

鋼鈹桁橋の低周波振動に対する縦桁増設対策の効果に関する研究

オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○大竹 省吾 正会員 久木留 貴裕 正会員 ホン ジハン
 東京都立大学 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 つがあり¹⁾、それぞれ橋梁の鉛直 1 次モードおよび鉛直 2 次モードの振動に起因する。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の制振対策が行われることが多いが、鈹桁橋梁のうち少数主桁の合理化構造では、床版の鉛直振動の振幅が主桁の鉛直振動に対して大きいことから、床版の鉛直振動を抑制する縦桁増設を行うだけでも、特に 10～20Hz 帯に対しては対策効果が得られることが期待されている²⁾。本稿では、既設の少数主桁の鋼鈹桁橋に対して実施した縦桁増設の内容とその効果を、事前計測ならびに数値解析による事前予測の結果と対比して報告する。

2. 対象橋梁と低周波音の発生状況

対象橋梁は、表-1 に示す主桁間隔 11m の 2 主鈹桁橋である。事前計測の結果、4Hz 帯と 12.5Hz 帯に低周波音のピークが確認され(図-1)、橋梁振動においても同様の周波数にピークが確認された。

3. 数値解析を用いた対策構造の設計

橋梁を FEM モデルでモデル化した数値解析により、事前計測結果を補完することで、橋梁の振動モード形状を推定し、振動対策構造の設計を行った。橋梁のモデル化には、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-2 に示す。鉛直 1 次モードおよび鉛直 2 次モードにおいて、床版の鉛直振動モードが主桁の鉛直振動モードに対して卓越するのが特徴である。このため、主桁と床版の相対変位を抑制するために、図-3 に示す縦桁増設対策を設計した。同対策は、床版を縦桁で支持し、縦桁からの反力をその下の支柱および横桁を介して主桁に伝えるものである。主桁と床版の接触面には、エポキシ樹脂を注入し一体化を図っている。

4. 対策効果の予測

前出の数値解析モデルを用いた車両走行解析により対策効果の推定を実施した。車両走行解析には筆者らが提案する簡易な疑似応答解析³⁾を適用し、入力に用いる疑似的な外力は、事前計測時の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。対策効果の予測結果を、表-2 に示す。

表-1 解析対象橋梁

橋梁形式	スパン	主桁間隔
鋼 7 径間連続鈹桁 (2 主鈹桁)	41.85m+43m×5 +41.8m	11m

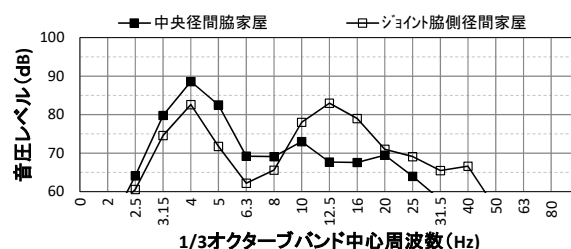


図-1 事前音圧計測結果(一般車走行)

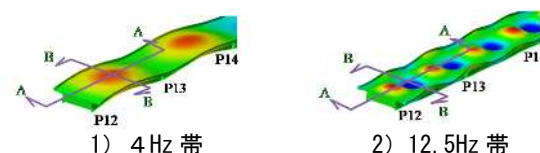


図-2 対象橋梁のモード図

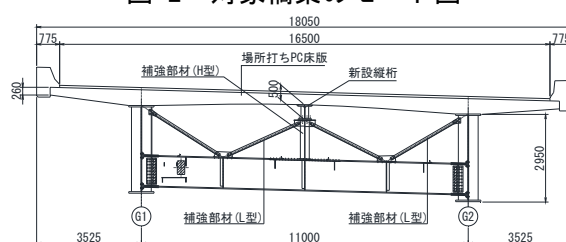


図-3 縦桁増設対策

表-2 対策効果

調査内容		検討位置	中央径間の 4 Hz 帯	ジョイント脇 側径間の 12.5 Hz 帯
予測	試験車両走行	床版中央の振動加速度 = 家屋脇低周波音	3dB	8dB
	一般車走行 (4 時台の 1 時間)	床版中央の振動加速度 家屋脇低周波音	3.5dB	3dB
実測	試験車走行	床版中央の振動加速度	7 dB	10dB
		家屋脇低周波音	8~9dB	2dB

キーワード 低周波音, 鉛直 2 次モード, 対策方法, 鋼鈹桁橋, 剛性付加

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.03-6311-7868

5. 対策効果の計測結果

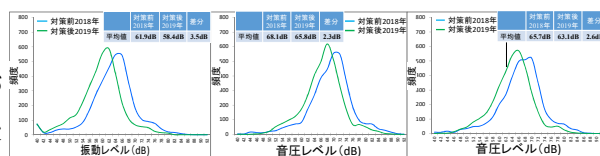
縦桁対策後に実施した対策効果の計測結果を図-4、図-5および前掲の表-2 あわせて示す。図-4 は、対策実施直前と直後について、低周波音が大きい同一時間帯の 60 分間の一般車走行を対象とし、調査家屋の低周波音レベルと直近の橋梁支間中央の振動加速度レベルの計測結果を頻度分布として整理したものである。対策工事に約 1 年を要したため、その間に生じたと予想される路面劣化の影響も含まれた値である。この計測結果は、対策前後で同一車両が走行しているわけではないので、ピーク値ではなく、平均値で対比を行った。この結果、対策後は、4Hz 帯の低周波音は 2~3dB 程度低下し、12.5Hz 帯については、橋梁振動は 3dB 低下したが低周波音は同等であった。図-5 は、試験車走行時の調査家屋の低周波音と、調査家屋直近の橋梁の支間中央の振動加速度の低減量である。ここで、試験車は、対策前後で同一の車両を用いているが、試験車走行を実施した時期が、対策構造の設計前と対策後の 2 回のみであり、その間に 5 年間の年月が経過している。また、試験車の振動加速度を対比すると、対策後は対策前に比べて概ね 5dB の増加がみられた(図-6) ことから、事後計測の結果はその分差し引いた。この結果、4Hz 帯では 7~9dB, 12.5Hz 帯では 2dB 低減している。図-7 は、試験車走行時の対策前後の振動モードを対比したものである。両周波数帯について、橋軸方向と橋軸直角方向のモード形状を、着目する周波数帯のフィルター波形の同一時刻の値をプロットして作成した。この結果、両周波数帯とも直角方向において、床版中央の振動が低下していることが確認できた。ただし、12.5Hz 帯では、C-C 断面において張出し部の振幅が低下していない。12.5Hz 帯の低周波音の低下が予測に比べて小さいのは、対策効果の推定を床版中央の振動で実施しており、張出し部の影響を考慮に入らなかったことが要因として考えられる。なお、12.5Hz 帯の橋軸方向のピーク位置がずれていが、この要因は、車両や路面凹凸の変化等が考えられる。

6. おわりに

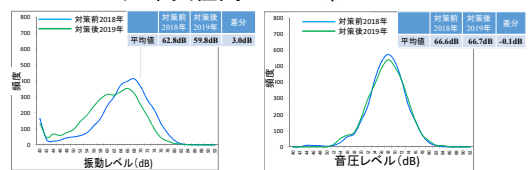
2 主桁橋の縦桁対策効果について予測と実測を対比した。

- ①一般車走行の実測値より、4Hz 帯の橋梁振動と低周波音について予測値と同程度の効果を確認した。
- ②試験車走行の実測値より、12.5Hz 帯の低周波音以外について予測値を上回る効果を確認した。
- ③12.5Hz 帯の低周波は、張出し部の対策を実施することで効果が発揮されるものと予想した。

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: 鋼桁橋の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, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.2, pp.186-201, 2018.5/2) 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, 2018.3/3)大竹省吾, 中村一史, 長船寿一, 岩吹啓史, 鳥部智之, 平栗昌明: 道路橋の交通振動の疑似応答解析を用いた応答加速度の推定方法に関する研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 72, No.2, pp. 707-718, 2017.1

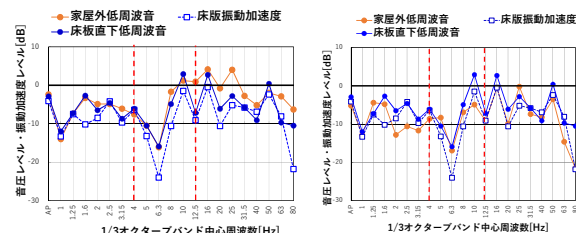


a) 橋梁振動 b) 家屋脇低周波音
1) 中央径間の 4 Hz 帯

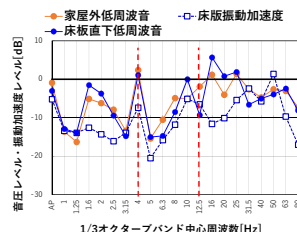


a) 橋梁振動 b) 家屋脇低周波音
2) ジョイント脇側径間の 12.5Hz 帯

図-4 計測レベル値の頻度分布(一般車)



1) 中央径間の 4 Hz 帯



2) ジョイント脇側径間の 12.5Hz 帯

図-5 計測レベル値の低減量(試験車)

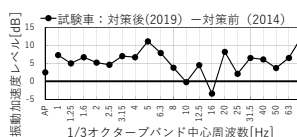
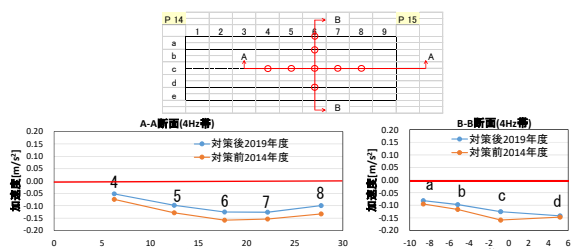
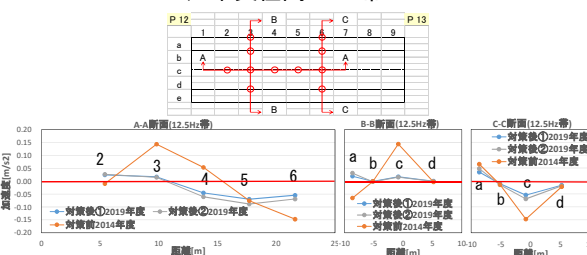


図-6 試験車両の振動加速度レベルの増加量



1) 中央径間 4 Hz 帯



2) ジョイント脇側径間の 12.5Hz 帯

図-7 振動モード形状