多自由度構造物に対するアクティブダンパーの適用に関する研究

東北大学工学部　○学生員　濱田　幹夫
東北大学工学部　　正　員　倉西　茂
東北工業大学　　　正　員　高橋　龍夫

1．まえがき

能動的に外部からのエネルギーを供給することによって、構造物の振動を制御する装置をアクティブダンパーという。このアクティブダンパーを都市内高速道路高架橋橋脚のモデルとして平面ラーメン構造物に適用した。ダンパーの制振効果を把握するために、目的関数を設定しダンパーの適用性を検討した。

2.解析モデル及び解析方法

解析モデルは図1に示す。平面ラーメンを有限要素法によって離散化し外力と制御力を加えた運動方程式をモード解析することによって系の制振問題を検討する。制御方法として一自由度系で減衰の改善の効果等を考慮して、節点の速度に比例した制御力を用いる。その比例定数を速度フィードバックゲインと呼ぶ。

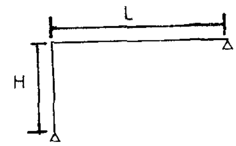

図1　解析モデル

3.目的関数の設定

基本的には、ダンパーによる制振効果と外部からの供給しなければならないエネルギー消費量の経済性の両方を考慮しなければならない。制振効果を評価するパラメーターとして系全体の制振を考え、系の見かけ上の減衰定数を用いる。外部からの供給エネルギーを評価するパラメーターとして制御力の代りに速度フィードバックゲインを用いる。それぞれの項に重みを付ける。制振効果の重み係数はまず各振動モードと静的たわみ形の内積をとり、卓越振動数に重みを付ける。これをa_iとして式で表わすと

$$a_i=\sum_{i=1}^{n_0}\left(y(x)/y(x)_{max}\cdot\phi_i(x)\right)/\left(y(x)/y(x)_{max}\cdot\phi_i(x)\right)_{max}$$

ここで$y(x)$はたわみ形、$\phi_i(x)$は各振動モード、$y(x)_{max}$は$y(x)$の最大値n_0は全自由度数。ただし無次元化するため$y(x)_{max}$で除して、重み係数b_iと均等を図るために内積の最大値で割った。b_iは制御すべき卓越振動数で割った振動数比である。

$$b_i=\omega/\omega_i\ (\omega<\omega_i)\qquad \omega_i/\omega\ (\omega\geq\omega_i)$$

ωは制御すべき固有振動数　ω_iは各次の固有振動数

2以上の卓越振動数を考慮して1を加えてa_iとの積をとる。

次に、モードの相互作用による影響について考える。非制御の系はモード解析により非連成化しているものの制御力を入力することによって連成してしまう。そこで、2自由度系を例にとり図2に示すモード形と外力の作用位置での各モードの振幅比を同符号になるようにして定義する。この場合は両モードとも質点1は正、質点2は1次が正で2次は負とする。1次・2次モードの振幅比の符号が同じならば、本

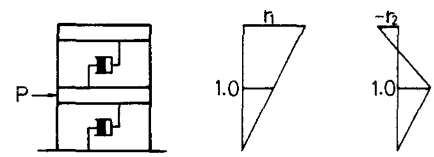

図2モード形の振幅比の符号の取り方

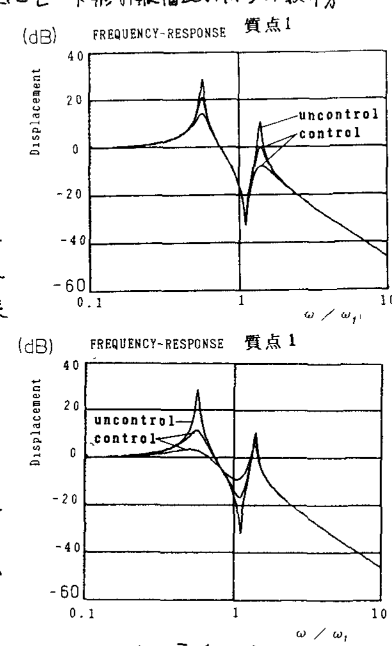

図3　2自由度系モデルの変位応答倍曲線

質的にモードの相互作用はあるものの解析が困難ため、無視する。異なる場合は、考慮する。図3より外力と制御力が同じの場合、つまり1次・2次の振幅比の符号が同じ場合は、加振域は生じないが異なる場合は加振が生じてしまう。以上のことを考慮して、係数αで表わすと

$$\alpha = \sum_{i=1}\sum_{j=1} k\, e_{ij} \beta_{oij} \quad ただし\ \beta_{oii} = 0$$

kはモード形の振幅比の符号が同じなら0で異なるなら1とする。e_{ij}はモデルによって変わる定数。β_{oij}は、速度フィードバックゲイン行列をモード変換して得られるモード速度フィードバックゲイン行列の非対角項を用いた。それをモード質量と固有振動数の2倍で除してその絶対値を用いた。

$$\beta_{oij} = \left| f_{oij}/2m_j\omega_j \right| + \left| f_{oji}/2m_i\omega_i \right|$$

ここでm_iはi次のモード質量。ω_iはi次の固有振動数とする。次に消費エネルギーの項の重みをγとする。速度フィードバックゲインを無次元化するために1次のモード質量と固有振動数の2倍で除した。最終的に目的関数Iは

$$I = (1-\alpha)\sum_{i=1}^{n} a_i(1+b_i)\beta_i^2 - \gamma\left(f/2m_1\omega_1\right)^2$$

と定義する。

4. 結果

まず、e_{ij}を試行錯誤の結果以下のように決めた。

$$e_{ij} = 1.0(\omega_i/\omega_j)(b_i+b_j)^2 \ (単独外力)$$
$$= 1.5(\omega_i/\omega_j)(b_i+b_j)^2 \ (複数外力)$$

目的関数の適用性を検討するために$\gamma = 0$としたときモデルの梁部材の左側から3/8Lに正弦波外力が作用しているときのダンパは梁部材の左側から3/8Lと5/8Lに設置した場合の梁部材の中央の鉛直変位の周波数応答を表わしたのが図4に示す。1次共振点は少し違うけれどもほぼ同じ応答を示している。図5はダンパー位置と目的関数Iの関係を示す。この場合のダンパーの最適な位置は、梁部材の左側から5/8Lに設置した場合が最適な設置場所となる。また、柱部材に設置する方がよいことがわかる。次に図6は、最適ゲインとγの関係を示した。1.0から3.0で急激に下がっている。以下により、ケーススタディであるが、目的関数を制御力による見かけ上の減衰定数と速度フィードバックゲインをとることによってまた、モードの相互作用を考慮することによって、制振効果が把握できた。

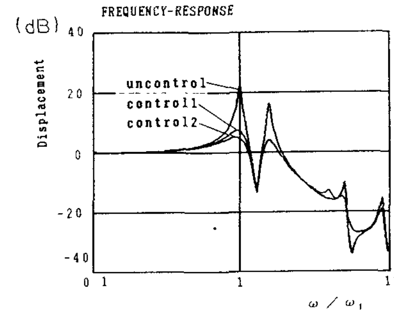

図4 Iが等しい場合の周波数応答曲線

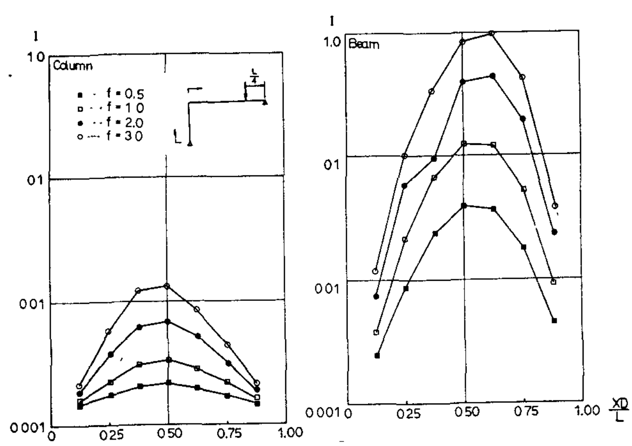

図5ダンパーの位置と目的関数Iの関係

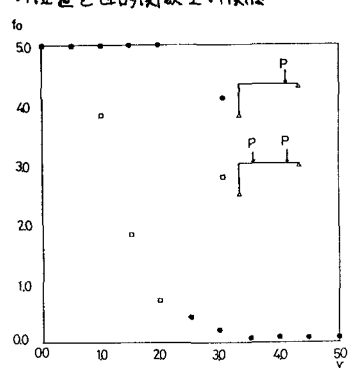

図6 最適ゲインとγの関係