図-8は、バリアブルダンパーにより制御しない場合と制御した場合の振動台及び桁の応答波形を示したものである。なお、ここには、後述する解析結果も示している。これによれば、バリアブルダンパーを設置しない場合には、桁の最大応答加速度及び最大応答変位は、それぞれ、 376 cm/s^2 及び 9.2 cm となるが、バリアブルダンパーにより制御することにより、それぞれ、 203 cm/s^2 及び 1.3 cm となる。バリアブルダンパーによって制御することにより最大応答加速度は54%に、最大応答変位は14%に低減できることがわかる。この時にダンパーに生じる最大減衰力は 7.2 tf である。

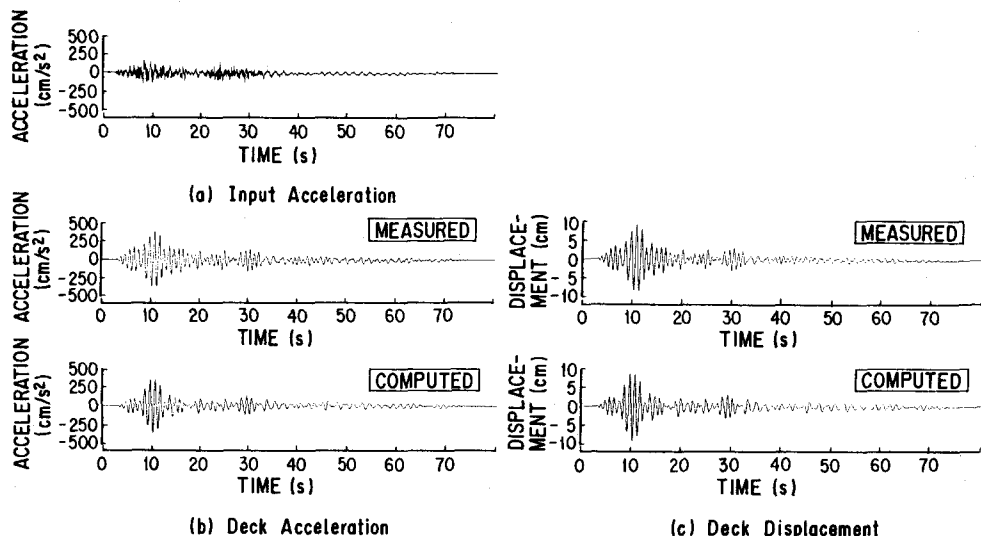


図-7 非制御の場合の模型橋の応答値

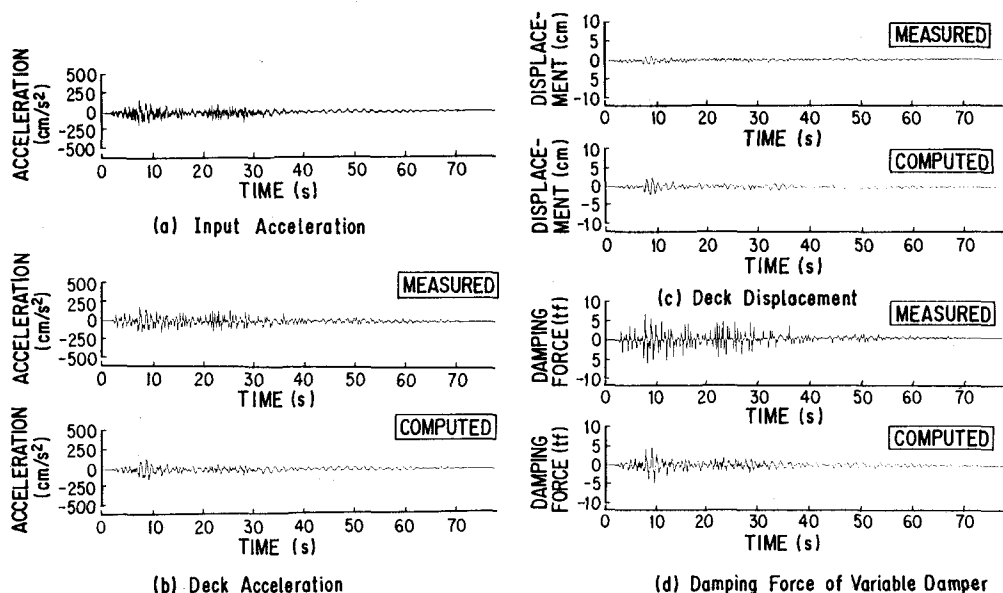


図-8 バリアブルダンパーにより制御した場合の模型橋の応答値

(4) 振動台実験の解析

図-7及び図-8には、実験結果を解析した結果も示している。解析では、土木研究所で開発したバリアブルダンパーを有する多自由度系の地震応答解析プログラム“V D A M”を用いた。

非制御の場合について見てみると、解析結果は実験結果とほぼ一致している。制御した場合には、解析結果は、実験結果よりも小さくなる。これは、桁の振動方向が変化する時に減衰力が急激に変化するため、バリアブルダンパーの減衰力が設定した値よりも大きくなったためである。これは、応答性が高く、容量が大きいサーボバルブを使用することにより解決できるものと考えられる。解析による桁及びバリアブルダンパーの応答性状は、ほぼ実験結果と一致している。

4. 結論

本文では、橋の地震応答を効果的に低減できるバリアブルダンパーの実大模型を開発試作するとともに、模型橋を用いた振動台実験によりその効果を検討した。本検討結果の結論は以下のとおりである。

- 1) バリアブルダンパーにより制御することにより、桁の最大応答加速度は54%に、最大応答変位は14%に低減できることがわかる。この時にダンパーに生じる最大減衰力は7.2tfである。
- 2) 実験のシミュレーション解析によれば、実験値はほぼ解析により再現することができた。ただし、桁の最大応答値については、バリアブルダンパーの減衰力が設定値よりも大きくなる場所が生じ、実験値の方が小さくなるが、これは、応答性が高く、容量が大きいサーボバルブの利用により解決できるものと考えられる。

[参考文献]

- 1) 川島一彦、運上茂樹、清水英之：バリアブルダンパーを用いた道路橋の地震応答制御、土木学会振動制御コロキウム講演論文集PART. B、1991年7月
- 2) 川島一彦、運上茂樹、清水英之：バリアブルダンパーを用いた道路橋の地震応答制御、日本学術振興会、アクティブ制震(振)シンポジウム論文集、1992年3月
- 3) Kawashima, K., Unjoh, S., Iida, H. and Mukai, H. : Effectiveness of the Variable Damper for Reducing Seismic Response of Highway Bridges, The 2nd U.S.-Japan Workshop on Earthquake Protective Systems for Bridges, Tuskuba, December 7-8, 1992

【連絡先】建設省土木研究所地震防災部耐震研究室(〒305茨城県つくば市旭1番地、Tel:0298-64-2211)