土木学会西部支部研究発表会(1985.2)

騒音レベル中央値の簡易推定法について

九州工業大学　正　員　○渡辺義則
〃　学生員　博田能行
九州大学　正　員　角　知憲

1. まえがき

これまで提案してきた線形系の応答に関する諸性質を利用したコンピュータモデル（線形モデルと仮称）を基礎にして，車両定常走行時の等価騒音レベル$L_{Aeq,T}$を比較的容易に計算できる方法は既に報告した[1]。さらに本報告では，現在，環境基準値として採用されている騒音レベルの中央値L_{50}を簡易に推定する方法について，開放された平坦部道路区間を対象に考察した結果を紹介する。

2. 車両定常走行時の騒音レベル中央値L_{50}の簡易推定法

2.1 等価騒音レベル$L_{Aeq,T}$の簡易推定法[1]

$$L_{Aeq,T} = 10\log_{10} \mu_z / 10^{-12} \quad (1)$$

$$\mu_z = \sum_{k=1}^{n} \mu_k \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda)\,d\lambda + \mu_b \quad (2)$$

$$\mu_k = W_k \cdot Q_k\,(14.4A_k+1.6)/3600 \quad (3)$$

$$W_k = 10^{-12}\times 10^{(0.2V_k+85+i_k/3)/10} \quad (4)$$

$g_k(t)$：k車線に対する荷重関数
μ_b：暗騒音の平均値，n：対象道路の車線数
i_k：k車線の道路縦断勾配
V_k：k車線の車両平均速度（km/h）
Q_k：k車線の時間交通量，A_k：k車線の大型車混入率

2.2 対象観測点に生じる音の強さの時間変動$z(t)$の二乗平均値ψ_z^2の推定方法

$$\psi_z^2 = \sigma_z^2+\mu_z^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{zz}(f)\,df \quad (5)$$

多入力線形系では一般に次式が成立する。

$$S_{zz}(f) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} G_i^*(f)\,G_k(f)\,S_{ik}(f) \quad (6)$$

σ_z^2：$z(t)$の分散
$S_{zz}(f)$：$z(t)$のパワースペクトル密度関数
$G_k(f)$：$g_k(t)$のフーリエ変換，*は共役の意味
$S_{ik}(f)$：iおよびk車線上の音源の音響出力の時間変化率に関する相互スペクトル密度関数
$A(f)$：$S_{12}(f)$のコスペクトル密度関数

とくに，車線数が2，$G_k(f)$がfに関して対称な実関数であれば，上式は次のようになる。

$$S_{zz}(f) = G_1^2(f)S_{11}(f) + G_2^2(f)S_{22}(f) + 2A(f)G_1(f)G_2(f) \quad (7)$$

2.3 騒音レベル中央値L_{50}の簡易推定法

騒音レベルxが$N(\mu,\sigma^2)$の正規分布に従う場合には，以下の関係式が導かれる。

$$\mu_z = \int_{-\infty}^{\infty} 10^{-12}\cdot e^{cx}p(x)\,dx = 10^{-12}\cdot e^{c(\mu+\frac{c}{2}\sigma^2)}, \quad p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left\{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (8)$$

$$\therefore L_{Aeq,T} = \mu + c\sigma^2/2, \quad c = (\log_e 10)/10 \quad (9)$$

一方，$\sigma_z^2 = E[(10^{-12}e^{cx}-\mu_z)^2] = (10^{-12})^2\cdot E[e^{2cx}] - \mu_z^2 = 10^{-24}\cdot e^{2c(\mu+c\sigma^2)} - \mu_z^2$ (10)

$$\therefore 10\log \psi_z^2/(10^{-12})^2 = 2\mu + 2c\sigma^2 \quad (11)$$

式(9)，(11)より騒音レベルの平均値μと標準偏差σはそれぞれ次式より求まる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{c}}\sqrt{10\log\frac{\sqrt{\psi_z^2}}{10^{-12}} - L_{Aeq,T}}, \quad \mu = L_{Aeq,T} - \left(10\log\frac{\sqrt{\psi_z^2}}{10^{-12}} - L_{Aeq,T}\right) \quad (12)$$

さらに，騒音レベル中央値L_{50}および80%レンジの上，下端値L_{10}，L_{90}は次式より求まる。

$$L_{10} = \mu + 1.28\sigma, \quad L_{50} = \mu, \quad L_{90} = \mu - 1.28\sigma \quad (13)$$

3. 実際への適用と考察

本手法を地表面状況の異なる平坦部道路区間へ適用する。いま，周辺に建築物のない開放された平坦部道路区間においては，荷重関数が式(14)のように表現できると仮定すると[1]，式(2)ならびに式(7)中の$G_k(f)$は次のようになる。ただし，$\mu_b \fallingdotseq 0$とする。

$$g_k(t)=a\{l_k^2+(v_k \cdot t)^2\}^{-b/2},\ -\infty<t<\infty \tag{14}$$

$$\mu_z=\frac{a\sqrt{\pi}\,\Gamma(\frac{b-1}{2})}{\Gamma(\frac{b}{2})}\sum_{k=1}^{n}\frac{\mu_k}{v_k \cdot l_k^{b-1}} \tag{15}$$

$$G_k(f)=\frac{2a\pi^{b/2}\,|f|^{\frac{b-1}{2}}\,K_{\frac{b-1}{2}}(2\pi l_k|f|/v_k)}{v_k^{\frac{b+1}{2}} \cdot l_k^{\frac{b-1}{2}} \cdot \Gamma(\frac{b}{2})} \tag{16}$$

a, b：地表面状況によって決まるパラメータ，
v_k：k車線の車両平均速度（m / sec）
l_k：k車線の中央から観測点までの距離
$\Gamma(x)$：ガンマ関数，t：時間(sec)
$K_\nu(\theta)$：第2種変形ベッセル関数，f：周波数

以上の式を用いて各種騒音評価量を予測し，観測値と比較したものを表－1に示す。ただし，式(7)中の$S_{11}(f)$，$S_{22}(f)$には実測交通流を分析した値を用い，また，$A(f)$の項は小さいので無視した。実用上必要な予測精度の目安を±3dBにおくと，表－1の結果は，L_{50}（すなわちμ）とL_{90}を除いた騒音評価量が，本研究で示した関係式で比較的精度よく予測されることを示す。L_{50}とL_{90}の予測精度があまりよくない原因としては，① 騒音レベルの分布を正規分布と仮定したことに無理がある，② 式(12)中の$L_{Aeq,T}$および$A(=10\log_{10}\sqrt{\overline{P_A^2}}/10^{-11})$をもっと精度よく推定する必要がある，という2つが考えられるが，後者②のほうが主たる原因である。つまり，表－1からわかるように，$L_{Aeq,T}$とAは個々としての精度は比較的よいが，$L_{Aeq,T}$が観測値より大きめに推定され，一方，Aが小さめに推定されるために，式(12)中のσは小さめに，一方，μは大きく推定される。このことは，A，$L_{Aeq,T}$の観測値を式(12)に代入（すなわち，Aと$L_{Aeq,T}$が完全に予測された場合に相当）すれば，表－2に示すようにμ，σ，L_{50}，L_{90}の予測精度がかなり向上することからも明らかである。

表－1　推定値と実測値の差の平均値と標準偏差

評価量	ケース＼観測点	10 m	20 m	40 m	70～80m
$L_{Aeq,T}$ 1)	KJ	-0.2 dBA (0.7)	0.7 dBA (0.8)	0.7 dBA (1.1)	0.8 dBA (0.6)
	KA	-0.7 (0.8)	0.9 (0.5)	0.2 (0.6)	1.3 (1.2)
	KN	-0.4 (0.8)	1.4 (1.1)	0.5 (0.9)	1.6 (1.4)
A	KJ	-1.7 (0.7)	-1.2 (0.9)	-2.0 (1.1)	-1.7 (1.6)
	KA	-2.2 (0.8)	-0.9 (0.9)	-1.5 (1.0)	-0.8 (1.7)
	KN	-2.8 (1.4)	-1.8 (1.1)	-2.0 (1.6)	-1.6 (2.3)
L_{10}	KJ	-0.3 (0.8)	-0.2 (1.0)	0.0 (0.8)	0.2 (0.5)
	KA	-0.7 (1.2)	0.3 (0.4)	-0.7 (0.7)	-0.3 (1.1)
	KN	-0.2 (0.7)	0.1 (0.7)	-1.3 (1.0)	0.3 (1.4)
L_{50}・μ	KJ	2.8 (0.8)	4.6 (0.6)	2.5 (0.4)	2.7 (0.7)
	KA	1.3 (0.8)	3.6 (0.8)	1.9 (0.6)	3.4 (1.0)
	KN	2.9 (0.6)	4.2 (0.5)	3.3 (0.7)	4.5 (1.1)
L_{90}	KJ	3.5 (1.6)	7.6 (1.6)	4.2 (1.1)	4.6 (1.6)
	KA	0.6 (0.9)	4.5 (1.5)	3.2 (0.8)	6.3 (1.4)
	KN	3.7 (1.1)	6.7 (0.8)	6.7 (0.9)	8.4 (1.6)
σ	KJ	-1.6 (0.6)	-2.8 (0.8)	-1.5 (0.5)	-1.9 (0.6)
	KA	-0.6 (0.3)	-1.5 (0.5)	-1.4 (0.3)	-2.5 (0.7)
	KN	-1.6 (0.3)	-2.4 (0.3)	-3.0 (0.5)	-3.2 (0.6)

(注)　(　)内は標準偏差，データ数は6

表－2　推定値と実測値の差の平均値と標準偏差
（Aと$L_{Aeq,T}$に実測値を使用）

評価量	ケース＼観測点	10 m	20 m	40 m	70～80m
L_{50}・μ	KJ	2.6 (0.7)	2.6 (0.4)	0.4 (1.3)	0.0 (0.9)
	KA	1.9 (0.6)	2.2 (0.5)	0.8 (0.6)	0.6 (0.4)
	KN	1.9 (1.1)	1.6 (0.9)	1.1 (0.4)	-0.2 (0.8)
L_{90}	KJ	0.8 (1.4)	2.9 (1.6)	-1.6 (1.1)	-2.7 (1.1)
	KA	-1.7 (1.4)	0.0 (1.1)	-1.2 (1.1)	-0.7 (0.7)
	KN	-0.9 (1.1)	0.5 (1.0)	-0.1 (1.1)	-0.8 (2.2)

1) 渡辺，久保，角：車両定常走行時の等価騒音レベルの一推定法，第39回土木学会年次学術講演会概要集Ⅲ