

振動性状適応型動吸振器の開発

長崎大学大学院 学生員 ○加賀敏明

長崎大学工学部 正 員 岡林隆敏

オイレス工業(株) 正 員 下田邦夫

1. はじめに

走行車両による道路橋の振動問題において、動吸振器を用いるパッシブ制御が検討されてきた。この問題における動吸振器の設計法には、一般的に、橋梁の振動特性を定常的に扱った理論が適用されている。しかし、道路橋振動では、車両台数、車種の変動、走行速度など、走行状態の不確定な要因により、橋梁の見かけ上の固有振動数が時間的に変化することになる⁽¹⁾。そこで、本研究では、動吸振器からそれ自身にフィードバック制御することで、その見かけ上のパラメータを目的の値に同調させる振動性状適応型動吸振器を提案する。ここでは、数値シミュレーションによる設計の可能性と1自由度系構造物に対する振動制御の有効性を確認したので報告する。

2. 適応型動吸振器

2-1 構造図と動作原理

適応型動吸振器の構造図を図-1に示す。動吸振器バネに支えられた動吸振器質量に加速度計を取り付け加速度変換器、制御器、パワーアンプによりゲインKの信号を駆動用モータに送り可動質量を振動させる。ゲインKを調整することにより、発生させた制御力で動吸振器の振動数と減衰定数を変化させることが可能となる。

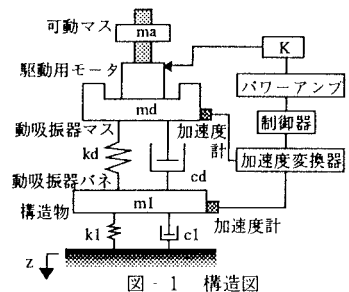


図-1 構造図

2-2 基礎式

図-1において構造物を除いた場合、動吸振器の変位を鉛直下向きに x_d と定義し、制御力を $u = -k_s x_d - k_b \dot{x}_d$ とする。このときの動吸振器の方程式、同調後の固有振動数 f_{op} および減衰定数 h_{op} は、次のようになる。

$$\ddot{x}_d + \frac{2h_d\omega_d(m_d + m_s) + k_b}{m_d + m_s} \dot{x}_d + \frac{\omega_d^2(m_d + m_s) + k_s}{m_d + m_s} x_d = 0 \quad (1)$$

$$f_{op} = \frac{\omega_d}{2\pi} \sqrt{\frac{(m_d + m_s) + k_s/\omega_d^2}{m_d + m_s}}, \quad h_{op} = \frac{2h_d\omega_d(m_d + m_s) + k_b}{2\omega_d} \sqrt{\frac{1}{(m_d + m_s)(m_d + m_s + k_s/\omega_d^2)}} \quad (2)$$

ここで、 m_d 、 ω_d 、 h_d : 動吸振器の質量、固有円振動数および減衰定数、 m_s : 可動質量である。

2-3 数値シミュレーション

動吸振器の同調が可能であることを確かめるため数値シミュレーションを行った。対象とする動吸振器は、

重量10(tonf)、固有振動数3(Hz)、減衰定数0.02、可動質量の重量は、5(tonf)である。図-2は、固有振動数を2(Hz)に同調した場合であり、(a)が共振曲線、(b)が動吸振器に初期変位を3(cm)与え自由振動させ、それを同調した場合による制御力である。同様に、図-3は、減衰定数を0.05に調整した場合である。図-2および図-3の(b)をみると減衰定数よりも固有振動数を変化させる方が、より大きな制

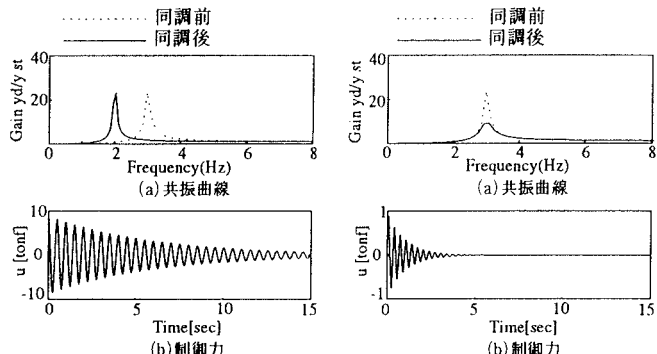


図-2 動吸振器の固有振動数を2(Hz)に同調させた場合

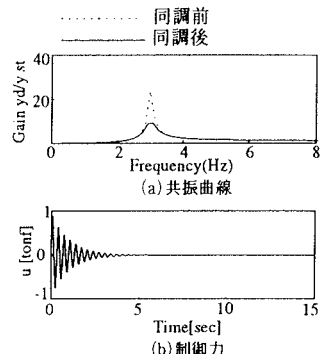


図-3 動吸振器の減衰定数を0.05に同調させた場合

御力が必要となることがわかる。なお、フィードバックゲイン係数は、(2)式より決定した。

3. 構造物振動に対する適用

3-1 基礎式

図-1のように構造物 m_1 に地震外乱 z が作用した場合、この上に適応型動吸振器 m_d を設置する。地盤に対する構造物 m_1 および構造物 m_1 に対する動吸振器 m_d の差をとり、それぞれの相対変位を y_1 、 y_d と定義する。この場合、構造物および動吸振器の方程式は次式で与えられる。

$$\ddot{y}_1 + \frac{2h_1\omega_1}{1+\mu}\dot{y}_1 + \frac{\omega_1^2}{1+\mu}y_1 = -\frac{\mu}{1+\mu}\ddot{y}_d - \ddot{z} \quad (3)$$

$$\ddot{y}_d - 2h_1\omega_1\dot{y}_1 + \left\{2h_d\omega_d(1+\mu) + \frac{k_b}{m_d+m_s}\right\}\dot{y}_d - \omega_d^2 y_1 + \left\{\omega_d^2(1+\mu) + \frac{k_s}{m_d+m_s}\right\}y_d = 0 \quad (4)$$

ここで、 ω_1 、 h_1 ：構造物の固有円振動数および減衰定数、 μ ：構造物に対する可能質量を含む動吸振器の質量比である。

3-2 数値シミュレーション

構造物振動に対する適応型動吸振器の有効性を確認するため、外乱が正弦波とEl Centro地震の場合につき、同調前後における制御を行い比較した。構造物は、重量100(tonf)、固有振動数4(Hz)、減衰定数0.02である。動吸振器は、同調前において、構造物に対する質量比を1/10、固有振動数を最適な値より約18(%)小さい3(Hz)、減衰定数を約73(%)小さい0.05とし、同調後においては、可動質量の重量を5(tonf)とし、固有振動数および減衰定数を古典的設計法より求めた3.48(Hz)と0.22になるよう調整した。図-4は、El Centro地震波形である。図-5の(a)および(b)は、外乱が正弦波の場合の同調前後の構造物の変位応答、(c)は同調による制御力である。同様に、図-6は、外乱がEl Centro地震の場合

である。シミュレーションの結果、どちらの場合においても(b)の同調後のほうがより効果的な制御となっている。また、(c)の制御力の波形より

正弦波加振の場合で8(tonf)強の制御力が必要であることがわかる。同調に必要なアクチュエータのストロークの最大値は、正弦波加振で3.6(cm)、エルセントロ地震で3.3(cm)であった。

4. まとめ

数値シミュレーションの結果、適応型動吸振器の設計が可能になることと、1自由度系構造物に対する振動制御の有効性が確認できた。今後は、橋梁系振動に対し、自己回帰モデル、拡張カルマンフィルタ等を適用することでパラメータを推定し、これに適応型動吸振器を適用し、制御を行いたいと考える。

〔参考文献〕(1)岡林隆敏, 尾口慎也, 加賀敏明: 各種フィードバック制御則による道路橋交通振動のアクティブ制御, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.731~738, 1996, 3.

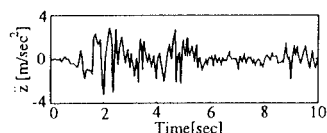


図-4 El Centro地震波形

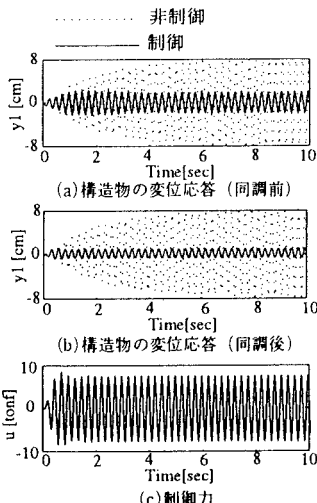


図-5 正弦波加振の場合の構造物振動に対する適用例

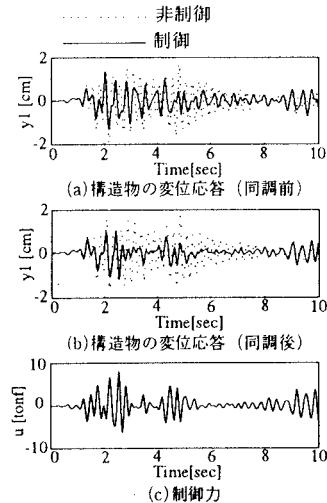


図-6 El Centro地震が加わった場合の構造物振動に対する適用例