

神戸大学工学部 710- 川谷 充郎
神戸大学大学院 学生員 前中 浩司
神戸大学工学部 学生員○井上 毅

1. まえがき 道路橋の疲労損傷や振動使用性あるいは環境振動影響などの問題の対策の一つとして交通振動制御が注目されるようになってきた。これまでに藤野¹⁾、山口²⁾、岡林³⁾らが交通振動のアクティブ制御による研究を行っている。それらの研究では制御則として最適レギュレーター理論やH[∞]理論を用いて、交通振動に関して AMD の効果が確認されている。そこで本研究では過去に川谷⁴⁾らが行った 20 t ダンプトラックによる阪神高速梅田入路橋の応答のデータを元に、最適レギュレーター理論を用いてアクティブ制御の制振効果を解析的に確認することを目的とする。

2. アクティブ制御の定式化 Fig.1 に示すように、橋桁を単純梁で、車両を前輪 1 軸、後輪 2 軸の 2 自由度振動系にモデル化し、橋梁－車両－制御系の連成振動方程式を状態空間表示する。本解析では、曲げ振動のみとし、3 次振動モードまで考慮する。最適レギュレーター理論は、式(1)の評価関数を最小にする最適な制御ゲイン k を求めることであり、これにより制御力が求まる。

$$J = \int_0^T [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt \tag{1}$$

ここで、行列 Q と R は重み行列で、制御効果と制御に要するパワーの割合を決めるパラメーターである。本解析では、桁の応答のみをフィードバックさせるため、制御ゲイン k は一定となる¹⁾。

3. 解析モデル **3.1 橋梁モデル** 対象橋梁は阪神高速道路梅田入路橋とし、構造諸元を Table 1 に掲げる。本橋では、TMD の制振効果に関する現地実験が行われている。その結果より、主桁の曲げ振動に対する制振効果は 40 % であった⁵⁾。今回はアクティブ制振装置の付加質量は考慮していない。

3.2 車両モデル 走行車両は前輪 1 軸、後輪 2 軸の 2 自由度振動系にモデル化している。車両モデルの構造諸元を Table 2 に示す。

3.3 路面凹凸 梅田入路橋には、8.5 % の直線勾配がついているが、路面凹凸は勾配を除いて算出する。中央側の測線では短波長成分の凹凸があり、他方、高欄側の測線では長波長成分が卓越しており、左右輪位置の路面凹凸がかなり異なっている。よって、これらの 2 測線の路面凹凸データを平均したものをを用いる。

4. 解析結果 **4.1 動的応答解析結果** 19.47 t の車両を単一走行させた場合の解析結果を示す。車両の速度を 4.745 m/s, 6.103 m/s, 8.796 m/s の 3 ケースを考える。この速度は現地実測を行った速度である⁴⁾。重み行列は、一次振動モードを低減することを目的とするため、 $Q = \text{diag}\{100 \ 20000 \ 0 \ 0 \ 100 \ 1000\}$ 、 $r = 0.1$ とし、アクチュエーターの位置を $L/2$ としている。走行速度 4.745 m/s の支間中央の非制御と制御の動的応答と制御力、動的成分を Fig.2 に示す。動的成分は動的応答値と静的応答値の差である。また、振動制御の効果を定量的に評価するため、各速度による動的成分に関する 2 乗平均値を Fig.3 に示す。これより振幅が 7 割程度抑えられていることがわかる。

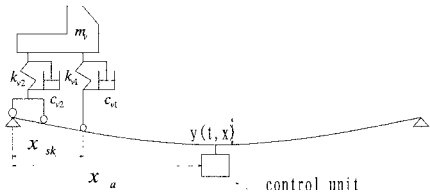


Fig.1 Vehicle-bridge-control model

Table 1 Structural properties of model girder

Span length	40.4 m
Moment of inertia of area	0.2122 m ⁴
Mass per unit length	770.6 kgf/m
Damping constant for 1 st and 2 nd modes	0.02536
First bending frequency	2.35 Hz

Table 2 Dynamic properties of vehicle

Total mass	19.47 t
Moment of inertia	58.22 tf · m ²
Spring constant k_{v1}	214.08 tf/m
k_{v2}	640.05 tf/m
Damping coefficient c_{v1}	0.619 tf · s/m
c_{v2}	1.853 tf · s/m
Natural frequency	3.30 Hz
Damping constant	0.03

これは TMD による実験結果よりも良い制振効果があると言える。また、制御力の 2 乗平均値と最大値を Fig.4 に示す。制御力は車両速度が 8.796m/s のものが最も大きくなることがわかる。

4.2 アクチュエーターの位置による比較

アクチュエーターの位置を $L/2$ とすると、2 次振動モードを制御することができないので、アクチュエーターの位置を $L/4$ としたものや $L/2$ としたものごとを比較する。走行車両の速度は 4.745m/s とし、重み行列は $Q=\text{diag}\{100\ 20000\ 100\ 1000\ 100\ 1000\}$, $r=0.1$ とする。 $L/2$ と $L/4$ の位置での動的応答 Fig.5(a), (b) に、動的成分の 2 乗平均値を Fig.5(c) に、制御力を Fig.5(d) に示す。制振効果はアクチュエーターの位置を $L/2$ にしたものの方が良く、制御力も小さいことから、アクチュエーターの位置を $L/2$ にした方が効率が良いことがわかる。これは、1 次振動モードが卓越しているためであると考えられる。

[参考文献]

- 1) 藤野陽三:道路橋交通振動制御のためのアクティブ制御の方式比較, 第 3 回振動制御コロキウム PART A 構造物の振動制御 (3), pp. 39-48, 1995. 8.
- 2) 山口宏樹・野田 茂・丸山 収・藤野陽三・玉木利裕:構造物のアクティブ振動制御入門-LQ最適制御からH ∞ 制御最適制御へ, 第 2 回振動制御コロキウム PART A 構造物の振動制御 (2), pp. 235-273, 1993. 8.
- 3) 岡林隆敏:橋桁振動の低減による交通環境振動制御, 第 3 回振動制御コロキウム PART. A 構造物の振動制御 (3), pp. 27-37, 1995. 8.
- 4) 川谷充郎・西山誠治:路面凹凸を考慮した道路橋の走行車両による動的応答特性, 構造工学論文集 Vol. 39A, pp. 733-740, 1993. 3.
- 5) 讃岐康博・梶川康男:動吸振器の制振効果に関する現地実験, 振動制御コロキウム講演論文集 PART B, pp. 89-96, 1991. 7.

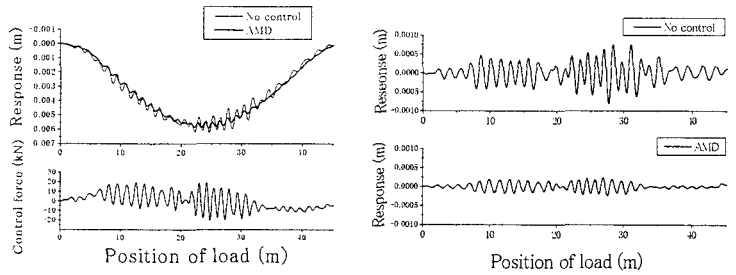


Fig. 2 Dynamic responses (control position $L/2$, vehicle's velocity 4.745m/s)

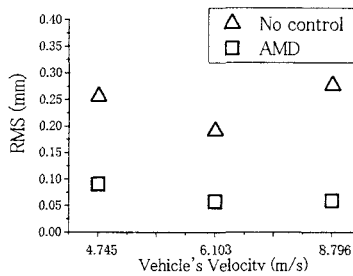


Fig.3 R.M.S. of dynamic response

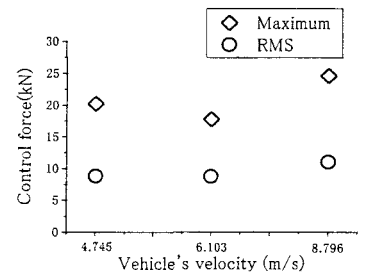
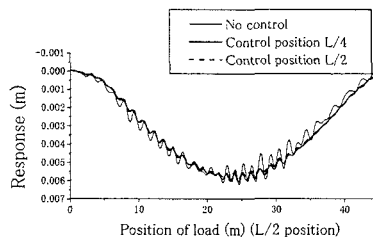
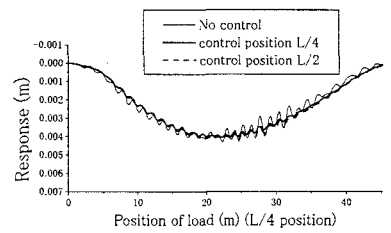


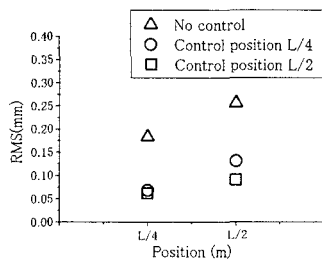
Fig.4 Maximum & R.M.S. of control force



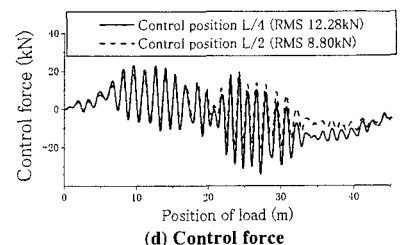
(a) Dynamic response



(b) Dynamic response



(c) RMS of dynamic response



(d) Control force

Fig. 5 Dynamic response of control position $L/2$ & $L/4$ (Vehicle's velocity 4.745m/s)