

京都大学大学院 学生員 ○松井 利仁
 京都大学工学部 正員 高木 興一
 京都大学工学部 正員 山本 剛夫

1. はしがき 現在、道路騒音の L_{50} の予測には、無限長道路を仮定した等間隔モデルに基づく理論式が広く用いられている。著者らはすでに、指数分布モデル¹⁾および等間隔モデル²⁾の場合について有限長道路にも適用可能な L_{50} の近似式を導いているが、今回、より一般的な交通流モデルであるアーラン分布モデルに基づいた場合の近似式を導出したので報告する。

2. アーラン分布モデル 交通量が多くなると、車頭間隔は指数分布よりもアーラン分布をするといわれている。平均車頭間隔を s とすると、アーラン分布の密度関数は次式で表される。

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(k)} \left(\frac{k}{s}\right)^k x^{k-1} e^{-(k/s)x} \quad (1)$$

ここで、 k は位相とよばれる1以上の実定数で、上式は $k=1$ で指数分布となり、 $k \rightarrow \infty$ で確率1で s の値をとる単位分布となる。したがって、アーラン分布モデルは指数分布モデル、等間隔モデルを含む、より広いモデルであるといえる。図1は $k=1 \sim 8$ での車頭間隔の分布の変化を示したものである。

3. 無限長道路の場合 図2のモデルを用い、まず無限長道路での L_{50} を与える式を導く。このモデルは受音点に近い長さ s の区間に点音源が1つあり、それ以外の部分に音源密度 $1/s$ の線音源があるというものである。このモデルの音圧レベルは点音源の位置を ρ とすると次式で表される。

$$\begin{aligned} L_{50} &= PWL + 10 \log \left[\frac{1}{4\pi} \frac{1}{d^2 + \rho^2} + \frac{2}{4\pi s} \int_{s/2}^{\infty} \frac{dx}{d^2 + x^2} \right] \\ &= PWL + 10 \log \left[\frac{1}{4\pi} \frac{1}{d^2 + \rho^2} + \frac{1}{4\pi ds} \left(\pi - 2 \tan^{-1} \frac{s}{2d} \right) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

指数分布モデルおよび等間隔モデルの場合は、上式の値が $d=0$ で L_{50} の厳密な値と一致するように点音源の位置を定めたが、アーラン分布モデルの場合、 $d=0$ での L_{50} の厳密な値は求められていない。そこで、 $k=1$ および $k \rightarrow \infty$ では厳密解と一致し、その他の k の値についてはシミュレーション計算の結果とできるだけ一致するように ρ の値を定めた。 L_{50} の値は k によって変化するが、 ρ の値を与える式として次式を採用した。

$$\rho = \epsilon \cdot s / 2 \quad (3)$$

$$\epsilon = 0.5 e^{-0.3/k} + 2 e^{-2\sqrt{k}} \quad (4)$$

なお、 $d \rightarrow \infty$ において(2)式は L_{eq} に収束するが、 L_{50} も L_{eq} に収束するため、 $d \rightarrow \infty$ では任意の k について厳密な値と一致する。

図3は $d=2\text{ m}$ 、 $s=100\text{ m}$ の場合について、 L_{50} の k の値による

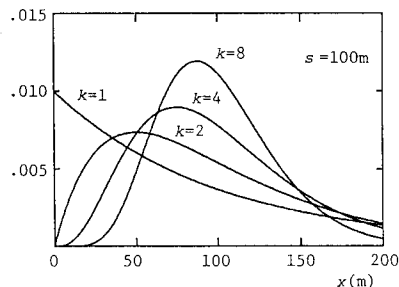


図1 アーラン分布モデルの車頭間隔の分布

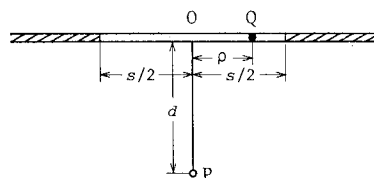


図2 無限長道路におけるモデル
 Qは点音源、斜線部分は線音源

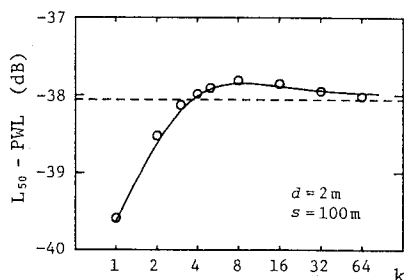


図3 L_{50} の位相 k による変化 (無限長道路)

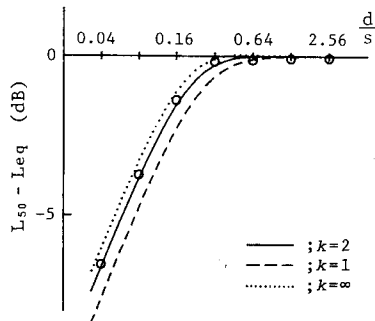


図4 L_{50} と d/s の関係 (無限長道路)

変化を示したもので、実線が今回求めた近似式による値、丸印がシミュレーション計算の結果である。また、破線は等間隔モデルの場合の計算値である。図4は $k=2$ の場合の L_{50} と d/s の関係を示したもので、破線および点線はそれぞれ指数分布モデル、等間隔モデルでの計算値である。

4. 有限長道路の場合 図2のモデルを有限長道路に適用する。まず、図5のように、道路の両端の受信点に近い方をA、もう一方をBとし、原点をO、A→Bを正方向として、A、Bそれぞれの座標を α 、 β とする。(3),(4)式による点音源の位置が最近接音源としてほぼ50%の位置に相当することから、最近接音源モデルの考え方をを用いて点音源の位置を定めると、 L_{50} の近似式は以下の3つの場合に分かれる。なお、 ε は(4)式で与えられる。

a) $\alpha < -s/2$ 図5の場合に相当し、 L_{50} は次式で表される。 ρ の値は(3)式を用いる。

$$L_{50} = PWL + 10 \log \left[\frac{1}{4\pi} \frac{1}{d^2 + \rho^2} + \frac{1}{4\pi s} \left(\int_{\alpha}^{-s/2} \frac{dx}{d^2 + x^2} + \int_{s/2}^{\beta} \frac{dx}{d^2 + x^2} \right) \right]$$

$$= PWL + 10 \log \left[\frac{1}{4\pi} \frac{1}{d^2 + \rho^2} + \frac{1}{4\pi ds} \left(\tan^{-1} \frac{\beta}{d} - \tan^{-1} \frac{\alpha}{d} - 2 \tan^{-1} \frac{s}{2d} \right) \right] \quad (5)$$

b) $-s/2 \leq \alpha < -\varepsilon \cdot s/2$ AOの長さが $s/2$ より短いため、線音源はB側だけとなり、その範囲は $\alpha + s$ から β となる。 L_{50} は次式で表される。 ρ は(3)式を用いる。

$$L_{50} = PWL + 10 \log \left[\frac{1}{4\pi} \frac{1}{d^2 + \rho^2} + \frac{1}{4\pi s} \int_{\alpha+s}^{\beta} \frac{dx}{d^2 + x^2} \right]$$

$$= PWL + 10 \log \left[\frac{1}{4\pi} \frac{1}{d^2 + \rho^2} + \frac{1}{4\pi ds} \left(\tan^{-1} \frac{\beta}{d} - \tan^{-1} \frac{\alpha+s}{d} \right) \right] \quad (6)$$

c) $-\varepsilon \cdot s/2 \leq \alpha$ L_{50} はb)の場合と同じく(6)式で表される。ただし、点音源の位置が変わり、 $\rho = \alpha + \varepsilon \cdot s$ となる。

なお、いずれの場合も $l/s \leq 1$ (l は道路長)で線音源がなくなり、近似式は対数の中の前項だけを残したものとなる。

4. 考察 これらの近似式は、 $d \rightarrow \infty$ で L_{eq} に収束するが、有限長道路の場合、アーラン分布モデルの L_{50} は必ずしも L_{eq} に収束せず、道路と受信点の距離が大きいと、若干の誤差が生じる。しかし、 $l/s > 1.7$ の範囲ではその差は最大でほぼ1dBである。図6、7にシミュレーション計算の結果と今回求めた式との対応を示す。実線がアーラン分布モデル、破線および点線は指数分布モデル、等間隔モデルでの計算値である。

文献

- 1) 高木, 松井, 平松, 山本, 音響学会講演論文集 59年 3月, 413.
- 2) 高木, 松井, 平松, 山本, 騒音制御 9 (1), 38-42.

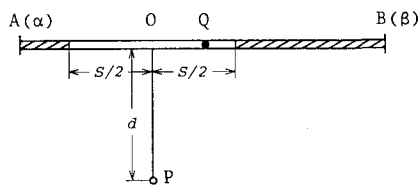


図5 有限長道路におけるモデル ($\alpha < -s/2$)

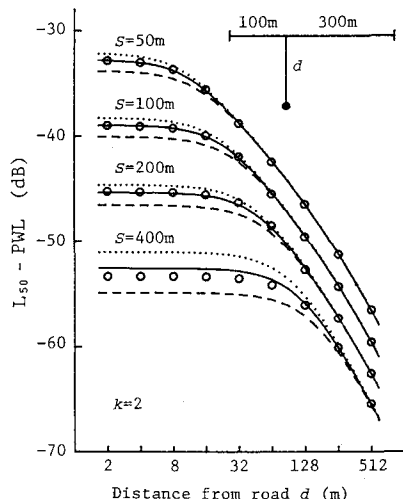


図6 有限長道路における L_{50} の距離減衰
実線; $k=2$, 破線; $k=1$
点線; $k=\infty$

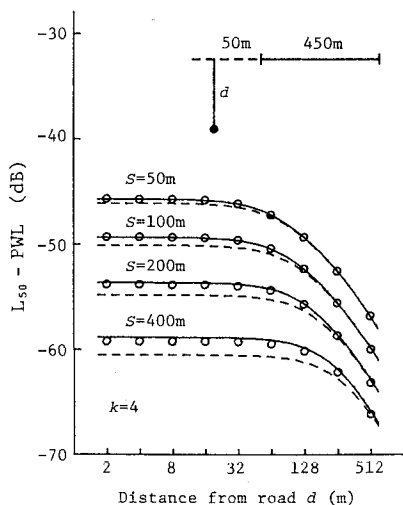


図7 有限長道路における L_{50} の距離減衰
実線; $k=4$, 破線; $k=1$
点線; $k=\infty$