

十数 Hz 帯域の橋梁振動対策を目的としたインパクト・マス・ダンパの開発

Development of the Impact Mass Damper for the reduction of bridge vibrations between 10 to 20 Hz

長船寿一*, 加藤久雄**, 篠文明***

Toshikazu Osafune, Hisao Kato, Fumiaki, Shino

* (株) 高速道路総合技術研究所, 交通環境研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1 丁目)

** 特許機器(株), 技術本部 設計部 (〒101-0031 東京都千代田区東神田 2 丁目)

*** 八千代エンジニアリング(株) 環境計画部 (〒161-8575 東京都新宿区西落合 2 丁目)

In order to solve the existing traffic vibration problems, the Impact Mass Damper (IMD), a newly developed technology for the elevated bridges, was tested on a highway bridge and its effectiveness of the vibration reduction was quantitatively evaluated.

In this project, running test of a large-size test car / a general large-car, and the 10 minutes continuous survey of general traffic were carried out. The vibrations of the slab and the low frequency air vibrations under girders were measured. In addition, the effectiveness of IMD applications to existing bridges was verified by measuring the decrease in the vibration of the slab and the low frequency air vibration, between 10 to 20 Hz.

The result in the case with the dampers shows that the targeted frequency (12.7 Hz) of the bridge vibration and the low frequency air vibration were reduced by 4dB and 6 to 3.5dB, respectively.

Key Words: Traffic vibration of elevated bridges, Low Frequency Air Vibration, Impact Mass Damper, Tuned Mass Damper

1. はじめに

橋梁を取り巻く問題として、騒音・振動などの環境問題が重要視されている。その一因として、橋梁振動が周辺に低周波音として放射され、問題となっている場合がある。これまで、橋梁の鉛直曲げ 1 次モード(図-1 参照)対策すなわち、数 Hz の周波数に対しては、TMD¹⁾ や MMD^{1) 2)}, 桁端ダンパ³⁾ など様々な対策工が考案され、対策効果に関する知見も多く公表されている。一方、建具の振動等では、橋梁の高次振動モードに相当する十数 Hz 帯の振動が問題となっている事例⁴⁾が見受けられる。しかし、この十数 Hz 帯の橋梁振動対策を主目的とした対策工に関する研究は少ないようである。そこで筆者らは、これまで運動量の交換により鉛直曲げ 2 次モード(図-2 参照)に相当する十数 Hz 帯の橋梁振動対策工の研究⁵⁾に取り組んできたが、新たにインパクト効果を取り入れたインパクト・マス・ダンパを開発し、低減効果の検証を行ったので報告する。

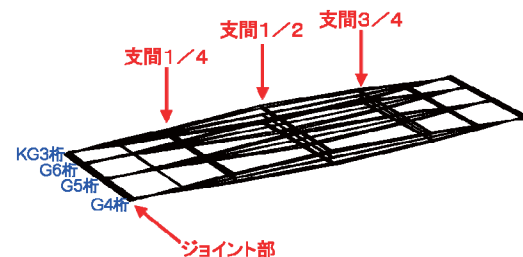


図-1 橋梁の鉛直曲げ 1 次モード

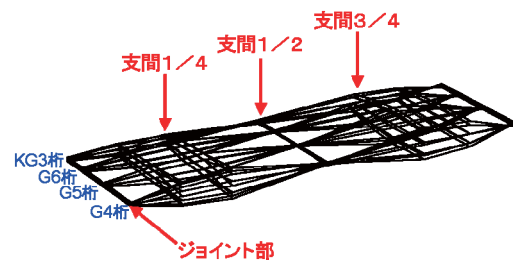


図-2 橋梁の鉛直曲げ 2 次モード

2. インパクト・マス・ダンパ

インパクト・マス・ダンパ（以下「IMD」）は、制振対象物に対して相対運動する振動質量を上下に設けた接触部を介して対象物に繰り返し衝突させることで対象物の振動を低減させるものである（図-3 及び図-4 参照）。振動低減の原理は対象物と接触部の繰り返し衝突によるエネルギー損失に加えて、附設する減衰器によって運動エネルギーを熱エネルギーに変換する吸振作用の2つの効果が考えられる。低減効果量は対象物に対するIMDの質量比が大きい程、また、対象物と接触部間の反発係数が小さい程大きくなる。IMDは従来の衝撃ダンパに分類されるが、従来に無い特徴として、上部接触部を微小な力で接触させることで、微小振幅から低減効果を発揮することである。対象物が2つ以上の振動モードで揺れている場合はIMDを構成する振動系を制振対象外の振動モードに同調させることで、衝突が起こりやすくなり、より確実な効果を狙うことができる。

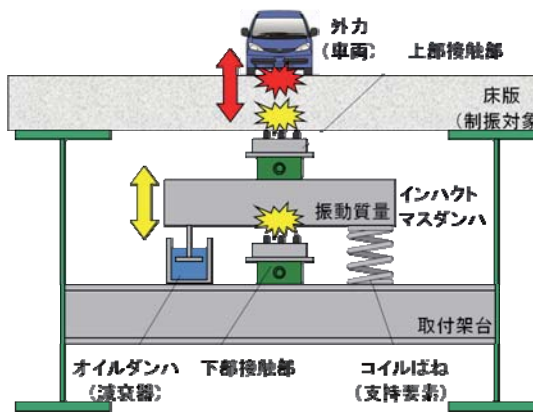


図-3 IMDの概要

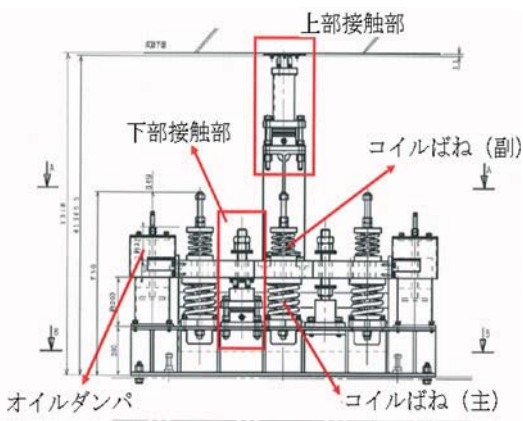


図-4 IMD構造図

3. 試験施工

3.1 対策前の振動調査

試験施工に先立ち、IMD設置前の橋梁振動及び低周波音の調査を行った。

一例として、第二走行車線の主桁G2-G3間、裏面吸音板上0.7m（床版下面より1.75m下）の位置で測定した低周波音（図-5及び図-6のL02参照）の周波数分析結果を図-7に示す。これは、一般交通を対象とした10分間測定によるフーリエスペクトル平均化処理結果である。この図より当該橋梁より発生する低周波音の卓越周波数は、2.5Hz、3Hz及び12.7Hz付近に表れている。

次に、床版振動の多点測定による大型車両単独走時のデータに基づき、周波数12.7Hzの振動モード解析を行った結果を図-8に示す。橋軸方向は支間1/2地点を節とする鉛直曲げ2次モード、橋軸直角方向は幅員中央と端部が逆位相となるモードと成っている。これら事前調査の結果より、制振対象周波数は12.7Hzに設定した。

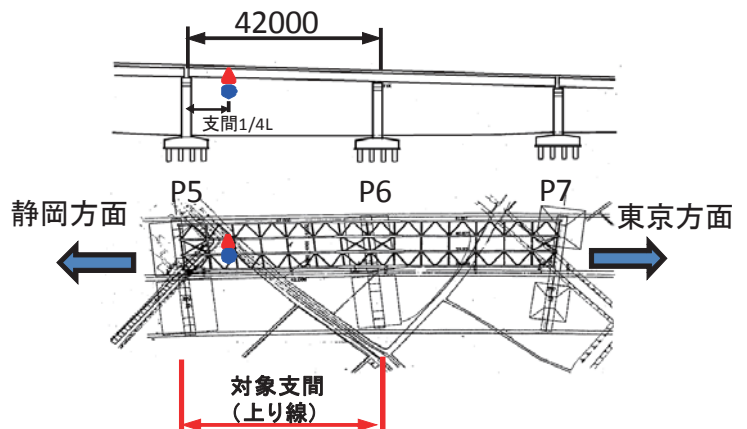


図-5 縦断面図及び平面図

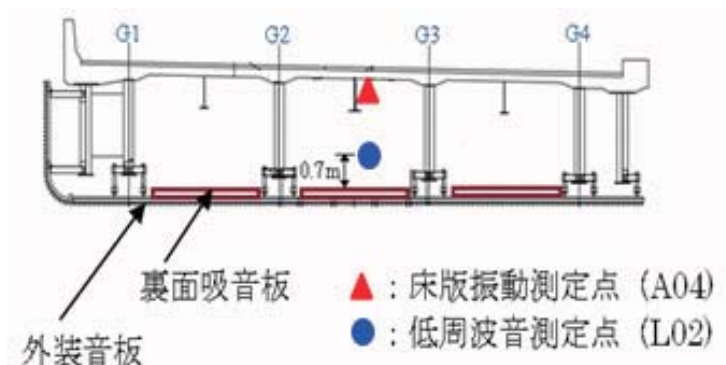


図-6 横断面図

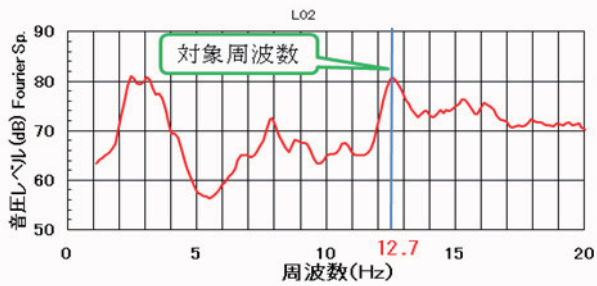


図-7 低周波音周波数分析結果

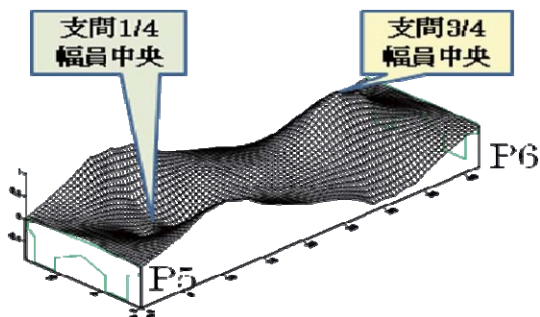


図-8 振動モード図 (12.7Hz)

3.2 試験施工内容

前項の事前調査結果に基づき、IMDの設置位置はモードの腹の部分に相当する支間1/4及び支間3/4の幅員中央部の6箇所とした(図-9及び図-10参照)。なお、IMD一基あたりの振動質量は約1.5tである。

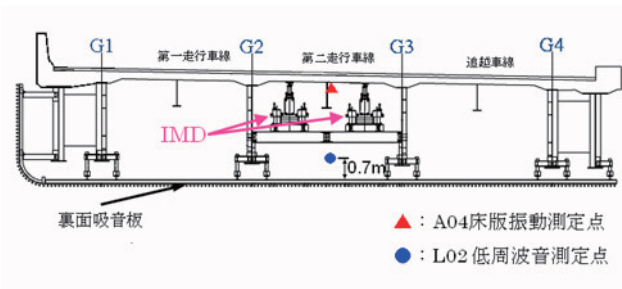


図-9 IMD配置図(横断図)

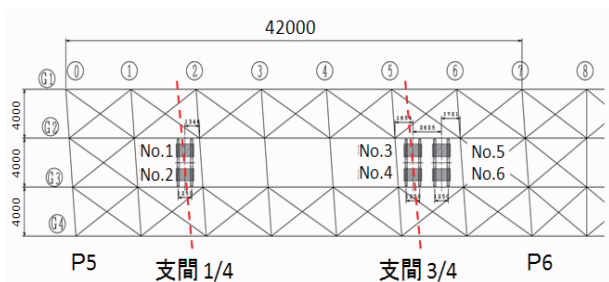


図-10 IMD配置図(平面図)

4. 低減効果

IMD設置後に、橋梁振動及び低周波音の調査を実施し、低減効果を検証した。

一般走行車両を対象とし、大型車交通量が対策前後で共に130台/10分間であった夜間2時の時間帯における測定データより、床版の振動加速度及び低周波音(測定位置:図-5の支間1/4、図-6のA04及びL02参照)の周波数分析結果を図-11及び図-12に示す。対策ターゲットである12.7Hzに着目すると橋梁振動、低周波音共に4.3dBの低減効果が現れている。なお、対策後において2.5Hz~3.5Hzの間でレベルが上昇している。これは、当該試験施工に於いて、橋梁上部工の死荷重の増加を防ぐため、既設TMDを一時的に撤去し実験を行ったことに起因するものと考えられる。

次にIMD設置前後の大型車交通量の変動影響を回避し、低減効果の傾向を把握するため、10分間測定データより、横軸を大型車交通量(対数)とし、低周波音(図-6のL02参照)の1/3オクターブバンドレベル(中心周波数12.5Hz、L5値)の分析結果を図-13に示す。IMD設置前後における回帰式の傾向から、大型車交通量が少ない場合で約6dB、多い場合でも約3.5dBの低減効果となっている。

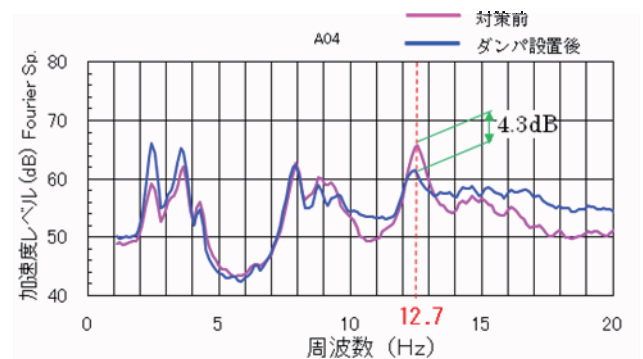


図-11 床版振動周波数分析図

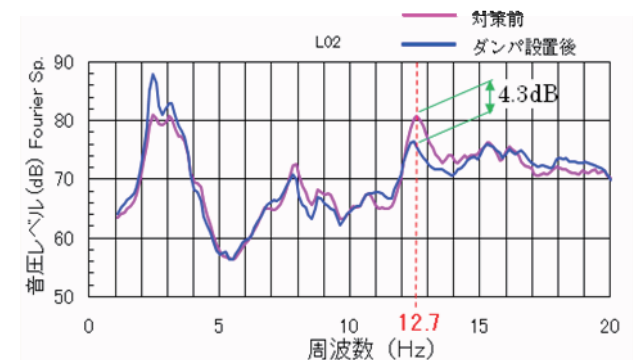


図-12 低周波音周波数分析図

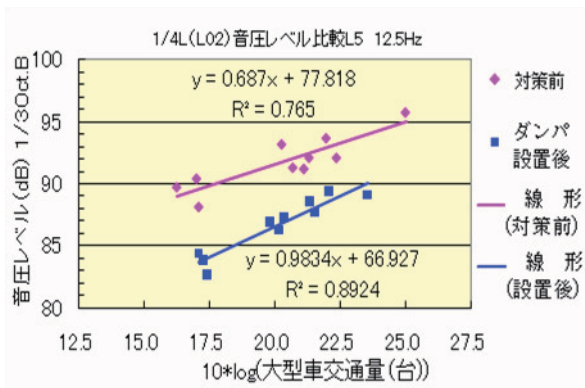


図-13 大型車交通量別の効果（低周波音）

5. まとめ

今回開発した IMD の効果を試験施工により検証した。その結果、12.7Hz の橋梁振動は約 4dB、低周波音は、大型車交通量の違いにより低減効果に差があるものの、約 6dB～3.5dB の効果が得られた。今後は、IMD の実用化に向け、より具体的な検討を進めて参る所存である。

- 1) 畔柳昌己, 高橋広幸, 上東泰, 安藤直文, 篠文明: 鋼桁橋のコンクリート床版から発生する騒音・低周波振動問題への対策 —第二東名高速道路 刈谷高架橋環境対策工事—, コンクリート建造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第9巻, pp.369-374, 2009.10.
- 2) 二木太郎, 五十嵐隆之, 横川英彰, 岩崎雄一, 下田郁夫: マルチプルマスダンパー (MMD) の橋梁への適用と解析, 土木学会年次学術講演会講演概要集, VOL.61st, No.Disk1, pp.ROMBUNNO.1-168
- 3) 深田幸史, 吉村登志雄, 岡田徹, 薄井王尚, 浜博和, 岸隆: 高架橋周辺の環境振動問題に対する桁端ダンパーの適用, 構造工学論文集, Vol.55, pp.329-342, 2009.3.
- 4) 佐々木栄一, 關真二郎, 山田均, 勝地弘, 石川祐治, 葛西俊二: 同時多点計測による橋梁に起因する低周波騒音の実態分析と対策効果の検証, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.211-212, 2007.9.
- 5) 長船寿一, 中村俊一, 水野恵一郎, 加藤久雄, 植田知孝: 道路橋振動対策としての運動量交換型衝撃吸収ダンパーの研究, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.237-250, 2010.3.