

道路桁橋交通振動のファジィアクティブ制御解析

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎 神戸大学大学院 正会員 野村 泰稔
 神戸大学大学院 正会員 金 哲佑 神戸大学大学院 学生員 ○大坪 祐介

1. まえがき 近年における橋梁の合理化・軽量化や大型車交通量の増加に伴い、道路橋の走行車両による動的応答が様々な問題を引き起こしている。例として低周波音・地盤振動に代表される環境振動の問題などが挙げられ、これら環境振動の原因となる交通振動への対策は橋梁周辺地域の環境向上に関連する重要事項である。本研究では、交通振動への対策としてファジィ制御ルールを用いたアクティブ制御手法を適用し、その制振効果を解析的に確認する。また、比較のために TMD 制御解析を行う。

2. 解析モデル

2.1 橋梁モデル 対象橋梁は都市高速道路入路橋であり、支間長 40.4m、総幅員 7.5m、桁質量 317.8t の単径間高架橋である。橋梁交通振動解析においては、総節点数 100 で梁要素からなる有限要素モデルを用いる。路面凹凸は実測されたものを用いる。橋梁の一般図、解析モデルを Fig.1 に示す。

2.2 車両モデル 車両モデルは一般的なダンプトラックを想定し、8 自由度の三次元車両にモデル化する。車両走行位置は Fig.1 に示すように、橋梁モデル床版端部を基準として左輪が 1350mm、右輪が 3150mm とする。車両モデルとその諸元を Fig.2 に示す。

3. 制御条件

3.1 アクティブ制御 ファジィ制御ルールとしては Table 1 に示す応答速度のみを考慮した 7 個のルールを用いる。応答速度 V のメンバシップ関数は Fig.3 に示すような三角形のメンバシップ関数とする。メンバシップ関数の中心値の設定については、車両 1 台、30km/h 走行時の、非制御時の応答速度の絶対値の最大値 V_{max} に、ゲイン定数 $VV=0.5$ を掛けた $VV \times V_{max}$ を Positive Big の中心値とする。Positive Medium の中心値は $(2/3) \times VV \times V_{max}$ 、Positive Small の中心値は $(1/3) \times VV \times V_{max}$ とする。Negative Big、Negative Medium、Negative Small の中心値は Positive の場合と原点に関して対称になるようにする¹⁾。メンバシップ関数の幅については Fig.3 に示すように幅 $W = (2/3) \times VV \times V_{max}$ とする。制御力は両外桁中央部の 2 箇所に加えるものとし、最大制御力は上部工重量の 1% を 2 箇所に分配するものとする。

3.2 TMD 制御 車両 1 台、30km/h での交通振動解析の結果から、主桁応答は 2.321Hz で卓越していることが分かる。この卓越振動数に最も近い固有振動数を持つ

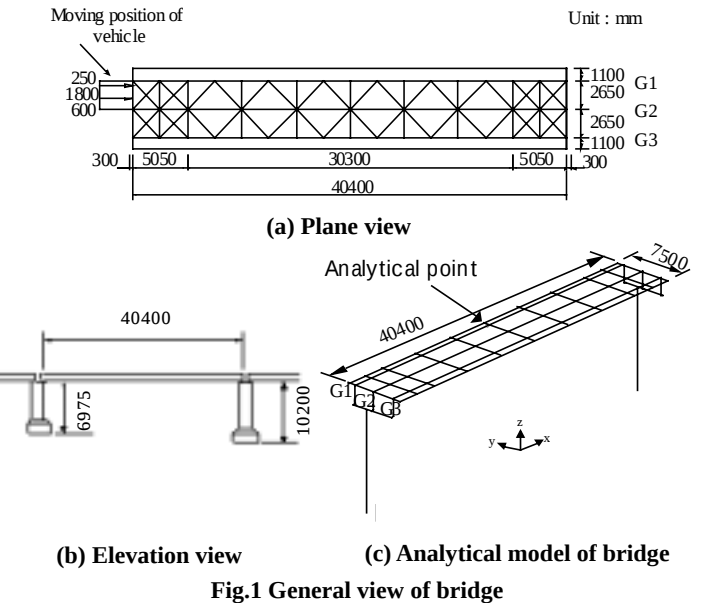


Fig.1 General view of bridge

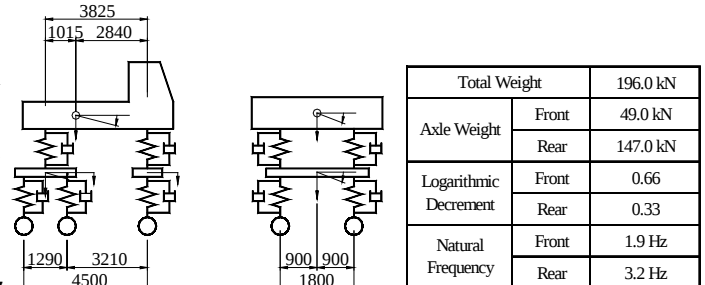


Fig.2 Dimension and dynamic properties of moving vehicle

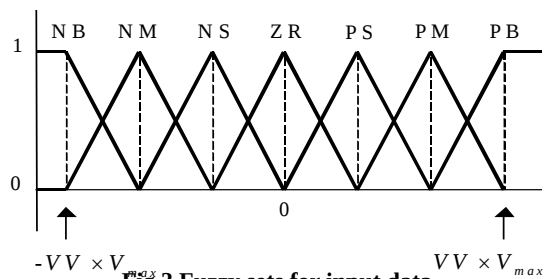


Fig.3 Fuzzy sets for input data

Table1 Fuzzy rules for the control

	Rule No.1	Rule No.2	Rule No.3	Rule No.4	Rule No.5	Rule No.6	Rule No.7
前件部 V (m/s)	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
後件部 P (kN)	PB	PM	PS	ZR	NS	NM	NB

NB=Negative Big, NM=Negative Medium, NS=Negative Small, ZR=Zero PS=Positive Small, PM=Positive Medium, PB=Positive Big

キーワード 橋梁交通振動, アクティブ制御, ファジィ制御, 制御解析

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

振動モードとして、上部構造の鉛直曲げモードをあらわす第2次モードを制振対象モードとする。2次の固有振動数に共振するように調整するTMDを両外桁中央部の2箇所に1基ずつ配置する。なお、換算質量に対する質量比は2基の合計で2%として、TMDの諸元は、質量 $m_T=1.573t \times 2$ 、ばね定数 $K_T=348.54kN/m \times 2$ 、減衰定数 $C_T=2.331kN \cdot s/m \times 2$ とする。

4.制御解析結果 車両1台、30km/h 走行時の、着目点におけるアクティブ制御、TMD制御解析結果の加速度応答とそのフーリエスペクトルおよびアクティブ制御の制御力を Fig.4, Fig.5 に示す。また、応答加速度の最大値、RMS、低減率を Table 2 に示す。

アクティブ制御を行った場合には、応答加速度の最大値、RMS を半分以下に抑えられており、フーリエスペクトルに着目すると、非制御時に見られたピークがほぼ無くなっている。これらの結果からファジィ制御ルールによるアクティブ制御の制振効果を確認することができる。TMD に関しては過去に現地実験が行われており、この実験結果では制振率 20%以上の制振効果を示している²⁾。しかし本研究において TMD 制御を行った場合には応答加速度の最大値、RMS はほとんど抑えられていない。フーリエスペクトルに着目すると、制振対象とした 2.321Hz においてはピーク値の減少が見られ、制振対象モードに対しては制振効果があることが確認できる。しかし 2.321Hz 付近以外では、TMD の設置により非制御時よりも振幅がやや大きくなっており、TMD の設置が制振対象モード以外の振動モードに影響を与える可能性があることがわかる。これは主原理が固有振動数で同調させることであるため交通振動の非定常性に対応できず制振効果が落ちているのではないと思われる。これらの結果を比較することで、アクティブ制御の交通振動の非定常性に対するロバスト性も確認することができる。

5.今後の課題 今回は桁の制振に主眼を置いており、その結果が環境振動に対して有効な結果となり得るのかは分からない。過去の研究において桁の制振は必ずしも周辺地盤の振動に対して有効ではない、という知見も導かれている³⁾。このことから、環境振動の対策として桁の制振だけでなく地盤反力の低減などを考慮したルールの構築も、今後の課題となる。

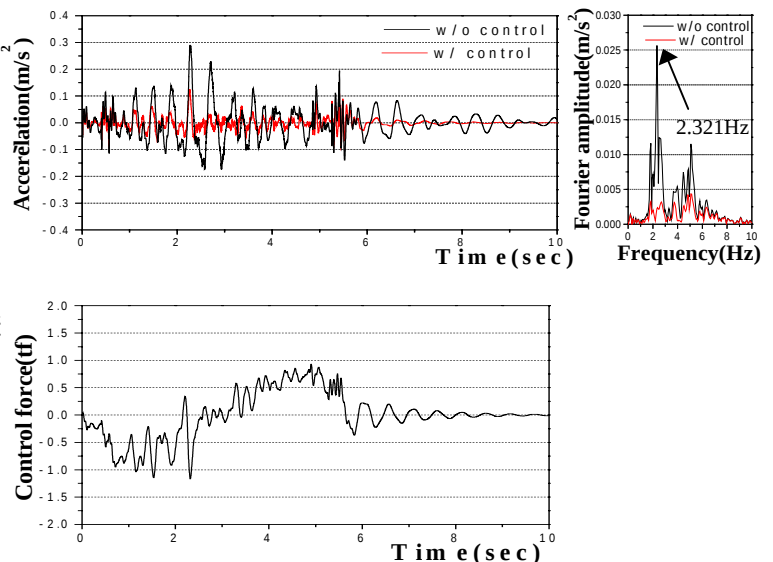


Fig.4 Acceleration responses and Fourier amplitudes of bridge and control force (active control)

参考文献

- 1)古田均, 小尻利治, 宮本文穂, 秋山孝正, 大野研, 背野康英: ファジィ理論の土木工学への応用, 森北出版, 1992.
- 2)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 PART B 講演論文集, pp.89-104, 1991.7.
- 3)比江島慎二・藤野陽三: 桁端ダンパーによる橋梁の交通振動の低減, 土木学会論文集 No.135 / I - 23, pp.107-116, 1993.4.

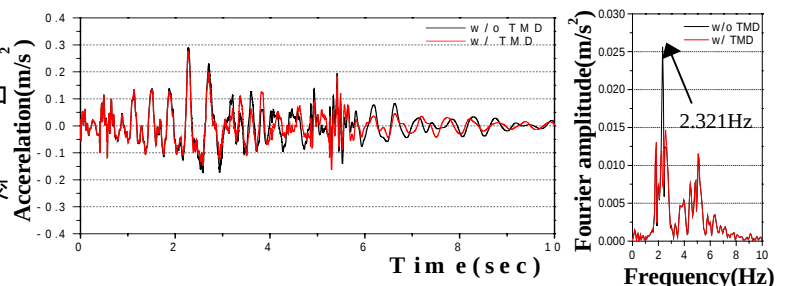


Fig.5 Acceleration responses and Fourier amplitudes of bridge (TMD)

Table2 MAX, RMS of Acceleration and ratio of acceleration

	MAX (m/s ²)	RMS (m/s ²)	Ratio of acceleration	
			MAX	RMS
w/o control	0.291	0.073		
active control	0.124	0.026	0.43	0.36
TMD	0.279	0.066	0.96	0.90