

(I - 5) 道路橋の振動から放射される低周波音特性について

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
山梨大学大学院 学生員 ○小林 一仁

1. はじめに

車両の平滑走行あるいは段差における衝撃による道路橋の振動から放射される低周波騒音が、橋下の民家の戸、障子をガタガタと鳴らし不安感を与えている場合がある。そこで本研究は、高速道路などの高架橋梁上を重車両が高速で通過する際の橋梁振動と低周波音を解析し、それらの特性を明らかにしようとするものである。

2. 車両走行による道路橋の動的応答

橋梁振動のメカニズムを調べるために、自動車を図-1のように前・後輪相互の振動位相によって生じるピッチング振動を考慮した4自由度系モデル¹⁾とし、大型自動車が道路橋を通過するときの動的応答解析を行う。また、低周波音の発生原因としてジョイント部における衝撃の影響が考えられる。そこでジョイント部における衝撃の影響を考慮し、段差 h をパラメーターとして変えたとき、発生する低周波音のレベルがどう変化するかを求める。なお、数値計算法として本研究ではルンゲ・クッタ・ギル法を用い、計算における単純桁橋の諸元は、支間50m、曲げ剛性 $1.30 \times 10^{14} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ 、単位長さ当たりの重量 12000 kg/m の活荷重合成桁橋とし、減衰定数は0.02を代表値として用いる。また、走行自動車の諸元を表-1に示す。

表-1 走行自動車の諸元¹⁾

自動車総荷重: 20 ton (ばね上部 $M=17 \text{ ton}$ ばね下部前部 $M_{TF}=0.7 \text{ ton}$, ばね下部後部 $M_{TR}=2.3 \text{ ton}$)		
車軸間隔: $\ell_a=3.85 \text{ m}$ ($\ell_F=2.84 \text{ m}$, $\ell_R=1.01 \text{ m}$)		
ばね上極慣性モーメント: $G=408200 \text{ Kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2$		
	ばね定数 (Kgf/cm)	減衰定数 (Kgf·s/cm)
前軸懸架部	$K_{SF}=1500$	$C_{SF}=17$
前軸タイヤ部	$K_{TF}=2200$	$C_{TF}=2$
後軸懸架部	$K_{SR}=12000$	$C_{SR}=140$
後軸タイヤ部	$K_{TR}=8800$	$C_{TR}=7$

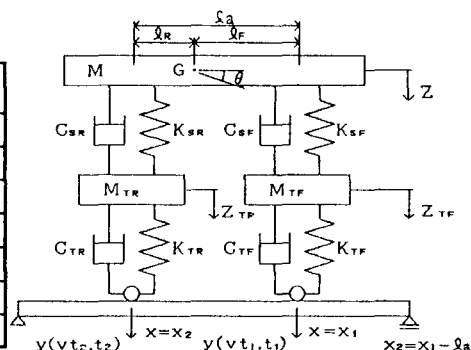


図-1 自動車の振動系

3. 放射音圧レベル

3.1 はりの音響出力

内部減衰のないはりが、機械的に加振されて生じる曲げ波が一次元的に伝搬するときの振動速度は、

$$v(x) = v_0 e^{-jk_P x} \quad (1)$$

ここで、 k_P : はり中の曲げ波の波数, v_0 : はりの速度振幅

曲げ波によって空間に放射される音波の音圧 P 、音響出力 W は²⁾³⁾

$$P = \int_0^b \int_0^A \left\{ -k_P c \frac{v}{2\pi r} \right\} dx dy \quad (2)$$

$$W = \int_0^2 \int_0^{\pi/2} \frac{|P|^2}{\rho c} r^2 \sin \theta d\theta dr \quad (3)$$

ここで、 ρ : 空気密度 ($=1.25 \text{ kg/m}^3$)

c : 空気中の音速 ($=340 \text{ m/sec}$), k : 音の波数

図-2より、 $r' = r \sqrt{1 - \frac{2}{r} \sin \theta (x \cos \psi + y \sin \psi) + \frac{x^2 + y^2}{r^2}}$

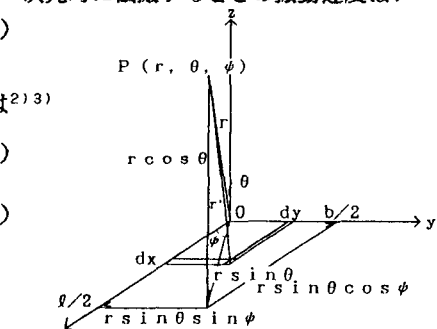


図-2 座標系

$$\text{また、} r \cos \theta \text{ (受音点からはりへの距離)} = d \text{ とすると、} r = \sqrt{d^2 + (\sqrt{b^2 + b^2}/2)^2} \quad (5)$$

(4),(5)式を(2),(3)式に代入すると、

$$P = \int_0^b \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ -k \rho c \frac{v_0 (\cos k_p x - j \sin k_p x) (\cos k r z + j \sin k r z)}{2 \pi r z} \right\} d x d y \quad (6)$$

$$W = \frac{4 \langle v^2 \rangle k^2 \rho c}{\pi^2} \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \left| \int_0^b \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos k_p x \cdot \cos k r z + \sin k_p x \cdot \sin k r z}{z} d x d y \right|^2 \sin \theta d \theta d \psi \quad (7)$$

$$\text{ここで、} z = 1 - \frac{2}{r} \sin \theta (x \cos \psi + y \sin \psi) + \frac{x^2 + y^2}{r^2}, \quad k_p = 2\pi/\lambda_p, \quad k = 2\pi/\lambda = 2\pi f/c$$

$$\langle v^2 \rangle: \text{時間及び空間についてのはりの2乗平均速度} = 1/4 |v_0|^2$$

また、(7)式を次式に代入し、音源(振動源)のパワーレベルPWLを求める。

$$PWL = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (\text{dB}) \quad W_0: \text{音響出力の基準値} \quad (10^{-12} \text{ Watt}) \quad (8)$$

3.2 面音源からの距離減衰

図-2のような長方形音源から垂直距離dの

受音点Pでの音響エネルギー密度Eは、

$$\begin{aligned} E &= \int_0^b \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{W d x d y}{2 \pi r^2 c} \\ &= \frac{W}{2 \pi c} \int_0^b \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d x d y}{d^2 + x^2 + y^2} \\ &= \frac{W \phi}{2 \pi c} \end{aligned} \quad (9)$$

となり、受音点の音圧レベルSPLは、

$$\begin{aligned} SPL &= 10 \log_{10} \frac{E c}{10^{-12}} \\ &= PWL - 8 + 10 \log_{10} \phi \quad (\text{dB}) \quad (10) \end{aligned}$$

4. 数値計算結果および考察

動的応答解析により求めた橋の速度振幅を走行荷重が橋に入ってから出るまでの間で周波数分析を行う。

図-3、図-4に(10)式より求めた垂直距離d=20m地点での音圧レベルを示す。図-3は速度vをパラメータとして変化させたもので、最も卓越している所は橋の1次固有振動数(=2.05Hz)であり、速度が増すごとに音圧レベルも大きくなり、時速60kmと時速100kmでは2Hz付近で約10dBの差がある。

また、図-4に時速60kmにおける段差hをパラメータとして変化させた時の音圧レベルを示す。ジョイント部の衝撃は初期条件として、

$t=0, \dot{z}=z_{TR}=z_{TF}=0, z=z_{TR}=z_{TF}=h$ を与える。ジョイント

部があることにより、車両のバネ上固有振動数である3Hz付近に、多くの成分が含まれていることがわかる。

図-3、図-4より、ジョイントにおける1cm以上の段差は、音圧レベルに顕著な影響を与え、低周波音公害の発生原因となる可能性がある。

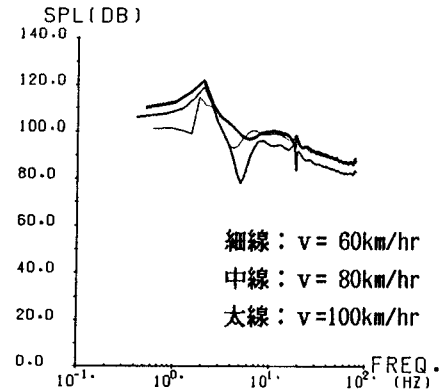


図-3 d=20m地点の音圧レベル

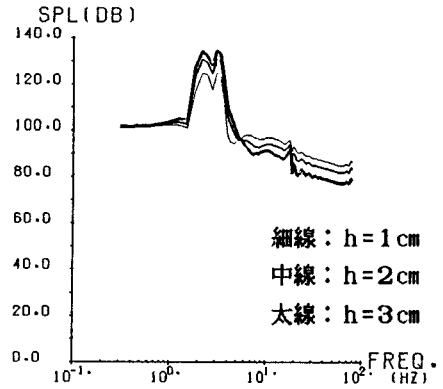


図-4 d=20m地点の音圧レベル

参考文献

- 1) 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) Wallace C.E., J. Acoust. Amer., Vol. 51 No. 3 (1972) p. 946~952
- 3) 斉藤保夫 他, 構造部材振動による音響放射, 三菱重工技報, Vol. 15 No. 1 (1978-1)