Ⅳ－208　車両定常走行時における各種騒音統計量の簡易推定法について

九州工業大学　正　員　○渡辺　義則
日立運輸　　　　　　　　田中　浩一郎
九州大学　　　正　員　　角　　知憲

1．まえがき

車両定常走行時の等価騒音レベルL Aeq, Tを道路・交通条件にいわば音響条件（騒音伝搬特性を表現する）を追加する形で比較的容易に計算す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および８０％レンジの上、下端値L 10，L 90を等価騒音レベルと同様な条件下で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および８０％レンジの上、下端値の簡易推定法

2．1　等価騒音レベルL Aeq, Tの簡易推定法

$$L_{Aeq,T}=10\log_{10}\mu z/I_0 \quad (1)$$

$$\mu z=\sum_{k=1}^{n}\mu k\int_{-\infty}^{\infty}gk(\lambda)\,d\lambda+\mu b \quad (2)$$

$$\mu k=Wk\cdot Qk\,(14.4Ak+1.6)/3600 \quad (3)$$

$$Wk=I_0\times 10^{(0.2Vk+85+ik/3)/10} \quad (4)$$

gk（t）：荷重関数，k：車線番号
μb：暗騒音の平均値，n：対象道路の車線数
ik：道路縦断勾配，Vk：車両平均速度（km／h）
Qk：時間交通量，Ak：大型車混入率
I_0：定数で10^{-12}

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$\psi^2 z$の推定方法

$$\psi^2 z=\sigma^2 z+\mu^2 z=\int_{-\infty}^{\infty}Szz(f)\,df \quad (5)$$

多入力線形系では一般に次式が成立する。

$$Szz(f)=\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}Gi^*(f)Gk(f)Sik(f) \quad (6)$$

σz：z（t）の分散
Szz(f)：z（t）のパワースペクトル密度関数
Gk(f)：gk(t)のフーリエ変換，＊は共役の意味
Sik(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

特に、音源の音響出力の時間変化率が車線相互で無相関であれば、（6）は（7）、（5）は（8）になる

$$Szz(f)=\sum_{k=1}^{n}|Gk(f)|^2 Skk(f) \quad (7),\qquad \psi^2 z=\sum_{k=1}^{n}\psi^2 zk=\sum_{k=1}^{n}\int_{-\infty}^{\infty}|Gk(f)|^2 Skk(f)\,df \quad (8)$$

いま、車両を大型車類とそれ以外の車の２つに分類し、それらが互いに独立なポアソン発生すると仮定すると、ショットノイズの理論を援用してSkk(f)は次式で表される。

$$Skk(f)=W^2k(E_1\lambda Tk+E_2\lambda Pk)^2\,\delta(f)+W^2k(E_1^2\lambda Tk+E_2^2\lambda Pk)=Ck\,\delta(f)+dk \quad (9)$$

ただし、　λTk＝Qk Ak／3600　，　λPk＝Qk(1-Ak)／3600　，E_1＝１６，　E_2＝１．６

従って、（９）に示したSkkを用いれば（８）中の$\psi^2 zk$は、次式で表される。

$$\psi^2 zk=Ck\,|Gk(0)|^2+dk\int_{-\infty}^{\infty}|Gk(f)|^2 df=Ck\left(\int_{-\infty}^{\infty}gk(\lambda)\,d\lambda\right)^2+dk\left(\int_{-\infty}^{\infty}gk(\lambda)\,d\lambda\right) \quad (10)$$

2．3　騒音レベル中央値及び８０％レンジの上、下端位置の簡易推定法

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

$$\mu z=\int_{-\infty}^{\infty}I_0 e^{cx}\,p(x)\,dx=I_0 e^{c(\mu+\frac{c}{2}\sigma^2)},\quad p(x)=(\sqrt{2\pi}\,\sigma)^{-1}\cdot\exp\{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)\}$$

$$\therefore L_{Aeq,T}=\mu+C\sigma^2/2,\qquad C=(\log_e 10)/10 \quad (11)$$

$$一方、\sigma^2 z=E[(I_0 e^{cx}-\mu z)^2]=I_0\cdot E[e^{2cx}]-\mu^2 z=I_0^2\cdot e^{2c(\mu+c\sigma^2)}-\mu^2 z$$

$$\therefore 10\log\psi^2 z/I_0=2\mu+2C\sigma^2 \quad (12)$$

（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。

$$\sigma=\sqrt{2/C\cdot\{10\log(\sqrt{\psi^2 z}/I_0)-L_{Aeq,T}\}}$$

$$\mu=L_{Aeq,T}-\{10\log(\sqrt{\psi^2 z}/I_0)-L_{Aeq,T}\} \quad (13)$$

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。

$L10=\mu+1.28\sigma$, $L50=\mu$, $L90=\mu-1.28\sigma$ (14)

以上のことから、L50，L10，L90についても道路交通条件に音響条件を追加する形で予測可能となる。

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、周辺に建築物がなく無限に開放された平坦部道路区間では、荷重関数が（15）のように表現できると仮定する。ただし，$\mu b \fallingdotseq 0$

$$g_k(t)=a\{l_k^2+(v_k\cdot t)^2\}^{-\frac{b}{2}},\quad -\infty<t<\infty \tag{15}$$

$$\mu z=a\sqrt{\pi}\,\Gamma\{(b-1)/2\}/\{\Gamma(b/2)\}\sum_{k=1}^{m}\mu k/(v_k\cdot l_k^{b-1}) \tag{16}$$

$$G_k(f)=\frac{2a\pi^{\frac{b}{2}}|f|^{\frac{b-1}{2}}\cdot K_{(b-1)/2}(2\pi l_k|f|/v_k)}{v_k^{\frac{b+1}{2}}\cdot l_k^{\frac{b-1}{2}}\cdot\Gamma(b/2)} \tag{17}$$

a，b：地表面状況によって決まるパラメータ
vk ：k車線の車両平均速度
lk：k車線の中央から観測点までの距離
Γ(x)：ガンマ関数，t：時間(SEC)
Kν（θ）：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統計量を予測し、観測値と比較したものを表－１に示す。実用上必要な予測精度の目安を±３ｄＢにおくと、表－１の結果では、L50 μ，L90を除いた騒音統計量が、比較的精度よく予測されている。予測精度がよくない原因として次の２つが考えられる。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（１３）中のＬAeq，Ｔおよび A［$=10\log_{10}(\sqrt{\mu_2}/I_0)$］をもっと精度よく推定する必要がある。すなわち、表－１からＬAeq，ＴとＡは個々としての精度はよいがＬAeq，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（１３）中のσは小さめに、一方、μは大きく推定される。

いま、Ａ，ＬAeq,Ｔの観測値を（１３）に代入（すなわち、ＡとＬAeq,Ｔが完全に予測された場合に相当）すれば、表－２を得る。表１，２を比較すれば遠方の観測点では②，近くでは①の原因が予測精度に強く影響すると推察される。

表－１　推定値と実測値の差の平均値と標準偏差

評価量＼観測点、ケース		10m	20m	40m	70m
Leq	KJ	-0.2 (0.4)	0.7 (0.7)	0.4 (0.4)	0.7 (0.4)
	KA	-0.7 (0.7)	0.9 (0.2)	0.3 (0.4)	0.9 (2.8)
A	KJ	-1.5 (0.7)	-1.2 (1.0)	-2.2 (0.8)	-2.0 (1.0)
	KA	-1.9 (0.8)	-1.0 (1.0)	-1.8 (0.9)	-1.3 (1.9)
L10	KJ	-0.3 (0.6)	-0.2 (1.0)	-0.2 (0.7)	-0.7 (0.6)
	KA	-0.7 (1.3)	0.3 (0.1)	-1.0 (0.5)	-1.4 (2.6)
L50	KJ	3.7 (0.6)	5.4 (0.4)	3.3 (0.9)	3.4 (0.4)
	KA	2.4 (1.1)	4.9 (0.5)	3.0 (0.5)	3.6 (2.2)
L90	KJ	3.2 (2.4)	8.0 (2.2)	4.8 (1.8)	5.1 (1.6)
	KA	0.1 (0.8)	4.7 (1.5)	3.9 (0.3)	6.9 (2.1)
μ	KJ	2.6 (0.5)	4.7 (0.4)	2.8 (0.3)	2.7 (0.3)
	KA	1.1 (0.7)	3.7 (0.8)	2.2 (0.3)	3.2 (2.0)
σ	KJ	-1.5 (0.4)	-3.0 (0.5)	-2.0 (0.4)	-2.4 (0.4)
	KA	-0.5 (0.2)	-1.6 (0.4)	-1.8 (0.0)	-3.1 (0.1)

（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ＬAeq,Ｔに実測値を使用）

評価量＼観測点、ケース		10m	20m	40m	70m
L50	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)
L90	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)
μ	KJ	1.5 (0.5)	2.0 (0.5)	-0.2 (0.7)	-0.6 (0.5)
	KA	0.5 (0.6)	1.0 (0.5)	0.0 (0.5)	0.0 (0.3)

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Ⅳ