

道路橋振動制御のための動吸振器の効果に関する考察

長崎大学工学部○学生員 布市 悟

長崎大学工学部 正 員 岡林 隆敏

1. はじめに

都市高速道路周辺では、交通荷重による地盤振動が発生し、その振動の制御が重要な課題⁽¹⁾となっている。その対策の1つとして、橋梁に動吸振器を設置し、橋梁の振動を制御する技術が適用されている。しかし、車両が走行する橋梁の振動は、複雑な連成振動をするために、動吸振器の最適調整の方法や、この系に動吸振器を設置した場合の動的挙動が十分に検討されていない。本研究は、橋梁に設置する動吸振器の効果を、①橋梁と車両の連成、②車両が走行することによる非定常性の視点から考察を加え、動吸振器の効果について検討したものである。

2. 系の運動方程式と動吸振器の最適設計の手法

動吸振器を設置した橋梁を車両が走行する状況を図-1に示した。橋梁-車両-動吸振器の応答は、次式で記述することができる。

$$y(x, t) = \sum_{k=1}^n \phi_k(x) q_k(t)$$

$$\ddot{q}_k(t) + 2h_k \omega_k \dot{q}_k(t) + \omega_k^2 q_k(t) = -\mu_{k1} \phi_k(vt) \ddot{z}(t) - \mu_{k2} \phi_k(b) \ddot{d}(t) \quad (2)$$

$$\ddot{z}(t) + 2h_o \omega_o (\dot{z}(t) - \dot{y}_v(t) - \dot{r}(t)) + \omega_o^2 (z(t) - y_v(t) - r(t)) = 0 \quad (3)$$

$$\ddot{d}(t) + 2h_d \omega_d (\dot{d}(t) - \dot{y}_d(t)) + \omega_d^2 (d(t) - y_d(t)) = 0 \quad (4)$$

ここで次のような記号を用いた。 $\phi_k(x)$: 振動モード、 $q_k(t)$: 基準座標、 $z(t)$: 車両の変位、 $d(t)$: 動吸振器の変位、 $\omega_k, \omega_o, \omega_d, h_k, h_o, h_d$: それぞれ橋梁、車両、動吸振器の固有振動数と減衰定数、 μ_{k1}, μ_{k2} : 橋梁のk次の有効質量と車両と動吸振器の質量比、 $y_v(t), y_d(t)$: 車両と動吸振器直下の橋梁の変位、 $r(t)$: 路面凹凸、 v : 車両の走行速度。

路面凹凸は、図-2のパワースペクトル密度に基づいて、強度 σ^2 を有する白色雑音 $n(t)$ を入力する路面系でモデル化⁽²⁾する。

$$\dot{r}(t) + \beta r(t) = n(t) \quad (5)$$

ここで、 $\beta = 2\pi v a, \sigma^2 = 4\pi^2 v A, a = 0.05, A = 1.0 \times 10^{-3} (\text{cm}^2/\text{m})$ である。

橋梁の1次振動のみを考慮して、(1)(2)(3)(4)(5)式を状態するように、動吸振器のパラメータ ω_d と h_d 空間表示すると、

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = [\dot{q}_1(t), \dot{q}_1(t), \dot{z}(t), \dot{z}(t), \dot{d}(t), \dot{d}(t), \dot{r}(t)] \quad (6)$$

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{A}(t) \mathbf{X}(t) + \mathbf{N}(t) n(t) \quad (7)$$

ここで、 $\mathbf{X}(t)$ の共分散を

$$\mathbf{R}_x(t) = E[\mathbf{X}(t) \mathbf{X}(t)^T]$$

で定義すると、(7)式に対応する共分散方程式は

$$\dot{\mathbf{R}}_x(t) = \mathbf{A}_x(t) \mathbf{R}_x(t) + \mathbf{R}_x(t) \mathbf{A}_x(t) + \mathbf{Q}_x(t)$$

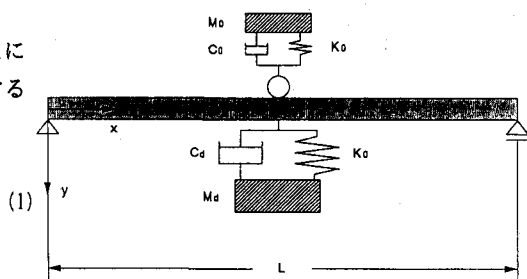
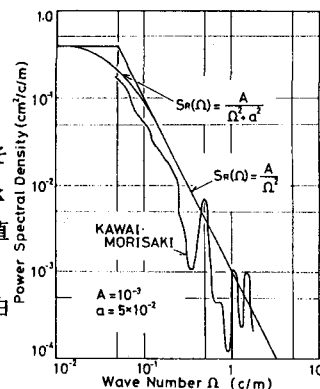


図-1 橋梁-車両-動吸振器



となる。

本研究では、図-2路面パワースペクトル可変計量法⁽²⁾により、着目点の応答を最小に

を決定する。また近似モデルとして、車両の

非定常性を無視した場合、(9)式の $\dot{\mathbf{R}}_x(t)$ は0

となる。また古典理論による最適調整値は、

$$f_d = f_1 / (1 + \mu) \quad (10)$$

$$h_d = (3\mu/8(1+\mu))^{1/2} \quad (11)$$

となる。ここで、 f_1 は橋梁1次の振動数、 μ

(9)は橋梁と車両の質量比である。

3. 数値解析と考察

車両が走行する道路橋は、連成系であることと非定常性の特徴がある。図-3は、車両による道路橋の支間中心の変位応答の標準偏差を示したものである。橋梁と車両の連成により、応答は実線のように低く抑え込まれている。動吸振器は、さらにこの応答レベルを低下させることの目的で設置される。次に、重量比1/50の動吸振器を設計した結果を示す。図-4は、車両が支間中心に固定した場合の定常応答における、支間中心の変位応答の周波数伝達関数を示したものである。橋梁の振動数と接近した車両が走行すると、橋梁に対して、車両は動吸振器となり、この場合のピークは2つに割れる。この応答をさらに低下させるために、高いピークを低下させるような動吸振器が最適手法により選ばれていることが分かる。

図-5は、非定常応答、定常応答および古典理論により決められた、動吸振器の最適パラメータを用いて、動吸振器が設置された支間中心の変位応答の標準偏差を示したものである。図(a)は連成を無視した場合、図(b)は連成を考慮した場合ある。連成を無視した場合は、いずれの動吸振器でも、その効果は顕著である。連成のある場合、最大応答を低下させる非

定常による設計と定常応答を低下させる設計では、目的に合った動吸振器を設計している。古典理論によるものは、この中間の値となっている。しかし、連成を考慮すると動吸振器の効果は余り顕著に現れていない。

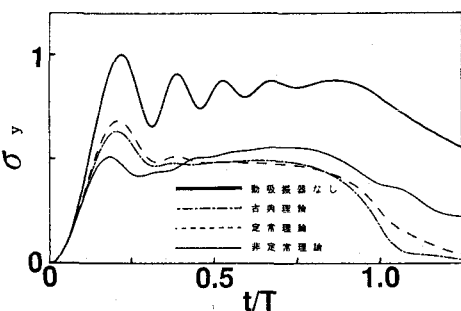


図-5(a) 非連成の場合の変位応答

図-6に、質量比を変化させて、連成無視と考慮の動吸振器の相対的な効果を示した。全て、動吸振器なしの応答で基準化している。車両と橋梁の連成がある場合は、図のように著しい結果は望めないことが分かる。

4. まとめ

車両と橋梁の連成系に設置する動吸振器は、単純な梁に設置する動吸振器ほど著しい効果は期待できない。しかし、応答は低下することは事実であり、この点を考えて、動吸振器を適用する必要がある。

- [参考文献] (1) 梶川、他、土木学会文集、No. 341, 1984-4.
(2) 岡林、他、構造工学論文集、Vol. 38, A, 1992-3.

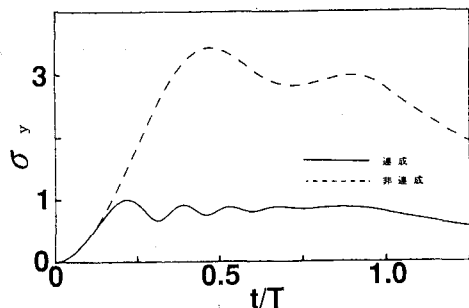


図-3 動吸振器を設置しない場合の変位応答

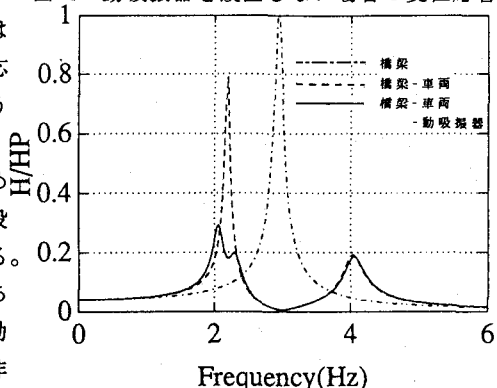


図-4 支間中心における周波数伝達関数

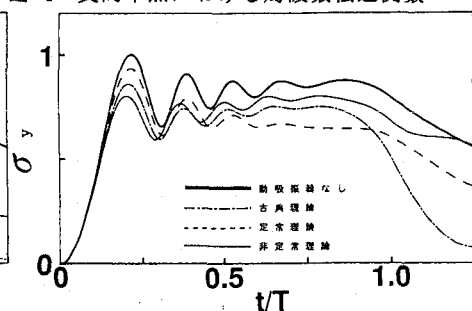


図-5(b) 連成の場合の変位応答

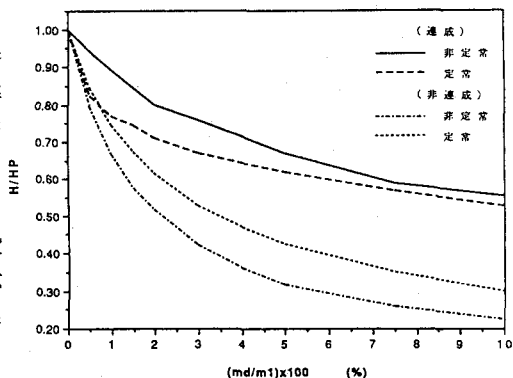


図-6 質量比による最大応答の変化