

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

1. まえがき

近年、走行車両による橋梁振動が周辺地盤に影響を与える環境振動影響や低周波空気振動の問題となり、橋梁交通振動制御が対策の1つとして注目されている。橋梁交通振動は走行車両の重量や走行速度により主桁動的応答の周波数成分が変化するため、アクティブ制御による制振が有効である¹⁾。本研究では、模型車走行による強制振動実験を行い、実験的にアクティブ制御の制振効果を確認する。また、実験で用いる制御方式を考慮して理論解析を行い、比較検討する。

2. 振動制御装置概要

本制振機構は変位制御サーボモータ式重錘直線駆動となっており、橋桁に加速度センサーを取付け、制振質量の変位を橋桁に追従させる位置サーボ系を構成する。高次の共振モードでの自励発振の対策のためフィルターを使用する。フィルターによる位相遅れを補正するため、速度の直角成分である変位成分を加算し、変位指令信号を $X_0(X_0 = k_d Z + k_v \dot{Z})$ としている。つまり本システムは速度・変位フィードバック制御となっている。

3. 桁橋模型実験概要

3.1 桁 Fig.1 のように単純支持桁を3径間設け、それぞれ加速径間、測定径間、減速径間とする。制振装置は支間中央の車両走行位置の下に設置する。模型桁の構造諸元を Table 1 に掲げる。路面凹凸に関しては、阪神高速道路梅田入路橋における実測路面凹凸データを 1/2 の高さにし、それを相似させる²⁾。

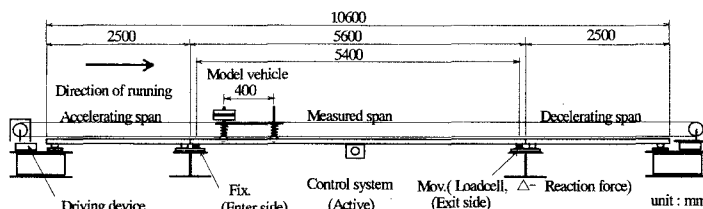


Fig.1 General view of experiment

3.2 車両 総重量 $w_v=23.4\text{kgf}$ 、固有振動数を 3.12Hz とする。模型車の振動特性を Table 2 に掲げる。走行速度は 3.24 、 3.68 および 4.12m/s とする。

4. 理論解析方法³⁾

4.1 出力フィードバック制御 観測できる振動応答（変位や速度）をベクトル $y(t)$ で表して出力ベクトルとする。この観測される出力ベクトルに応じて制御力をフィードバックするのが出力フィードバック制御であり^{1),4)}、制御力は次式となる。

$$u(t) = -k^* y(t, x_c) = -(k_d^* \dot{y}_c + k_v^* \dot{y}_c) \quad \dots (1)$$

ここで、 k_d^* 、 k_v^* は変位項と速度項の制御ゲインである。

4.2 理論解析の制御ゲイン決定方法 理論解析の制御ゲインの決定方法について、車両速度 3.68m/s の場合の実験と解析の制御力の RMS が一致するようにする。一般的に制御効果を大きくするには、速度項をフィードバックするのが良い。従って理論解析では、 k_d^* の値を固定し k_v^* の値のみを変化させて制御力の RMS を調べる。以上より決定される k_d^* 、 k_v^* の組み合わせを制振質量別に Table 3 に示す。

5. 実験結果と理論解析結果

5.1 動的応答 決定された制御ゲインを用いて、出力フィードバック制御による理論解析を行う。実験では橋桁中央に集中質量(制振装置=11.25kg、制振質量=1.38kg~13.62kg)を設置しているので、集中質量を考慮する基準関

Table 1 Structural properties of model girder

Span length	5.4 (m)
Cross sectional area	72.76 (cm ²)
Moment of inertia of area	97.8 (cm ⁴)
Mass per unit length	56.6(kg/m)
Mass of control system	11.25(kg)
Control mass	1.38~13.62(kg)
First bending frequency	3.0 (Hz)

Table 2 Properties of model vehicle

Total weight	23.4(kgf)
front axle	6.9(kgf)
rear axle	16.5(kgf)
Spring constant	
front axle	0.99(kgf/cm)
rear axle	2.67(kgf/cm)
Natural frequency	3.12(Hz)
Logarithmic decrement	0.56

数を用いて理論解析を行う。理論解析の動的応答解析結果および実験の動的応答結果を Fig.2 に示す。Fig.2 から、桁変位に注目すると非制御と制御の場合ともに実験の波形に近い波形を示していることが分かる。

5.2 定量的評価 Fig.3 では理論解析と実験結果を定量的に比較検討するため、制振質量 11.58kg の場合の桁加速度、桁変位および支点反力の RMS を示す。さらに制振効果を示すために、アクティブ制御の RMS を非制御の RMS の割合で示す。

(1) 桁変位の RMS は全体的に実験と解析は良く似た値を示しているが、解析値が実験と異なる傾向も示している。速度 3.68m/s の結果は、実験のほうが非制御の RMS が大きくなる。また、全体的に理論解析のほうが制振効果の高いことが分かる。

(2) 桁加速度に着目すると、実験よりも解析の方が制振されていることが分かる。理論解析では、制御力が橋樑に直接入力されるが、実験の場合はモータの振動の影響などが考えられ、そのため解析値よりも大きくなったと考えられる。

(3) 支点反力の RMS は実験と解析では異なるが制振効果に着目すると、ほぼ同じ傾向を示している。また、支点反力は必ずしもアクティブ制御によって変動が小さくなるわけではない。これは制御力が支点反力に影響を与えるためと考えられる。

5.3 制振質量の影響 Fig.4 では、制振質量 5.46kg の制振効果を示す。Fig.3 の制振質量 11.58kg の場合と比較して、制振質量の大きい方が制振効果の高いことが理論解析と実験結果から示されている。

本研究の一部は、平成 13 年度関西大学重点領域研究助成金によって行った。ここに記して、感謝の意を表します。

【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) 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.1.39A, pp.733-740, 1993. 3.
- 3) 川谷充郎・前中浩司・井上毅：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，土木学会第 56 回年次学術講演，1-A079, 2001. 10.
- 4) 山口宏樹：構造振動・制御，共立出版，pp.162-164, 1996.

Table 3 R.M.S of control force of experiment and analysis

Control mass	RMS of control force (Experiment)	RMS of control force (Analysis)	(k_d^*, k_v^*)
5.46kg	5.675N	5.76N	(-0.2, 0.7)
8.52kg	9.846N	9.77N	(-0.2, 1.4)
11.58kg	11.366N	11.36N	(-0.2, 1.7)

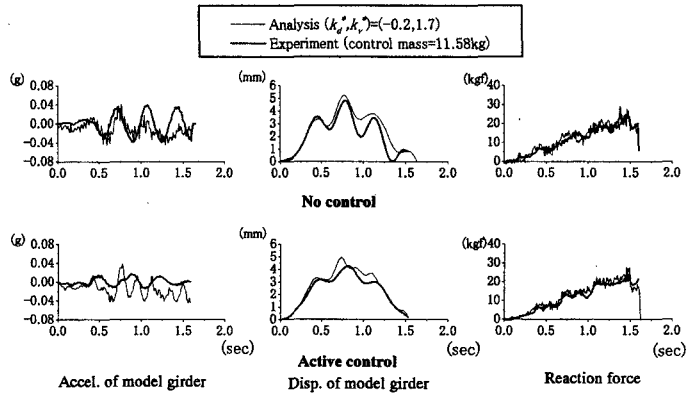


Fig.2 Dynamic response of model girder and control force
(Analysis and experiment, Control mass=11.58kg, Wv=23.8kgf, V=3.68m/s)

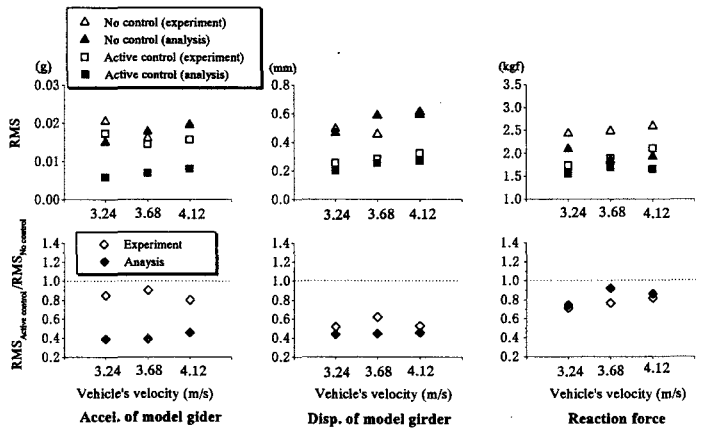


Fig.3 R.M.S of dynamic response of analysis and experiment and ratio of R.M.S of analysis and experiment under active control
(control mass=11.58kg)

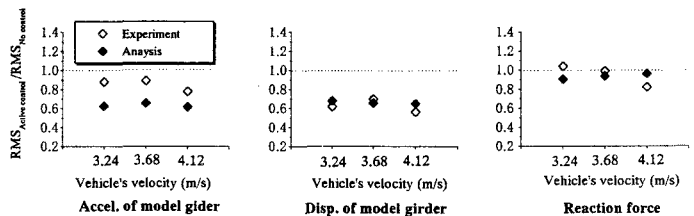


Fig.4 Ratio of R.M.S of analysis and experiment under active control
(control mass=5.46kg)