

平坦部道路区間における騒音伝播特性

の理論的推定法

A STUDY ON THE THEORETICAL METHOD OF ESTIMATING SOUND
PROPAGATION CHARACTERISTICS OF A MOTORWAY IN FLAT SITES

渡辺義則*・神野裕昭**・田中孝幸***・博田能行****

by Yoshinori WATANABE, Hiroaki JINNO, Takayuki TANAKA and Yoshiyuki HAKATA

It is closely related to an accuracy of noise prediction, whether or no sound level attenuation with distance for various ground surfaces, that is, sound propagation characteristics, can be incorporated in a calculation model accurately. The authors have already reported that sound propagation characteristics of a straight motorway in flat sites could be estimated from field experiments by the previously proposed method using the statistical procedures for the analysis of random data. Furthermore, the authors wish to report a theoretical method of estimating sound propagation characteristics of a motorway in flat sites. Then in this paper, the following investigations are dealt with: 1) a proposal of a theoretical method of estimating the parameters a and b in Equation(6) using Thomasson's theory, which correspond to sound propagation characteristics of a ground surface, 2) results of comparison of calculated values by Thomasson's theory with measured values of simulated model in an anechoic room, 3) theoretical examinations of sound propagation characteristics from field experiments.

1. はじめに

現在、騒音予測時には道路構造を平坦、盛土、切土、高架の4つに分類しているが、その中で騒音伝播特性が一番単純と思われる平坦部でも、道路周辺の地表面の状況によって騒音レベルは有意に異なる。現行の環境アセスメントでは騒音レベルを基にした統計量で騒音を評価し、減音対策が必要であるか否かを判断するのであるから、このような差異を看過することはできない。これまで筆者らは、対象道路区間の騒音伝播特性を適確に把握してモデル内に組み込む方法によって騒音予測精度の向上を図ってきた¹⁾²⁾³⁾。そこではランダムデータの統計的処理手法を用いて現場実験によって騒音伝播特性を推定し

ているが、その結果から平坦部道路区間の騒音伝播特性は式⑥に示す形で表現される可能性があること、また式⑥中のパラメータ a 、 b は同一道路区間では時間的移転性が、更には、道路区間が異なっても類似の地表面状況であれば空間的移転性があることを示した。

しかし、この方法は対象道路区間の騒音伝播特性を現実に近い形で把握できるという長所がある一方で、地表面から高い所に受音点があると実験が難しくなること、また、様々な実験条件について網羅的に現場実験を行うことは大変な労力であることなどの短所がある。その意味では、現場実験から得た騒音伝播特性を理論的に説明していく努力をしながら、焦点を絞って現場実験を繰り返す方が、騒音伝播特性をより正確により簡単に推定する方法を確立するうえで効率的であると考えられる。

そこで、本研究ではまず、平坦部道路区間を対象にして、以下の点について検討した。

*正会員 工博 九州工業大学助教授 工学部開発土木工学科
(〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1)

**正会員 工修 (株)建設技術研究所

*** 川田工業(株)

**** 三井松島産業(株)

① Thomasson の理論⁴⁾⁵⁾を援用して式⑥中のパラメータ a 、 b を理論的に推定する方法を提示する。

② 同理論を援用して計算した値と無響室内での模型実験から得た値を比較することによって、計算方法の妥当性を検証する。

③ 上記の方法を使って、現場実験から得た騒音伝播特性¹⁾について考察する。

2. 騒音伝播特性の理論的推定法

(1) 過減衰の計算方法

S. I. Thomasson によれば、normalized admittance ν の無限平面上を伝播する音に関する波動方程式の解は、次のようになる⁴⁾⁵⁾。

$$p = p_D + p_{HR} + p_R + p_S \quad (1)$$

$$p_D = (-4\pi R_1)^{-1} \exp(ik_0 R_1)$$

$$p_{HR} = (-4\pi R_2)^{-1} \exp(ik_0 R_2)$$

$$p_R = \frac{k_0 \nu \exp(ik_0 R_2)}{2\pi} \int_0^\infty \frac{e^{-t}}{W^{1/2}(t)} dt$$

$$p_S = (1-\tilde{C}) k_0 \nu H_0^{(1)}(k_0 r (1-\nu^2)^{1/2}) \exp[-ik_0 (Z_S + Z_R) \nu] / 4$$

但し、 p は速度ポテンシャル、 k_0 は波数 (角速度 / 音速 = ω / C)、 $H_0^{(1)}$ は 0 次の第一種ハンケル関数であり、 $\exp(i\omega t)$ の項は省略している。また、

$$W(t) = (A^2 + t)(B^2 - t)$$

$$A = [ik_0 R_2 (\gamma_0 - 1)]^{1/2}$$

$$B = [ik_0 R_2 (1 - \gamma_1)]^{1/2}$$

$$\tilde{C} = \begin{cases} +1; -\pi/2 \leq \arg(A) \leq \pi/4 \\ -1; \pi/4 < \arg(A) < \pi/2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{Bmatrix} \gamma_0 \\ \gamma_1 \end{Bmatrix} = -\cos(\theta_0) \nu \pm (1-\nu^2)^{1/2} \sin(\theta_0)$$

$$\begin{Bmatrix} R_2 \\ R_1 \end{Bmatrix} = [r^2 + (Z_R \pm Z_S)^2]^{1/2}$$

$$r = [(X_S - X_R)^2 + (Y_S - Y_R)^2]^{1/2}$$

$$\cos(\theta_0) = (Z_R + Z_S) / R_2$$

但し、 (X_S, Y_S, Z_S) 及び (X_R, Y_R, Z_R) はそれぞれ音源と受音点の座標である。なお、式①中の p_D は自由空間 (無限平面など音の伝播に影響を及ぼすものがない空間) 中で、音源から直接に受音点に到達する波の速度ポテンシャルである。また、 p_{HR} は完全に固い無限平面 ($\nu = 0$) が存在する場合に、その平面で反射して受音点に到達する波の速度ポテンシャルであり、このような場合には全音場の速度ポテ

ンシャル p は $p_D + p_{HR}$ となる。しかし、一般には様々な性質をもつ無限平面が考えられ、式①中の第 2 項以降がその影響を表現する速度ポテンシャルとなる。なお、式①中で p_R と p_S に分割されているが、これは一般的には物理的な意味があるのではなく、厳密解 (式①、②) 導出時の計算の都合によると説明されている⁴⁾。なお、実際には p_R を次のように変形して計算する⁵⁾。

$$p_R \sim \frac{\tilde{C} k_0 \nu \exp(ik_0 R_2)}{2\pi B} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(2m)! I_m}{(m!)^2 (4B^2)^m} \quad (3)$$

$$I_0 = \sqrt{\pi} \exp(A^2) \operatorname{erfc}(A)$$

$$I_1 = A + (1/2 - A^2) I_0$$

$$I_m = (m-1/2 - A^2) I_{m-1} + (m-1) A^2 I_{m-2}; m \geq 2$$

次に、本研究では地表面の音響特性が ν (またはその逆数である normalized impedance) で、次のように表現できると仮定する⁶⁾。

$$R(f) / \rho C = 1 + 5.5 (f/\sigma)^{-0.63}$$

$$X(f) / \rho C = -8.37 (f/\sigma)^{-0.63} \quad (4)$$

$R(f)$: impedance の実部

$X(f)$: impedance の虚部

σ : 流れ抵抗 ($10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}$)

f : 周波数 (Hz)

ρC : 固有音響インピーダンス

また、本研究では自由空間内の距離減衰以上に音のレベルが減衰することを過減衰といい、次式によって算出する。

$$EX(f) = -20 \log |p / p_D| \quad (5)$$

以上のことから、過減衰は周波数、流れ抵抗、音源と受音点の位置関係によって異なることがわかる。なお、今後の検討で 1/1 または 1/3 octave band 毎に過減衰を算出しているが、これは 1/1 octave band を 1/27 に分割した周波数に対する過減衰をパワー平均して求めた。

特に、道路周辺が平坦で、音の伝播上障害になる構造物がない場合には、周波数別に計算した過減衰を車両 (音源) の音響出力のスペクトルで重みをつけてパワー平均すれば、全体 (Over All) での過減衰 EX_0 が得られる。本研究では大型車類と小型車類の音響出力のスペクトルとして、文献⁷⁾で報告されている結果を A 特性に換算して使用した。

(2) 各種条件の変化と過減衰

いま、XY 座標の原点を音源と同じ位置に、Z 座

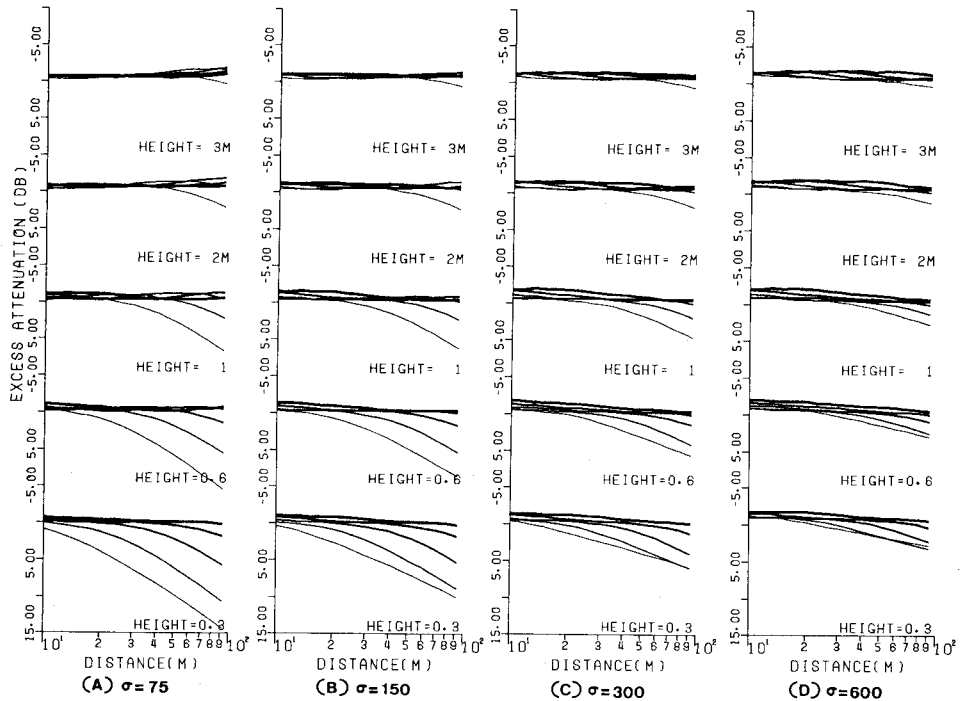


図-1 各種条件の変化と過減衰(0. A. A特性, 大型車種の過減衰, HEIGHT:音源高, DISTANCE:水平距離, σ :流れ抵抗($10^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s}$), 曲線が太くなるほど1, 2, 4, 8, 16mと受音点が高い)

標の原点を平面上に、更に、Y軸を音源と受音点を含む面上にとれば、音源と受音点の座標はそれぞれ(0, 0, Z_s)と(0, Y_R , Z_R)となる。この様な場合に、音源高 Z_s 、音源と受音点間の水平距離 Y_R 、受音点高 Z_R 、流れ抵抗 σ を種々変化させた場合の0. A. の過減衰(A特性)を大型車種について計算して図-1に示す(例; 半自由空間の過減衰は-3)。これから、音源や受音点が低いところにあるほど、流れ抵抗が小さいほど、音源に近い所から過減衰が発生し、その程度は音源から離れるほど大きくなることがわかる。ただし、音源や受音点が高い所にあると、音源から100m程度の範囲内では過減衰は生じにくい。なお、車種によって音響出力のスペクトルが異なることに起因して、小型車種の過減衰の様子は大型車種のものとは異なる。ただ、図-1と同じ計算条件で両者の過減衰を比較してみると、その差は比較的小さい。例えば、① $Z_s \geq 2\text{m}$ 、② $Z_s < 2\text{m}$ で $Z_R \geq 8\text{m}$ 、に該当するところでは両者の差は $\pm 1\text{dB}$ 以下である。また、両者の差が大きい例を図-2に示す。図中で差の符号が正ならば大型車種の方が過減衰が小さい(つまり、騒音レベルが大きい)。

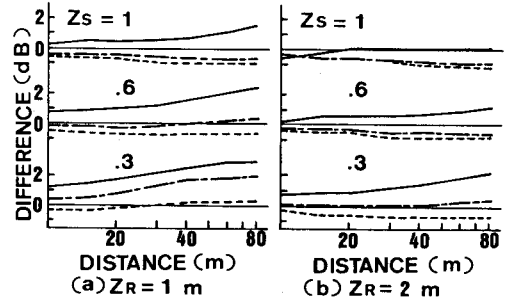


図-2 大型車種と小型車種の過減衰の差(実線、一点鎖線、点線は流れ抵抗が600, 150, 75に対応)

(3) 騒音伝播特性の推定方法

平坦部道路区間の騒音伝播特性は次式で表現されると仮定する³⁾。

$$g_k(t) = a \{ d_k^2 + (v_k t)^2 \}^{-\alpha/2}, \alpha < t < \beta$$

$$= 0, t < \alpha, t > \beta \quad \textcircled{6}$$

$[\alpha, \beta]$: 車両から生じた音が障害物によって遮断されない時間範囲($\alpha < \beta$), s

a, b : 音の伝播性状によって異なるパラメータ

d_k : k 車線の中央と受音点間の距離, m

v_k : k 車線の車両平均速度, m/s

なお、 $\{ \}$ 内は時刻 t における音源と受音点間の距

離を二乗したものに等しい。実際には殆んどが $d_k^2 + (v_k t)^2$ ($Z_s - Z_R$)² であるが、もし、そうでない場合には、{} 内は次のようになる。

$$R_1^2 = d_k^2 + (Z_s - Z_R)^2 + (v_k t)^2 \quad (7)$$

次に、パラメータ a , b を決定する方法を説明する。まず、予測の対象とする道路区間で、道路の中心線に直交する方向に数個の受音点を適当に選ぶ。そして、時刻 t における車両（音源）と受音点の位置関係から、音が一次反射する面及びその面の流れ抵抗、その面からの高さ Z_s , Z_R を決める。これらの諸数値と水平距離 Y_R ($Y_R^2 = d_k^2 + (v_k t)^2$) に対応する 0 . A の過減衰 EX_0 を図-1 から求めれば、この時の受音点における大型車種の騒音レベル NL_T は次式から算出される。

$$NL_T = PWL_T - 11 - 20 \log R_1 - EX_0 \quad (8)$$

最後に、式⑧中の大型車種のパワーレベル PWL_T を除いた項の値を縦軸に、また、横軸に $\log R_1$ をとって回帰直線を算出すると、その結果から a , b の値を決定できる。なお、 EX_0 は大型車種と小型車種で大きな誤りではないと思われる。しかし、大型車種を排除したことによる減音効果の推定など、小型車種に対応する a , b の値が是非とも必要な場合には、上と同様の手順で算出する必要がある。例えば図-1, 2 を使って小型車種の騒音レベル NL_P を表せば次のようになる。

$$NL_P = PWL_P - 11 - 20 \log R_1 - EX_0 - D \quad (9)$$

PWL_P : 小型車種のパワーレベル

D : 大型車種と小型車種の過減衰の差

なお、式①～⑥を用いて道路交通騒音の過減衰を推定する方法を提示した報告は既にある⁸⁾。ただ、それは騒音予測シミュレーションに利用するための車両1台走行によるタイムパターン（ユニットパターン）を所定の受音点について求めるのを目的としている。それに対して本章で示した考え方は次のと

おりである。平坦部道路区間といっても、現実には走行する車両から発生する音が反射する面は種々であり、面の間で高低差が存在したり、騒音伝播性状の異なる面が混在したりする。それゆえに、本章で示した方法で、式⑥中のパラメータ a , b の値を決定すれば、選定した受音点を結ぶ線に沿った平均的な騒音伝播特性を求めたことになる。また、この様にすれば、その線上の任意の受音点についてのタイムパターンを近似的にせよ表現できて、騒音予測シミュレーションのときに利用できるし、その上、等価騒音レベルなどの簡易推定³⁾を行うときにも便利である。

3. 模型実験による検討

本章では、Thomasson の理論を援用して計算した過減衰の値と模型実験から得た値を比較することによって、同方法の妥当性を検証する。

(1) 模型実験の概要

実験は無響室（内のり寸法：6.9×6.9×3.3m、暗騒音NC-15 以下）で行った。なお、この無響室では実験周波数範囲内で逆二乗則が成立することは確認している。縮尺比は1/12.5、実験周波数は1.25～50 kHz（実寸では、1～4kHz に対応）である。音源としてはjet noise を使用した。図-3にその指向性を示す。受音点はおよそ 0～30° の方向にあるので、その範囲内では無指向性音源と見なしてもよいと判断した。音は1/4 inch microphone で受音し、FFT analyzerで1/3 octave band levelを求めた。次に、計測系全体の雑音のレベルを基準にデータを取捨選択し、採用したデータについてはSN補正及び空気吸収の補正⁹⁾を行って、その結果から過減衰を求めた。

表-1に実験条件、図-4に測定断面図を示す。道路の寸法は2車線の都市部幹線道路の標準横断構成図¹⁰⁾を基にして決めた。また、反射性表面は合板を塩化ビニール板（1mm 厚）で、吸音性表面は同

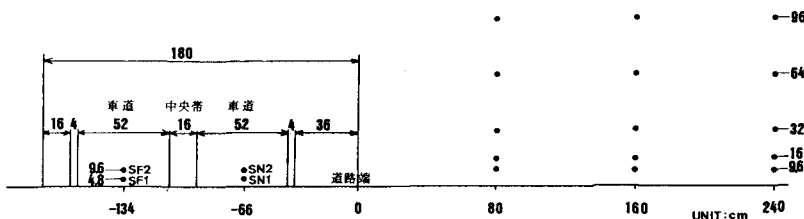


図-4 測定断面図

じくネル（1mm 厚）で、混合表面は道路の部分塩化ビニール板、道路端から測定方向の部分ネルで覆ったものである。

（２）実験結果

2(1)の方法で計算した過減衰（周波数別）の値と3(1)の要領で実験して得た値を比較した。一例として、音源位置SN2、道路端からの距離 $D_R=20\text{m}$ （模型では160cm）に関する結果を図-5に示す。なお、図中の Z_R 、 f は実寸である。また、混合表面の結果には反射性または吸音性表面のうちで、受音点に主に影響を及ぼす反射面（決定方法は後述）に対応する理論値を□、もう一方のそれを△で記している。これから、①過減衰の様子は周波数、受音点高、地表面の状況によって大きく異なるが、理論値と実測値は比較的近い値を示す。②混合表面では、実験値は反射性と吸音性の表面の中間的な性質を呈す。なお、計算に使用した流れ抵抗（実寸）は反射性表面が2000、吸音性表面が15Pa・sである。

次に、1/3 octave bandの過減衰（例：図-5）をoctaveに合成した後に、理論値と実測値の差の平方和を平均し、その平方根を計算した結果を表-2、3に示す。均質表面においては両者の差は比較的小ないことが表-2からわかる。なお、表中の点線及び一点鎖線は、道路面に対する虚音源と道路端を結

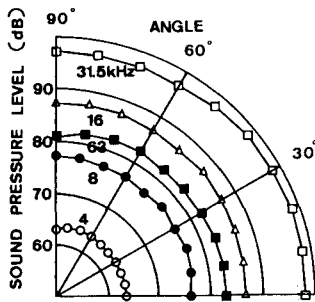


図-3 音源の指向性

表-1 実験条件

表面〔音源位置〕	音源高	受音点位置
反射性〔SN1, SN2〕	4.8, 9.6	D_R 80, 160, 240, 308*
吸音性〔SN1, SN2〕	(.6, 1.2)	(10, 20, 30, 38.5)
混合〔SN1, SN2 SF1, SF2〕		Z_R 9.6, 16, 32, 64, 96 (1.2, 2.4, 4.8, 12)

注）単位はcm、（）内は実物大の寸法で単位はm、 D_R は道路端からの距離、 Z_R は道路面からの高さ、*は表面が混合の場合は測定していない

ぶ境界を示す。点線がSN1, SN2、一点鎖線がSF2 に関するものである。一方、表-3の混合表面の結果から、①表中の点線は虚音源と道路端を結ぶ境界であるが、境界から上の方は反射性表面に、下の方は吸音性表面に近い値を示す。現実の道路においても、道路表面、あるいは道路周辺の地表面からの反射音に強く影響されるところが混在することが予想されるが、前述のような境界で分割して過減衰を予測するのも一つの方法と考える。②道路端近くで、地表面から高いところにある受音点、あるいは、同じ受音点でも自動車が遠い方の車線を通過する場合にお

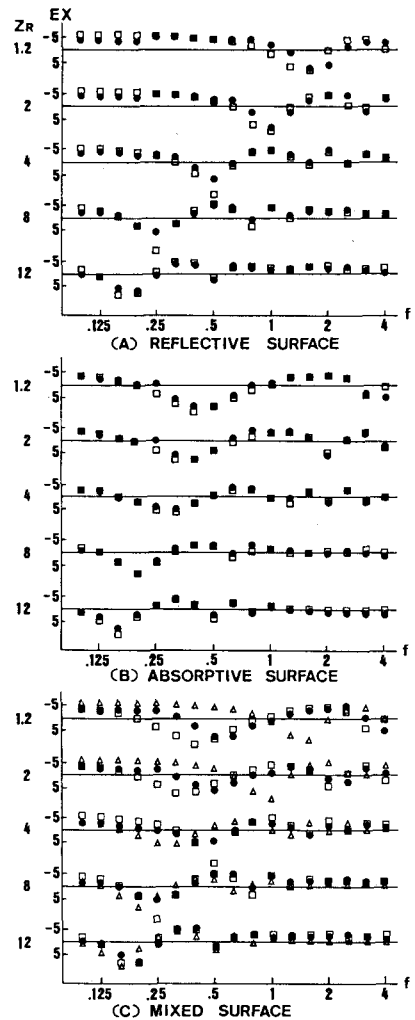


図-5 過減衰（周波数別）の理論値と実測値の比較（□：理論値、●：実測値、EX：過減衰(dB)、 f ：周波数(kHz)、 Z_R ：受音点高(m)）

表-2 理論値と実測値の差 (均質表面)

Z _S	Z _R	反射性				吸音性			
		D _R				D _R			
		10	20	30	38.5	10	20	30	38.5
0.6	12	1.2	0.8	1.3	1.6	1.8	1.1	1.1	0.9
	8	0.9	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6
	4	0.7	1.3	2.0	1.5	0.5	0.4	1.0	1.2
	2	1.7	1.4	2.1	2.6	0.7	0.7	1.1	1.2
1.2	12	1.4	1.0	0.9	0.9	1.6	0.9	1.1	0.7
	8	0.7	0.7	0.9	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0
	4	0.7	0.9	0.9	1.0	0.4	0.7	0.8	0.8
	2	1.0	1.1	2.0	2.2	0.6	1.0	1.3	1.4
	1.2	1.0	1.9	1.8	2.9	0.5	1.2	1.1	1.2

注) Z_Sは音源高、Z_Rは受音点高、D_Rは道路端からの距離で単位はm

いては、道路表面からの反射音の影響が支配的であり、道路周辺の地表面が種々異なっても過減衰の性状に変化がないことが予想される。

図-6は混合表面について0. A. の過減衰EX₀の理論値と実測値を比較したものである。EX₀は2(1)と同じ要領で、周波数別過減衰を大型車種の音響出力のスペクトルで重みをつけてパワー平均して求めた。また、虚音源と受音点を結ぶ境界で、吸音性表面、反射性表面のいずれが受音点に大きく影響するか判定して、どちらの理論値を使うか決めている。図-6によれば、一部(特に、境界付近)を除いて、全

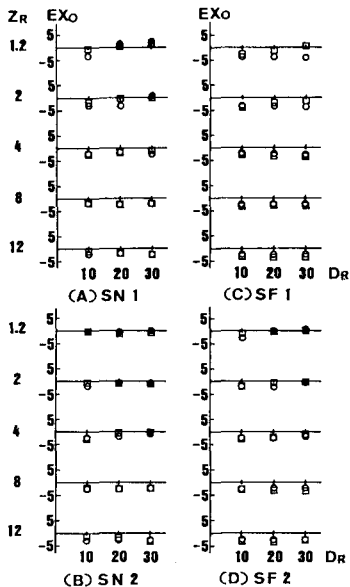


図-6 過減衰(0. A.)の理論値と実測値の比較 (○: 理論値, □: 実測値, EX₀: 過減衰(dB), Z_R: 受音点高(m), D_R: 道路端からの距離(m), ●では吸音性表面が受音点に主に影響する)

表-3 理論値と実測値の差 (混合表面)

音源	SN1			SN2			SF1			SF2		
	D _R			D _R			D _R			D _R		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
12	1.6	1.3*	1.6*	1.5	0.9*	1.1*	0.9*	1.1*	1.5*	0.6*	0.8*	1.2*
	0.4*	1.8	2.2	0.4*	1.6	2.2	2.9	3.1	3.0	2.4	2.6	2.2
8	0.9*	1.7*	1.8*	0.7*	0.9*	1.2*	1.0*	1.1*	1.3*	0.7*	1.1*	1.4*
	1.7	2.1	2.3	1.7	1.7	2.0	3.0	3.0	4.1	2.3	2.8	3.5
4	1.3*	2.0*	3.1*	1.1*	2.1*	2.5	1.3*	2.9*	2.6*	1.4*	1.9*	1.9*
	2.4	3.7	3.2	2.1	2.6	2.2*	4.5	4.6	5.5	3.4	2.9	3.3
2	2.5*	3.5*	4.8	1.6*	4.1	4.7	2.2*	3.9*	4.3*	1.6*	3.5	3.6
	3.5	3.8	4.0*	2.1	2.1*	2.3*	6.3	5.4	6.0	4.1	3.3*	3.2*
1.2	3.1*	4.7	6.3	3.8	4.6	6.5	3.7*	4.1*	5.7*	2.7*	4.5	5.6
	4.1	4.2*	4.2*	2.0*	2.6*	2.4*	6.4	6.5	5.9	4.2	3.5*	3.6*

注) 上段は反射性表面、下段は吸音性表面との差に関する結果で、値の小さい方に*をつけている。

体的には理論値と実測値はかなり近いといえる。

4. 現場への適用

本章では、現場実験から得た騒音伝播特性と、2. に示した理論的推定方法で計算したそれを比較検討し、同方法の現場への適用可能性を調べた。

(1) 現場実験の概要

現場実験から得た騒音伝播特性としては、すでに報告した値(本論文でいえば図-8の実測値、文献1中では図-6の荷重関数の距離減衰特性)を用いた。以下に現場実験の概要を再記する。測定現場付近は対向2車線の直線の国道であり、音の伝播経路上に障害物のない平坦部道路区間である。また、道路縦断勾配は1.2%、時間交通量、大型車混入率、速度の平均値は、それぞれ747 V. P. H, 23%, 51km/hである。図-7に騒音測定位置を示す。M1~M4は精密騒

表-4 主道路の舗装面と田圃との高低差

	G1	G2	G3	G4	G5
高低差 (m)	1.661	1.355	1.371	0.878	1.025

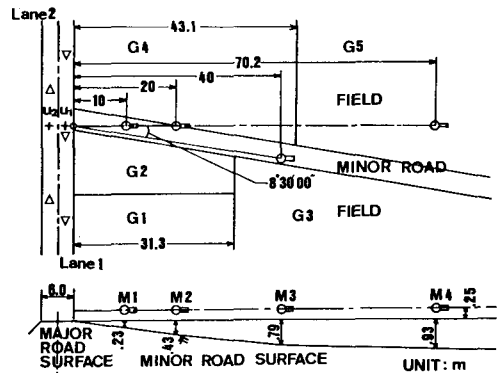


図-7 騒音測定位置

音計のマイクロホン設定位置(受音点)であり、高さは主道路のアスファルト舗装面から25cmの所である。また、図-7には取り付け道路表面(未舗装)からマイクロホンまでの高さを示しているが、主道路の舗装面と田圃の間には、表-4のような高低差がある。ただし、田圃は季節によって表面の状況が異なる。ここでは11月初旬の刈入れ後の田圃(KN)、8月初旬の約60cmの稲が密生時の田圃(KA)、6月下旬の約8cmの苗がまばらに生えている水田(KJ)を対象にした。表-4はKNの場合の値である。

(2) 道路周辺の地表面の流れ抵抗

いま、音源は各車線の中央線上を一定の速度で移動し、音源の高さは0.3mであると仮定すれば、音源、受音点と音の反射面の位置関係は、図-7、表-4および車両速度から確定できる。更に、音源の音響出力のスペクトルとして大型車種のそれを使用すれば、0.A.の過減衰が理論的に推定される(cf.2.)。

但し、その値は流れ抵抗によって異なる。そこで、4(1)の現場実験値と理論値の差の二乗和が最小になる流れ抵抗を求めて表-5に示す。なお、音の反射面は表-4(KN)、表-4より5cm上(KJ)、表-4より60cm上(KA)に仮定した。また、マイクロホンを設置した取り付け道路は未舗装であるが、KJやKAの田圃とは表面の状況が著しく異なる。それ故に、この取り付け道路の反射を含む実測値(具体的には、

表-5 流れ抵抗並びに現場実験値と理論値の差

ケース	流れ抵抗 (Pa·s)	現場実験値と理論値の差(dB)		
		平均値	標準偏差	データ数
K J	25	-0.4	1.1	17
K A	25	-0.1	1.6	18
K N	40	-0.3	1.1	20

表-6 騒音伝播特性を表現する回帰式

ケース			回帰係数		相関係数	データ数
			A ₀	A ₁		
全 体	実 測	K J	-8.0	-23.0	-0.98	23
		K A	-4.2	-26.1	-0.98	24
		K N	-8.8	-22.0	-0.99	20
	理 論	K J	-5.6	-24.1	-0.99	23
		K A	-1.3	-27.5	-0.99	24
		K N	-7.8	-22.5	-0.99	20
田 圃	実 測	K J	1.5	-27.9	-0.98	17
		K A	7.4	-32.2	-0.99	18
	理 論	K J	1.2	-27.5	-0.99	17
		K A	4.6	-30.7	-0.99	18

注) *の所の回帰係数の値が文献1)のそれと少し違うが、これは有効数字の取り方に起因する

車両が図-7のU₁、U₂にいるときに対応するM1～M3の実測値)を除いたものについて計算した。但し、KNについてはこの様な取扱いせず、取り付け道路、田圃ともに音響的にはほぼ同じ性質を持つと考えた。更に、取り付け道路で隔たった左右の田圃間に高低差があるので、車両が取り付け道路のどちら側にあるかによっても過減衰の値は異なる。しかし、この様な場合には音源(車両)の指向性も無視できない問題となる。そこで本研究では、取り付け道路の両側で得られた値をパワー平均して、この道路区間の平均的な音の伝播性状を求めて検討した。

次に実測値と、以上のようにして決定した流れ抵抗を用いて2.で示した方法で理論的に計算した値との差に関する平均値と標準偏差を表-5に示す。やや理論値が大きい傾向にあるが、予測精度は比較的良好。従って本節で示した方法で流れ抵抗を決定し、騒音伝播性状を予測する方法は、かなりの説明力を持つものと考えられる。

(3) 現場実験から得た騒音伝播特性に関する考察 音の伝播性状を表すパラメータa、bの決定方法

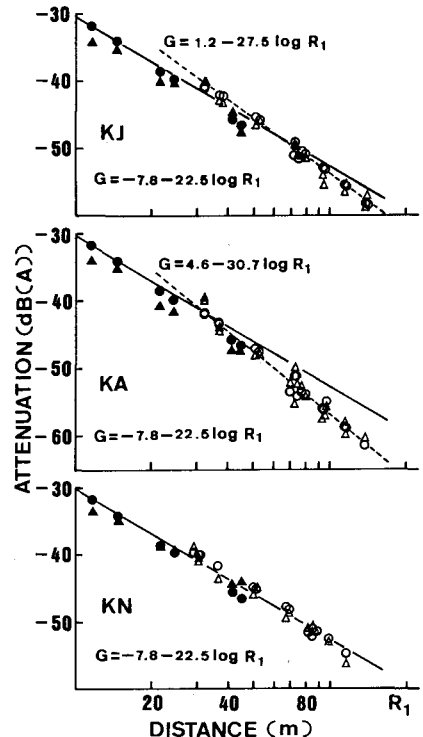


図-8 道路周辺の騒音伝播特性(○:理論値, △:実測値, 特に●, ▲は取り付け道路で反射するもの)

は、すでに2(3)で述べた。その要領で回帰直線を算出した結果を表-6と図-8に示す。ここで、回帰式は次のように仮定した。

$$G = 10 \log a - 10 b \log R_1 \\ = A_0 + A_1 \log R_1$$

ちなみに、半自由空間では $a = (2\pi)^{-1}$ 、 $b = 2$ である。表-6中では、田圃だけについて分析したものと、田圃だけでなく取り付け道路を含む全体のそれをわけて示している。これから、①実測と理論の回帰係数の値は比較的近いので、2.に示す方法で平坦部道路区間の騒音伝播特性を理論的に推定できると思われる。②本研究で対象とした現場は、田圃(季節によって表面の状況が異なる)と取り付け道路で構成されているために騒音減衰性状の異なる2つの部分からなっていると考えられる。

これらのことは図-8からもわかる。なお、図中の直線及び式は、表-6中の理論について記したものである。

5. まとめ

本研究では平坦部道路区間における騒音伝播特性を理論的に推定する方法について検討し、次の結果を得た。

(1) 以前、平坦部道路区間における騒音伝播特性が式⑥で表現される可能性があることを現場実験で示したが¹⁾、更に本研究では、式⑥中のパラメータ a 、 b を理論的に推定する方法を提示した。

(2) この推定法ではThomassonの理論を援用して過減衰を計算する。この時、過減衰は周波数、流れ抵抗、音源と受音点の位置関係によって異なるが、その計算結果が妥当なことを無響室内の模型実験によって検証した。

(3) 反射性または吸音性の均質表面と、混合表面の模型実験結果を比較すれば、混合表面の過減衰は反射性と吸音性の中間的性質を示す。しかし、この様な場合にも、道路面に対する虚音源と道路端を結ぶ境界によって、主に影響を及ぼす反射面を決定すると、0. A.の過減衰では理論値と実測値の差は小さくなった。従って、この様な境界で分割して過減衰

を予測するののも一つの方法と考える。

(4) 現場実験値¹⁾に最も近い流れ抵抗は6月下旬の水田と8月初旬の田圃が25Pa・s、11月初旬の刈入れ後の田圃と取り付け道路が40Pa・sであった。

(5) 式⑥中のパラメータ a 、 b に対応する回帰係数を、理論と現場実験のそれぞれについて求めた。その結果、両者の値は比較的近いので、本研究で提示した方法で平坦部道路区間の騒音伝播特性を理論的に推定できると思われる。

(6) 本研究で対象とした現場は、田圃(季節によって表面の状況が異なる)と取り付け道路で構成されているために、騒音減衰性状の異なる2つの部分から成り立っていると考えられる。

以上、本研究で得られた結果を述べたが、流れ抵抗の値が他の報告⁸⁾と異なっている所もあるので、その原因については今後とも検討していく予定である。

最後に、本研究に御助力いただいた九州工業大学工学部 吉田 勇氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) 渡辺義則：交通流変動と騒音伝播特性の場所的な違いを考慮した道路交通騒音の予測、土木学会論文集，第347号/Ⅳ-1，PP. 127~134, 1984.
- 2) Y. Watanabe: A Calculation Method of Noise Propagation Over Various Ground Surfaces from Random Traffic Flow, Proceedings of the 15th International Conference on Noise Control Engineering, PP. 1281~1286, 1986.
- 3) 渡辺義則、菊永昌洋、角知憲：道路交通騒音の簡易推定法に関する一考察、土木計画学研究・講演集NO. 8, PP. 113~119, 1986.
- 4) S. I. Thomasson: Reflection of Waves from a Point Source by an Impedance Boundary, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 59, No. 4, PP. 780~785, 1976.
- 5) S. I. Thomasson: A Powerful Asymptotic Solution for Sound Propagation above an Impedance Boundary, Acustica, Vol. 45, PP. 122~125, 1980.
- 6) 幹康、石井泰：インピーダンス関数の正実性を考慮したDelanyの実験式の修正、日本音響学会講演論文集，PP. 449~450, 1981.
- 7) 足立義雄、中須賀聡、宮川隆巳：道路交通騒音の周波数特性—模型実験手法研究(2)—、日本音響学会講演論文集，PP. 529~530, 1985.
- 8) K. Yamamoto and M. Yamashita: A Simple Model for Estimating Excess Attenuation of Road Traffic Noise, Journal of the Acoustical Society of Japan (E), Vol. 8, No. 1, PP. 13~22, 1987.
- 9) ANSI: Method for the Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere, 1978.
- 10) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用、丸善、1983.