

鋼橋から発生する低周波騒音の原因特定とその防止対策に関して

○中央大学 学生員 長津真司 中央大学 正会員 佐藤尚次
中央大学 正会員 平野廣和

1. はじめに

1995 年の阪神淡路大震災を契機に橋梁等の構造物の耐震性が見直され、落橋防止措置の大型化、特に支承においては鋼製からゴムに取り替えるといった免震化が計られてきた。しかし、これらの設計手法の変更により補強前には気にならなかった騒音、振動等の道路周辺環境に対する諸問題が発生してきた。一方、最近の高架橋騒音の実例として、ジョイント部において自動車通過時に生じる衝撃力が桁に伝播し、桁のウェブ面を振動させることにより低周波の騒音を発生することが報告されている。一般国道においても橋梁形式の変わるジョイント部において、「ドン、ドドン」という低周波騒音が発生している。本報では、国道の橋梁形式変化箇所において低周波騒音の発生原因と推測される 2 径間連続板桁橋主桁ウェブ面の構造解析を行うと共に実地における騒音計測を行い、原因を特定した上で対策案の検討を行った。

2. 振動モード解析

解析モデルは、主桁構造図を基に表-1 に示す解析諸元において 2 径間連続板桁橋主桁ウェブ面のモデル化を行った。本来ならば桁全体を解析して固有値を求めるべきだが、その場合、高次までの計算が必要となる。従来の研究では、1～6 パネル程度解析して、その間に同じオーダーの固有値が存在すれば、それを低周波の固有値とすることができるのでその方法を採用する。解析モデルを図-1 に示す。図-1 はウェブ面の上下端が I 型の上下フランジと結合され、左右端に補剛材を付加した構造モデルである。(以下、パネルモデル)本研究では解析結果を比較するために、以下に示す 3 ケースの解析を行った。

Case1：図-1 に示す断面のみでの振動モード解析

Case2：上記 Case1 を 3 枚連結し、その連結部に鉛直補剛材を付加した断面での振動モード解析

Case3：上記 Case1 を 6 枚連結し、その連結部に鉛直補剛材を付加した断面での振動モード解析

3. 解析結果

解析は汎用構造解析ソフト COSMOS を用いて行った。Case1 に関しては 10 次まで、Case2,3 に関しては 20 次まで計算した。表-2 に解析 Case 毎の固有振動数(Hz)の一覧を示す。各解析 Case において 40～50Hz の固有振動数が存在することがわかる。この時のモード形状図を図-2 に示す。補剛材で囲まれた範囲が太鼓の腹のように振動していることがわかる。これが桁から低周波振動を放射する要因の一つと考えられている。以上のことから、対象モデルにおいては低周波音の発生が予想される。

表-1 解析諸元

steel材料特性	単位質量	$8.02 \times 10^{-10} \text{ kgf/mm}^3$
	弾性率	$2.1 \times 10^4 \text{ kgf/mm}^2$
	ポアソン比	0.3

表-2 解析 Case 毎の固有振動数

モード次数	固有振動数(Hz)		
	Case1	Case2	Case3
1	47.6706	37.3318	35.5449
2	86.0946	43.0234	37.2083
3	107.3730	45.9455	39.6756
4	144.4460	78.6189	42.4783
5	145.0150	82.2792	44.9757
6	-	83.4473	45.5936

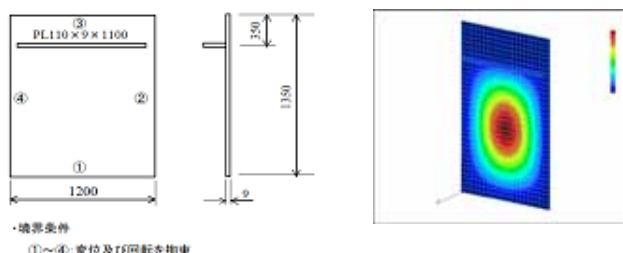


図-1 解析モデル

図-2 モード形状図

4. 騒音計測結果

騒音計測は対象モデルのジョイント部付近に計測点を 6 箇所設置して行い、位置関係を表-3 に示す。計測にはリオン社製の低周波音レベル計(NA-18)を用い、計測点 1 箇所あたり 5 分間の計測を行い、A 特性における 1/3 オクターブバンドで評価を行った。計測点 1 においては連続データの採取を行い、ジョイント部を大型車が通過する瞬間の騒音を把握するための計測を行った。図-3 に各計測点における騒音特性、図-4 にジョイント部大型車通過時のジョイント直下における騒音特性、図-5 にジョイント直下における 40Hz 帯レベルの時系列を示す。

(1) 超低周波帯域(10Hz 前後)

計測点 1 において 8Hz, 10Hz, 12Hz の音圧レベルが「参照値」を上回っている。従って、超低周波帯域が計測点 1 において騒音になり得ている。しかし、計測点 2 と計測点 3 (ジョイント直下)における騒音特性と比較すると卓越した周波数は対応していないことから、超低周波帯域が騒音の要因とは考えにくい。

(2) 低周波帯域(20～50Hz 帯)

低周波帯域である 20～50Hz 帯に関しては各計測点において「参照値」を下回っている。しかし、ジョイント直下からの距離に反比例して 40～50Hz 帯の音圧レベルが高くなっていることや、実地計測において体感的に低周波帯域の騒音を感じ取っていることから、関係がないとは断言できない。ここで、「参照値」とは、環境省によ

Keyword：低周波騒音、振動モード解析、騒音計測

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

表-3 計測点の位置関係

計測点	ジョイントからの距離	計測点	ジョイントからの距離
計測点	50m	計測点	25m
計測点	40m	計測点	40m
計測点	10m	計測点	45m

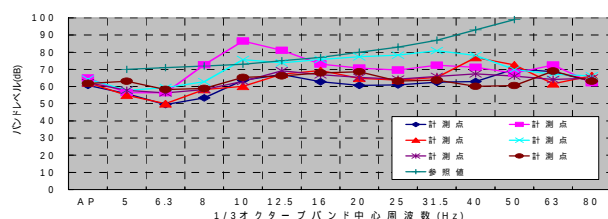


図-3 各計測点における騒音特性

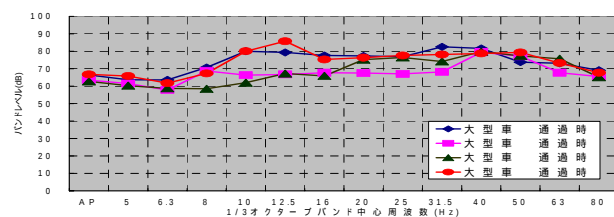


図-4 ジョイント部大型車通過時のジョイント直下の騒音特性

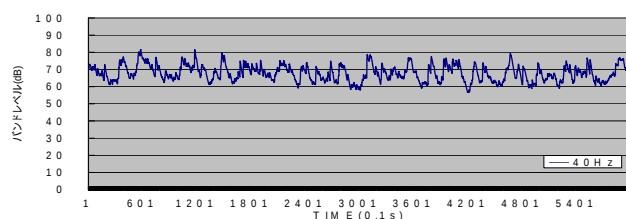


図-5 ジョイント直下における 40Hz 帯レベルの時系列

ってとりまとめられた「低周波音問題対応の手引書」に記載されている値である。測定値がいずれかの周波数で参照値以上であれば、その周波数成分が苦情原因である可能性が高い。

(3) ジョイント直下における騒音特性

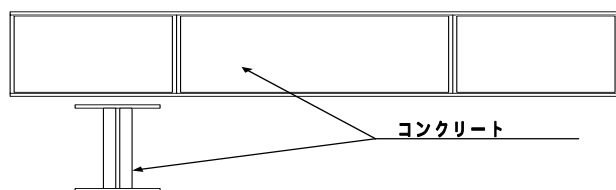
ジョイント直下の騒音特性について特筆すべきことは桁が有している固有振動数 40～50Hz 帯での音圧がどの大型車走行においてもおおよそ 80dB 前後となっていることである。大型車通過時に 80dB の音圧を常時発生させているということは、桁との共振により低周波を放射音として発生させていると考えられる。10 分間の時系列データを見ると、瞬間的な値であるとしても 75～80 dB を超える音圧が 10 分間のうち多数記録されていることがわかる。暗騒音レベルが下がる深夜でかつ就寝中のような場合、個人差にもよるが、不眠等の身体的な問題から生じる苦情が発生する可能性が高い。

5. 対策案の検討

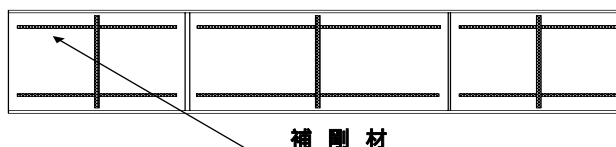
従来の研究や施工実績から低周波騒音における低減工法に関して検討を行い、対策方法の提案を行う。

<対策案(a)> 共振部材をコンクリートにより巻き立て振動を抑制する。コンクリートの質量により固有振動数の大幅な移行や減衰効果が期待でき、コストも安い、施工時の足場の組立や交通規制、部材の劣化等の二次的な問題が生じる。

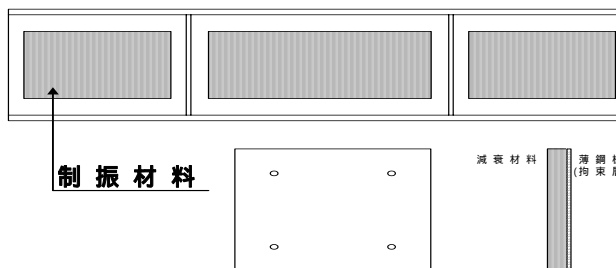
<対策案(b)> 水平及び、垂直補剛材を付加することによ



(a) コンクリートの巻き立てによる剛性増加



(b) 補剛材付加による剛性増加



(c) 制振材付加による振動吸収

図-6 対策案の検討

って共振板の剛性増加をはかり、振動数をシフトする。基本的に固有振動数を高次に移行するだけであり、音質の変化は期待できても音圧の低減は期待出来ない。また施工性が悪くコストが高い。

<対策案(c)> 共振部材に制振板¹⁾を付加することによりエネルギーを吸収する。制振板によりエネルギーそのものを吸収するパッシブ型の振動制御方法である。桁と鉄板で挟まれた弾性材料が一種の粘性ダンパーの役割をすることで減衰効果が期待出来る。また軽量部材のために施工期間が短い、コストが高い。

<総合評価> 低減工法として、上述の3案が考えられる。(a)案、(c)案は剛性または質量を増加させるもので、共振部材の固有振動数を移動させるに過ぎず、根本的な騒音低減対策にはならないと考えられる。施工面でも足場の組立解体、養生、防食など工種が多岐にわたり施工期間の長期化は避けられない。(c)案を(a)案と比較すると、材料費がコンクリートに対して高価であるが、仮設備、作業性、さらに設置面積及び手法の柔軟性から総合的に(c)案が有利と判断する。

6. おわりに

本報では、振動モード解析及び、騒音計測より低周波騒音の原因は主桁ウェブ面の振動に影響していることがわかった。この結果を基に対策案の検討を行った。騒音問題について重要なことは個人の感覚の問題であるため、人間の個人差を認めた上での対策検討が必要になることである。今後、対策案施工後の騒音計測を行うことにより低周波騒音低減効果の確認を行う必要がある。

参考文献

- 1) 連重俊他：鋼橋低音域騒音低減工法の開発と試験施工，土木学会論文集 No.735/ -59, 2003.