

都市高架橋における低周波音の低減対策としての MTMD の適用

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 学生会員 ○古賀 翔平
 神戸大学大学院 学生会員 大坪 祐介

1.はじめに 橋梁の周辺環境への影響として車両通過に伴い橋梁から放射される低周波音による物的・心理的な影響¹⁾が報告されているが、その現象は不明確な部分が多いため、効果的な対策も見いだせていない。既往の研究では鋼桁橋を対象として車両と橋梁の連成振動解析²⁾、低周波音解析³⁾を行い橋梁交通振動による周辺環境への影響を検討している。また、本研究で検討対象としている鋼床版連続桁橋の交通振動低減対策として TMD の適用の検討を行い、環境振動など、特定の振動数が問題になる現象には有効であるが、ロバスト性を向上する必要はあるとしている⁴⁾。本研究では、低周波音の低減対策として複数の TMD を設置する MTMD(Multiple Tuned Mass Damper)を適用し、これまでの解析手法を用いて低周波音の低減効果について解析的に検討する。

2.解析モデル **2.1 橋梁モデル** 橋長 265.0m、総幅員 17.25m の鋼床版連続桁橋を対象橋梁とする。対象橋梁の一般図と断面図をそれぞれ Fig.1 および Fig.2 に示す。橋梁は 1 節点 6 自由度の梁要素を用いて有限要素モデル化する。橋梁の解析モデルでは外側車線の車両走行を可能とするため耳桁とブラケット、壁高欄もはり要素としてモデル化する(Fig.3 参照)。1 本柱ラーメン式橋梁であることから橋脚曲げ応答の影響も評価するため、上部工とともに橋脚や基礎についてもモデル化する。ただし基礎はバネ要素で考慮する。

2.2 車両モデル 8DOF の車両モデルを Fig.4 に示す⁵⁾。

3.MTMD 設計 非制御時の橋梁交通振動解析より、加速度応答のフーリエ振幅スペクトルが Table 1 に示す第 4 次モードから第 12 次モードまでの固有振動数の周波数帯で卓越しており、特に第 7 次モード(3.56Hz)と第 9 次モード(3.76Hz)の固有振動数付近はほぼ全ての径間において卓越していることを事前に確認している。そこで、本研究では以下の 2 種類の MTMD を設計する。全ての MTMD は両主桁に設置し、径間ごとに総質量が上部工の径間質量の 2% となるようにする。

- ・第 7 次、第 9 次モードを制振対象とする MTMD(7th,9th)を 1 つの径間に対して 2 基ずつ、計 4 基設置する。
- ・第 4~12 次モードを制振対象とする MTMD(4th-12th)を 1 つの径間に対して 2 基ずつ、計 18 基設置する。

4.解析条件 走行条件は内側車線 1 台 (CASE1)、外側車線 1 台 (CASE2)、外側車線 3 台 (CASE3) の 3 ケースとし、全ての走行条件で車両は 60km/h で走行する。また 3 台連行での車頭間隔は固有値解析結果より着目点のねじれモードにおける共振車頭間隔(23.32m)とする。

5.境界要素法 橋梁交通振動に伴い放射される低周波音は比較的精度がよいとされる境界要素法を用いる³⁾。前項の連成振動解析により求めた橋梁の速度応答を用いて音場解析を行い、地盤面での音の反射は鏡像法により考慮する。ここで、

キーワード 橋梁交通振動、低周波音、境界要素法、MTMD、鋼床版連続桁橋

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 川谷研究室 TEL 078-803-6383

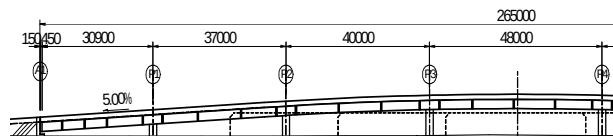


Fig.1 General view of bridge

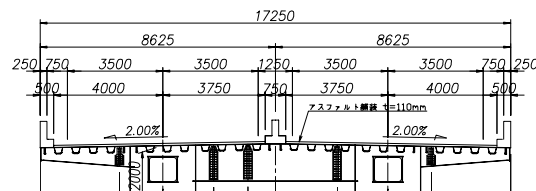


Fig.2 Cross section of bridge

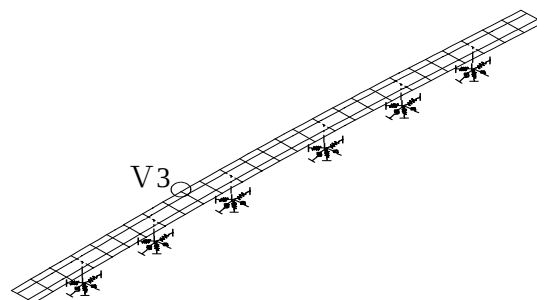


Fig.3 Analytical model of bridge

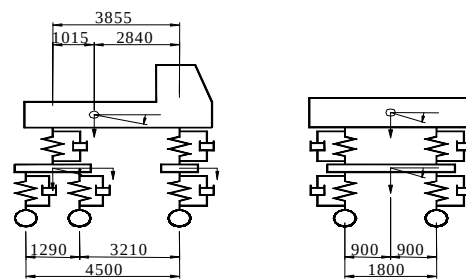


Fig.4 Vehicle model with 8-degree-of-freedom

橋梁交通振動解析では主桁は梁要素としているが、上下フランジ面の応答値が等しいと仮定し箱桁断面を考慮した音場解析を行う。なお、桁腹板は振動しない反射面として扱う。

6.解析結果 **6.1 交通振動解析結果** 路面凹凸はモンテカルロシミュレーションによりサンプルデータを作成した。路面凹凸パワースペクトル密度 $S_{z_0}(\Omega)$ は路面周波数 Ω の関数 $S_{z_0}(\Omega) = \alpha / (\Omega^n + \beta^n)$ で表され、パラメータはそれぞれ $\alpha=0.003$ (cm²/(m/c)), $\beta=0.05$ (c/m), $n=2.00$ とする。Fig.5 に低周波音解析において対象区間とする第3 径間中央部の、CASE2 (外側車線, 60km/h, 1台走行) における着目点 V3 の加速度応答とフーリエ振幅スペクトルを示す。また、同じ走行条件での第3 径間上を車両が走行する区間での RMS 値と、MTMD によるその制振効果を Table 2 に示す。4 次から 12 次モードに着目した MTMD(4th-12th) がより制振効果が高いといえる。

6.2 低周波音解析結果 第3 径間を対象に全3 ケースの走行条件のもと低周波音解析を行い、2 種類の MTMD を設置した際の低周波音の低減効果を確認する。Fig.6 に第3 径間中央官民境界点(地覆端より直角に 7.4m)の地上 1.2m の音圧レベルを示す。全ての走行条件でそれぞれの MTMD が制振対象とした周波数帯での低周波音は低減できているが、CASE3 ではその低減効果は小さくなっている。また、全ての条件で、制振対象の周波数帯が広い MTMD(4th-12th) は 3.15~5.0Hz 付近のピークを全体的に低減できている、大きいところでは 5~10dB の低減効果が得られる結果となっている。

6.まとめ 本研究では対象橋梁を梁要素でモデル化し、交通振動解析および境界要素法による低周波音の解析を行い、2 種類の MTMD による低周波音の低減効果について検討した。低周波音の低減対策として、広い周波数帯を制振対象とした MTMD(4th-12th) は特定の卓越周波数を制振対象とした MTMD(7th,9th) より低減効果があることがわかった。

Table 1 Natural frequencies

	4th mode	5th mode	6th mode	7th mode	8th mode	9th mode	10th mode	11th mode	12th mode
Natural frequency (Hz)	2.64 (bending)	3.03 (bending)	3.23 (torsional)	3.56 (bending)	3.57 (torsional)	3.76 (bending)	4.17 (bending and torsional)	4.38 (bending)	4.49 (bending)

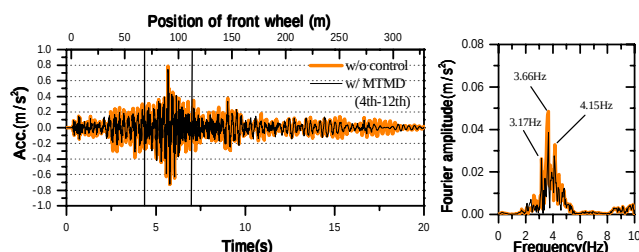


Table 2 RMS of acceleration and reduction effect (CASE2)

	RMS(m/s ²)	Reduction effect : (w/ MTMD)/(w/o control)
w/o control	0.20152	
MTMD(7th,9th)	0.19087	0.947
MTMD(4th-12th)	0.18280	0.907

Fig.5 Acceleration responses and Fourier amplitudes of bridge

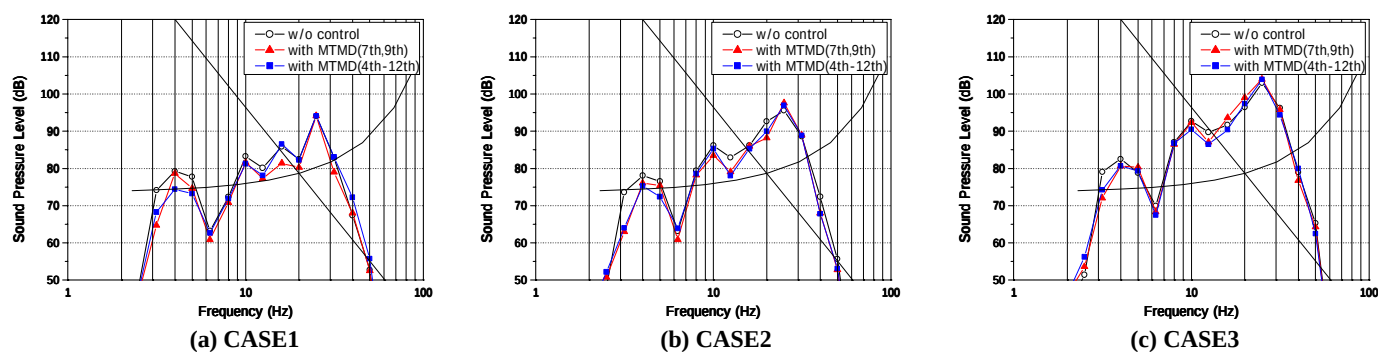


Fig.6 Sound pressure level

参考文献

- 1) 環境庁大気保全局：低周波音の測定方法に関するマニュアル, 2000.
- 2) Chul-Woo Kim, Mitsuo Kawatani, Won-Sup Hwang : Reduction of traffic-induced vibration of two-girder steel bridge seated on elastomeric bearings, Engineering Structures, Vol.26, pp.2185-2195, 2004
- 3) 河田直樹, 川谷充郎：境界要素法による道路橋交通振動に起因する低周波音の理論解析, 土木学会論文集 A(J-STAGE), Vol.62, No.3, pp.702-712, 2006.9.
- 4) 川谷充郎, 野村泰稔, 金哲佑, 門前敏典：鋼床版連続桁橋における交通振動の TMD 制御解析, 土木学会第 61 回年次学術講演会, 1-499, 2006.9
- 5) 川谷充郎, 山田靖則, 嶽下裕一：三次元車両モデルによる桁橋の動的応答解析, 土木学会論文集, No.584/I-42, pp.79-86, 1998.1.