

I-263 バリアブルダンパーによる道路橋制振へのファジィ制御理論の応用

(株)大林組技術研究所 ○正員 孫 利民

(株)大林組技術研究所 正員 後藤洋三

1 はじめに 高橋脚道路橋、免震橋などの固有周期の長い橋では、地震時の桁の変位が大きく、大きな伸縮継手が必要となる。また、交通荷重の作用によって揺れ易く、道路の走行性が低下する可能性もある。従って、これらの橋に附加制振装置を装着し振動を抑えることが望ましい。その一方式として、図-1に示すように、橋台と橋桁の間に粘性ダンパーを設置し、橋台の反力を利用して、橋軸方向の桁の振動変位を低減する方法が考えられる。また、減衰可変のバリアブルダンパーが橋梁制振に提案されている[1,2]。そこで、本研究では、ファジィ制御理論を用いたバリアブルダンパーによる道路橋の振動制御について理論解析を行い、その適用性および制振効果を検討した。

2 道路橋のモデル 左右対称の高橋脚P-C道路橋を解析モデルとして選定し、その半分を1自由度系にモデル化した(図-1)。バリアブルダンパーの減衰係数を C_v とすると(減衰定数は h_v)、運動方程式は次のようになる。

$$M \ddot{x} + C \dot{x} + C_v \dot{x} + K x = -M \ddot{x}_g \quad (1)$$

バリアブルダンパーの負担する減衰力は

$$F_d = C_v \dot{x} \quad (2)$$

である。

3 ファジィ制御 バリアブルダンパーの減衰力 F_d 及びバリアブルダンパーと橋のトータル減衰定数 h_t (= $h + h_v$)からファジィ推論により、次の時間ステップのバリアブルダンパーの減衰定数の変化量 Δh_v を決める。ファジィ推論の前件部 F_d 、 h_t と後件部 Δh_v はファジィ数であり、それぞれのメンバーシップ関数を図-2に示す。

バリアブルダンパーの減衰の変動原則は次のようである。減衰力 F_d については、ある設定した大きさのレベルにならない限り、できるだけ高減衰レベルに近づけ、減衰効果を十分発揮させる。もし、減衰力 F_d が設定したレベルよりも大きくなりそうであれば、ダンパーの減衰を下げ、それによって減衰力を低減させ、橋とダンパー自身を保護する。この考えに従って作成した制御ルールを表-1に示す。ファジィ推論にはmax-min-高さ法を用いた[3]。

4 理論解析結果と考察 h_t の初期値を100%に、 F_d 、 h_t 、 Δh_v の幅を図-2のように設定し、橋の地震応答の時刻歴を0.01sec刻みにして計算した(図-3)。入力地震波(1940 ELcentro NS、最大加速度は314.7 gal、継続時間50sec)は加速度レベルにより、二つの部分に分けられる(図-3a)。即ち、前30secの高加速度レベルの部分(最大加速度314.7gal)と後20sec(30secから50secまで)の低加速度レベルの部分(最大加速度51.8gal)である。説明しやすくするため、本文では、後半部分の低加速度レベルは中小地震と同じレベルと考える。

バリアブルダンパーを装着しない場合(図-3b)、橋自身の構造減衰が小さいため($h = 4.3\%$)、地震時橋桁の橋軸方向最大変位が非常に大きいこと(前半:25.9cm;後半:4.3cm)が分かる。バリアブルダンパーにより制振した場合(図-3c)、橋桁の最大変位が半減され(前半:12.4cm;後半:0.8cm)、しかも、最大減衰力は $\pm 500\text{ton}$ 以内にとどまった(前半:500ton;後半:200ton)。バリアブルダンパーの減衰定数は、前半で変動が激しい(12%から150%)。しかし、後半に入ると地震入力加速度が小さいため、バリアブルダンパーの減衰力のレベルは小さくなり、減衰比は150%位の高いレベルで安定していた。

比較するため、従来の減衰一定のダンパーを装着した場合について、地震時橋桁の変位とダンパーの減衰力を計算した。ダンパーの減衰定数は、バリアブルダンパーの減衰定数の変動範囲を考慮し、その最小値(12%)と最大値(150%)を用いた。減衰定数12%を持つダンパーの場合は(図-3d)、バリアブルダンパーの場合と比べ、ダンパー最大減衰力が小さくなる(197ton)と同時に、橋桁の最大変位が大きくなり(前半:19.0cm;後半:2.6cm)、特に後半では、入力が中小の地震と同じレベルと考えれば、相当大きい変位が生じ、車両の走行性を低下させることに

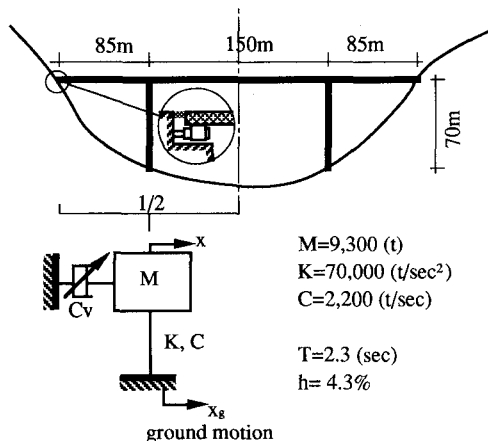


図-1 道路橋モデル

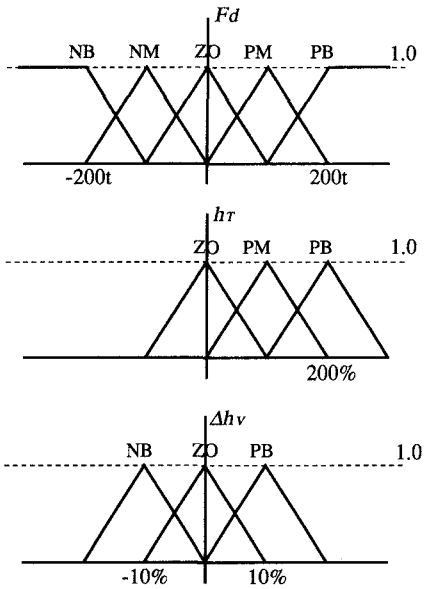


図-2 メンバシップ関数

表1 ファジィ制御ルール

Δh_v		F_d				
		NB	NM	ZO	PM	PB
h_τ	PB	NB	NB	NB	NB	NB
	PM	NB	ZO	PB	ZO	NB
	ZO	ZO	PB	PB	PB	ZO

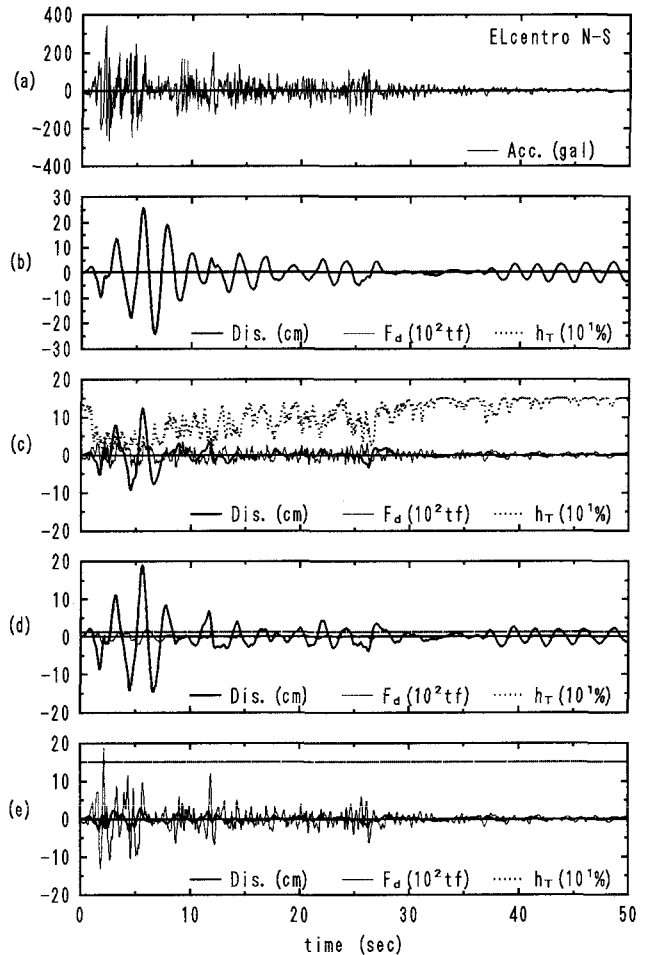


図-3 地震応答

なる。一方、減衰定数150%を持つダンパーの場合（図-3e）、橋桁最大変位が前半、後半とも小さくなっているが（前半：2.8cm；後半：0.6cm）、前半では高レベルの地震入力加速度のため、ダンパーの減衰力がかなり大きくなり、最大1,800tonにも達している。本研究で考えている橋の例では、橋桁の断面積から計算した最大許容力が約1,400tonであり、特別な補強をしない限り橋が破壊されると考えられる。

5 結び 理論解析の結果により、バリアブルダンパーを用いて長周期の橋の振動を制御する場合、バリアブルダンパーの減衰定数の変動によって、ダンパーに作用する力がある設定したレベル以上にならないようにすると同時に、ダンパーの減衰性能を十分発揮した制振効果が得られる。また、水平地震力のかかなりの部分がダンパーによって負担され、橋脚のせん断力とモーメントも軽減できる（橋脚最大せん断力：無制御時1,850ton；制御時890ton）。ファジィ制御理論を用いた場合、制御規則が単純、明快であり、適当な制御規則の作成によって、期待する制御効果が容易に達成可能である。さらに、複雑な構造解析モデルは不要のため、制御の計算が簡単で、実用性がかなり高いと言える。今後は、地震入力とバリアブルダンパーのハードウェアの特性を取り込んだ制御規則の作成を検討する予定である。

参考文献 [1] 川島、運上、清水：アクティブ制震（振）シンポジウム、p311-324、92年3月。[2] Shinozuka：UJNR第2回日米免震橋ワークショップ、92年12月。[3] 水元：コンピュータロール、コロナ社、No28、p32-45、89年10月。