

I-360 道路橋の低周波騒音に関する基礎的研究

東京電力(株) 正会員 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

道路橋上を車両が走行するとき、路面が平滑であっても橋は振動を発生するが、路面の凹凸、伸縮装置部の段差等はその振動をさらに増幅させる。このような道路橋の振動から放射される低周波音は、周辺の民家の戸、障子をガタガタと鳴らす物理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、いわゆる道路橋の低周波騒音公害として社会問題化している。そこで本研究では、車両走行時における前述のような種々の要因に基づく道路橋の動的応答を解析し、それに伴って発生する低周波音の音響特性を空間的な音の干渉も考慮して解明しようとするものである。

2. 車両走行による道路橋振動の速度スペクトル

走行車両のモデルとしては、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を考慮できる図-1に示す4自由度系モデルを用いた。橋の動的応答解析は、平滑走行の場合、路面凹凸・伸縮継手部の段差を考慮した場合のそれぞれについて行った。数値計算は3.における音響解析との対応を考えて、橋梁の各振動モードごとに基準座標の速度応答をルンゲ・クッタ・ギル法を用いて行い、さらにその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。計算結果の一例を図-2に示す。車両モデル・橋梁の諸元は、建設省土木構造物標準設計数値表によった。

3. 任意受音点における音圧レベル

支間長 L 、幅 W の単純支持桁橋を橋の軸方向に n 等分割、幅方向に m 等分割し、それぞれの要素を微小音源である呼吸球と考える。

k 次の振動モードに対して、要素 (i, h) ($i=1 \sim n, h=1 \sim m$)の振動速度 V_{ih} は、対応する基準座標の速度振幅を V とすると

$$V_{ih} = V \cdot \sin \left\{ \frac{k \pi ((i-1) \cdot L/n + L/2n)}{L} \right\} \quad (1)$$

と表される。また、この要素から距離 r_{ih} 離れた受音点 $Q(x, y, z)$ における音圧 $P_{ih}(x, y, z)$ は次式ようになる。

$$P_{ih}(x, y, z) = \frac{j \rho c k}{2 \pi r_{ih}} (V_{ih} \cdot dS) \exp j(\omega t - K r_{ih}) \quad (2)$$

ここに、 j :虚数単位、 $\omega = 2 \pi f$ (f :周波数)、 ρ :空気密度、

c :音速、 K :音の波数、 $dS = L \cdot W / (n \cdot m)$ (音源の面積)。

したがって、橋上に分布する $n \times m$ 個の音源による受音点 $Q(x, y, z)$ における音圧 $P(x, y, z)$ は

$$P(x, y, z) = \sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^m P_{ih}(x, y, z) dt \quad (3)$$

音圧の実効値 $P_{rms}(x, y, z)$ は

$$P_{rms}(x, y, z) = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T \{P(x, y, z)\}^2 dt} \quad (4)$$

音圧 (単位: N/m^2)を音圧レベル SPL (単位: dB)に換算する

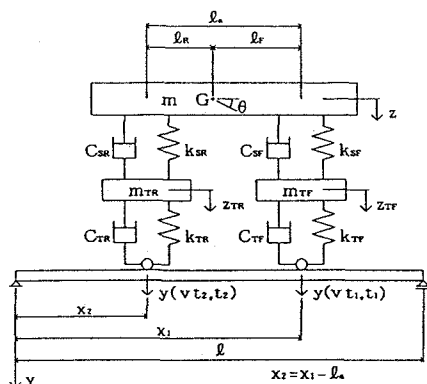


図-1 4自由度系の車両モデル

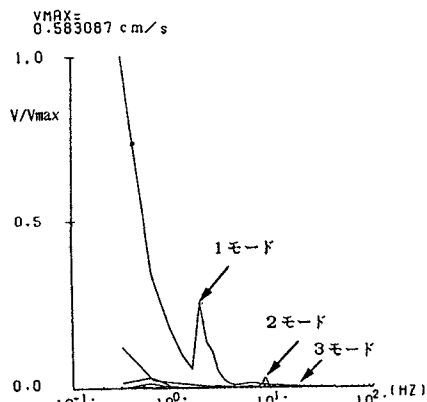


図-2 基準座標の速度振幅のスペクトル
(走行速度60 km/h, 支間長50 m)

には、次式を用いる。

$$\begin{aligned} \text{SPL} &= 20 \cdot \log_{10} \frac{P_{\text{rms}}}{P_0} \\ &= 20 \cdot \log_{10} P_{\text{rms}} + 94 \end{aligned} \quad (5)$$

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

計算結果の一例を図-3, 4, 5に示す。これらは、スパン50m, 幅10mの橋の1次モードから3次モードまでの振動のそれぞれについて、橋の中心軸上の鉛直空間面における音圧レベルの分布を、最大値を0dBとして5dBごとに描いたものである。2次、3次モードにおける干渉の様子がわかる。

4. 車両走行に伴う音圧レベルのスペクトル

2. において計算される各モードごとの橋面の振動速度スペクトルを3. の式(1)~(5)に適用することによって、車両走行に伴う橋梁のたわみ振動から放射される低周波音について、任意点における音圧レベルのスペクトルが求められる。

計算例を図-6及び図-7に示す。これらはともに、幅員10mの単純桁橋の支点位置の幅員中心上50mの受音点における音圧レベル(SPL)のスペクトル図であり、振動速度スペクトルのピーク値(桁橋の1次から5次までの固有振動数及び走行車両の固有振動数に対応)のみを離散的にとり計算したものである。図-6は、支間長50m, 車両の走行速度60km/h, 伸縮継手部の段差2cmの場合である。図-7は、車両の走行速度100km/h, 伸縮継手部の段差3cmの場合で、橋の支間長の変化させてピーク値をプロットしたものである。

なお、2つの図中に示したように、低周波騒音は最小可聴値の限界線を表す線A-Bと、障子などのガツツキが始まる限界線を表す線C-Dとによって4つの領域にわけられる。2つの線は20Hz付近で交差しており、これらの領域との関係によって低周波騒音の影響度合を知ることができる。

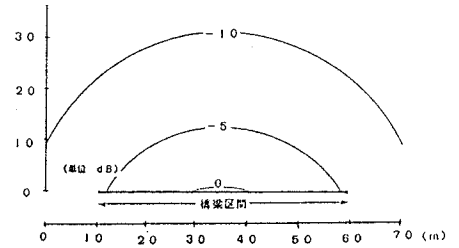


図-3 第1モードにおける音圧レベル分布図

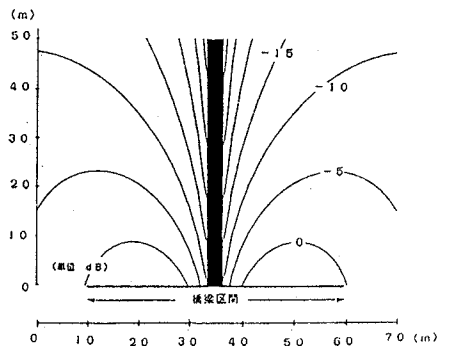


図-4 第2モードにおける音圧レベル分布図

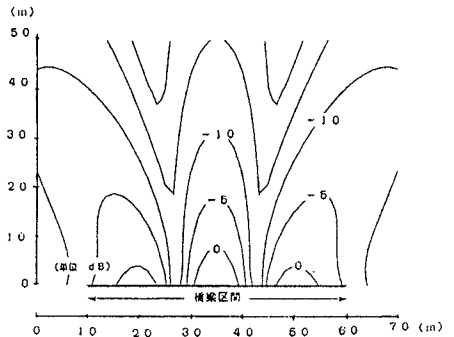


図-5 第3モードにおける音圧レベル分布図

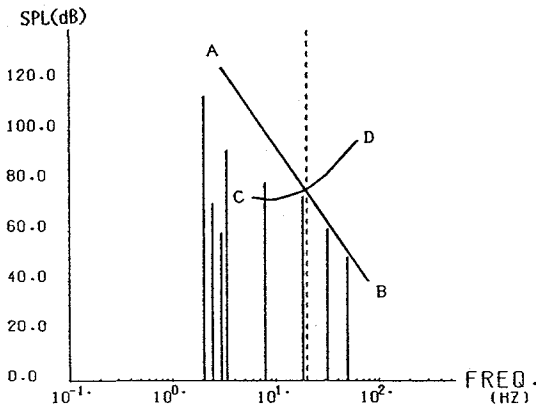


図-6 支点上50m地点の音圧レベルのスペクトル
(支間長50m, 段差2cm, 走行速度60km/h)

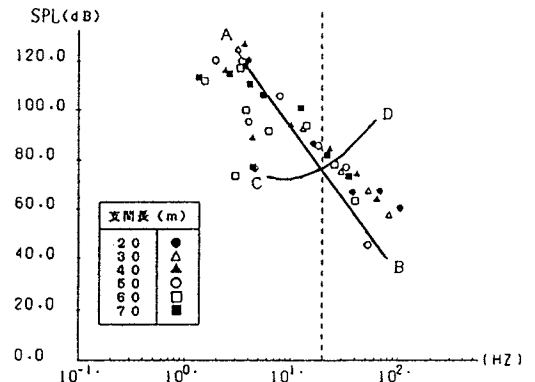


図-7 支間長の変化による最大音圧レベル分布
(段差3cm, 走行速度100km/h)