

## 鋼鈑桁橋の鉛直 2 次モードの低周波振動に着目した制振対策に関する研究

オリエンタルコンサルタンツ

正会員 ○久木留 貴裕

正会員 大竹 省吾

首都大学東京

正会員 中村 一史

高速道路総合技術研究所

正会員 岩吹 啓史

## 1. はじめに

高架道路の鋼鈑桁橋より発生する低周波音は建具のがたつきに関する“物的苦情”の原因になると考えられ、その周波数には、3.15～5Hz 帯と 10～20Hz 帯の 2 つがある<sup>1)</sup>。低周波音対策としては、TMD や減衰機能付き中間支柱の設置等が行われているが、これらはいずれも鉛直 1 次モードに着目した対策である。そこで、筆者らは鉛直 2 次モードに着目した研究を行っている<sup>1)</sup>。本検討は、各種対策の中から上部構造対策のうち制振対策である IMD (運動量交換型衝撃吸収ダンパー)<sup>2)</sup>に着目し、その接触部の剛性の設定方法について解析的な研究を行ったものである。解析検討は、筆者らがこれまで低周波音の原因となる橋梁の低周波振動の分析に用いてきた橋梁モデルによる車両走行解析<sup>1)</sup>により実施した。

## 2. 対象橋梁と橋梁振動の算定方法

解析対象橋梁は、表-1 に示す鈑桁橋梁とし、少数主桁の合理化構造とした。橋梁のモデル化は、シェル要素、梁要素およびばね要素を用いた。着目周波数帯での卓越周波数のモード図を図-1 に示す。車両走行解析には、筆者らが実務設計への適用を提案している車両の振動解析が不要な疑似応答解析<sup>2)</sup>を適用した。解析で用いる疑似的な外力は、試験車両の鉛直加速度の計測値を積分して算定した変位と速度に、それぞれタイヤのばね値と減衰係数を掛け合わせた値を加え、さらに車両の自重を加算して算定した。

表-1 解析対象橋梁

| 橋梁形式              | スパン                     | 主桁間隔 |
|-------------------|-------------------------|------|
| 鋼 10 径間連続鈑桁(2 主桁) | 34.25m+35m<br>×8+34.25m | 6.9m |

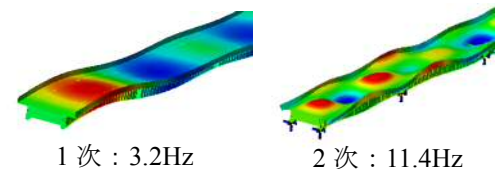


図-1 対象橋梁のモード図

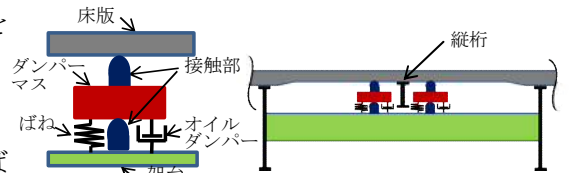


図-2 IMD の構造 図-3 IMD の横断面配置

## 3. IMD の構造特性と検討ケース

IMD は、床版下の架台上に、橋梁の 1 次モードに同調させればねを有するダンパマスと、オイルダンパーを設置し、ダンパマスが、圧縮にのみ抵抗する接触部により床版と架台に接触する図-2、図-3 の構造とした。ここで、本検討では、縦桁増設を併用するものとするが、IMD 配置位置では、縦桁は横桁に支持されず、床版・横桁間の荷重伝達は IMD が行うこととした。

接触部の剛性の設定には、床版と接触部の初期遊間 ( $\delta$ ) と接触後のばね ( $k$ ) が考えられるが、本研究では、初期遊間のないケースと、設けたケースを実施した。また、前者のケースでは、圧縮ばねが線形のケースと、バイリニアの非線形のケースを実施した(表-2、図-4)。ここで、各ケースの IMD の周波数の算定は、車両走行時のばね、接触部の最大反力および最大変位量より求まる等価剛性に基づき行った。橋梁の着目位置は、筆者らによる既往の検討<sup>1)</sup>により 12.5Hz 帯のピーク値の発生が確認されている第 1 径間の 1/4 スパンにおける床版の橋軸直角方向の中央とし、ピーク周波数である 11.4Hz に着目した。波形分析には、大型車

表-2 検討ケース

| ケース  | 対策  | マス質量            | ばねの同調周波数 | 接触ばねの周波数 | IMD の周波数 | 減衰定数 |
|------|-----|-----------------|----------|----------|----------|------|
| L-1  | IMD | 設置区間の上部構造質量の 1% | 3.2Hz    | 7.5Hz    | 8.2Hz    | 5%   |
| L-2  | IMD |                 |          | 9.2Hz    | 9.8Hz    |      |
| L-3  | IMD |                 |          | 10.6Hz   | 11.1Hz   |      |
| L-4  | IMD |                 |          | 11.9Hz   | 12.3Hz   |      |
| NL-1 | IMD |                 |          | 10.1Hz   | 10.7Hz   |      |
| G-1  | IMD |                 |          | 10.1Hz   | 10.7Hz   |      |
| G-2  | IMD |                 |          | 10.6Hz   | 11.2Hz   |      |
| G-3  | IMD |                 |          | 12.2Hz   | 12.8Hz   |      |

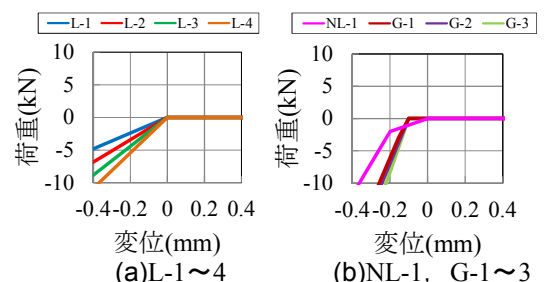


図-4 IMD の剛性

キーワード 低周波振動, IMD, 制振対策, 車両走行解析

連絡先

〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 住友不動産西新宿ビル 6 号館 オリエンタルコンサルタンツ TEL.03-6311-7860

両が第1径間から第3径間までの区間を走行中の振動加速度を用いた。

#### 4. IMDの対策効果の検討

着目位置での振動加速度のフーリエスペクトルを図-5に、着目周波数である11.4Hzの振動加速度レベルを図-6に示す。遊間なしで線形ばねを用いたケース(L-1~4)は、対策効果の変化が大きく、ケースL-2では対策効果が最大となる(図-5(a), 図-6)。また、遊間なしで非線形ばねを用いたケース(NL-1)の対策効果は、IMDの周波数が上下にあるケース(L-2, L-3)の中間的である(図-5(b), 図-6)。一方、遊間を設けたケース(G-1~3)では、対策効果はいずれも同等であり大きくない(図-5(c), 図-6)。

この要因を確認するため、代表ケースの、床版とダンパーマスの加速度波形と、着目周波数帯である12.5Hz帯のフィルター波形を作成した(図-7)。この結果、対策効果の高いL-2と高めのNL-1では、ダンパーマスに大きな振幅が発生し、床版とダンパーマスの位相差が $\pi/2$ 程度あり、ダンパーマスが共振していることが確認できた。一方、対策効果があまり大きくないG-2では、ダンパーマスの振幅は小さく、床版とダンパーマスが概ね同位相となっている。これより、IMDの対策効果を高めるためには、ダンパーマスを共振させるようにダンパーマスの接触部の剛性を調整する必要性が確認できた。ここで、着目位置のピーク周波数が11.4Hzにも関わらず対策効果が最大のIMDの周波数が9.8Hzと小さい。これに関しては、IMD設置位置では縦桁を直接横桁で支持せず、IMDを介して支持する構造としたことが原因である。縦桁を横桁で直接支持した場合にはIMDの周波数を11.4Hzに近づけると対策効果が最大となることが別途確認できていることから、車両の静的荷重の影響で床版がたわむと上・下の接触部のばねが同時に効くタイミングが現れることでIMDの等価な周波数が11.4Hz程度となったものと考えられる。

#### 5. おわりに

IMDが高い制振効果を発揮するための接続部の剛性に着目した検討を実施し、IMDの車両走行時における実際の固有周波数を着目位置のピーク周波数と同調するように設定する必要性が確認できた。今後は減衰の影響やTMDとの相違等にも着目して検討を行う予定である。

本研究は、首都大学東京、高速道路総合技術研究所、オリエンタルコンサルタンツの共同研究成果である。

**参考文献** 1)大竹省吾, 中村一史, 長船寿一, 岩吹啓史, 鳥部智之, 平栗昌明: 鋼鈑桁橋の鉛直2次モードの振動に着目した低周波振動対策に関する研究, 構造工学論文集, Vol.64A, pp.293-306, 2018.3  
2)長船寿一, 中村俊一, 水野恵一郎, 加藤久雄, 植田友孝: 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.

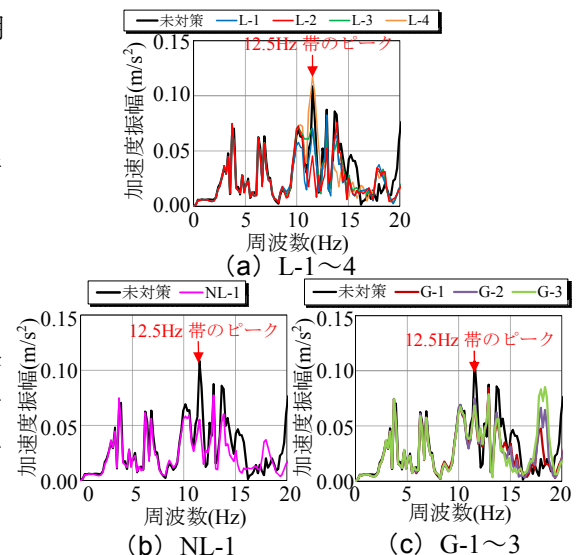


図-5 振動加速度のFFT

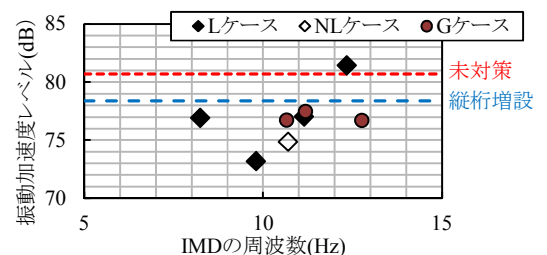


図-6 振動加速度の低減量

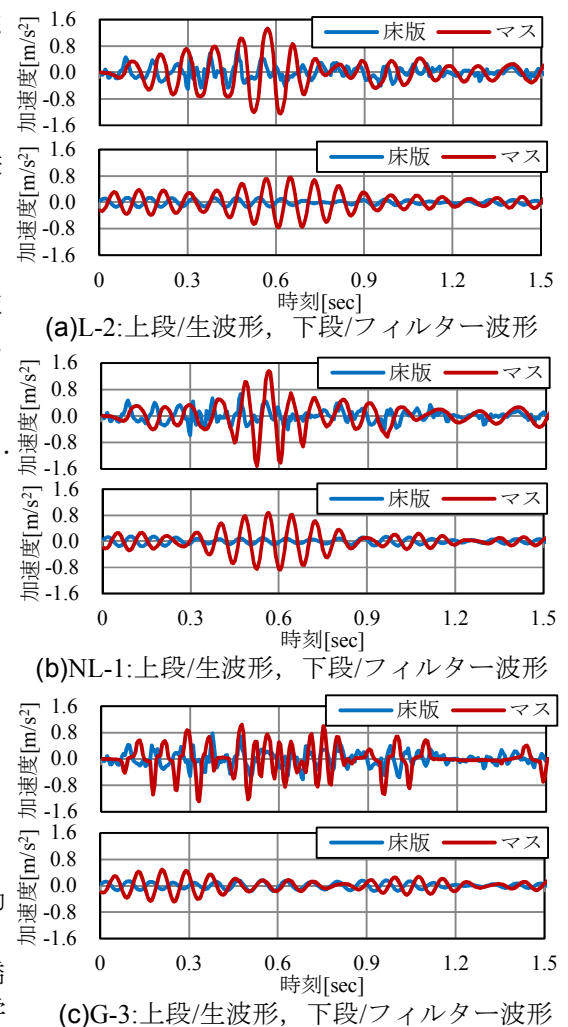


図-7 加速度波形