橋梁交通振動のアクティブ制御模型実験と理論解析

神戸大学工学部	71 0-	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 $X_0(X_0 = k_d Z + k_v Z)$ 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.

<u>3.桁橋模型実験概要</u>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⁾.



<u>3.2 車両</u>総重量 w_v=23.4kgf, 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 3.24m/s, 3.68m/s および 4.12m/s とする.

<u>4.理論解析方法³⁾</u> 4.1 出力フィードバック制御</u> 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 カ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.

 $\mathbf{u}(t) = -\mathbf{k}^* \mathbf{y}(t, x_c) = -(k_d^* y_c + k_v^* \dot{y}_c) \qquad \cdot \cdot (1)$

ここで, k_{a}^{*}, k_{v}^{*} は変位項と速度項の制御ゲインである.

<u>4.2 理論解析の制御ゲイン決定方法</u>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_a*の値を固定しk_y*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_a^*, k_v^* の組み合わせを制振質量別に Table 3 に示す.

<u>5.実験結果と理論解析結果</u> 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数を用い General view of experiment

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

Table 3 R.M.S. of control force and control gain

Control mass	RMS of control force (Experiment)	RMS of control force (Analysis)	(k_d^{\ast},k_v^{\ast})
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)

キーワード:橋梁交通振動,アクティブ制御,出力フィードバック,橋桁模型実験,理論解析 連絡先:〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1,Phone:078-803-6278,Fax:078-803-6069 て理論解析を行う.動的応答の理論解析結果を 実験結果と共に 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 実験の波形に近い結果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. (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,解析の方が非制御の RMS が大 きくなる.制御により,桁変位の RMS は実験 では約5~6割になり,解析では約4~4.5割に なっている.(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,制御力が橋桁に直接入力さ 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.

<u>5.3</u>最適制御ゲイン 速度3.68m/sの場合の実 験に合わせた動的応答解析結果と,最も制振効 果の高かった動的応答解析結果を**Fig.4**に示す. 最も制振効果の高かった解析結果では,制振質 量を11.58kgとし, k_a^* を固定し, k_v^* を1.5~2.5 の範囲で0.1 づつ変化させて比較検討する.こ れによると最適制御ゲインは, $(k_a^*,k_v^*)=(-0.2,$ 2.2)である.**Fig.5**ではそれらを定量的に比較検 討するため,桁加速度,桁変位および支点反力 の RMSを示す.これによると,最も制振効果の 高かった解析結果では桁変位は約 1/3 以下に制 振されていることが分かる.

[謝辞]

本研究の一部は、平成 13 年度関西大学重点領域研究助成 金および(株)ニチゾウテックと神戸大学との共同研究に 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]

 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.



Fig.5 R.M.S of dynamic response of analysis

- 2) 川谷充郎・西山誠治: 協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.
 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 回年次学術講演会講演概要集, I-A079, 2001.10.
- 4) 山口宏樹:構造振動・制御,共立出版,pp.162-164,1996.