

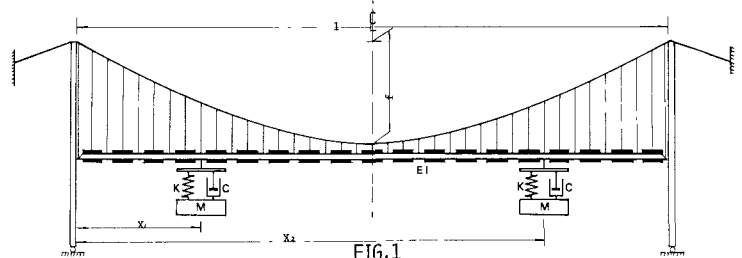
動吸振器による吊橋の防振について

東北工業大学 正負・山田俊次, 正負 高橋 龍夫

機械の支持台や構造物の有害な振動を防止するために タイナミックダンパーあるいは TMD (Tuned Mass Damper) と云われるエネルギー吸収機構が用いられている例は多い。米国においては 高層ビルや川による振動を、最上階に設けられた水槽の持つ復量を利用して T.M.D を作り 防止している例が報告されており ユークス炉の耐震装置として、一種のダンパーが用いられている実例もある。しかし、2 点等のエネルギー吸収機構は、かなりマシなものであり、その解析にあたって、構造物や機械を 1 自由度の持つ復点系に置換し、全体として 2 自由度の振動系として扱われていることが多い。このような解析方法においては、解を導くに簡便さはあるが、定性的な振動性状の一部を解析することが出来るだけであり、振動性状全体を解析することは出来ない。筆者等は、吊橋等の可塑性の高い構造物の防振に、復量、スプリングおよびダッシュポット機構より成る動吸振器を用いて行なうことを提唱し、その効果の実証に力を入れた研究成果を発表してきた。可塑性の高い構造物であればある程、エネルギー吸収機構の影響を全二方面で受け易く、防振及び制振効果が著しい反面、振動性状の変化も大きくなると思われる。

本研究は、可塑性の高い構造物の一例として Fig. 1 に示されるような単径間吊橋を取りあげ、この吊橋の理論解と等しく同時に、模型実験を行ない、動吸振器による吊橋の振動制御について考察を加えようとするものである。

動吸振器は、2 台対称に設置されるものと、動吸振器の質量、バネ係数および粘性係数を夫々 M , K および C とする。補剛桁の曲げ剛性を EI , 等分布質量を m , 死荷重によるケーブルの水平反力と H_0 、振動たわみによるケーブルの付加張力を h とすれば、吊橋の振動 (鉛直たわみ振動) の運動方程式は、2 つの動吸振器の運動方程式と連立させて次のように書き表わされる。



$$EI \frac{\partial^4 Y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} - (H_0 - h) \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + \frac{1}{2} h + \sum C_i \left[\frac{\partial Y}{\partial t} - \frac{\partial Y_i}{\partial t} \right] \delta(x - x_i) + \sum K_i (Y - Y_i) \delta(x - x_i) = 0,$$

$$M \frac{d^2 Y_i}{dt^2} - C \left[\frac{dY_i}{dt} - \frac{dY}{dt} \right] - K (Y_i - Y) = 0$$

$$M \frac{d^2 Y_i}{dt^2} + C \left[\frac{dY_i}{dt} - \frac{dY}{dt} \right] + K (Y_i - Y) = 0$$

この方程式をラプラス変換法を用いて解くと次のような特性方程式が得られる^{*}。ただし、ケーブルの付加張力 h は H_0 に比べて小さく、特に逆対称振動には作用しないためこれを 0 とおいた。

$$ID = D_1 \times D_4 - D_2 \times D_3$$

$$\begin{aligned} \text{但し、} \quad D_1 &= \sinh \alpha t - (r/\alpha) \sinh r t - G_1 \{ \sinh \alpha t - (\alpha/r) \sinh r t \} - G_2 \{ B_1 \{ \sinh \alpha (t-x_1) - (\alpha/r) \sinh r (t-x_1) \} + B_2 \{ \sinh \alpha (t-x_2) - (\alpha/r) \sinh r (t-x_2) \} \} \\ D_2 &= \sinh \alpha t - (\alpha/r) \sinh r t - G_2 \{ B_2 \{ \sinh \alpha (t-x_1) - (\alpha/r) \sinh r (t-x_1) \} + B_4 \{ \sinh \alpha (t-x_2) - (\alpha/r) \sinh r (t-x_2) \} \} \\ D_3 &= \sinh \alpha t - (r/\alpha) \sinh r t - G_1 \{ \sinh \alpha t - (r/\alpha) \sinh r t \} - G_2 \{ B_1 \{ \sinh \alpha (t-x_1) - (r/\alpha) \sinh r (t-x_1) \} + B_3 \{ \sinh \alpha (t-x_2) - (r/\alpha) \sinh r (t-x_2) \} \} \\ D_4 &= \sinh \alpha t - (r/\alpha) \sinh r t - G_2 \{ B_2 \{ \sinh \alpha (t-x_1) - (r/\alpha) \sinh r (t-x_1) \} + B_4 \{ \sinh \alpha (t-x_2) - (r/\alpha) \sinh r (t-x_2) \} \} \\ B_1 &= \sinh \alpha x_1 - (r/\alpha) \sinh r x_1 - G_1 \{ \sinh \alpha x_1 - (\alpha/r) \sinh r x_1 \} \\ B_2 &= \sinh \alpha x_1 - (\alpha/r) \sinh r x_1 \\ B_3 &= \sinh \alpha x_2 - (r/\alpha) \sinh r x_2 - G_1 \{ \sinh \alpha x_2 - (\alpha/r) \sinh r x_2 \} - G_2 \{ \sinh \alpha (x_1-x_2) - (\alpha/r) \sinh r (x_1-x_2) \} \} \sinh \alpha x_1 - (r/\alpha) \sinh r x_1 - G_1 \{ \sinh \alpha x_1 - (\alpha/r) \sinh r x_1 \} \\ B_4 &= \sinh \alpha x_2 - (\alpha/r) \sinh r x_2 - G_2 \{ \sinh \alpha (x_2-x_1) - (\alpha/r) \sinh r (x_2-x_1) \} \} \sinh \alpha x_1 - (\alpha/r) \sinh r x_1 \end{aligned}$$

この特性方程式を満足させる根 $S = R \pm iI$ とすれば、減衰自由振動における角振動数 ω_d は、 $\omega_d = p \times (I^2 - R^2)$ 、対数減衰率 δ は $\delta = 4\pi RI / (I^2 - R^2)$ で計算される。但し、 $S = \pm i p r^2 \sqrt{1 - q/r^2}$ 、

$$p = \sqrt{EI/ml^4}, \quad q = H\omega l^2/EI, \quad \text{と定めておく。}$$

この動吸振器による吊橋の振動性状の変化を確かめる、動吸振器の制振作用をみるため、写真に示されるような模型吊橋を作製し、実験を行った。模型吊橋の補剛桁の曲げ剛性 EI は

$1.09 \times 10^6 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ 、径間長 $l = 700 \text{ cm}$ 、ササ $t = 87 \text{ cm}$ 、ササの

水平反力 $H\omega = 328 \text{ kg}$ 、総重量 326 kg であり、動吸振器は、

2台を左右対称に設置した場合と、スパン中央にさらに1台を設置し

合計3台の動吸振器を用いた場合の2種類のCASEについて実験を行った。

動吸振器の実効重量は吊橋の全重量の $1/44$ の値を用い、振動

数は、吊橋の各固有振動数に同調出来るよう、バネ係数が可変型のものを

とした。Fig. 2 は 粘性抵抗係数 $c = 0.0105$

$\text{kg}\cdot\text{s}/\text{cm}$ (臨界粘性係数の約9%) を用い

動吸振器を左右の支点より 87.5 cm ($1/8l$)

の補剛桁に対称に2つとり、動吸振器自身の

振動数と徐々に変化させた場合に、吊橋

の減衰性状がどのように変化するかを、対

数減衰率を用いて示したものである。横軸

は、吊橋に同調した振動数に対する動吸振

器の振動数 α 比がとってある。この実験値

によれば、動吸振器の振動数は、制振を行

なう構造物の振動数に正しく同調させる必

要があり、同調が不充分の場合には、制振

作用の効果は著しく低減してしまうことを

意味している。Fig. 3 は Fig. 2 の場合に

おいて、吊橋自身の振動数が動吸振器の影

響をうけることのように変化するかを示した

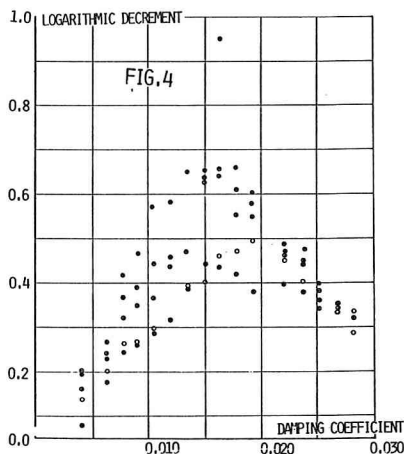
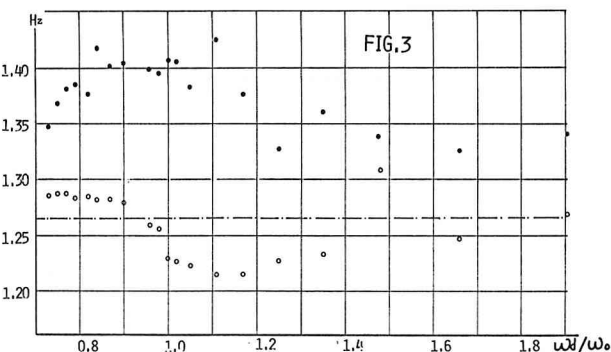
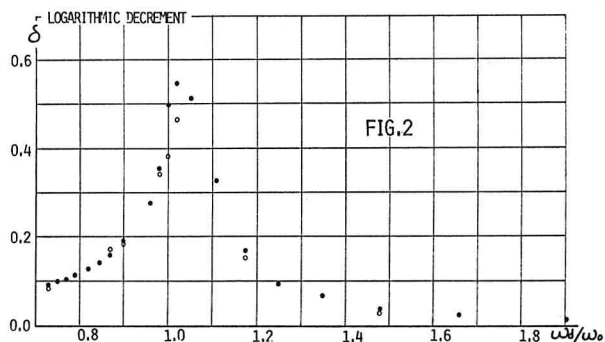
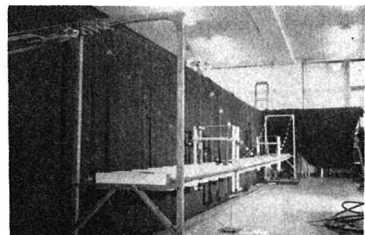


図2より、吊橋本体は動吸振器の設置により、元の振動数(この場

合は逆対称一次振動)に類似した2つの振動数を持つことを示して

おり、動吸振器の同調がずれていくと一定値に近づく。Fig. 4は

支点より 175 cm ($1/4l$) に設置した場合の粘性係数と対数減衰率の周

係を示した実験値であり、●:1.00, ○:0.96, ⊙:1.05, ⊖:1.10の振動数比

の場合であり、いすれも最適粘性係数の存在を示している。実験値は

全2、逆対称一次振動の場合である。本実験に当り東北工大学生、

小田桐、金重、鈴木、鈴木、4名の協力を得た。