I-466 多自由度構造物に対するアクティブダンパーの適用法について

首都公団 正員 ○田嶋仁志
東北大学 正員 倉西茂
東北大学 正員 岩熊哲夫

1 はじめに

構造物の制振を目的として適用されるダンパーのうち、主に外部からエネルギーを供給することによって、積極的に制御を行なう装置をアクティブダンパーと言う。またこのダンパーによって構造物の振動を制御することを、構造物振動のアクティブコントロールと呼ぶ。アクティブコントロールはその適用法によっては逆に加振することもあり、適切な使用法が必要である。そこで本研究では多自由度構造物の制振を目的とし、ダンパーの適用法としては、理論的にはモード解析法を使用した。例として2自由度系にダンパーを取り付けた時の制御特性を解析及び実験で明らかにしたので、ここに報告する。

2 制御システム

制御システムは、図－1のように、構造系の振動状態をモニターした電気信号を電気信号変換部に入力し、目標とする制御信号に変換し、制御力発生部では制御信号に比例した制御力を発生し、その制御力を構造系へ入力する、一種のフィードバック系となっている。尚前述の制御信号に対する制御力の比例定数をゲインと呼ぶ。

3 モード解析法

多自由度構造物を離散化して、質点または節点系多自由度にモデル化し、外力と制御力を加えた運動方程式は次式のようになる。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = P - U$$

ここに M, C, K は離散化した構造物の質量, 減衰, 剛性マトリックス（N自由度で$N \times N$）, x, P, U は質点または節点変位、外力、制御力ベクトル（$N \times 1$）である。今、図－1中の制御信号がセンサー設置位置の質点または節点速度に比例した信号の合成であるとすれば、制御力ベクトルUは

$$U = F\dot{x} \quad （Fはゲインマトリックス）$$

ここに

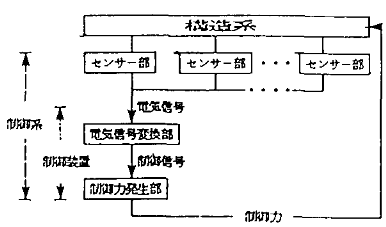
$$F = \left[\ f_{ij}\ \right] \Longrightarrow$$ i質点のセンサーによるフィードバック

j質点への制御力入力

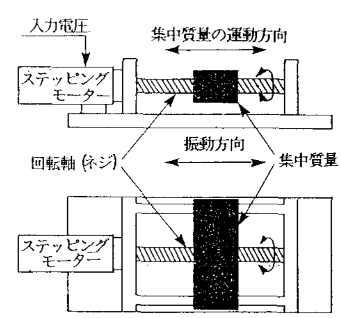
(2)式を(1)式へ代入し、モード解析法を適用することにより各次モードの減衰定数β_kは近似的に次のように表わされることがわかった

$$\beta_k = \sum^{n} f_{ij} \cdot \psi_{ijk} + h_k$$

ここに β_k, h_k はそれぞれk次モードの制御のある場合の減衰定数と制御のない構造物固有の減衰定数である。ψ_{ijk}はゲインf_{ij}に対応し、構造物の特性によって決まる定数である。nはゲインマトリックス中のf_{ij}が0でない値を持っている数である。例えば単一質点に制御力を入力した場合、nは設置したセンサーの数となる。



図－1 制御システム

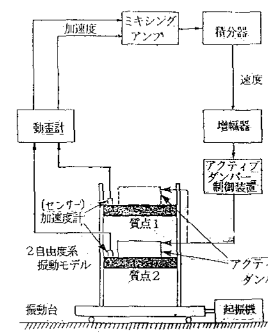


図－2 アクティブマスダンパー

4 実験装置

制御力を発生する装置として図－2のようなアクティブマスダンパーを使用した。アクティブマスダンパーは主にステッピングモーターとその軸に直接に繋がった回転軸、この軸の回転によって水平運動をする集中質量

分ら構成されている。ステッピングモーターの回転は入力電圧によって自由に変えられ、それに伴なって運動する集中質量の慣性力が制御力となる。実験のシステムは図－１をもとに図－３のようになっている。天板と柱を用いた簡易な２自由度系モデルにはセンサーである加速度計とアクティブダンパーが設置してある。動歪計から制御装置までの一連の電気回路は構造物の外部に置いた。



図－３　実験システム

５　２自由度系の解析及び実験結果

本実験ではダンパーを１個，センサーを２個使用した。２自由度系の場合２つのモードがあるので，各モードに対応する減衰定数の近似式も(3)式より２つ存在する。そこで新たなパラメーターとして、２次に対する１次の減衰定数比λを導入した。構造物固有の減衰がない（$h_k=0$）とすればλは，

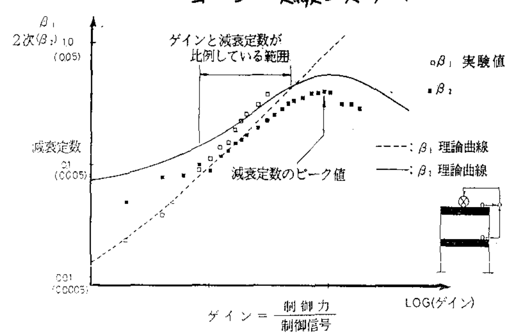
$$\lambda=\frac{\beta_2}{\beta_1}=\frac{\sum^{2} f_{ij}\cdot\phi_{ij2}}{\sum^{2} f_{ij}\cdot\phi_{ij1}}$$

で表わされる。今質点１に対する質点２速度の加算割合をτとすれば，$f_{2j}=\tau f_{1j}$　と表わされるから(4)式は

$$\lambda=\frac{\phi_{1j2}+\tau\cdot\phi_{2j2}}{\phi_{1j1}+\tau\cdot\phi_{2j1}}$$

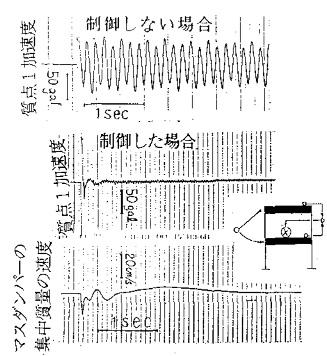
（添字jはj質点にダンパーを置いたことを意味する）

(5)式を見てわかるように、ゲインの大きさによらない関数となり構造特性ϕ_{ijk}と加算比τのみの関数となる。ここに加算比τを変化させることによってλは０から∞、すなわち両次の減衰定数に自由に重みをかけることができる。



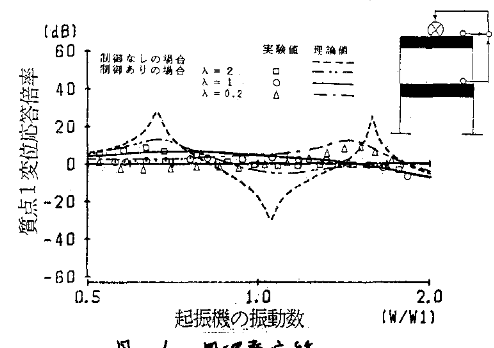
図－４　ゲインと各次減衰定数の関係

図－４は(5)式においてλ=0.05にした時のゲインと各次減衰定数の関係である。ゲインが小さい時は構造物自体が持つ減衰が強くでるが、ゲインが大きくなりその影響が小さくなる範囲ではゲインと減衰定数は比較的比例している。しかしながらある範囲を越えると，減衰の小さい方の増加が小さくなり、あるピーク値をとった後逆に低下し、(3)式の近似式はあてはまらなくなる。これは単一質点に制御力が入力されるため、制御力によって各次モードが連成化してしまうことによる。図－５は単位衝撃応答の一例である。質点１、２速度信号の加算比はλ=1をとるように設定し、ゲインは図－４の減衰定数のピーク値をとる大きさをとった。



図－５　単位衝撃応答

例として質点１の加速度応答を示した。制御した場合，ほとんど１，２波で振動がとまっている。質点２においても同様な結果が得られた。図－６は質点１変位応答倍率の周波数応答である。λは３種類とった。λ=2、すなわち２次モードの制振に重みをつけた場合と，λ=0.2　すなわち１次モードの制振に重みをつけた場合を比較すると，両次共振点において、その応答値に著しい違いがみられる。λ=1の場合、ほぼ両共振点で平坦化されており、その振動レベルは応答倍率にして約－30dB（3/100）に低下している。



図－６　周波数応答