

橋梁の走行荷重応答の制御について

九州大学工学部 学生員 〇七浦 恒康

〃 〃 正会員 彦坂 照

1. 緒言

本研究は、走行荷重による道路橋の振動を制御するために、ばね-質量系からなる動吸振器および粘性ダンパーを用いる2つの方法の有効性について考察するものである。動吸振器は比較的軽量の歩道橋や機械の振動制御に有効性が確かめられており、また粘性ダンパーは一般橋梁や球形タンクの耐震性向上のために設置された例があるが、何れも走行荷重による橋梁応答のような過渡振動の制御に対する有効性は明らかでない。本論では、支間20~50mの標準的な単純合成桁橋を検討の対象とする。

2. 解析モデルと運動方程式

図-1のように、重量 P_0 の1自由度振動系にモデル化された車面が一定速度 v で走行するものとし、その固有円振動数を ω_0 、減衰定数を r_0 とする。質量 M_1 、固有円振動数 ω_1 、減衰定数 r_1 の1自由度動吸振器または速度比例減衰力を与える減衰係数 C_1 の粘性ダンパーを、曲げ剛性 EI 、単位長さ当りの質量 m 、減衰係数 C の橋梁に取り付けるとき、各系の運動方程式は橋梁、車面、吸振器の変位 w 、 z_0 、 z_1 を用いて次のように表わされる。

(1) 橋梁-吸振器-車面系の運動方程式

$$\left. \begin{aligned} EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + C \frac{\partial w}{\partial t} &= P_0 \left(1 - \frac{\dot{z}_0}{g}\right) \delta(x-vt) - M_1 \ddot{z}_1 \delta(x-x_1) \\ \ddot{z}_0 + 2r_0 \omega_0 (\dot{z}_0 - \dot{w}_0) + \omega_0^2 (z_0 - w_0) &= 0 \\ \ddot{z}_1 + 2r_1 \omega_1 (\dot{z}_1 - \dot{w}_1) + \omega_1^2 (z_1 - w_1) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし w_0 、 w_1 はそれぞれ $x = x_0$ 、 x_1 における w の値を表わし、 $\delta(x)$ はディラックのデルタ関数

(2) 橋梁-粘性ダンパー-車面系の運動方程式

$$\left. \begin{aligned} EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + C \frac{\partial w}{\partial t} &= P_0 \left(1 - \frac{\dot{z}_0}{g}\right) \delta(x-vt) - C_1 \dot{w}_1 \delta(x-x_1) \\ \ddot{z}_0 + 2r_0 \omega_0 (\dot{z}_0 - \dot{w}_0) + \omega_0^2 (z_0 - w_0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(3) 運動方程式の解法

式(1)および(2)を解くに当って、動たわみ w は車面と吸振器の質量効果を考えない橋梁のみの固有振動モード $\varphi_n(x)$ 、基準座標 $\xi_n(t)$ を用いて、次式で表わされるものとする。

$$w = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n(x) \xi_n(t) \quad (3)$$

このとき各運動方程式は時間変数 $\xi_n(t)$ 、 $z_0(t)$ 、 $z_1(t)$ に関する線形連立微分方程式となり、数値積分により容易に応答解析を行うことができる。

3. 動吸振器をもつ橋梁の応答性状

単純桁橋の支間 L の中心に質量比 $\mu_1 = M_1/mL$ 、固有振動数比 $\lambda_1 = \omega_1/\omega_0$ (ω_0 は橋梁のみの1次固有円振動数)の吸振

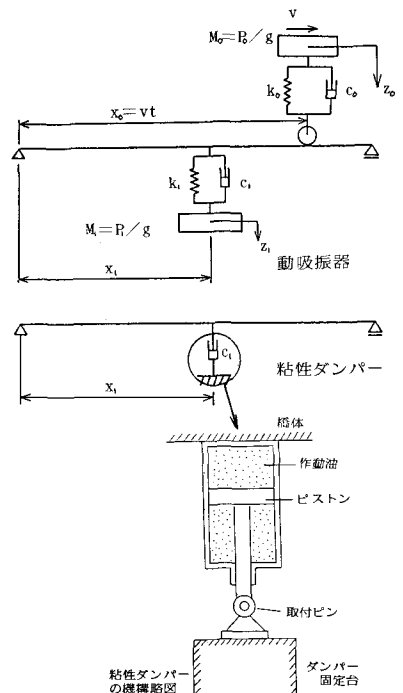


図-1 動吸振器および粘性ダンパーを有する橋梁の解析モデル

表-1 橋梁の諸元

支間 L (m)	総重量 (ton)	曲げ剛性 EI (kg·cm ²)	1次固有 振動数 (Hz)	減衰 定数
20.0	48.4	$\times 10^{11}$ 6.21	6.23	0.02
40.0	106.8	$\times 10^{12}$ 24.41	2.93	0.02

表-2 車面の諸元

総重量 (ton)	20.0
固有振動数(Hz)	3.0
減衰定数	0.03
走行速度V(km/h)	40.0

器を設置する場合の、橋梁の振動性状を解析した。計算に用いる橋梁および車両の諸元は表-1, 2 の通りである。

(1) 橋梁の固有振動数に及ぼす動吸振器の影響

動吸振器を設置することにより橋梁の1次固有振動数が変化し、対称モードをもつ比較的近接した2個の固有円振動数 ω が得られる。

図-2は、支間 $L=20\text{m}$ の橋梁における、これら2個の固有振動数に及ぼすパラメーター μ_1 および λ_1 の影響を示したものである。

(2) 橋梁応答に及ぼす吸振器パラメーターの影響

車両走行時の橋梁支間中点の加速度応答最大値の吸振器設置に伴う低減率は図-3の通りである。吸振器の固有振動数パラメーターを $\lambda_1=1.2$ 近傍に取るときに低減効果が最も大きくなるが、実用的な質量パラメーター μ_1 の範囲では吸振器による振動制御効果は期待できないように思われる。

4. 粘性ダンパーをもつ橋梁の応答性状

図-4, 5は粘性ダンパーの減衰係数を $C_1=0.2\text{ton}\cdot\text{s/cm}$ に選んだ場合の橋梁支間中点の速度および加速度の時間-応答曲線を示す。破線の応答はダンパーなしの場合のものである。加速度応答最大値の低減率をダンパーの減衰係数 C_1 に対してプロットすれば、図-6の結果が得られ、粘性ダンパーによる低減効果が顕著に見られる。図-7はダンパーによる減衰力の最大値を示したものである。このように、市販の粘性ダンパーを用いても橋梁の走行荷重応答の制御効果が十分期待でき、ダンパーから橋桁に作用する減衰力もそれほど大きくはならないが、実橋への応用に際してはダンパー取付台設置の可否が問題になろう。

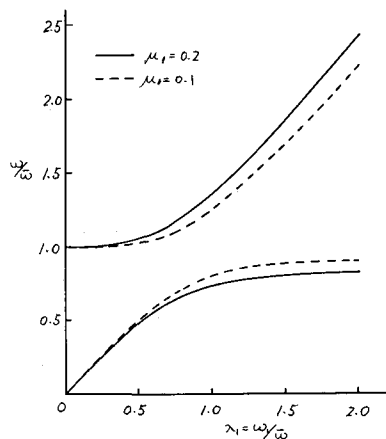


図-2

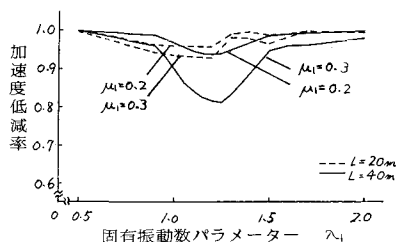


図-3

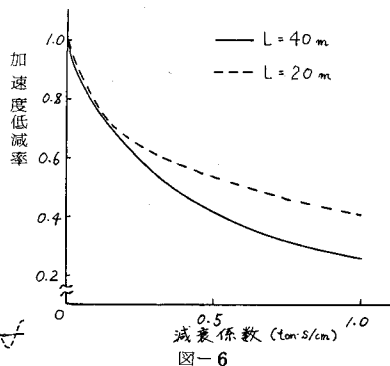


図-6

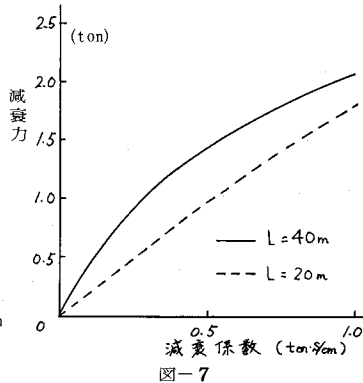


図-7

