

偏心走行を考慮した橋梁交通振動のアクティブ制御解析

神戸大学工学部 正会員 川谷 充郎
 神戸大学大学院 学生員 前中 浩司
 神戸大学大学院 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対策の一つとして交通振動制御が注目されている。過去の研究では藤野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の効果を確認されている。そこで本研究では、過去に川谷⁴⁾が行った20トンダンプトラックによる阪神高速道路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。ここでは、車両の偏心走行による桁の曲げとねじりの連成応答の制御を行う。

2. アクティブ制御の定式化 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する。Fig.1に示すように車両の偏心走行による橋梁-車両-制御系の曲げとねじりの連成振動を対象とする。本解析では、曲げとねじり共に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。

$$J = \int_0^T [\mathbf{x}^T(t) \mathbf{Q} \mathbf{x}(t) + \mathbf{u}^T(t) \mathbf{R} \mathbf{u}(t)] dt \quad (1)$$

ここで、行列 \mathbf{Q} と \mathbf{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 は時間的に変化せず一定¹⁾となる。

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、曲げとねじり振動に対する制振効果は、主桁に対してそれぞれ40%、25%の制振率があった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 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。中央側の側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⁴⁾。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 19.47tの車両を、曲げ振動のみの場合と偏心走行による曲げとねじりの連成振

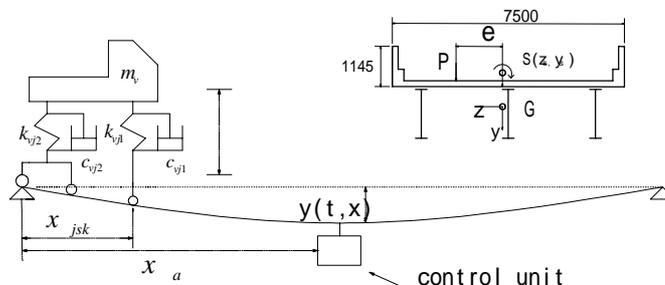


Fig.1 Vehicle-bridge-control model

Table 1 Structural properties of model girder

Span length	40.4 m
Weight per unit length	7.706×10^2 kg/m
Ratio of Young's modulus	9.516
Ratio of shear modulus	8.565
Area of section	0.1415 m ²
Moment of inertia of Area	0.2122 m ⁴
Polar moment of inertia × Weight per unit length	6.0303×10^3 kgm
Torsion constant	0.3843×10^{-1} m ⁴
Damping constant for 1 st and 2 nd modes	0.02536
First bending frequency	2.35 Hz
First torsional frequency	3.86 Hz

Table 2 Dynamic properties of vehicle

Total weight	19.47 t
Moment of inertia	58.22 tf · m ²
Spring constant k_1	214.08 tf/m
k_2	640.05 tf/m
Damping coefficient c_1	0.619 tf · s/m
c_2	1.853 tf · s/m
Natural frequency	3.300 Hz
Damping constant	0.030

キーワード：アクティブ制御、最適レギュレーター理論、曲げとねじりの連成振動

連絡先：神戸市灘区六甲台町 1-1, Phone:078-803-6278, Fax:078-803-6069

動させた場合の解析結果を示す。車両の速度は 4.745m/s, 6.103 m/s, 8.796m/s の 3 ケースを考える。この速度は川谷らが現地実測を行った速度である⁴⁾。アクチュエーターの位置を L/2 の走行荷重位置に設定する。走行速度

4.745m/s の曲げのみの場合とねじりを加えた場合の非制御と制御の変位応答と動的応答変位のフーリエスペクトルを Fig. 2(a),(b)に示し, 走行速度 6.103m/s の非制御と制御の変位応答を Fig.3(a),(b)に示す。これによるとねじりを加えることによりねじり一次振動モードが卓越することが分かる。重み行列は, 曲げとねじりの一次振動モードを低減することを目的とし, $Q = \text{diag}\{100 \ 10000 \ 0 \ 0 \ 100 \ 1000 \ 100 \ 10000 \ 0 \ 0 \ 100 \ 1000\}$, $r = 0.1$ とした。その結果, 曲げとねじりの両方の振動が低減されている。特に曲げとねじりの一次振動の卓越周波数はよく制振できていることが分かる。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, 曲げのみと曲げねじり連成の動的成分の偏差に関する 2 乗平均値を Fig.4 に示す。これより曲げの振幅が 7 割程度, 曲げとねじり連成の振幅も 7 割程度抑えられていることがわかる。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 乗平均値と最大制御力を Fig.5 に示す。制御力の RMS は曲げのみよりも曲げとねじりの連成の方が大きくなっていることが分かる。これはねじりの振動数が大きいためである。

【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, 岩津守昭, 林秀侃, 伊関治郎: 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.

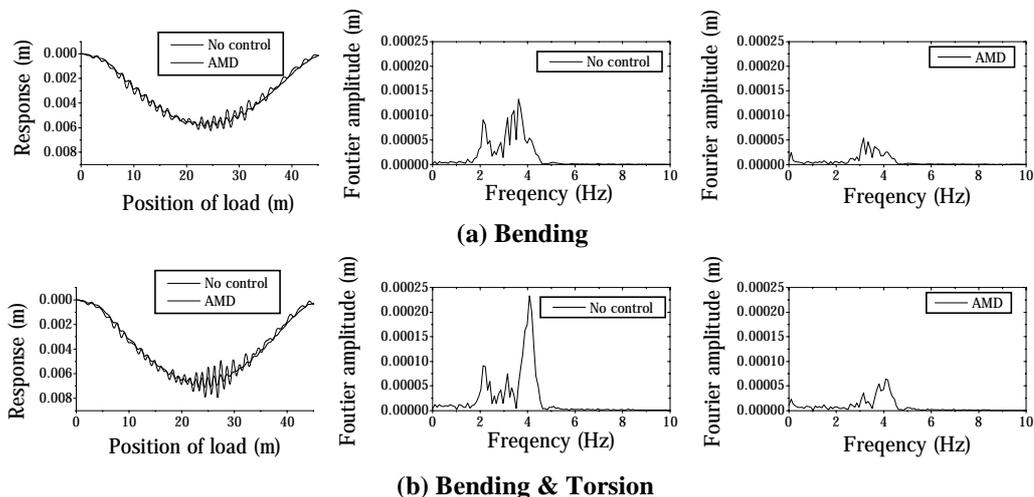


Fig.2 Dynamic response of bridge (vehicle's speed 4.745m/s)

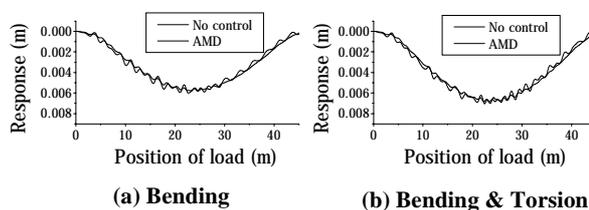


Fig.3 Dynamic response of bridge (vehicle's speed 6.103m/s)

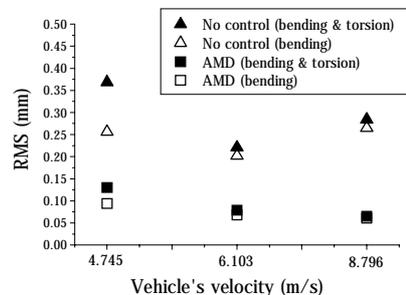


Fig.4 R.M.S. of dynamic response

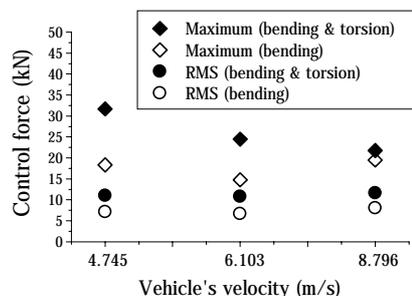


Fig.5 Maximum & R.M.S. of control force