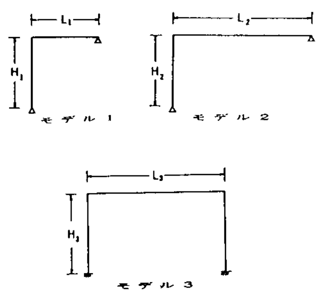
I-346　多自由度構造物に対するアクティブダンパーの一適用性に関する研究

大成建設（株）　正員○濱田　幹夫
東北大学　正員　倉西　茂
東北工業大学　正員　高橋　龍夫

1.まえがき

アクティブダンパーとは、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いう。アクティブダンパーを用いた制御をアクティブコントロールと呼び、アクティブコントロールは、センサーとダンパーのフィードバック回路になっている。本研究では、ダンパーとセンサーの設置位置が同じ場合について多自由度構造物の振動制御の可能性について検討を行った。



図－1　解析モデル

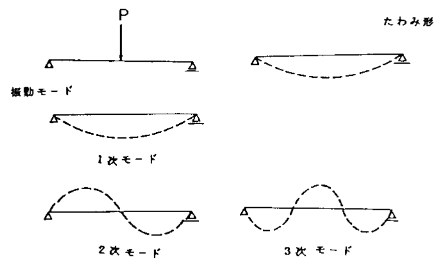
2.解析モデルおよび制御方法

図－1のような3種類の平面ラーメン構造物を解析モデルとする。有限要素法で解析し、減衰のある振動を対象とした。モード減衰定数を0.025とした。制御方法は、一自由度系での減衰の改善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ゲインfとする。

3.目的関数Iの設定

最適制御を目標とし、アクティブダンパーの場合では、制振効果とアクティブダンパーの消費エネルギーを少なくするために経済性を考える。この両者を考慮するために目的関数Iを設定し、基本的には次式で表した。

$$I = (\text{制振効果})^2 - (\text{消費エネルギー})^2 \qquad (1)$$

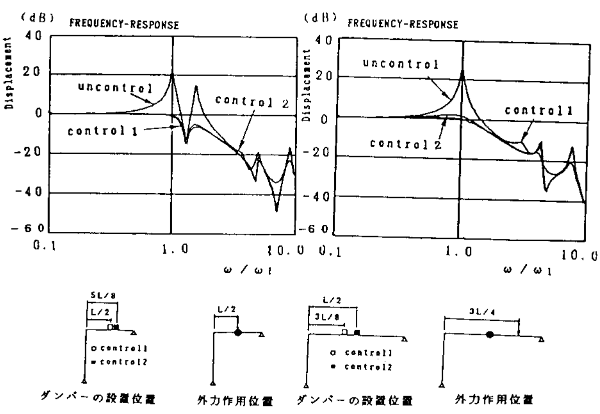


図－2　卓越振動数について

また、制御効果の項は減衰定数に比例するとし、消費エネルギーの項は制御力に比例するものと考えた。さらに、制御効率を高めることが目的関数Iを最大にするようにIを設定すると、

$$I = (\text{モードの相互作用}) \times (\text{外力との位置}) \times (\text{振動数比}) \times \beta_i{}^2 - (\text{制御力})^2 \qquad (2)$$

となり、多自由度系なので多くの振動モードをもつためモードの相互作用と卓越振動数に重みを付けるために外力との位置と振動数比を考慮した。卓越する振動数について、まず外力との位置は、基本動モード形とたわみ形の内積をとることによって考慮した。図－2は、単純梁の中央に外力が作用している場合のたわみ形と基本振動モード形を示した。内積をとることによって1次モード形とたわみ形の内積が大きくなます。従って基本振動モード形とたわみ形の内積をとることによって、卓越振動数に重みを付ける。これを近似的に式で表すと



図－3　モデル1とモデル2に対するダンパーの適用

$$\sum_{x=1}^{n}(y(x)\cdot\phi_i(x))\,/\,(y(X)\cdot\phi_i(x))_{MAX} \quad (3)$$

となり、$y(x)$, $\phi_i(x)$, nはそれぞれたわみ形, i次のモード形,全自由度数である。次に振動数比は卓越振動数と各次の固有振動数の比をとることによって卓越振動数に重みを付ける。

$$\omega/\omega_i \quad (\omega<\omega_i)$$
$$\omega_i/\omega \quad (\omega\geqq\omega_i) \quad (4)$$

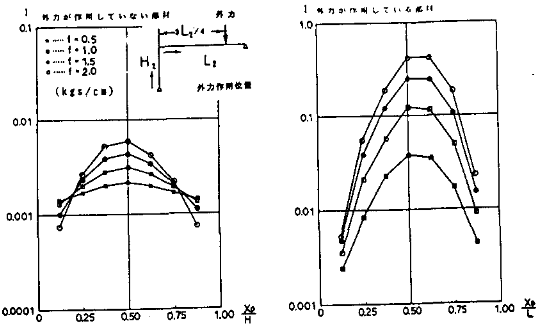
なり、ω_i, ωはそれぞれ各次の固有振動数,卓越振動数である。また、制御力の代わりに速度ゲインを1次のモード質量m_1と固有振動数ω_1の2倍で除して無次元化して重み係数γを乗じて

$$\gamma\,(f/2m_1\omega)^2 \quad (5)$$

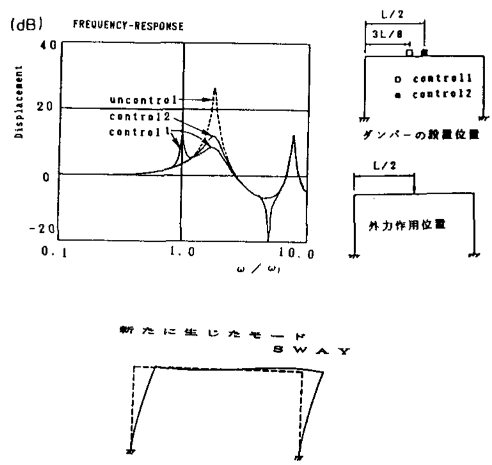
と表した。

4.結果および考察

図－3は、ダンパーをモデル1とモデル2に適用した例で外力が作用している部材の中央の鉛直変位について、周波数応答曲線を表した。モデル1では制御を行うことによって1次・2次の共振点の変位を0dB以下に押さえるができ、高次の振動数についても大きな加振は生じていない。モデル2でも同様である。従って、モデル1と2に対してアクティブダンパーの適用により有効に振動を制御できる。また、制御位置を変えても同じ制御効果がえられる。図－4は、モデル2において速度ゲインを0.5,1.0,1.5,2.0(kgs/cm)に変化させてγ=0.005の時ダンパーの設置位置と目的関数Iの関係を表した。縦軸に目的関数Iをとり横軸にはダンパーの設置位置を無次元化したものを用いた。目的関数Iの最大値が外力の作用している部材のほぼ中央になっておりこの点にダンパーを設置するのが最も効果的である。



図－4　ダンパーの位置と目的関数Iの関係



図－5　モデル3に対するダンパーの適用

よって、ダンパーの最適位置をIが最大になる点として決めることができる。図－5は、モデル3の門型ラーメンにダンパーを適用した例で、柱部材の中央の水平方向に注目し、ダンパーの設置位置と外力位置が等しい制御1では、加振域もなく制御できる。しかしダンパーの設置位置と外力位置が異なる制御2では新たにSWAYモードが生じ、加振のピークが表れるが全体的な制振効果を考えると制御しない場合よりも振動を制御できるため、モデル3に対してもダンパーの適用は、有効である。

5.結論

多自由度構造系の振動特性を十分考慮した1つの目的関数を提案した。外力位置と振動モードを考慮して、ダンパー最適設置位置をこの目的関数から決定できた。3つのモデル解析により多自由度構造系に対するアクティブダンパーの適用が実用にも可能であることが明らかになった。