

道路交通騒音の予測モデルの適合性

COMPATIBILITY OF CALCULATION MODELS FOR ROAD TRAFFIC NOISE

金 安 公 造*

By Kozo KANEYASU

1. ま え が き

道路交通騒音の特徴は、自動車という移動する騒音源が受音点に接近し、目前を通過し、遠ざかるに従って、受音点の騒音が次第に大きくなり、最大となり、また、次第に小さくなるという過程を示すことであり、多数の自動車通過する場合には、それぞれの自動車からの騒音が互いに影響し合い、また、個々の自動車の音響パワーは時間的にも変動し、このような過程が複雑に重なり合って、不規則に変動する騒音となることである。

日本工業規格¹⁾では、このように不規則にかつ大幅に変動する騒音は中央値をもって騒音レベルを表示することとしており、また、法令²⁾あるいは基準³⁾では、道路交通騒音は原則として中央値で評価することとしている。したがって、現在、道路の計画、設計等では、道路交通騒音の予測計算および結果の評価は、一般に中央値を対象としている。

一方、道路交通騒音の評価指標としては、英国⁴⁾では L_{10} を採用しており、一方、オランダ⁵⁾、スウェーデン⁶⁾、ドイツ⁷⁾では L_{eq} を基本とした評価指標が提案されている。このような国際的な動向を考慮すれば、わが国においても今後は中央値以外の評価指標を検討する必要がある。

ある評価指標による評価量を設定する場合には、その指標で表わされる騒音値を計算する手法を開発することが必要である。中央値の予測計算については、一列等間隔等パワーモデルから導かれた計算式が、特定の条件の場合に限定されているが広く実用に供されている⁸⁾。また、道路交通騒音の変動状態を示す統計値 L_a あるいはエネルギー平均値 L_{eq} を求めるモデルについても研究されている。しかし、これらのモデルは、現時点では、わが国においては広く実用に供されているとはいいがた

実現象のモデル化のためには、現象の抽象化が試みられる。道路交通騒音の予測モデルでは、現象を確定的に取り扱う場合と不確定的に取り扱う場合とがある。前者の代表的なものとしては、前述の等間隔等パワーモデルがあり、後者については、いくつかの研究がある^{9), 10)}。

モデルの構成の相違による計算値の差は、音源である自動車の個々の状態の影響を比較的大きく受ける音源に近接した地点で明確に表われる。一方、音源から離れた地点では、音源の音響パワーおよびその配置の平均的な状態によって、受音点の騒音レベルはほぼ定まる。また、音の伝搬過程に生ずる吸音、反射、回折などの現象によって、実測値とこれらの現象を考慮していない計算値との差の方が、モデルの構成の相違による計算値の差よりも大きい場合が多い。

この報文では、道路交通騒音の予測モデルの適合性を検討するために、2.では、これまでに発表されている予測モデルのおもなものを分類し、確定的モデルとして等間隔等パワーモデル、不確定的モデルとして指数分布モデルおよび時間分布モデルの概要を述べる。次に、等間隔モデルおよび指数分布モデルによる計算値の比較の結果を紹介し、さらに道路交通騒音の予測計算における現状の問題点について考察する。3.では、自動車が自由に走行しているとみなすことができる2車線および4車線道路の路肩部における L_{10} 、 L_{50} および L_{90} の実測値と等間隔モデル、指数分布モデルおよび時間分布モデルによる計算値とを比較し、音源である自動車のパワーレベルの大きさおよびモデルの構成の相違について検討するものである。さらに、4.では、道路から離れた地点について L_{10} 、 L_{50} および L_{90} の実測値と過剰減衰を考慮した等間隔モデルおよび時間分布モデルによる計算値とを比較して、これらのモデルの適合性を検討する。最後に5.では、これまでの結果をまとめるとともに、予測計算方法についての今後の問題点を述べるものである。

* 正会員 建設省土木研究所道路部長

2. 概 説

(1) 道路交通騒音の予測モデル

これまでに発表されている道路交通騒音の予測モデルは、以下のように分類できよう。

a) 経験的モデル¹¹⁾

このモデルは、実際の道路で騒音レベルを実測し、同時に、交通条件（交通量、走行速度、車種構成など）、道路条件（路面性状、横断形状など）、伝搬条件（音源からの距離、地表面状況、気象など）等の中から、騒音レベルの大きさに関係すると考えられるいくつかの要因を計測し、これらの要因と騒音レベルとの関係式を統計処理によって求めるものである。

この方法は、現象のモデル化のためにはもっとも基礎的な方法であり、測定条件の範囲内にある場合は、騒音レベルを一定の精度で予測することができる。しかし、考慮した要因と騒音レベルとの間の理論的な関係が明らかにされていないため、測定条件外では適用できない。各種の条件ごとに適用できるモデルを得るためには、それぞれの条件ごとに統計的に有意な実測資料を収集して関係式を求める必要がある。

b) 解析モデル

このモデルは、騒音レベルの大きさに関係する要因の物理的特性をあらかじめ明らかにし、それらの要因と騒音レベルとの関係式を解析的に求めるものである。音源である自動車を連続線音源と考えるモデルと、分離点音源と考えるモデルが発表されている。

連続線音源モデルは、交通量が非常に多くなって自動車は一つの車線の中心線に沿って線状に均一に分布していると考えられるものであり、NCHRP Report 117¹²⁾では、乗用車のみ交通に対するものとして式(1)が示されている。

$$L_{50} = 20 + 10 \log_{10} N - 10 \log_{10} D + 20 \log_{10} S \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、

- L_{50} : 騒音レベルの中央値
- N : 自動車交通量 (台/時)
- D : 車道中心線から受音点までの距離 (ft)
- S : 平均走行速度 (マイル/時)

このモデルは音源として無限長の線音源を仮定しているので、騒音レベルは常に一定であり、したがって、中央値以外の統計値 L_{α} を求めることはできない。

分離点音源モデルについて、解析的に取り扱われているのは等間隔等パワーの場合であるが、これについては(2). a) で述べる。

c) 確率論モデル

解析モデルでは現象を確定的に取り扱っているのに対して、確率論モデルは、音源である自動車の音響パワーの大きさ、あるいはその配置を不確定的に取り扱っている。

音響パワーに関しては、音源のパワーレベルがある一定値に対して正規分布しているという考え方が、いわゆるパワーにゆらぎがある場合として、また、自動車の配置に関しては、車頭間隔が指数分布、あるいはアーラン分布する場合などについてのモデルが研究されている^{9), 10), 13)}。

これらのうち、指数分布モデルについては、(2). b) で述べる。

d) その他のモデル

解析モデルにせよ、確率論モデルにせよ、実際の現場の複雑な条件を忠実にモデル化することは非常に困難である。一般に、地形、道路等の条件は単純化してモデル化しており、そのためにモデルの適用範囲が限定されている。そこで、このような複雑な条件の場合にしばしば用いられているのは、三次元のスケールモデルを用いた無響室内における模型実験である。この方法には、音響特性および形状の相似、実験に用いる高周波音の補正などについての制約があるが、特定の条件の現場における予測方法としては有用な方法である。

また、条件の類似した現場あるいはスケールモデルによって、単一の走行車からの音の伝搬パターンを求め、計画道路で想定される交通状況を電算機でシミュレートして、騒音レベルを計算する、いわゆるハイブリッドモデルがある⁹⁾。

(2) 検討したモデルの概要

この報文では、解析モデルとして等間隔等パワーモデル、確率論モデルとして指数分布モデルおよび時間分布モデルを以下の検討の対象とする。

なお、この報文では特に定めるほかは、記号の定義は以下のように定めた。

- PWL : 1台の車から発生する騒音のA特性によるパワーレベル (dB(A))
- L_W : 1台の車から発生する騒音のA特性による平均パワーレベル (dB(A))
- L : 受音点の騒音レベル (dB(A))
- L_{α} : 時間の $\alpha\%$ を越える騒音レベル (dB(A))
- L_{50} : 時間の 50% を越える騒音レベル、すなわち騒音レベルの中央値 (dB(A))
- N : 自動車交通量 (台/時)
- V : 平均走行速度 (km/hr)
- l : 音源から受音点までの距離 (m)

表一 一列等間隔等パワーモデルの前提条件

(1) 音源	(2) 道路交通	(3) 道路および沿道
① 自動車は無指向性の点音源である。	④ 自動車は一つの車線の中央を走行している。	⑦ 道路は直線かつ水平であり、受音点から音源を無限に見通すことができる。
② それぞれの自動車は位相のわたらぬ騒音を発生している音波の干渉などは無視できる。	⑤ 走行している自動車の車頭間隔はすべて等しい。	⑧ 音源から受音点までは平坦で段差はない。
③ すべての自動車の音響パワーは等しい。	⑥ すべての自動車の走行速度は等しく、かつ一定である。	⑨ 道路および沿道は音響的に完全反射体である。

d : 平均車頭間隔 (m)

a_1 : 小型車種の混入割合

a_2 : 大型車種の混入割合

$$a_1 + a_2 = 1.00$$

a) 等間隔モデル (一列等パワーの場合)

このモデルは 1963 年に庄子ら¹⁴⁾、1968 年に Johnson and Sounders¹⁵⁾ によって発表されたものであり、モデルの前提条件は表一に示すとおりである。

これらの条件から任意点の騒音レベルは式 (2) で求まる。

$$L = L_W + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{2ld} \cdot \frac{\sinh 2\pi \frac{l}{d}}{\cosh 2\pi \frac{l}{d} - \cos 2\pi \frac{vt}{d}} \right) \dots (2)$$

ここで、

v : 平均走行速度 (m/sec)

t : 受音点の目前に車がかった時からの時間 (sec)

また、騒音レベルの統計値 L_α は式 (3) で求まる。

$$L_\alpha = L_W + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{2ld} \cdot \frac{\sinh 2\pi \frac{l}{d}}{\cosh 2\pi \frac{l}{d} - \cos \pi \frac{\alpha}{100}} \right) \dots (3)$$

式 (3) において $\alpha=50$ とおくと、 L_{50} は式 (4) で求まる。

$$L_{50} = L_W + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{2ld} \tanh 2\pi \frac{l}{d} \right) \dots (4)$$

実際の現場は、表一にあげた条件に必ずしも適合しない場合があるが、このような場合の補正については、以下に述べるような考え方がある。

① 無指向性の点音源：この条件については (3) a) で検討する。

② 非干渉性：この前提は各音源からの騒音レベルを合成する場合にエネルギー和を求め、いわゆるパワー合成するための条件であり、解析的な取り扱いを容易にしている条件の一つである。

③ 等パワー：走行している自動車は 1 台ごとに音響

パワーは異なり、また、走行状態、路面状態などによって時々刻々変化している。このような状態を常時等パワーとみなすことによって解析的な取り扱いは容易にできるが、一方では実際との乖離を生ずる。そのための補正としては、次の二つの方法がある。

a. 車種を 2 または 3 種に大別し、各車種は一定の音響パワーを有しているとし、各車種の混入割合を考慮した平均パワーレベル L_W を用いる確定的方法⁸⁾

b. 自動車群全体について、音響パワーは一定の平均的な値からある変動幅をもって分布——たとえば正規分布¹²⁾しているとする不確定的方法

④ 1 車線：式 (2) は 1 車線の場合について求められたものであり、2 車線以上については特定の交通状態以外は、解析的に式を求めることは困難である¹⁴⁾。中央値の計算の場合は実用的な方法として、2 車線道路では道路の中央に個々の自動車を点音源の列に配置して計算しており、4 車または 6 車線などの道路では、上り・下りの 2 方向のそれぞれの車道の中央にそれぞれの方向の自動車の列を配置して方向別に求めた値を合成するという方法がとられている⁸⁾。

⑤ 等間隔：このモデルの特徴の一つであり、解析的な取り扱いを容易にしている条件の一つである。

⑥ 等速度：⑤の条件が常時保たれるための条件である。

⑦ 水平、無限長の直線：音源が有限の場合には、受音点からの見通し角 θ を用いて、 θ/π で音響エネルギーを補正する方法が提案されている¹²⁾。曲線道路では個々の車を曲線上に配して、それぞれの車からの騒音レベルを合成するという方法が考えられる。道路に勾配がある場合について、中央値の変化と勾配との関係式を実測値から求めている例がある⁸⁾。

⑧ 平坦性：伝搬経路に段差がある場合、障壁あるいは盛土、切土、掘削、高架道路などの肩で音が遮ぎられる場合には、音の回折減衰による補正が行われている⁸⁾。

⑨ 完全反射：伝搬経路が地表面に近い場合には、地表面による音の吸収などによって、距離による音の減衰以外に、いわゆる過剰減衰を生じ、一般に実測値は式 (2) による計算値よりも小さい。したがって、この前提条件は計算値が大きめに計算される原因となっている。

b) 指数分布モデル

このモデルは走行している自動車の車頭間隔は指数分布していると考えられるものであり、一列等パワーの場合、表一に示した条件と異なるのは⑤と⑥である。

高木ら¹³⁾は音響パワーの等しい車が無限に長い 1 車線上を車頭間隔が平均 d の指数分布をするような状態で走行する場合、Fig. 1 のように 0 点から i 番目の車までの距離を x_i とし、車からの音は自由空間を球面波とし

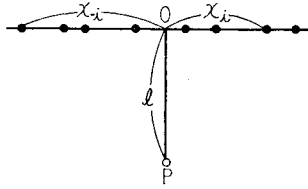


Fig. 1 一列指数分布・等パワー音源モデル

て伝搬するとして、車線から l 離れた地点 P の音の強さ I_W を式 (5) で表わし、パワーレベルを PWL とした場合の受音点の音圧レベル SPL を式 (6) で表わしている。

$$I_W = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{W}{4\pi} \cdot \frac{1}{l^2 + x_i^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$SPL = PWL + 10 \log_{10} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{l^2 + x_i^2} \dots\dots\dots (6)$$

次に、

$$I = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{l^2 + x_i^2}$$

とにおいて、 I に対する特性関数を $g(u) = \exp[K(u)]$ とし、 I の確率密度関数 $P(I)$ を

$$P(I) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-iuI} K(u) du \dots\dots\dots (7)$$

で表わし、 $K(u)$ を次の条件を満たす関数 $K_1(u)$ で近似させた。

- ① $l \rightarrow 0$ および $l \rightarrow \infty$ では $K_1(u) = K(u)$
- ② $\exp[K_1(u)]$ のフーリエ変換 $P_1(I)$ を求めることができ、かつ $P(I)$ が確率密度関数としての性質をそなえている。
- ③ $P_1(I)$ から定まる平均値 \bar{I}_1 が $K(u)$ から求まる \bar{I} と一致し、分散も $K(u)$ から求まる σ_I^2 に近い値になる。

このような $K_1(u)$ から $P(I)$ の近似式 $P_1(I)$ を求め、平均値 \bar{I}_1 および分散 $\sigma_{I_1}^2$ を求めている。

また、音圧レベルの分布として、 $PWL=0$ dB のときの SPL の確率密度関数 $f(X)$ を $P_1(I)$ の式を用いて表わし、音圧レベルの平均 \bar{X} および分散 σ_X^2 をそれぞれ求めている。さらに、パワーレベルが、分布の標準偏差が σ (dB) で表わされる正規分布をしている場合について、音圧レベルの平均値 \bar{X} (PWL が 0 dB のとき) を求めており、これらの結果を電算機によるシミュレーション計算の結果と比較してよく一致することを確かめている。

c) 時間分布モデル

このモデルは 1973 年 Nelson¹⁶⁾ によって発表されたものであり、1 台の自動車による受音点の騒音レベルの時間率を求め、多数の自動車について合成することにより、任意の交通量、車線数の道路からの騒音レベルの時

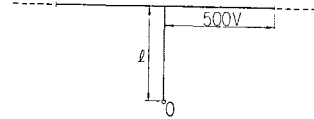


Fig. 2 一車線道路のモデル

間率を求めるものである。

Fig. 2 において 1 車線の道路を 1 時間に 1 台の車が走行しているとすると、この 1 台の車による受音点の最大レベル L_{max} および最小レベル L_{min} は、それぞれ式 (8) および式 (9) で求まる。

$$L_{max} = L_R + 10 F \log_{10} R - 10 F \log_{10} l \dots\dots\dots (8)$$

$$L_{min} = L_R + 10 F \log_{10} R - 5 F \log_{10} \cdot \{(500 V)^2 + l^2\} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、

L_R : 音源から R (m) 離れた地点の騒音レベル (dB(A))

F : 音の減衰係数 (半自由空間を伝搬するときは $F=2$)

0 点における騒音レベルは L_{max} と L_{min} との間にあり、あるレベル L を越えるレベルが観測される時間率 t (%) は式 (10) で表わされる。

$$t = \frac{l(L)}{5 V} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、

$$l(L) = [10\{(L_R - L)/5F + 2 \log_{10} R\} + l^2]^{1/2} \dots\dots\dots (11)$$

$$L_{min} \leq L \leq L_{max}$$

任意の L の値を式 (10) に代入することによって、その L に対する t の値が求まり、したがって、騒音レベルの時間率が求まる。このようにして求めた 1 車線を走行する単一車種による受音点の騒音レベルの時間率を、交通条件および道路条件に応じて車種ごと車線ごとに合成することによって、任意の交通条件および車線数の道路からの騒音レベルの時間率が求まり、この時間率から任意の L_a および L_{eq} を求めることができる。

(3) 予測計算における問題点

a) 音源のパワーレベル

予測計算のためには、音源である自動車のパワーレベルの大きさを定める必要がある。一般には、ある速度で走行している車から l 離れた側方の地点の音圧レベル (SPL) を測定し、車を無指向性の点音源とみなし、車からの音は半自由空間を伝搬するものとして式 (12) で求めている。

$$PWL = SPL + 10 \log_{10} 2 \pi l^2 \dots\dots\dots (12)$$

一般に、自動車の音源はエンジン、ファン、ミッション、タイヤと路面などであり、厳密な意味で無指向性の点音源ではない。筆者ら¹⁷⁾の測定では、一般に側方で測

定される音圧レベルは上方での値と比べると 3~5 (dB) 大きい。その理由としては、車は車体によって音源がカバーされていることが考えられる。したがって、無指向性の点音源とみなして式 (12) で求められるパワーレベルは、一般に大きめの値となっている。したがって、現在、一般に予測計算に用いられている音源のパワーレベルが適切なものであるかどうか検討することが必要である。

b) 予測モデルの構成

高木ら¹³⁾が指数分布モデルで求めた音圧レベルの平均値を、シミュレーション計算の結果および等間隔等パワーモデルによる値と比較した結果によると、音源のパワーレベルが等パワーの場合、 l が小さい、すなわち、道路の近くでは、等間隔モデルによるものが指数分布モデルによるものよりも 2~3 (dB) 大きい値を示している。また、 l/d がほぼ 2.5 を越えると両モデルによる音圧レベルの計算値にはほとんど差がない。 $l/d=2.5$ は平均走行速度 60 km/hr のとき、 $l=50$ m で 3000 台/時に相当する。したがって、3000 台/時程度の交通量の道路から 50 m 以遠の地点では、モデルの違いによる計算値の差は、ほとんどないといえる。

一方、パワーレベルが $\sigma=5$ (dB) の正規分布をしている場合には、等間隔モデルによる音圧レベルの平均値は、道路から 1000 m 程度離れた地点まで、指数分布モデルによる値よりも 2~3 (dB) 小さい値となっている。このことは、現在、実用上、等間隔等パワーモデルによって中央値を計算しているので、予測計算上重要なことであるが、この点については **c)** で検討する。

c) 過剰減衰

一般に音源からの音は受音点に達する過程で吸収、反射、回折などの影響を受ける。回折については、理論的にも実験的にもほぼ明らかにされており、中央値の予測計算の場合の補正の方法は明らかにされている⁸⁾。しかし、吸収および反射については、定量的な補正方法は明確ではなく、中央値の計算では、これらの影響は α_i という補正值に含めて処理されている⁸⁾。

α_i の値は実測値からこれらの影響を考慮しない (回折がある場合は回折を考慮した) 計算値を減じた値から定められたものであり、高架道路の場合を除いて、距離による減衰以外の、いわゆる過剰減衰の大きさを示すものである。受音点が地表面に近いほど、また、音の伝搬距離が長いほど、 α_i の値は負の絶対値が大きい。すなわち、計算値が過大となっている。たとえば、地上高 1.2 m から 12.0 m までの、道路から 80 m までの地点では -2.0 (dB(A)) 以下であり、特に地上高 1.2 m の 80 m 地点では -10.0 (dB(A)) となっている¹⁸⁾。このように実測値と計算値との差はモデル構成の違いによる

差——たとえば **b)** で紹介した等間隔等パワーモデルによる計算値とパワーが正規分布している指数分布モデルによる計算値との差 (2~3 (dB))——よりも一般に大きい。すなわち、地表面に近くかつ道路から離れた地点では、モデルの構成の違いよりも過剰減衰の方が、予測値に与える影響が大きく、この影響をモデルの中にどのように組み込むかが重要な問題である。

これらの問題点のうち、**a)** と **b)** は音源である自動車の個々の状態を比較的大きく受ける音源に近接した地点で明確に表われるので、道路の路肩部での実測値と計算値とを比較することによって検討する。また、**c)** については、当然のことであるが過剰減衰の影響が生ずる道路から離れた地点 (最大約 80 m) での実測値と計算値とを比較することによって検討する。

3. 路肩部における検討

(1) 実測値

実測値としては表-2 に示すように、2車線道路では 102、4車線道路では 112 のデータを用いた。いずれの道路もほぼ直線かつ水平であり、近くに交差点、踏切等がなく、自動車は比較的自由に走行している。受音点の地上高は 1.2 m であり、 L_{10} 、 L_{50} および L_{90} は 10 分間測定騒音レベルの累積度数分布から求めた。

(2) 各モデルの計算条件

a) 等間隔モデル

L_a は式 (3) によって計算した。平均パワーレベルは日本音響学会 (以下、日音会と記す) による式 (13) の値⁹⁾を用いた。

$$L_W = 87 + 0.2 V + 10 \log_{10}(a_1 + 10 a_2) \dots \dots (13)$$

b) 指数分布モデル

2. (2). b) で紹介した確率密度関数から音圧レベルの平均値とその分散は求まるが、 L_a はこのままでは求まらない¹⁹⁾。したがって、ここではモンテカルロ法による電算機のシミュレーションによる方法²⁰⁾によって求めた。Fig. 3 に示すように、図中の条件でおよそ 500 回

表-2 路肩部の実測値の交通条件

車線数	交通量の範囲 (台/時)	データ数	平均交通量 (台/時)	平均走行速度 (km/hr)
2車線	$156 \leq N < 500$	13	373	約 50
	$500 \leq N < 1000$	56	805	
	$1000 \leq N \leq 1578$	33	1210	
	計	102	881	
4車線	$600 \leq N < 1000$	17	865	60~70
	$1000 \leq N \leq 4446$	95	1943	
	計	112	1780	

(a) 2車線道路

表-3 $\bar{\alpha}$ と s

(単位：dB(A))

	交通量の範囲 (台/時)	データ数	車線ごとに計算して合成する方法			
			道路中央 等 間 隔 (E_1)	等 間 隔 (E_2)	指数分布 (M_2)	時間分布 (T_2)
L_{10}	$156 \leq N < 500$	13	+0.2 (4.2)	+2.0 (4.4)	+2.4 (3.9)	+1.7 (4.3)
	$500 \leq N < 1000$	56	+0.8 (2.5)	+0.6 (2.4)	+1.5 (2.5)	+0.9 (2.4)
	$1000 \leq N \leq 1578$	33	+0.8 (2.3)	-1.0 (2.3)	+0.2 (2.5)	-0.5 (2.3)
	Total	102	+0.7 (2.7)	+0.2 (2.8)	+1.2 (2.8)	+0.6 (2.8)
L_{50}	$156 \leq N < 500$	13	-3.3 (3.8)	-0.4 (3.8)	-0.4 (3.8)	-0.5 (3.8)
	$500 \leq N < 1000$	56	-3.3 (3.1)	-0.6 (3.1)	-0.5 (3.2)	-0.9 (3.1)
	$1000 \leq N \leq 1578$	33	-2.9 (2.1)	-0.5 (2.2)	-0.2 (2.0)	-0.6 (2.0)
	Total	102	-3.2 (2.9)	-0.6 (2.9)	-0.4 (2.9)	-0.8 (2.9)
L_{90}	$156 \leq N < 500$	13	-13.5 (6.4)	-10.5 (6.4)	-5.1 (6.3)	-5.6 (6.5)
	$500 \leq N < 1000$	56	-13.3 (3.9)	-10.5 (3.9)	-5.5 (3.8)	-5.8 (3.9)
	$1000 \leq N \leq 1578$	33	-13.6 (3.6)	-10.8 (3.6)	-5.8 (3.7)	-6.2 (3.6)
	Total	102	-13.4 (4.2)	-10.6 (4.2)	-5.6 (4.1)	-5.9 (4.2)
$L_{10}-L_{90}$	$156 \leq N < 500$	13	+13.7 (5.2)	+12.5 (5.3)	+7.5 (5.5)	+7.3 (5.2)
	$500 \leq N < 1000$	56	+14.1 (3.7)	+11.0 (3.9)	+7.1 (3.6)	+6.7 (3.8)
	$1000 \leq N \leq 1578$	33	+14.4 (3.8)	+9.8 (3.9)	+6.0 (4.0)	+5.7 (3.9)
	Total	102	+14.1 (3.9)	+10.8 (4.1)	+6.8 (4.0)	+6.5 (4.0)

() 内は標準偏差 s を示す。

(単位：dB (A))

(b) 4車線道路

	交通量の範囲 (台/時)	上り下りの2方向で計算して合成する方法				各車線ごとに計算して合成する方法			
		データ数	等 間 隔 (E_1)	指数分布 (M_1)	時間分布 (T_1)	データ数	等 間 隔 (E_2)	指数分布 (M_2)	時間分布 (T_2)
L_{10}	$600 \leq N < 1000$	17	+0.3 (2.5)	+1.2 (2.5)	+0.9 (2.5)	17	+0.5 (2.4)	+1.4 (2.5)	+0.8 (2.3)
	$1000 \leq N \leq 4446$	95	+1.2 (2.5)	+1.5 (2.4)	+0.7 (2.5)	89	-0.1 (2.4)	+1.2 (2.5)	+0.6 (2.5)
	Total	112	+1.0 (2.5)	+1.5 (2.4)	+0.7 (2.5)	106	-0.1 (2.4)	+1.3 (2.5)	+0.6 (2.5)
L_{50}	$600 \leq N < 1000$	17	-2.4 (3.0)	-1.7 (3.0)	-2.0 (2.9)	17	-0.1 (2.8)	-1.7 (3.2)	-2.1 (2.9)
	$1000 \leq N \leq 4446$	95	-2.6 (2.4)	-1.5 (2.4)	-1.9 (2.4)	89	-0.5 (2.3)	-1.5 (2.5)	-1.9 (2.5)
	Total	112	-2.6 (2.5)	-1.6 (2.5)	-1.9 (2.5)	106	-0.5 (2.4)	-1.5 (2.6)	-1.9 (2.5)
L_{90}	$600 \leq N < 1000$	17	-10.1 (5.4)	-5.2 (5.4)	-5.4 (5.4)	17	-7.6 (4.9)	-5.1 (5.4)	-5.5 (5.3)
	$1000 \leq N \leq 4446$	95	-10.3 (3.7)	-5.6 (3.7)	-5.8 (3.7)	89	-7.7 (3.7)	-5.6 (3.7)	-5.7 (3.7)
	Total	112	-10.3 (4.0)	-5.5 (3.9)	-5.7 (4.0)	106	-7.7 (3.8)	-5.5 (4.0)	-5.7 (4.0)
$L_{10}-L_{90}$	$600 \leq N < 1000$	17	+10.4 (3.7)	+6.4 (3.7)	+6.3 (3.8)	17	+8.0 (3.5)	+6.5 (3.7)	+6.2 (3.8)
	$1000 \leq N \leq 4446$	95	+11.5 (2.9)	+7.1 (2.7)	+6.5 (2.7)	89	+7.5 (2.8)	+6.8 (2.7)	+6.3 (2.7)
	Total	112	+11.3 (3.1)	+7.0 (2.9)	+6.4 (2.9)	106	+7.6 (2.9)	+6.7 (2.8)	+6.8 (2.9)

() 内は標準偏差 s を示す。

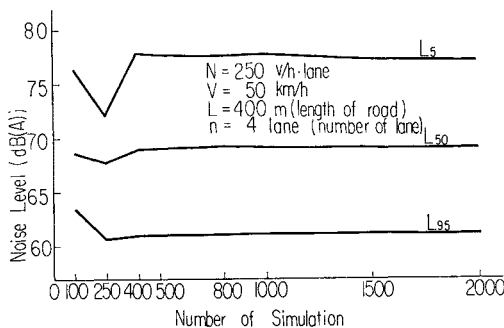


Fig. 3 騒音レベルとシミュレーションの回数

のシミュレーションで安定した値となったので、シミュレーションの回数は500回とした。

パワーレベルは式 (13) のもととなった車種別のパワーレベルを用いた。今回はパワーゆらぎのない場合、すなわち式 (14) の値を用いた。

$$\left. \begin{array}{l} \text{大型車類 } 97+0.2 V \\ \text{小型車類 } 87+0.2 V \end{array} \right\} (\text{dB(A)}) \dots\dots\dots (14)$$

e) 時間分布モデル

式 (11) において、 $R=7.5 \text{ m}$ 、 $F=2.0$ として式 (10) から時間率 t を求め、交通条件、車線ごとに合成して L_a を求めた。 L_R は $R=7.5 \text{ m}$ として式 (15) に示す値を用いた。

$$\left. \begin{array}{l} \text{大型車類 } L_R=71.5+0.2 V \\ \text{小型車類 } L_R=61.5+0.2 V \end{array} \right\} (\text{dB(A)}) \dots (15)$$

(3) 実測値との比較

a) 計算結果

実測値から計算値を減じた値 α の平均値 $\bar{\alpha}$ および標準偏差 s は表-3 のとおりである。等間隔モデルを E 、指数分布モデルを M 、時間分布モデルを T で表わし、2車線道路の中央に全交通を配する方法および4車線道路の上り下りの方向にそれぞれの方向の交通を配して求

表—4 適合性の評価 (路肩部, 4車線)

	交通量 (台/時)	E_1	M_1	T_1	E_2	M_2	T_2
L_{10}	$600 \leq N < 1000$	○	○	○	○	○	○
	$1000 \leq N \leq 4446$	○	○	○	○	○	○
	Total	○	○	○	○	○	○
L_{50}	$600 \leq N < 1000$	×	×	×	×	×	×
	$1000 \leq N \leq 4446$	×	○	○	○	○	○
	Total	×	○	○	○	×	○
L_{90}	$600 \leq N < 1000$	×	×	×	×	×	×
	$1000 \leq N \leq 4446$	×	×	×	×	×	×
	Total	×	×	×	×	×	×
L_{10} L_{50} L_{90}	$600 \leq N < 1000$	×	×	×	×	×	×
	$1000 \leq N \leq 4446$	×	×	×	×	×	×
	Total	×	×	×	×	×	×

(注) ×は計算値が実測値より小さい不可, ×は大きい不可を示す。

めた値を合成する方法に 1, また, 各車線別に求めた値を合成する方法に 2 の添字を付して, それぞれの計算値を示した。

b) 考察

計算値と実測値との適合性の評価を以下のように考えて, 4車線道路の結果を整理すると, 表—4 のように表わされる。

評価 記号	\bar{a}	s
良	◎ $ \bar{a} \leq 1.5$	かつ $s \leq 2.0$
可	○ $1.5 < \bar{a} \leq 2.5$	かつ $2.0 < s \leq 2.5$
不可	×	$2.5 < \bar{a} $ または $2.5 < s $

(注) 評価可の基準は, 日音会の中央値の予測計算方法において $\alpha_i = 2.5, s = 2.5$ であることを考慮して定めた。

表—4 の結果をまとめると以下のとおりである。

- ① L_{10} については, 交通量 600 台/時 以上の場合はどの方法も適合性がある。
- ② L_{50} については, 交通量 1000 台/時 以上の場合は E_1 以外の方法はほぼ適合性がある。
- ③ L_{90} および $L_{10}-L_{90}$ については, どの方法も適合性はない。

c) 計算所要時間

表—5 計算所要時間の一例

	等 間 隔	指数分布	時間分布
計算 ケース	106	108	112
所 要 時 間 (h)	0.0043	1.1802	0.0416
一ケース当りの所要時間 (sec)	0.146	39.94	1.34
等間隔を 1.00 としたときの比率	1.00	274	9.18

表—5 は計算所要時間の一例である。計算機は TOS-BAK-5600-160 であり, 用いるプログラム, 1 回の計算で対象とするケースの数によって異なるが, 表に示した例では, 1 ケース当りの所要時間の比率は, 等間隔モデルを 1 とした場合, 指数分布モデルはおおよそ 275, 時間分布モデルはおおよそ 9 であった。

4. 道路から離れた地点での検討

(1) 実 測 値

実測値としては, 表—6 に示したように, 2車線道路では 34, 4車線道路では 78 のデータを用いた。受音点の高さおよび L_a の求め方は路肩部の場合と同様であり, L_{eq} は式 (16)⁹⁾ から計算した。

$$L_{eq} = L_{50} + \frac{(L_{10} - L_{90})^2}{56} \dots \dots \dots (16)$$

(2) 各モデルの計算条件

路肩部での計算結果, 指数分布モデルによる計算値と時間分布モデルによる計算値とはあまり差がないが, 電算機による計算所要時間は後者は前者の約 1/30 であるので, 確率論モデルとしては時間分布モデルのみを検討の対象とした。

a) 等間隔モデル

音の減衰係数を F とすると, 平均パワーレベル L_W の音源から l 離れた地点の騒音レベルは,

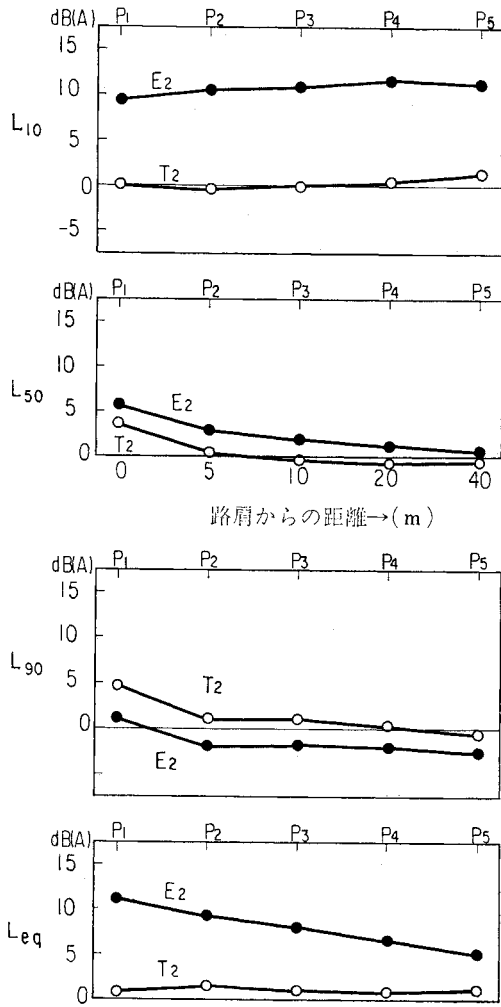
$$L = L_W - 8 - 10 F \log_{10} l \dots \dots \dots (17)$$

で表わされ, 式 (3) は,

表—6 実測値の交通条件

車線数	実 測 デ ー タ	交通量 (1000 台/時未満) (2車線 $N=22$ 4車線 $N=15$)			交通量 (1000 台/時以上) (2車線 $N=12$ 4車線 $N=63$)			合 計 (2車線 $N=34$ 4車線 $N=78$)			
		最小	最大	平 均	最小	最大	平 均	最小	最大	平 均	均
2車線	交通量 (台/時)	276	990	734 (219)	1002	1578	1223 (186)	276	1578	907 (314)	
	大型車混入率 (%)	6.3	36.9	21.3 (8.9)	18.0	29.2	22.4 (2.9)	6.3	36.9	21.7 (7.3)	
	平均車速 (km/hr)	49	63	55.6 (4.7)	45	61	53.6 (4.6)	45	63	54.9 (4.7)	
	平均車頭間隔 (m)	52	217	88.0(45.9)	32	60	44.7 (7.7)	32	217	72.7(42.4)	
4車線	交通量 (台/時)	744	972	900 (73)	1032	4446	1995 (895)	744	4446	1784 (914)	
	大型車混入率 (%)	20.2	46.4	30.4 (8.3)	2.2	38.0	17.2 (9.0)	2.2	46.4	19.7(10.3)	
	平均車速 (km/hr)	50	62	59.6 (3.4)	52	68	59.0 (4.1)	50	68	59.1 (4.0)	
	平均車頭間隔 (m)	60	81	66.5 (5.4)	15	58	34.6(12.6)	15	81	40.7(19.0)	

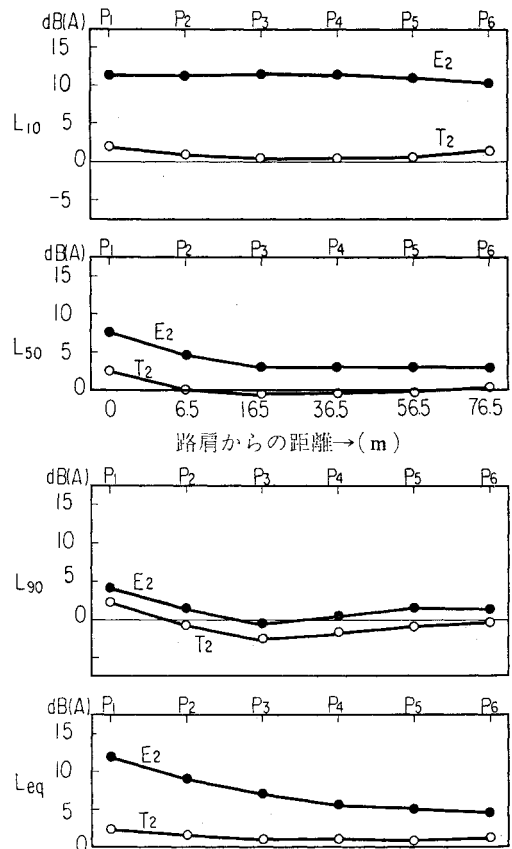
(注) (1) () 内は標準偏差を示す。
(2) 平均車頭間隔は全交通が道路の中心にあると仮定した場合の値である。



(a) 2車線道路

表一 計算に用いた減衰係数

実測値の地表面の状況	Fの値
裸地	2.4
草地(10cm), 水田, 畑(作物なし), 雑草地(20cm)	2.8
草地(30cm), 畑(作物あり)	3.0



(b) 4車線道路

Fig. 4 距離別の $\bar{\alpha}$ と s

$$L_{\alpha} = L_W + 5 F \log_{10}$$

$$\left(\frac{1}{2ld} \cdot \frac{\sinh 2\pi \frac{l}{d}}{\cosh 2\pi \frac{l}{d} - \cos \pi \frac{\alpha}{100}} \right)$$

.....(18)

となる。 L_{10} , L_{50} , L_{90} は式 (18) から, L_{eq} は式 (16) から求めた。音源のパワーレベルは路肩部の計算と同じく式 (13) によった。

b) 時間分布モデル

路肩部における計算と同じ方法によったが, F の値は実測地点の地表面条件に従って c) に述べるように定めた。

c) 減衰係数

減衰係数の実測資料として Nelson¹⁶⁾ および日音会²¹⁾ の資料がある。これらの資料の F の測定条件および騒

音レベルを実測した現場の条件を考慮して, 表一7 に示す値を計算に用いた。

(3) 実測値との比較

a) 計算結果

全データについて α の平均値 $\bar{\alpha}$ と道路からの距離との関係を示したのが Fig. 4 (a) および (b) である。また, 交通量 1000台/時未満と1000台/時以上および全データについて路肩からの距離別の $\bar{\alpha}$ および α の標準偏差 s を表一8 (a), (b) に示した。

b) 考察

路肩部と同様に, 4車線道路について適合性を評価すると表一9のように表わされる。時間分布モデルを用いて車線ごとに計算して合成する方法 (T_2) の適合性は以下のとおりである。

(a) 2車線道路

表-8 距離別の \bar{a} と s

(単位: dB(A))

	交通量 (台/時)	0 m		5 m		10 m		20 m		40 m	
		E_2	T_2	E_2	T_2	E_2	T_2	E_2	T_2	E_2	T_2
L_{10}	$N < 1000$	8.8 (2.8)	0.9 (2.8)	10.1 (3.4)	1.7 (2.5)	10.9 (3.6)	1.4 (2.7)	11.8 (3.2)	1.2 (2.0)	11.2 (3.0)	1.6 (2.3)
	$1000 \leq N$	10.5 (1.8)	-1.6 (2.1)	10.7 (1.4)	-2.1 (1.3)	11.3 (1.7)	-2.0 (1.0)	11.8 (1.2)	-1.5 (1.8)	11.4 (0.6)	0.8 (0.1)
	Total	9.4 (2.6)	-0.0 (2.8)	10.4 (2.6)	-0.2 (2.2)	11.0 (3.0)	0.0 (2.8)	11.8 (2.6)	0.3 (2.3)	11.3 (2.8)	1.5 (2.2)
L_{50}	$N < 1000$	6.0 (2.4)	4.6 (2.1)	3.2 (3.9)	1.6 (3.4)	2.3 (3.1)	0.3 (2.9)	1.3 (2.5)	-0.5 (2.4)	0.6 (2.4)	0.6 (2.0)
	$1000 \leq N$	4.8 (1.8)	2.2 (1.7)	2.4 (1.8)	-0.5 (1.2)	1.7 (1.3)	-1.3 (0.8)	1.7 (1.1)	-1.0 (1.1)	1.3 (0.8)	-0.9 (0.7)
	Total	5.6 (2.2)	3.7 (2.2)	2.8 (3.0)	0.6 (2.7)	2.0 (2.6)	-0.3 (2.4)	1.4 (2.1)	-0.7 (2.0)	0.7 (2.2)	-0.7 (1.8)
L_{90}	$N < 1000$	1.0 (3.0)	5.2 (2.7)	-3.3 (4.4)	0.7 (3.9)	-2.5 (3.7)	1.1 (3.2)	-2.5 (3.9)	0.5 (3.4)	-2.6 (3.9)	-0.5 (3.4)
	$1000 \leq N$	1.2 (2.2)	4.1 (2.0)	-0.8 (2.3)	1.5 (1.8)	-0.8 (1.9)	0.9 (1.4)	-1.3 (2.5)	-0.6 (1.8)	-3.0 (1.5)	-3.2 (1.2)
	Total	1.1 (2.7)	4.8 (2.5)	-2.0 (3.6)	1.1 (3.0)	-1.9 (3.2)	1.0 (2.7)	-2.1 (3.5)	0.1 (3.0)	-2.6 (3.6)	-0.8 (3.3)
L_{eq}	$N < 1000$	11.7 (3.5)	1.6 (3.6)	11.6 (4.3)	4.1 (3.6)	9.4 (3.8)	2.4 (4.1)	7.2 (2.8)	1.7 (2.9)	5.0 (3.0)	1.1 (2.6)
	$1000 \leq N$	9.7 (2.2)	-0.3 (1.9)	6.9 (1.1)	-1.1 (0.8)	5.9 (1.6)	-1.4 (0.9)	5.4 (1.5)	-0.4 (2.0)	5.1 (0.2)	1.0 (0.1)
	Total	11.0 (3.2)	0.9 (2.8)	9.3 (3.9)	1.5 (3.7)	8.1 (3.5)	1.0 (3.7)	6.6 (2.6)	0.9 (2.8)	5.0 (2.8)	1.1 (2.4)

(注) E_2 : 等間隔等パワーモデル (車線ごと合成), T_2 : 時間分布モデル (車線ごと合成)

(b) 4車線道路

(単位: dB(A))

	交通量 (台/時)	0 m		6.5 m		16.5 m		36.5 m		56.5 m		76.5 m	
		E_2	T_2	E_2	T_2	E_2	T_2	E_2	T_2	E_2	T_2	E_2	T_2
L_{10}	$N < 1000$	10.1(4.4)	2.4(2.0)	10.3(4.7)	1.7(2.1)	9.2(4.2)	-0.4(1.7)	11.1(4.4)	0.6(2.2)	10.5(4.1)	0.4(4.2)	10.2(4.3)	0.6(4.1)
	$1000 \leq N$	12.1(3.2)	2.0(2.2)	11.6(2.8)	0.7(1.6)	12.1(2.8)	0.6(1.3)	11.5(2.8)	0.7(1.8)	11.1(2.7)	0.8(2.9)	10.3(2.7)	1.6(2.6)
	Total	11.7(3.5)	2.1(2.2)	11.4(3.2)	0.9(1.8)	11.6(3.3)	0.4(1.4)	11.4(3.1)	0.7(1.9)	11.0(3.0)	0.7(3.2)	10.3(3.1)	1.4(3.0)
L_{50}	$N < 1000$	7.7(4.9)	2.5(3.1)	5.3(3.7)	0.8(2.0)	1.8(2.5)	-1.9(1.3)	2.5(3.4)	-0.9(2.7)	2.2(4.2)	-1.0(4.2)	2.0(3.4)	-1.2(3.4)
	$1000 \leq N$	7.6(3.4)	2.6(2.6)	4.3(2.4)	-0.1(1.6)	3.4(1.9)	-0.5(1.2)	3.3(2.4)	0.0(2.2)	3.4(2.4)	0.2(2.6)	3.2(2.2)	0.7(2.3)
	Total	7.7(3.7)	2.6(2.7)	4.5(2.7)	0.0(1.7)	3.1(2.1)	-0.7(1.3)	3.1(2.6)	-0.2(2.3)	3.2(2.9)	-0.1(3.1)	2.9(2.6)	0.2(2.7)
L_{90}	$N < 1000$	3.3(7.7)	2.4(6.0)	1.0(6.0)	0.1(3.9)	-2.0(4.9)	-3.0(2.6)	-0.3(5.3)	-1.4(3.6)	-0.8(5.2)	-2.1(4.3)	-0.1(5.0)	-1.4(4.0)
	$1000 \leq N$	4.3(5.0)	2.1(4.1)	1.5(3.4)	-0.9(2.6)	0.1(3.0)	-2.5(2.2)	0.6(3.2)	-1.9(2.5)	2.1(3.1)	-0.5(2.5)	1.7(3.8)	-0.4(3.1)
	Total	4.1(3.9)	2.1(4.5)	1.4(4.0)	-0.7(2.9)	-0.3(3.4)	-2.6(2.2)	0.5(3.7)	-1.8(2.7)	1.5(3.8)	-0.8(3.0)	1.3(4.2)	-0.6(3.3)
L_{eq}	$N < 1000$	12.4(3.9)	2.5(2.4)	10.4(3.5)	2.8(1.7)	6.7(3.0)	0.5(2.1)	5.8(3.2)	0.6(2.8)	5.0(4.1)	0.5(4.7)	4.1(3.5)	0.0(3.8)
	$1000 \leq N$	11.6(3.1)	2.4(2.1)	8.6(3.0)	1.3(1.9)	7.1(2.6)	1.3(1.9)	5.7(2.5)	1.1(2.2)	5.1(2.5)	1.0(2.9)	4.7(2.3)	1.6(2.5)
	Total	11.8(3.2)	2.4(2.1)	8.9(3.1)	1.6(1.9)	7.0(2.6)	1.1(1.9)	5.7(2.6)	1.0(2.4)	5.0(2.9)	0.8(3.3)	4.5(2.6)	1.2(3.0)

表-9 適合性の評価 (4車線)

	交通量 (台/時)	M_2						T_2					
		0	6.5	16.5	36.5	56.5	76.5	0	6.5	16.5	36.5	56.5	76.5
L_{10}	$N < 1000$	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	○	○	⊙	○	\bar{x}	\bar{x}
	$1000 \leq N$	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	○	⊙	⊙	⊙	\bar{x}	\bar{x}
	Total	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	○	⊙	⊙	⊙	\bar{x}	\bar{x}
L_{50}	$N < 1000$	\bar{x}	\bar{x}	○	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	⊙	○	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
	$1000 \leq N$	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	⊙	⊙	○	\bar{x}	○
	Total	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	⊙	⊙	○	\bar{x}	\bar{x}
L_{90}	$N < 1000$	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
	$1000 \leq N$	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	○	○	\bar{x}	\bar{x}
	Total	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
L_{eq}	$N < 1000$	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	○	\bar{x}	○	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
	$1000 \leq N$	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	○	⊙	⊙	○	\bar{x}	\bar{x}
	Total	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	○	○	⊙	○	\bar{x}	\bar{x}

① L_{10} については、0~36.5 m まで適合性がある。

② L_{50} については、6.5~36.5 m の区間はおおむね適合性がある。

③ L_{90} については、1000台/時以上の場合、16.5~56.5 m の区間は適合性がある。

④ L_{eq} については、0~36.5 m まで、おおむね適合性がある。

5. 結論および今後の問題点

(1) 結論

これまでの検討結果をまとめれば、以下のとおりである。

a) 路肩部での検討

① 現行の日音会のパワーレベルを用いた場合、 L_{10} については、どのモデルでも、実用上、日音会の予測計算方法と同程度の適合性がある。

② 同様に L_{50} については、1000台/時 以上の場合は、どのモデルも適合性がある。

③ L_{90} および $L_{10}-L_{90}$ については、どのモデルでも前者は計算値が大きめに、後者は小さめとなる。特に等間隔モデルでは、その傾向は著しい。

④ 等間隔モデルは計算時間をもっとも早く、これを1とした場合、指数分布モデルでは約274、時間分布モデルでは約9である。

b) 道路から離れた地点での検討

⑤ 道路から離れた地点での予測計算は、過剰減衰の影響を考慮する必要があるが、一定の減衰係数を考慮した時間分布モデルによると、路肩からおおよそ40mまでの L_{10} 、 L_{50} および L_{eq} の予測結果は、日音会の方法と同程度の適合性がある。

⑥ 同様に L_{90} については、1000台/時 以上の場合、15~60mの予測は適合性がある。

(2) 今後の問題点

(1) 時間分布モデルを用いて、道路近傍からおおよそ100mまでの予測を行う場合、広い範囲にわたってよい予測を得るためには、距離によって値の異なる減衰係数を用いる必要がある。

(2) 今回は平坦開放な場合について検討したが、盛土、切土、側方閉鎖などの場合についても適合性のある予測計算方法を開発する必要がある。その方法としては、騒音レベルのユニットグラフを用いた時間分布モデルの応用が考えられる。

謝 辞：この研究は建設省土木研究所における調査研究の一環として行ったものであり、この報文の取りまとめに際してご協力を得た同所道路部交通環境研究室の野中 宏研究員および(株)KCS 第二研究室長 金泉昭氏ならびに小笠原氏に深く感謝する次第である。また、時間分布モデルについて直接の指導を賜った英国運輸道路研究所環境部の P.M. Nelson 博士のご好意に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 日本工業標準調査会：騒音レベル測定方法，JIS Z 8731-1966，pp. 2，1969年8月。
- 2) 騒音規制法第17条第1項の規定に基づく指定地域内における自動車騒音の限度を定める命令，昭和46年6月23日，総理府・厚生省令。
- 3) 騒音に係る環境基準について，昭和46年5月25日閣議決定。
- 4) Building and Buildings : The Noise Insulation Regulation 1975.
- 5) Ministry of Public Health and Environmental Hygiene : Proposed Legislation on Noise Abatement in the Netherlands, Leidschenden, June, 1976.
- 6) Traffic Noise Committee : Summary in English, The Committee's Deliberations and Proposals, SOU 60, pp. 345~395, 1974.
- 7) Verein Deutscher Ingenieure : Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft, VDI 2058, Blatt 1, Juni, 1973.
- 8) 日本音響学会：道路交通騒音の予測計算方法に関する研究報告書，pp. 1~36, 1975.
- 9) 日本音響学会：道路交通騒音の予測における数学的モデルと評価量について，pp. 1~77, 1975.
- 10) 久野和宏・池谷和夫：ランダムに分布した点音源群から放射された音響パワーの確率分布，日本音響学会誌，Vol. 30, No. 5, pp. 268~275, 1974.
- 11) 金安公造・金泉 昭：道路交通騒音の予測式に関する一考察，道路，pp. 28~35, 1974.
- 12) Highway Research Board : Highway Noise, A Design Guide for Highway Engineers, NCHRP Report 117, pp. 3~8, 1971.
- 13) 高木興一・平松幸三・山本剛夫：指数分布モデルに基づく道路交通騒音の研究，日本音響学会誌，Vol. 33, No. 6, pp. 325~332, 1977.
- 14) 庄司 光・山本剛夫・中村隆一：街頭騒音とくに交通騒音に関する研究，日本音響学会誌，Vol. 19, No. 3, pp. 97~105, 1963.
- 15) D.R. Johnson and E.G. Saunders : The Evaluation of Noise from Free Flowing Road Traffic, J. Sound and Vib., 7(3), 1968.
- 16) P.M. Nelson : A computer Model for Determining the Temporal Distribution of Noise from Road Traffic, TRRL Laboratory Report 611, pp. 1~13, 1973.
- 17) 金安公造・金泉 昭：道路交通騒音と道路構造に関する研究(1)，土木研究所報告第145号，pp. 74~99, 1973.
- 18) 石井聖光：道路交通騒音の予測計算方法に関する研究，日本音響学会誌，Vol. 33, No. 8, pp. 426~430, 1977.
- 19) 高木興一・藤木 修・山本剛夫：指数分布モデルにおける L_n について，土木学会第32回年次学術講演会講演概要集第4部，pp. 336~337, 1977.
- 20) 庄司 光ほか：モンテカルロ法による交通騒音の推定，土木学会論文集，No. 154, pp. 34~39, 1968.
- 21) 日本音響学会：道路交通騒音の予測計算方法に関する研究(その3)報告書，pp. 18~29, 1977.