

京都大学工学部 正員 五十嵐 晃

京都大学工学部 正員 家村 浩和

京都大学大学院 学生員〇ーツ町展也

1. はじめに

アクティブTMDはアクティブマスダンパ(AMD)に比べて比較的小さな制御力で高い制振効果をあげることができるという利点を有している。しかし、アクティブTMDを制震装置として実用化する場合、単純な線形制御では、地動入力に比例してマスの変位が大きくなることから、種々の大きさの地震動に対して、補助マスの可動範囲の制限を陽に考慮に取り入れて動作させることが難しい。

そこで本研究では、並列型アクティブTMDにおける補助マスに変位制約を取り入れた制御則を適用し、振動低減効果と制御装置の制約等の特性、及び入力大きさとTMDのチューニングパラメータの関係に関して検討した。

2. 変位制約を考慮した非線形制御則

解析モデルを図1に示す。運動方程式は、

$$\begin{cases} m(\ddot{x} + \ddot{z}) + c\dot{x} + kx - c_d\dot{y} - k_d y = -u \\ m_d(\ddot{x} + \ddot{y} + \ddot{z}) + c_d\dot{y} + k_d y = u \end{cases} \quad (1)$$

となる。制御則は次の形で与えられる。

$$\dot{y}(t) = \beta E x(t) - \alpha y(t) \quad (2)$$

ここで、 β は構造物の振動エネルギーによって変化する可変ゲインとし、以下のように与える。

$$\beta(E) = \begin{cases} Y_{\max} \omega_0 \sqrt{\frac{k}{2E}} & (E > E_s) \\ Y_{\max} \omega_0 \sqrt{\frac{k}{2E_s}} & (0 \leq E \leq E_s) \end{cases} \quad (3)$$

$$(E = \frac{1}{2} kx^2 + \frac{1}{2} m\dot{x}^2)$$

図2に制御ゲイン β と振動エネルギー E の関係を示す。

α は定数ゲインであり、補助マスの中立位置を可動範囲の中心に保つためのものである。具体的には、 α を加えることに補助マス最大振幅が減少するが、 α を考慮しない($\alpha=0$)の場合と比べ影響の少ない値を用いることとする。この制御則をAMDに適用した場合については、既に五十嵐らによって研究されている。

3. 可変ゲイン制御における制御力特性

ATMDではAMDに比べ比較的小さな制御力で高い制振効果をあげることが期待できる。これを示すため、前述の制御則を用いた場合の制御力を周波数応答特性により評価する。

$x(t)=X_0 e^{i\omega t}$, $y(t)=Y_0 e^{i\omega t}$, $z(t)=Z_0 e^{i\omega t}$, $u(t)=U_0 e^{i\omega t}$ と仮定して制御力の定常応答振幅について解くと、次のように求められる。

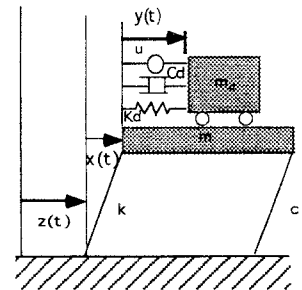


図1 モデル

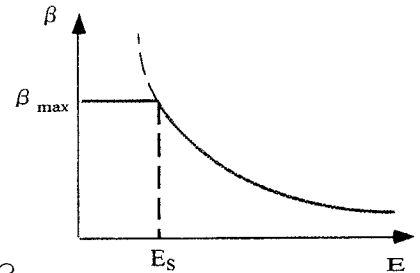


図2 振動エネルギーEと制御ゲイン β の関係

$$|U_0| = \frac{(1+\mu)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 |Z_0|}{\sqrt{\left\{1 - (1+\mu)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right\}^2 + \left\{2h + \mu\frac{\beta}{\omega_0}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\right\}^2}} \sqrt{\left(c_d\omega_0\frac{\beta}{\omega_0} - \frac{\mu k}{1+\mu}\right)^2 + \left\{\frac{\mu}{1+\mu}\left(k\frac{\beta}{\omega_0} - c\omega_0\right)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) - \frac{k_d\beta}{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}\right\}^2} \quad (4)$$

ATMDのチューニングパラメータ(k_d, c_d)としてTMDの最適パラメータを用いた場合の制御力振幅の周波数応答曲線を β について変化させたものを図3.1に示す。また、比較のためAMD($k_d, c_d=0$)の場合について図3.2に示した。

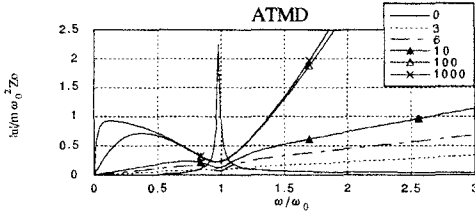


図3.1 制御力の振動数応答特性(ATMD)

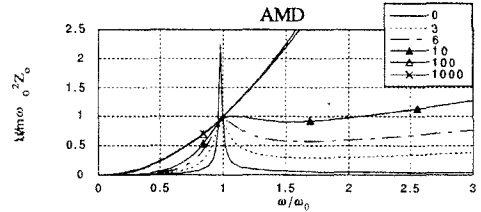


図3.2 制御力の振動数応答特性(AMD)

これらより、共振時及び高振動数領域でATMDの制御力の方がAMDの値を下回っており、特に共振時には大きく下回っていることがわかる。また、低振動数領域ではAMDの方がATMDの制御力の値を下回っているが、これは、ATMDの制御力の大きさ自体がかなり小さいため問題はないと考えられる。また、式(4)より、制御力振幅に最小を与えるチューニングパラメータ k_d, c_d が存在することも見出され、ここに示すよりもさらに制御力を抑えることも可能である。

4. 応答解析による検証

前述の制御則と最適チューニングパラメータを用いた場合でのサインは応答のシミュレーション例を示す。応答計算には、平均加速度法を用いた。

パラメータとして $m=88.69(\text{kg})$, $m_d=3.5(\text{kg})$, $k=7.474(\text{N/m})$, $h(\text{減衰定数})=0.0087$ を用いた。また、 $Y_{\max}=10(\text{cm})$, $\beta_{\max}/\omega_0=3.0$ として地動入力を $z(t)=Z_0\sin\omega t$ とし、 $Z_0=1.0(\text{cm})$ とした。図4に応答結果を示す。上から順に、構造物変位、マスの変位、制御力の変化を示している。また、制御力については比較のためAMD($k_d, c_d=0$)の場合もあわせて示した。構造物の変位は、マスがない場合に比べて、制振されている。マスの変位についても $Y_{\max}$ 以内で制御されている。制御力については最適パラメータをとることで制御力はAMDの場合と比べて約1/3のレベルに減少している。

5. おわりに

ATMDの最適パラメータは入力振幅の関数として与えられるため、これを制御系の実装へどのように取り入れるかが今後の課題である。

参考文献

1)五十嵐晃、家村浩和、塩見豪:AMDの可動質量変位制約を考慮した非線形制御則、第3回振動制御コロキウム論演論文集、pp.111-118、1995年8月

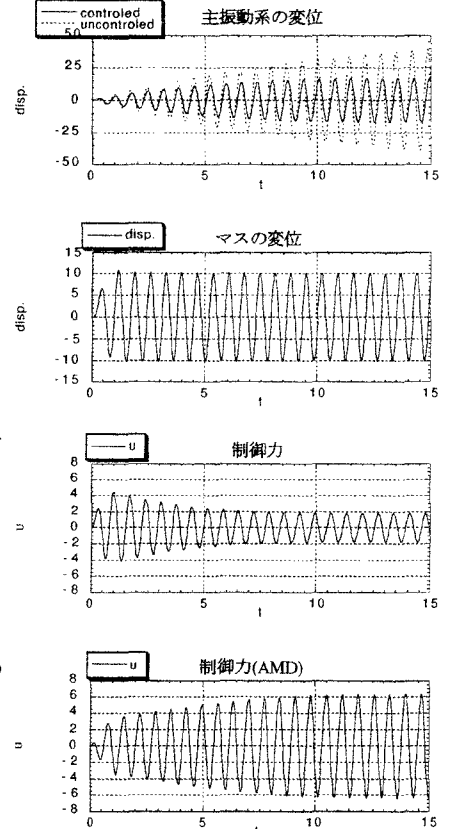


図4 応答解析結果