

道路橋直下にある建物内の低周波音と振動の物理特性\*

Characteristics of Infra Sound and Vibration in the Building under the Road Bridge\*

徳永法夫\*\*・福島昭則\*\*\*・西村 昂\*\*\*\*・日野泰雄\*\*\*\*\*

By Norio TOKUNAGA\*\*・Akinori FUKUSHIMA\*\*\*・Takashi NISHIMURA\*\*\*\*・Yasuo HINO\*\*\*\*\*

1. はじめに

低周波音は感覚については個人差が大きいこと、あるいは騒音のような測定方法の JIS 規格がないことから、わが国では騒音に比べて扱う機会が少なかった。しかし、今後は環境影響評価法に基づき低周波音が道路事業の環境影響評価に含まれることになる。したがって、道路橋からの低周波音の実態把握を早急に行う必要があり、このことを受けて全国の道路橋 80 箇所での実測調査結果に基づく提案式が報告されている<sup>1)</sup>。

我々は、前報において高架道路の沿道 29 点で実測調査した結果から卓越振動数と支間長を関連づける実験式を報告した<sup>2)</sup>。本稿では居住空間における道路橋からの低周波音の実態を把握する目的で、道路橋直下の建物内外での低周波音の音響特性を測定し、あわせて低周波音の発生と関連が深い道路橋の振動特性も測定したので結果を報告する。

2. 実測調査の概要

(1) 調査場所および測定橋梁

調査場所の概要を図 1 および図 2 に示す。

道路橋の上部工は RC 床版鋼 I 桁および鋼箱桁構造であり、橋脚は鋼製橋脚である。建物は鉄骨造の 2 階建事務所で、窓には 1 重ガラスのアルミサッシが取り付けられている。

現地測定時の道路橋の交通量は、本線が上下合計で 32,000(台/日)、ランプが合計 2,700(台/日)、また併設道路(平面)が 4,300(台/日)であった。本線の日平均大型車類混入率は約 10%、本線の日平均走行速度は約 90km/h であった。本線の交通量がランプや併設街路に比べて十分大きいこと、並びに建物は本線にもっとも近いことから考えると、建物での低周波音に対しては本線を走行する車両の影響が支配的と考えられる。

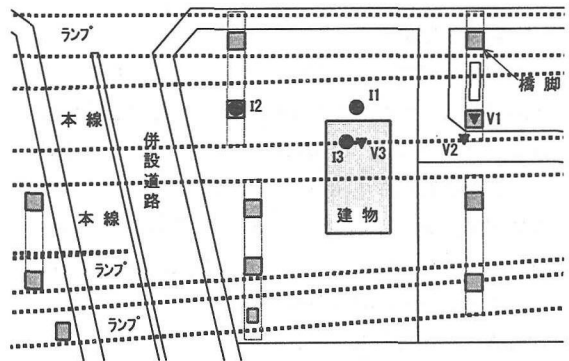


図 1. 調査場所および測定点配置(平面)

Ix: 低周波音、Vx: 振動加速度

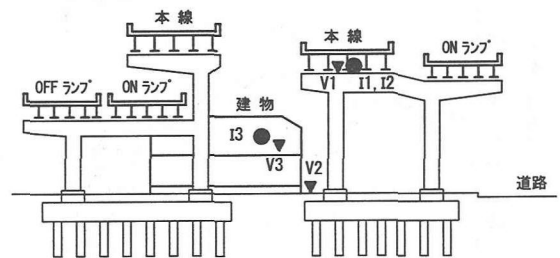


図 2. 調査場所および測定点配置(断面)

Ix: 低周波音、Vx: 振動加速度

\*キーワード: 低周波音, 振動, 高架道路

\*\*正員、阪神高速道路公団神戸第二建設部(神戸市中央区東川崎町 1-3-3(神戸ハーバーランドセンタービル 22 階)、TEL078-360-8141、FAX078-360-8158)

\*\*\*正員、株式会社ニューズ環境設計(神戸市兵庫区水木通 2-2-22、TEL 078-574-5448、FAX 078-578-8221)

\*\*\*\*フェロー、工博、大阪市立大学工学部土木工学科教授、(大阪市住吉区杉本 3 丁目 138、TEL & FAX 06-6605-2731)

\*\*\*\*\*正員、工博、大阪市立大学工学部土木工学科助教授(同上)

## (2) 現地測定

低周波音の測定点として、本線桁下の支間中央に  $I_1$ 、橋脚上に  $I_2$ 、建物の 2 階事務所内に  $I_3$  を配置した。また、振動加速度の測定点として、橋脚の天端に  $V_1$ 、橋脚近傍の地盤上に  $V_2$ 、建物 2 階の床面に  $V_3$  を配置した (図 1 および図 2 参照)。

毎正時から 10 分間の測定を 24 回実施した。すべてのセンサー出力をデータレコーダに録音した。

## (3) データ分析

振幅波形データを FFT 分析し、10 分間のパワー平均スペクトルを算出し、さらに 24 回のスペクトルをパワー平均し日平均スペクトルを算出した。

FFT 分析の周波数分解幅は 0.78Hz である。

## 3. 調査結果

### (1) 道路橋近傍での低周波音スペクトル

低周波音の主要な発生源と考えられる床版にもっとも近い測定点  $I_1$  および  $I_2$  における日平均スペクトルを図 3 に示す。

2~4Hz で測定点  $I_1$  の音圧レベルが  $I_2$  よりも約 10dB 大きく、2.73Hz が卓越している。その他の周波数域では  $I_1$  と  $I_2$  はほぼ同じである。2~4Hz は橋梁の 1 次固有振動数に相当する帯域と考えられる。この帯域の低周波音は床版の振動により生じているため、1 次固有振動のもっとも振幅が大きい“腹”に近い  $I_1$  の音圧レベルが振幅が小さい“節”の  $I_2$  よりも大きくなったと考えられる。

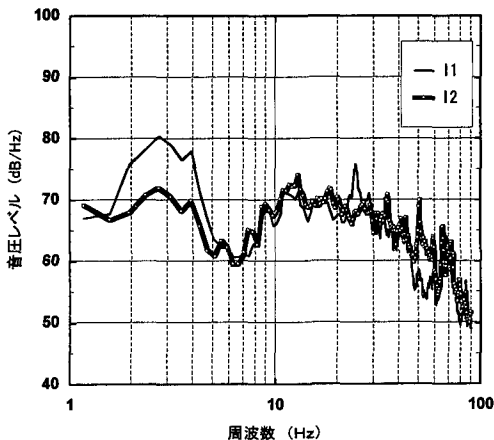


図 3. 道路橋近傍での低周波音 (測定点  $I_1$ ,  $I_2$ )

### (2) 橋脚の振動加速度スペクトル<sup>3)</sup>

低周波音と橋梁の振動との関連を検討するために、橋脚天端の測定点  $V_1$  での日平均スペクトルを図 4 に示す。なお、方向は、測定対象とする高架道路橋の橋軸直角方向を X 方向、橋軸方向を Y 方向、鉛直方向を Z 方向とした。

低周波音の放射にもっとも密接に関連していると考えられる Z 方向のスペクトルには、3.13Hz に卓越成分がみられる。これは低周波音の卓越周波数 2.73Hz に近い周波数である。また、6Hz 以下では水平方向の成分が大きく、6Hz 以上では鉛直方向の成分が大きい。

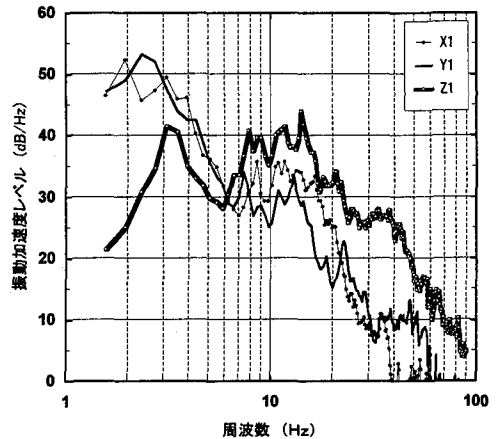


図 4. 橋脚天端の振動加速度 (測定点  $V_1$ )  
 $0\text{dB} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$

### (3) 卓越周波数に関する検討

前報において、道路橋からの低周波音の特徴である 2~6Hz の卓越周波数と支間長を関係付ける実験式として次式を報告した<sup>2)</sup>。

$$f_l = 0.1531 + 105.4/D \quad (1)$$

$f_l$  : 低周波音の卓越周波数 (Hz)

$D$  : 支間長 (m)

また、既往の研究によれば、道路橋の鉛直方向の 1 次固有振動数と支間長の関係式 (実験式) として次式が報告されている<sup>4)</sup>。

$$f_z = 49.1 \cdot D^{-0.779} \quad (2)$$

$f_z$  : 鉛直方向の 1 次固有振動数 (Hz)

調査した建物前後の橋脚間の長さは 45.55m である。式(1)および(2)にこの値を代入し求めた卓越周波数を測定値と比較して表 1 に示す。FFT 分析の周波数分解幅が 0.78Hz であることを考えると、低周波音については測定値と計算値は一致していると判断できる。

式(1)と式(2)の計算値を比較して図 5 に示す。支間長が 30m 以上では両者はほぼ一致している。この結果は、道路橋からの低周波音にみられる 1~6Hz 付近の卓越周波数成分は橋梁(床版)の鉛直方向の振動による放射音であることを裏付けている。

表 1. 卓越周波数

	卓越周波数(Hz)	
	測定値	計算値
$f_1$ (低周波音)	2.73	2.47
$f_z$ (振動)	3.13	2.51

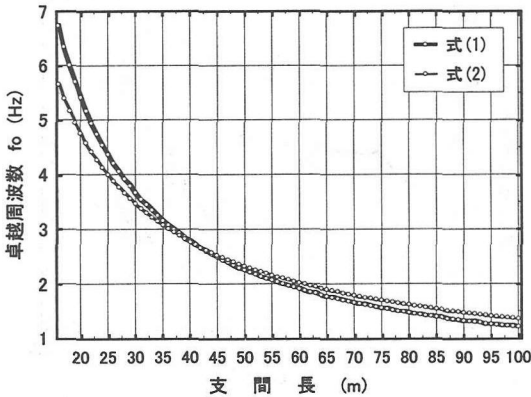


図 5. 低周波音と振動の卓越周波数

(4) 道路橋近傍と建物内の低周波音スペクトル

道路橋近傍の測定点  $I_1$ ,  $I_2$ 、および建物内の測定点  $I_3$  における日平均スペクトルを図 6 に示す。

10Hz 以下の周波数域では道路橋近傍と建物内の音圧レベルは 60~80 (dB/Hz) で、3 点の音圧レベルは比較的良好な値である。一方、10Hz 以上の周波数域では測定点  $I_1$  と  $I_2$  はほぼ同じであるが、建物内の測定点  $I_3$  の音圧レベルは  $I_1$  や  $I_2$  よりも 10~30dB 小さい。

道路橋近傍の測定点  $I_1$  あるいは  $I_2$  の低周波音のスペクトルを基準としたときの建物内の測定点  $I_3$  のスペクトルとのレベル差を図 7 に示す。

10Hz 以下の周波数域では建物内と道路橋近傍でほとんど音圧レベルに差がないが、15Hz 以上では 20dB 前後のレベル差がみられる。

一般に遮音量(透過損失)は、騒音として扱う周波数領域では質量則に従うため周波数が高いほど、また遮音材料の面密度が大きいほど遮蔽効果は大きい。しかし周波数が低くなると質量則が成り立たなくなり、遮音材料の剛性や抵抗により遮音量が決定される。また、この周波数領域では一般には遮音量はあまり期待できない。

これらのことから、建物の壁・天井・窓などの遮音は数 Hz の周波数域ではほとんど期待できないと考えられる。

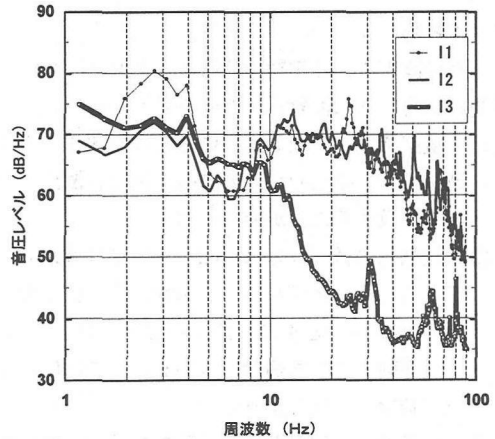


図 6. 道路橋近傍と建物内の低周波音スペクトル

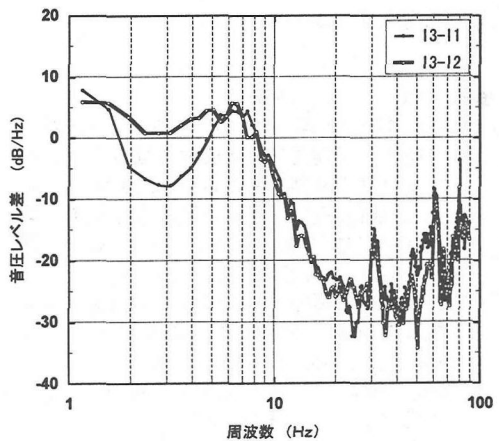


図 7. 道路橋近傍と建物内の低周波音のレベル差

(5) 橋脚付近の地盤と建物内の振動スペクトル

橋脚付近の地盤振動の測定点  $V_2$  および建物床面振動の測定点  $V_3$  における日平均スペクトルを図8に示す。なお、振動加速度の測定は3方向(XYZ)について行ったが、図には3方向の合成加速度レベルを示す。また、地盤振動の測定点  $V_2$  の振動加速度のスペクトルを基準としたときの建物床面の測定点  $V_3$  のスペクトルとのレベル差を図9に示す。

10Hz 以下の周波数域では地盤振動の測定点  $V_2$  と建物床面振動の測定点  $V_3$  の振動加速度レベルはほぼ一致している。10Hz 以上の周波数域では測定点  $V_3$  の振動加速度レベルの方が測定点  $V_2$  よりも 10dB 程度小さい。

5. まとめ

道路橋直下にある建物の低周波音と振動について実測結果をもとに検討した内容を以下に述べる。

- ① 道路橋周辺の低周波音にみられる数 Hz の卓越振動数と橋梁の鉛直方向の1次固有振動数がほぼ一致することが分かった。
- ② 建物内の低周波音は 10Hz 以下では道路橋直下とほぼ同じ音圧レベルであり、10Hz 以上では道路橋直下に比べ 10~30dB 小さかった。したがって今回調査した建物は 10Hz 以下ではほとんど遮蔽はみられなかった。
- ③ 橋脚近傍の地盤と建物床面の振動を比較したところ、10Hz 以下では地盤と床面の振動加速度はほぼ等しかった。10Hz 以上では床面の方が 10dB 程度小さかった。

参考文献

- 1) 村井, 竹田, 大西, 上坂, 那須, 石渡: 道路橋から発生する低周波音の実態と予測方法, 日本音響学会騒音振動研究会資料, N99-34, 1999.
- 2) 徳永, 福島, 西村: 高架道路から発生する低周波音の音響特性, 土木計画学研究・講演集 No. 22(2), pp. 131-134, 1999. 10.
- 3) 徳永, 西村, 藤原: 鋼製橋脚の補強工事による振動特性の変化, 土木計画学研究・講演集 No. 22(2), pp. 127-130, 1999. 10.
- 4) 橋梁振動研究会編: 橋梁振動の計測と解析 (技報堂出版), pp. 103-114.

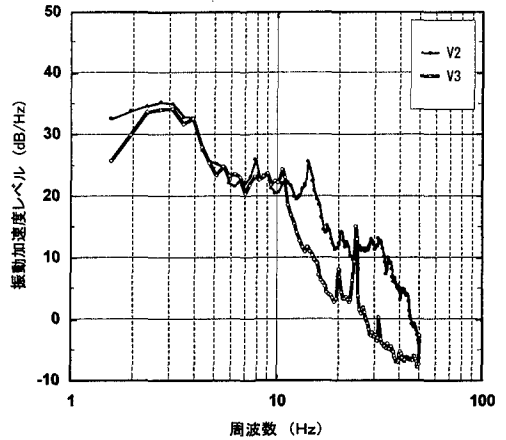


図8. 地盤振動と床面振動の比較  
 $0\text{dB} = 1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$

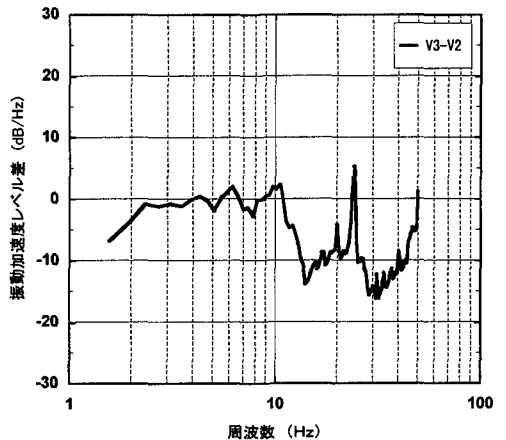


図9. 床面と地盤面の振動加速度の差