

高架橋の伸縮装置前後の路面凹凸の低周波音への影響に関する研究

オリエンタルコンサルタンツ 正会員 大竹 省吾 正会員 ○平栗 昌明
 首都大学東京 正会員 中村 一史 学生会員 鳥部 智之
 高速道路総合技術研究所 正会員 長船 寿一 大蔵 崇

1. はじめに

高架道路の鋼鈹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¹⁾。このうち 10~20Hz 帯の低周波音は主に車両のばね下 (タイヤ) の共振によるものであり、車両が伸縮装置を通過した直後が特に大きい。このため、筆者らは伸縮装置設置箇所前後の路面凹凸の特徴と低周波音への影響を研究し、伸縮装置前後の路面凹凸により、試験車両のばね下の振動が励起され、橋梁の振動と低周波音の励起につながるメカニズムを確認した。また、伸縮装置前後の後打ちコンクリートとアスファルト舗装およびその上の段差修正対策による凹凸が車両のばね下と橋梁の卓越周波数帯である 10~20Hz 帯の波長に一致する可能性が高いことを確認した。さらに、伸縮装置前後の路面凹凸の波数、大き、周波数 (波長) をパラメータとした数値解析を実施することで、路面凹凸による振動制御対策の効果を振動レベル換算で評価した²⁾。ただし、これまでの研究は、10~20Hz 帯の振動成分のみに着目してきたため、本研究は路面凹凸の周波数を車両のばね上の共振が影響を及ぼす 3.15~5Hz 帯にまで拡張し、低周波音による“物的苦情”全般に対する振動制御対策の検討を実施した。

2. 対象橋梁と橋梁振動の算定方法

解析対象橋梁は、表-1 に示す鈹桁形式の橋梁とし、シェル要素、梁要素および、ばね要素を用いてモデル化した。着目周波数帯での卓越周波数のモード図を図-1 に示す。減衰定数は道路橋示方書の線形部材の値を用いた。解析手法は、橋梁モデル上に路面凹凸を考慮した車両走行解析を用いた。同解析手法は、橋梁の路面凹凸上を移動する車両のばねの下端と橋面の振動を同一として橋梁と車両の運動方程式を連立させて解くものである。車両モデルの諸元は、対象橋梁に対する既往の振動・低周波音計測の際に得た表-2 に示す試験車両の実測値とし、図-2 に示す 2 軸 4 自由度モデルによりモデル化した。卓越周波数の解析結果を表-2 に併せて示す。

3. 路面凹凸のパラメータ

筆者らが実施した路面凹凸の調査事例に基づくと、図-3 に例示したとおり、伸縮装置前後のコンクリートと舗装および段差修正対策により路面凹凸が発生している。その周波数は、10Hz 前後 (走行速度 80km/h 換算) が多いが、4Hz~25Hz 程度の幅があった²⁾。低い周波数では、車両のばね上が共振し、橋梁の鉛直一次モードに相当する 3.15~5Hz 帯の低周波音を励起することが考えられる。そこで、路面凹凸の周波数として 1.6~25Hz の周波数を考慮した。また、路面応答の形状は、片振幅 1cm で 1.5 波長の正弦波形状とした。

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2主鈹桁	34.25m+35m×8+34.25m	6.9m

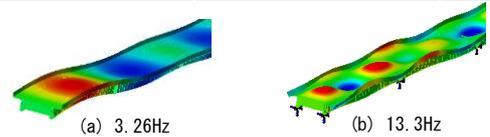


図-1 対象橋梁のモード図

表-2 試験車両の諸元

モード次	振動数	周期	有効質量比 (鉛直方向)
1	1.5	0.65	0.02
2	2.9	0.35	0.89
3	12.1	0.08	0.03
4	12.5	0.08	0.06

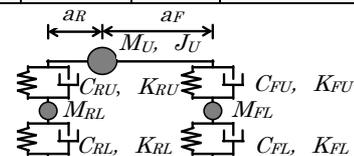


図-2 2軸4自由度モデル

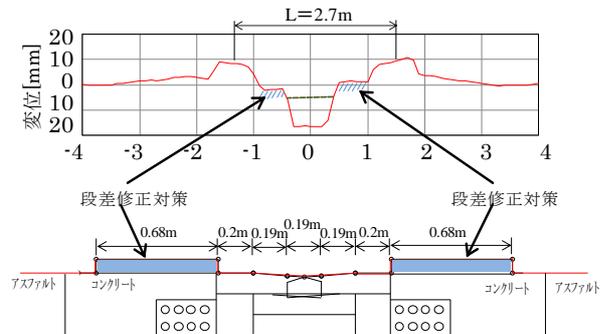


図-3 路面凹凸の事例

キーワード 低周波音, 伸縮装置, 路面凹凸, 大型車両

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

4. パラメータ解析による橋梁振動の算定結果

路面凹凸の周波数をパラメータとして車両走行解析を実施した。着目点は、ピーク周波数である 3.15Hz 帯と 12.5Hz 帯の振動のピーク位置となる支間中央と、支間 1/4 点の橋軸直角方向の床版中央とした。着目点の応答加速度の卓越周波数帯のフィルター波形を図-4 に、加速度波形のフーリエスペクトルと、1/3 オクターブバンド中心周波数分析を図-5、図-6 に示す。図-4 より、橋梁の振動が励起されるのは、3.15Hz 帯では車両が橋梁 2 径間分、12.5Hz 帯では 1 径間分を通過する程度の時間であることが分かる。また、図-5 と、図-6 の比較より、10~20Hz 帯のピーク周波数帯は、1/3 オクターブバンド幅では 16Hz 帯となることがわかる。図-6 より、支間中央では 3.15Hz 帯が共振すると 90dB 程度の振動となるが、路面凹凸の周波数が 1.5 倍(4.2Hz)あるいは 1/1.5 (2.1Hz)となると 5dB 程度低下することが分かる。また、支間 1/4 点では 16Hz 帯が共振すると同程度の振動が予想されるが、路面凹凸の周波数が約 2 倍(25Hz)で 15dB、約 1/2(6.3Hz)で 5dB 程度低下することが分かる。したがって、路面凹凸の周波数は 4.2~6.3Hz (波長 5.3~3.5m) 程度にするか、25Hz 程度以上 (波長 0.9m 以下) とすると制御効果が期待できる。また、路面凹凸を 1/2 にすると 6dB の改善が期待できる²⁾。

5. 低周波音への影響予測

伸縮装置前後の路面凹凸に伴い発生する周辺家屋脇での低周波音の目安値を、橋梁の振動レベルと低周波音の音圧レベルの計測値の相関関係を用いて換算した。ここで、計測値は、橋梁の支間中央、支間 1/4 点の橋軸直角方向の中央位置での振動計測と、家屋脇での音圧計測のある図-7 に示す橋梁の記録を用いた。主桁間隔と支間が異なるため目安値ではあるが、車両と橋梁が共振すると、図-8 に示すとおり家屋脇では路面凹凸の性状等によっては、3.15Hz、16Hz とも参照値を超える可能性がある。また、制御対策により改善が期待される。

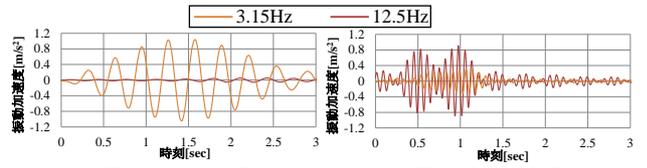
6. おわりに

伸縮装置前後の路面凹凸の周波数をパラメータとして橋梁振動の算定を行い、橋梁の共振を回避するための路面凹凸の周波数を推定した。また、橋梁振動と低周波音の計測値に基づき、路面凹凸による低周波音レベルの目安を得た。今後の橋梁の維持管理等の一助となれば幸いである。

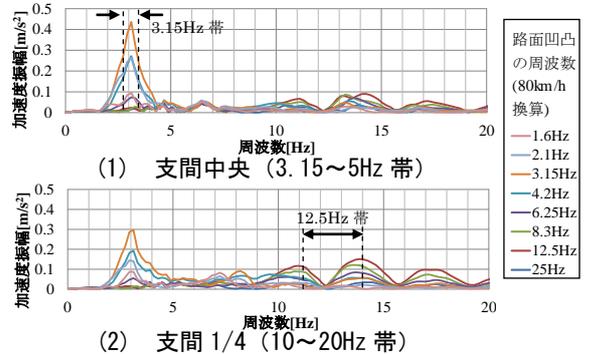
本研究は、首都大学東京、高速道路総合技術研究所、オリエンタルコンサルタツの共同研究成果である。

参考文献

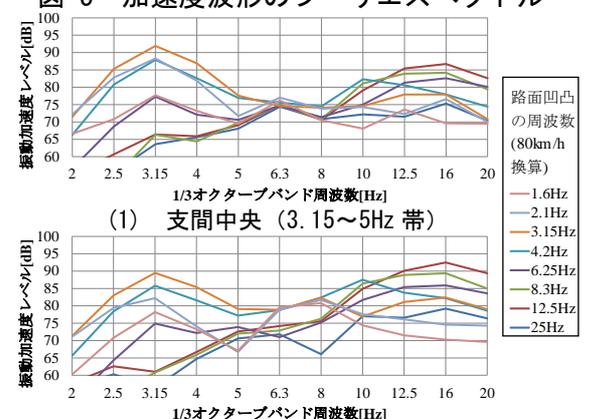
- 1)大竹省吾, 中村一史, 長船寿一, 岩吹啓史, 平栗昌明, 鳥部智之: 橋梁振動に伴う低周波音の発生部位とその要因に関する研究, 土木学会 第 19 回応用力学シンポジウム講演概要集, pp.27-28, 2016.5/2)大竹省吾, 中村一史, 長船寿一, 大蔵崇, 鳥部智之, 平栗昌明: 高架橋の伸縮装置前後の路面凹凸の特徴と低周波音への影響に関する研究, 構造工学論文集, Vol.63A, pp.182-195, 2017.3



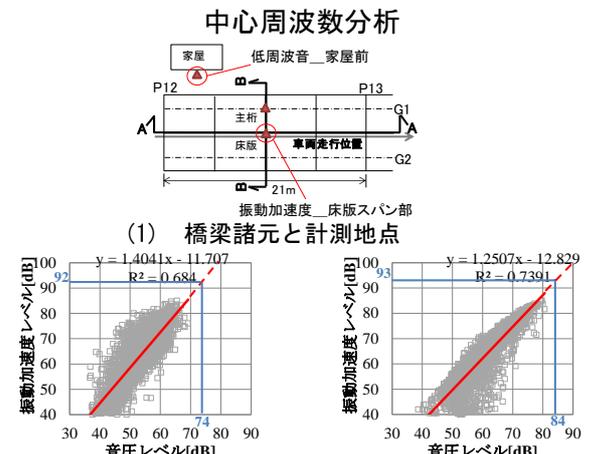
(1) 支間中央の 3.15Hz 帯 (2) 支間 1/4 の 12.5Hz 帯
図-4 加速度波形のフィルター波形



(1) 支間中央 (3.15~5Hz 帯) (2) 支間 1/4 (10~20Hz 帯)
図-5 加速度波形のフーリエスペクトル



(1) 支間中央 (3.15~5Hz 帯) (2) 支間 1/4 (10~20Hz 帯)
図-6 加速度波形の 1/3 オクターブバンド



中心周波数分析
(1) 橋梁諸元と計測地点 (2) 支間中央 (3.15~5Hz 帯) (3) 支間 1/4 (10~20Hz 帯)
図-7 橋梁振動と低周波音の関係

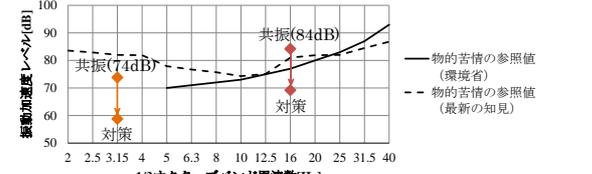


図-8 路面凹凸による低周波音レベルの予測