

山梨大学大学院 学生員 中原 和彦

山梨大学工学部 正会員 深沢 泰晴

山梨大学工学部 正会員 杉山 俊幸

1. はじめに

車両の平滑走行時、及び伸縮装置上の段差に起因する衝撃により生じた道路橋の振動から放射される低周波騒音は、橋梁下の民家の戸、障子をガタガタと鳴らす物理的な現象として現れたり、頭痛・不眠・耳なり等の生理的苦痛を与えるなど、橋梁騒音公害として社会問題化している。そこで、本研究では、高架橋梁上を車両が高速で通過する際に生じる橋梁の低周波振動により放射される低周波騒音の発生メカニズムを伸縮装置上の段差による衝撃を含め、空間的な音の干渉も考慮して解析した。

2. 車両走行による道路橋の基準座標の速度振幅

橋梁振動のメカニズムを調べるため、大型自動車の前輪と後輪相互の振動位相差によるビッチング振動が考慮できる4自由度系モデルを用いた。平滑走行時及び伸縮継手の段差により発生する衝撃の影響も考えて、橋梁の各モード別の基準座標の速度応答を求めた。段差における衝撃の影響は、初期条件として進入時の車両に変位を与えて計算した。数値計算としては、ルンゲ・クッタ・ギル法を用いて各モードごとの応答計算を行い、フーリエ変換により、基準座標の速度振幅スペクトルを求めた。単純桁橋及び自動車の諸元は、建設省土木構造物標準設計数値表より概算された値である。

3. 音圧レベルの算出

長さ L 、幅 W の大きさの単純支持梁を梁の軸方向に n 個の微小音源の集まりと見なしたとき、その微小音源を一つの呼吸球と考えると、振動速度を V とすると、この微小音源から距離 r 離れたところの音圧 $P(t, r)$ は、次のようになる。

$$P(t, r) = \frac{j\rho ck}{2\pi r} (V \cdot dS) \exp j(\omega t - kr)$$

ここに、 j :複素数、 $\omega = 2\pi f$ 、 ρ :空気密度、 c :音速、

k :音の波数、 $dS = L \cdot W/n$ (音源の面積)

梁の速度分布 $V(X)$ は、

$$V(X) = V \cdot \sin \left\{ \frac{m\pi X}{L} \right\}$$

ここに、 m :振動モード、 V : m モードの基準座標速度となり、 i ($i = 1 \sim n$) 番目の音源における振動速度 $V_i(X)$ は、各要素の中央の座標を代表点とすると、

$$V_i(X) = V \cdot \sin \left\{ \frac{m\pi \left((i-1) \cdot L/n + L/(2n) \right)}{L} \right\}$$

となる。 r_i 離れた受音点 $Q(X, Y)$ の音圧の実効値 $P_{i,rms}$ は、

$$P_{i,rms}(r_i) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left\{ \frac{j\rho ck}{2\pi r_i} (V_i(X) \cdot dS) \exp j(\omega t - kr_i) \right\}^2 dt} \quad (4)$$

$$r_i = \sqrt{(X - ((i-1) \cdot L/n + L/(2n)))^2 + Y^2}$$

となる。次に、梁上に分布する n 個の音源による受音点 $Q(X, Y)$ の音圧 P は、

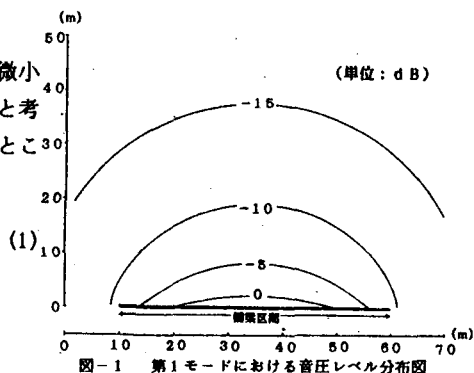


図-1 第1モードにおける音圧レベル分布図

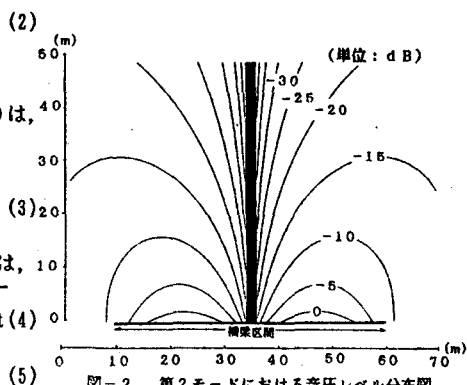


図-2 第2モードにおける音圧レベル分布図

$$P = \sum_{i=1}^n P_i(t, r_i)$$

よって、Q(X, Y)点の音圧の実効値は、

$$P_{rms}(r) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt}$$

より求められる。

モードごとの音圧を次式により、音圧レベルSPLに直す。

$$\begin{aligned} \text{SPL} &= 20 \cdot \log_{10} \frac{P_{rms}}{P_0} \\ &= 20 \cdot \log_{10} P_{rms} + 94 \end{aligned}$$

ここに、 P_0 ：最小可聴値 ($2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$)

4. 計算結果及び考察

図-1～3は、梁の軸方向の鉛直空間上にわたって第1から第3モードにおける音圧レベルの分布図を、最大値を0 dBとして5 dBごとに描いたものである。第1モードでは、ほぼ梁全面から音が放射されているが、第2、第3モードでは、振動の節となる点において干渉が生じ、音の放射は著しく減少する。特に第2モードにおける中央点では、完全に音は打ち消し合う。

低周波騒音は、図-4のように、4つの領域に分けることができる。線A-Bは、低周波音の最小可聴値であり、線C-Dは、窓ガラス、障子のガタつきが始まる最小レベルである。A-B、C-Dの線は、20 Hz付近で交叉する。4つの領域の特徴は、次のようになる。領域①では、特別問題は起こらない。領域②は、障子などが振動することはないが、低い音が聞こえ、頭に何かがかぶさっているような生理的影響を受ける。領域③は、低周波音そのものは感じられないが、障子などの振動により間接的に感じられる。領域④は、障子もガタガタと鳴り、耳の圧迫も感じられる。公害として激しい領域である。

図-4, 5は、橋梁の支点及び中央より、鉛直方向に50 mの地点での音圧レベルのスペクトル図である。中央点では、偶数モードの振動から生じる音は、干渉により現れない。

図-6は、伸縮装置上の段差を2 cmとして支点上50 mの地点の音圧レベルのスペクトル図である。段差による衝撃のため3～5 Hzの間に図-4, 5には見られない騒音が発生している。また、1モードの振動から生じる音圧レベルが段差が無い場合に比べて特に大きくなる。

<参考文献>

- 1) 建設省土木研究所：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書 (Ⅷ-1985)，土木研究所資料第2258号
- 2) 山田伸志：超低周波音と低周波音，環境技術研究会
- 3) 日本音響学会：音響工学講座④騒音・振動 (上)，コロナ社

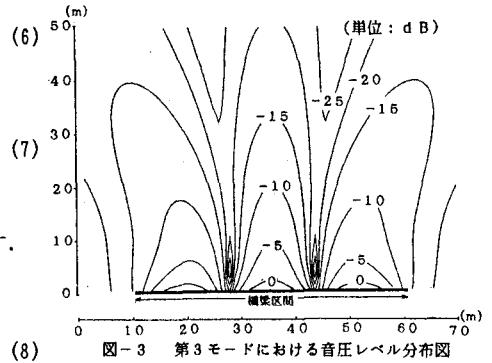


図-3 第3モードにおける音圧レベル分布図

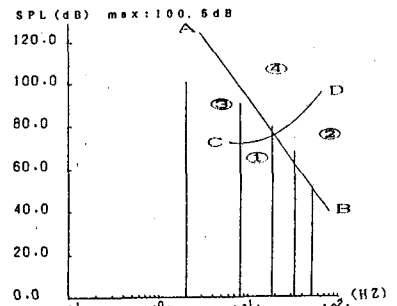


図-4 音圧レベルのスペクトル図
(支点50 m, 走行速度60 km/h, 支間長50 m)

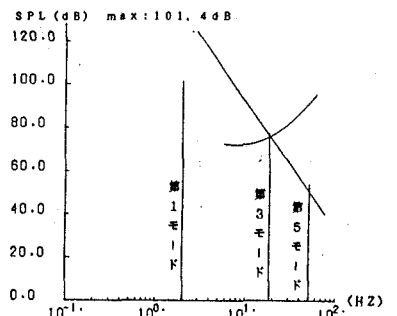


図-5 音圧レベルのスペクトル図
(中央点50 m, 走行速度60 km/h, 支間長50 m)

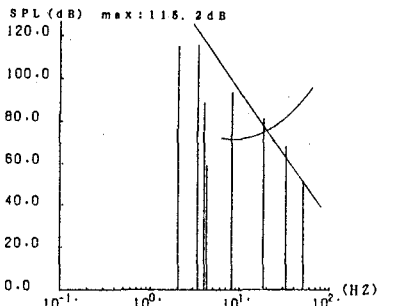


図-6 音圧レベルのスペクトル図
(段差2 cm, 支点50 m, 走行速度60 km/h, 支間長50 m)