

等価騒音レベルによる交通騒音 予測手法の検討—第一報—

末岡伸一

1 はじめに

近年、等エネルギー原理にもとづく等価騒音レベル (Leq) が騒音評価法として使用される動きが高まってきた。¹⁾ ISOにおいては、ISO 1996 (Acoustics-Description and measurement of environmental noise) において騒音評価の基本量をLeqとしており、これを受けてJISにおいてもJIS Z 8731 (騒音レベル測定方法) についての改訂作業が進んでいる。これらの動きはLeqを採用することにより国際的に統一された評価量とその測定方法を確立しようとするものである。そしてこのLeqをそれぞれの特定音源の評価に利用しつつ、中心的にはあらゆる種類の騒音を合算したものと考えられる環境騒音の評価に利用しようとする考え方がある。

このようななかで市街地における環境騒音の主たる要因である自動車交通騒音についても、Leqで測定・評価・予測する必要が高まってきた。従来、自動車交通騒音の評価については、時間率パーセント値 (Lx) が使用されてきたため、予測手法も主としてLxを算出するために検討されてきた。

これらの手法を大きく分類すると、①Lxを計算式や数値シミュレーションなどを使って直接算出する方法、②Leqなどのエネルギー平均値を予測計算し、それに実測データを利用して求めたエネルギー値Lxの変換式に当てはめる方法、に分けられる。一般にパーセント値Lxは自動車交通量、車種構成、速度が等しくても、車頭間隔の分布型により値が異なることが知られており、²⁾ 各種の車頭間隔分布に対応した予測モデルが提案されてきた。一方、Leqなどのエネルギー値を利用すると、車頭間隔分布に関係なく、一定時間内に通過する交通量等のデータさえ与えられれば予測の計算が行え、モデルの構成も分かりやすいものと

なる。そのため前段の予測としてエネルギー値を計算し、後段でLxへの変換をする方法がアメリカ等ではしばしば用いられている。³⁾

このようななかで、わが国においてもエネルギー値に着目した予測手法の確立が必要となってきたと言える。筆者は一連の交通騒音予測に関する研究の一環として、このLeqによる予測手法の検討を行っており、その第一報としてLeq予測プログラムの作成検討を行ったので報告する。

2 プログラム化の条件

自動車交通騒音予測において考慮すべき点は大きく区分して、①音源特性に関すること、②伝搬特性に関すること、になる。

音源特性については自動車の走行状態により大きく変化するものであり、騒音レベルや周波数特性が自動車が発音している場合と、加速あるいは減速している場合では大きく異なることが知られている。また騒音レベルも速度、加速度の関数となっていることも知られている。しかし、これらについてはまだ十分に調査研究がなされておらず今後のデータ蓄積が必要である。そのためこのプログラムにおいては定常走行を仮定したが、別途加速減速等に関する音源特性が入手されれば容易にプログラムに組み入れられる。音源特性についてのプログラム化の条件は次のとおりである。

- ① 自動車は道路上を一定の速度で定常走行しており加減速はないとする。
- ② 自動車は2つもしくはそれ以上の車種に分類でき、それぞれの車種は1つもしくは複数のグループに区分される。
- ③ 1つのグループは一定の速度と一定の交通量を持ちそのパワーレベルは正規分布をする。

④ パワーレベルは 1/1 オクターブバンドレベルで記述し伝搬特性の計算に使用する。騒音レベル(dBA)はこれらを合成して求める。

⑤ 1/1 オクターブバンドパワーレベルはそれぞれ速度の関数と仮定する。

伝搬特性に関して予測計算上考慮すべき点については多くの調査研究がなされているが、⁴⁾ これらの要因を整理すると表1のようになる。これらの要因についてはまだ統一的な計算手法が確立していないものも多く次のような条件でプログラム作成を行った。

表1 伝搬特性に関する要因

騒音伝搬で考慮する項目	
○ 距離による減衰	
○ 反射による影響	地面の反射 建物などの構造物による反射
○ 回折減衰	薄い障壁による回折 厚さのある障壁による回折 複雑な形の構造物による回折
○ 障壁の透過音による影響	
○ 過剰減衰	空気中の吸収による減衰 地表面の状態による影響 降水の影響 温度の上下分布による影響 風の影響

- ① 反射による影響は建物等による1次反射のみを考える。
- ② 回折減衰については薄い平面障壁と厚さのある障壁について減衰計算する。
- ③ 過剰減衰については空気中の吸収、地表面の影響について計算する。
- ④ 上記以外については考慮しない。

以上のような条件を前提にプログラムの作成を行ったが、前述のごとく予測計算で考慮すべき要因は多くありこれからの調査研究に待つものも多い。また、一部要因についてはいくつかの図表や計算式が提案されており、ケースバイケースでそれらが選択使用できなければならない。そのためプログラムの構成上も配慮し、メインプログラムを中心に各要因についてはそれぞれサブプログラムとし、容易に追加、修正が加えられるようにした。なおプログラムの作成にあたっては、Kurzeらのプログラム³⁾を参考に作成した。プログラムのブロックチャートは図1に示すとおりである。

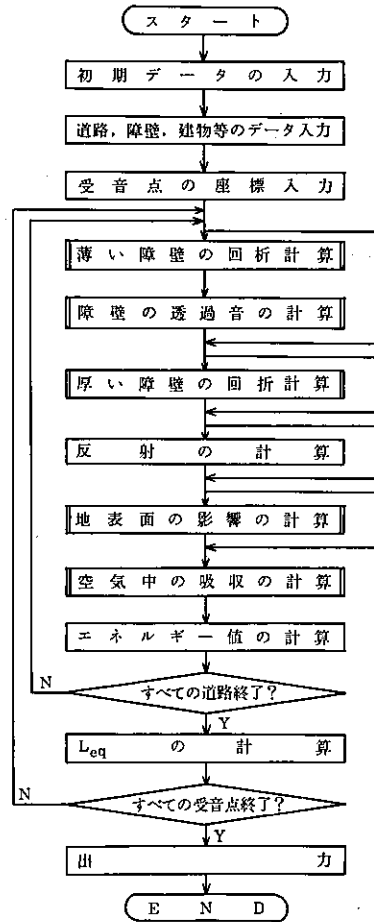


図1 プログラムのブロックチャート

3 音源と周波数特性

このプログラムでは各種の伝搬特性について1/1オクターブバンドごとに計算するため、音源のパワーレベルの周波数別データを必要とする。最近の騒音測定では、1/3オクターブ分析が多いが伝搬特性に関するデータでは十分に1/3オクターブデータがあるとは言えず、自動交通騒音の精度から考えても1/1オクターブバンドで十分と考えデータの整理使用を行った。なお、プログラムを1/3オクターブバンドによる計算に変更することは容易である。

(1) 周波数特性

一般に自動車交通騒音のスペクトルは一般道路際において測定すると、低い周波数から高い周波数へなだらかな右さがりの特性を示している。また高速道路な

どにおいては高速走行によるタイヤ騒音等の影響により、250～500 Hz あたりの中音域がやや上昇する。以上のことから厳密には車種別、速度別に周波数成分を設定計算する必要がある。しかし、現時点では十分な資料がないので、音響学会の研究報告⁵⁾にある一般道路における測定例をもとに図2の1/1オクターブバンド図を作成した。なお、小型車、大型車それぞれの車速60km/hにおけるパワーレベル L_{w1} 、 L_{w2} は音響学会式の値になるよう調整を行った。標準偏差 σ_1 、 σ_2 については橋らの測定⁶⁾よりそれぞれ1.63、3.5と各1/1オクターブバンドパワーレベルの標準偏差も同じ値と仮定した。

(時速60km/hのときの1/1オクターブバンド)

$$\begin{cases} \text{小型車 } L_{w1} = 99 \text{ dBA} & \sigma_1 = 1.63 \\ \text{大型車 } L_{w2} = 109 \text{ dBA} & \sigma_2 = 3.5 \end{cases} \dots(1)$$

(2) 速度とパワーレベル

定常走行においてパワーレベルは速度の関数として示されることが多い。音響学会式においてもパワーレベルは速度に比例するとし

$$L_{wvi} = L_{wi} + 0.2 (V - 60) \dots\dots(2)$$

L_{wvi} : 速度Vのパワーレベル

L_{wi} : 速度60km/hのパワーレベル

i : 小型車 (= 1), 大型車 (= 2)

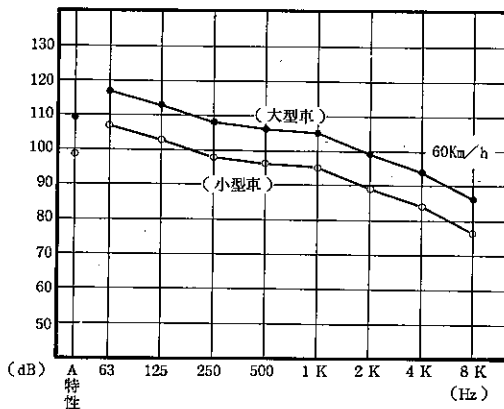


図2 予測に用いた自動車騒音のパワーレベル

で与えられている。しかしこのプログラムにおける伝搬計算では1/1オクターブ別に計算するためバンドパワーレベル別の関数が必要となる。ここでは(2)式と同じく、1/1オクターブバンドパワーレベル SPL_{w} が速度に比例するものと仮定した。

$$SPL_{wvi} = SPL_{wi} + 0.2 (V - 60) \dots\dots(3)$$

SPL_{wvi} : 速度Vの1/1オクターブバンドパワーレベル

SPL_{wi} : 速度60km/hのバンドパワーレベル

なお騒音レベル(dBA)の算出は1/1オクターブバンドレベルごとに伝搬による減衰を計算した後、オクターブ合成を行って求めた。

4 入力データの記述

騒音計算において使用するデータは座標情報として記述される。図3はこのプログラムで使用する座標データの概念を示しており、道路は複数のセグメントで構成され、それぞれ始点と終点の座標が3次元で示される。薄い障壁は始点と終点の高さを含め示される。厚い障壁は立方体として4つの頂点の座標で示し、樹木帯や草地帯は中心線と幅で表わされる。

5 Leq の算出

等価騒音レベル(Leq)は受音点における騒音レベル(dBA)の時間積分で求められ、

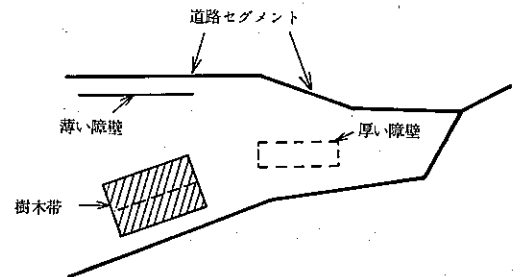


図3 入力データの概念

$$Leq = 10 \log \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L(t)/10} \cdot dt \right) \dots\dots (4)$$

$t_2 - t_1$: 測定時間

で与えられる。ここで $L(t)$ を自動車による騒音 $L_c(t)$ とそれ以外の暗騒音 L_B をエネルギー加算したものと考えると(4)式は、

$$Leq = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \left\{ 10^{L_c(t)/10} + 10^{L_B/10} \right\} dt \right] \\ = 10 \log (I_c + 10^{L_B/10}) \dots\dots (5)$$

となる。ここで I_c は基準音響エネルギーを剩すれば音の強さを表わすものであり、すべての音源(自動車)からの単位時間あたりエネルギーの平均値に比例するものである。

この I_c について考えるため道路上に単位長さの点音源 S を仮定する。自動車が定速 V で1時間あたり1台通過すると、単位長さあたりの車両密度 ko は、

$$ko = 1/V \cdot 1000 \dots\dots (6) \\ V : \text{速度 (Km/h)}$$

となる。さらに自動車1台からの1/1オクターブバンドパワーレベルを $SPLw$ とすると単位長さあたりのパワーは $ko \cdot 10^{SPLw/10}$ となる。

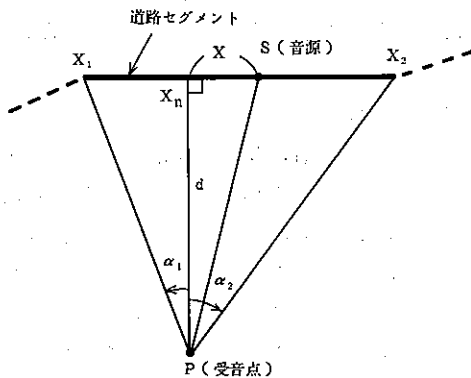


図4 音源と受音点の関係

ここで図4のごとく道路セグメントから d はなれた

受音点 P における単位長さからのバンド別パワー I_0 を考える。半球面を仮定すると、

$$I_0 = \frac{ko \cdot 10^{SPLw/10}}{2\pi (X^2 + d^2)} \dots\dots (7)$$

X : 音源と受音点の距離

となる。この I_0 の X_1 から X_2 まで積分値は基準音響エネルギーを剩すれば受音点の1つの道路セグメントからのバンド別エネルギー平均値となる。この積分値を I とおくと

$$I = \int_{X_1}^{X_2} I_0 \cdot dx \dots\dots (8)$$

X_1, X_2 : 道路セグメントの始点と終点

となる。ここで(7)式を代入すると、

$$I = \frac{10^{SPLw/10}}{2\pi} \int_{X_1}^{X_2} \frac{ko}{(X^2 + d^2)} dx \\ = \frac{10^{SPLw/10}}{2\pi} \cdot \frac{ko}{d} \left\{ \tan^{-1} \frac{X_2}{d} - \tan^{-1} \frac{X_1}{d} \right\} \\ = 10 \frac{SPLw/10}{2\pi} \cdot ko \cdot \frac{\Delta\alpha}{d} \dots\dots (9)$$

$\Delta\alpha$: 見込み角 ($\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$)

$$\text{ただし} \begin{cases} \alpha_1 = \tan^{-1} \frac{X_1}{d} \\ \alpha_2 = \tan^{-1} \frac{X_2}{d} \end{cases}$$

となる。 $\Delta\alpha$ は図4のごとく受音点における道路セグメントの始点と終点の見込み角である。

(9)式により1台の自動車によるバンド別の I は算出されたが、これを1時間あたり自動車が T 台通過するとして I を変形すると、

$$I = \frac{\Delta\alpha}{2\pi d} \sum_{t=1}^T kt \cdot 10^{SPLwt/10} \dots\dots (10)$$

となる。 $kt, SPLwt$ はそれぞれ t 番目の自動車における車両密度、1/1オクターブバンドパワーレベルを表わしているが、この積算を行うのは实际的でない。実測においては自動車騒音は車種区分等によりいくつかのグループに区分されて測られており、ここでも次のように変形する。

T 台の自動車は、1つ1つが平均値 $SPLws$ 、標準偏差 σws の正規分布のバンドパワーレベルをもつ S 個の

グループよりなり、その車両密度は k_s であるとする
と、

$$\sum_{t=1}^T k_t \cdot 10^{\text{SPLwt}/10} \div \sum_{s=1}^S \frac{k_s}{\sigma_{ws} \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{L - \text{SPLws}}{\sigma_{ws}} \right)^2 \right\} \cdot 10^{L/10} \cdot dL \quad \dots\dots (1)$$

となる。よって

$$I = \frac{\Delta \alpha}{2\pi d} \sum_{s=1}^S k_s \cdot 10^{\text{SPLws}/10} \cdot \exp \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_{ws}}{4.35} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots (2)$$

この(2)式の I に対して伝搬に伴う効果を考慮しその効果 A を剩じたものを I' とおくとすれば、

$$I' = I \cdot A \quad \dots\dots (3)$$

ただし $A = 10^{-\Sigma[\text{Att}]/10}$

$\Sigma[\text{Att}]$: 伝搬に伴う減衰効果の合計

この(3)式の I' をすべての道路セグメントについて加算した I_{all} は

$$I_{\text{all}} = \sum_{i=1}^N \left\{ A_i \cdot \frac{\Delta \alpha_i}{2\pi d_i} \sum_{s=1}^S k_{si} \cdot 10^{\text{SPLwsi}/10} \cdot \exp \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_{wsi}}{4.35} \right)^2 \right\} \right\} \quad \dots\dots (4)$$

N : 道路セグメントの数

となる。この1/1オクターブバンド別の I_{all} に対し A 特性補正を加え積算をしたものが(5)式の I_c となる。すなわち、8つの1/1オクターブバンドについて合算すれば、

$$I_c = \sum_{j=1}^8 \{ a_j \cdot I_{\text{all}j} \} \quad \dots\dots (5)$$

a_j : A 特性の補正係数

となり、これにより(5)式により L_{eq} を算出した。

6 反射による減衰

一般に反射の計算は音源もしくは受音点を反射面に対して対称な位置に転置して求められる。このプログラムでは計算の簡素化から受音点 p から虚受音点 p'

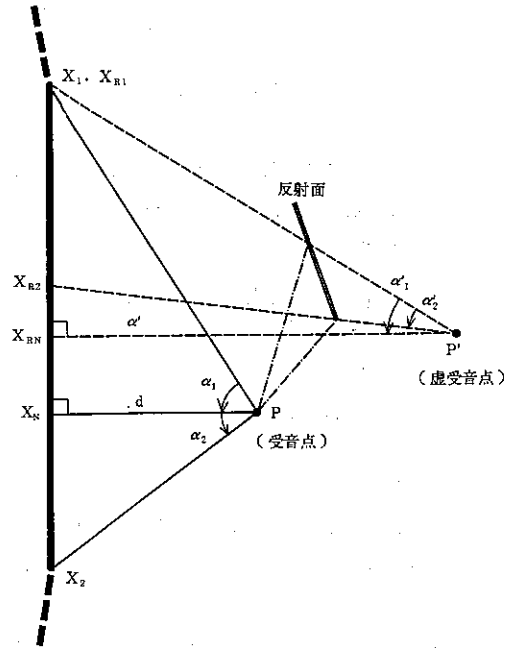


図5 反射による影響の計算方法

を求めて反射の計算を行った。図5にその関係を示す。 X_{R1} , X_{R2} は反射面を通過して見込まれる道路セグメントの始点、終点であり、その見込み角が α_1' , α_2' である。また α' は道路セグメントまでの距離であり、これらの数値を使用し前述した手法により p' におけるレベルを計算し(3)式により合算した。なお近年、市街地のなかでの多重反射が問題となっており、いくつかの計算例も発表されているが、計算回数が増大するため本報告では一次反射のみをプログラム化した。

7 回折による影響

障害物による回折の影響の算出法については、略算図表を用いて計算する方法から厳密解を求める方法まで、いろいろ提案されている。⁷⁾ これらは通常、① 薄い障壁、② 厚さのある障壁、③ その他特別な障壁に区分される。このプログラムではそのうち薄い障壁と厚さのある障壁について計算することとした。

(1) 薄い障壁

波長に比べて十分薄い障壁の場合は厚さのないナイフエッジと考えられ、前川の実験により半平面障壁による減衰値の図表として図6で示されている。⁴⁾ これは図7のごとく障壁を越える経路 $A+B$ と音源と受音

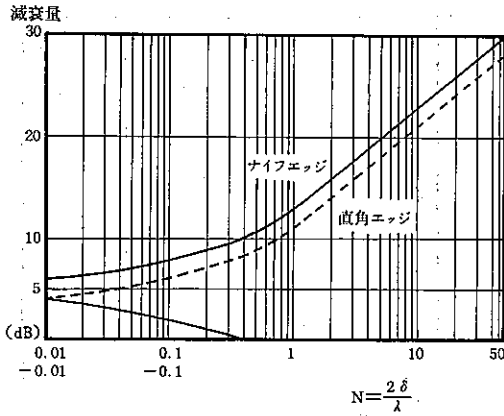


図6 薄い障壁による回折減衰量

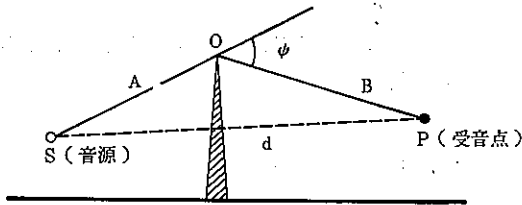


図7 ナイフエッジ(薄い障壁)

点の直線距離dの差、すなわち障壁の有無による伝搬経路差δにより計算される。図中Nは次のように計算される。

$$N = \frac{\delta}{\lambda/2} = \frac{2\delta}{\lambda} \quad \dots\dots (16)$$

λ: 波長 (λ = f/c)

ここでδは受信点から音源が見とおせなければ正、見とおせれば負の値をとる。また、回折角φについてφ ≤ 90°を前提としている。図6で破線で示されているのは、図8の直角エッジの場合の実験値であり、薄い障壁に比べて2dB値が小さくなっている。

この図表を関数近似すれば回折減衰 [Att]_B は次のようになる。

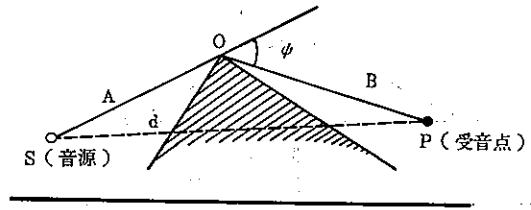


図8 直角エッジ

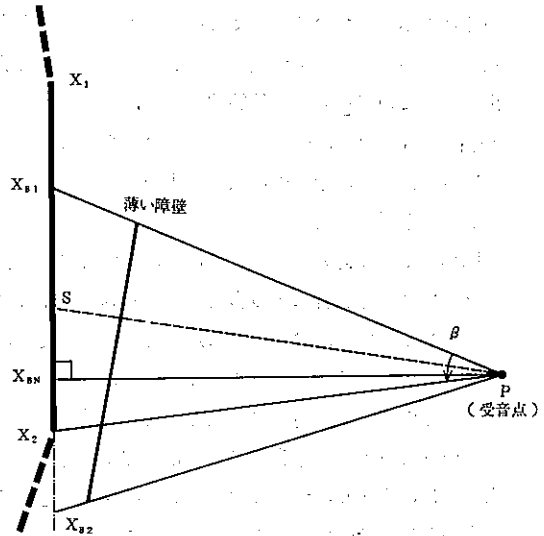


図9 薄い障壁による回折減衰の計算方法

$$[Att]_B = \begin{cases} 0 & N \leq -0.2 \\ 5 - 20 \log \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{\tanh \sqrt{2\pi|N|}} & -0.2 < N \leq 0 \\ 5 + 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} & 0 < N \end{cases} \quad \dots\dots (17)$$

ただし [Att]_B > 25 のときは [Att]_B = 25

図6でNが大きくなると減衰量は増加を続けるが実務上は上限を設けることが多く、(17)式においても最大減衰量を25dBとした。

具体的な計算手法は図9に示すとおりである。受信点pから障壁を見込んだ道路セグメント上の始点、終点をX_{B1}、X_{B2}とする。この2点と道路セグメントの始点、終点X₁、X₂により減衰を計算する範囲が求められる。図9においてはX_{B1}、X₂がそれであり

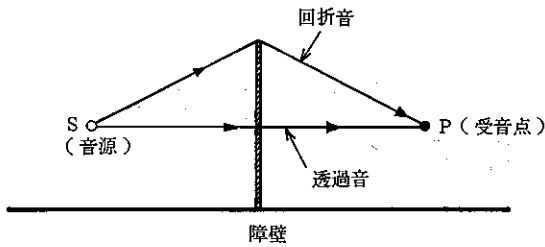


図10 透過音の影響

角度 β で示されている。次にこのプログラムでは受音点Pと道路セグメントの最短距離を示す点 X_{BN} を算出する。この X_{BN} と計算範囲の両端、図9で言えば X_{B1} , X_{B2} の3点の間では減衰量がなだらかに変化していると仮定し、全体の減衰量を求めた。

(2) 透過音の影響

図10のごとく薄い障壁による影響は、回折による減衰だけでなく透過音による影響が考えられる。十分な厚さがある障壁を除けば一般に透過音は無視できず、受音点Pにおける音圧レベルは回折音と透過音の加算されたものである。道路に設置された防音壁などの実測データをみても透過音を無視できる程に透過損失が大きい例は少なく、予測においてもその点を考慮する必要がある。そのためこのプログラムでは薄い障壁の回折計算のなかで必要に透過音を加算できるようにした。

音源Sのパワーレベルを L_w とし、薄い障壁による回折減衰を $[Att]_B$ とすると受音点の回折音による音圧レベル L_1 、透過音による音圧レベル L_2 は半球面を仮定して次のように表わせる。

$$\left. \begin{aligned} L_1 &= L_w - 8 - 20 \log d - [Att]_B \\ L_2 &= L_w - 8 - 20 \log d - R \end{aligned} \right\} \dots\dots (18)$$

d : 音源と受音点の距離
 R : 障壁の透過損失

この L_1 , L_2 を加算したものが受音点Pにおける音圧レベル L となるので、

$$L = L_w - 8 - 20 \log d + 10 \log \left(10^{-[Att]_B/10} + 10^{-R/10} \right) \dots\dots (19)$$

ただし R は $8 > 0$ のときだけ意味をもつ。

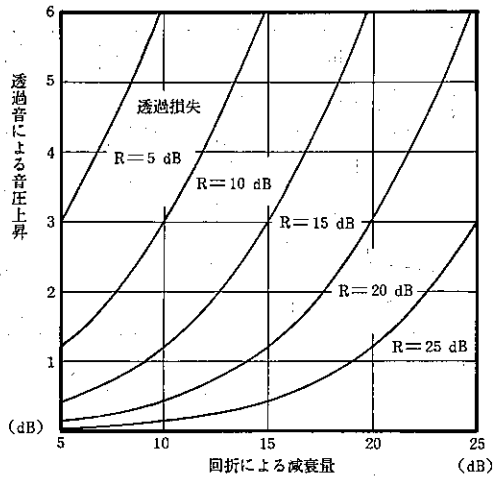


図11 透過音による音圧上昇

となる。なおここで透過音による音圧上昇 ΔL_B を計算すると⁴⁾,

$$\Delta L_B = L - L_1 = 10 \log \left\{ 10^{([Att]_B - R)/10} + 1 \right\} \dots\dots (20)$$

となりこれを図示すると図11となる。この図で明らかにように受音点が障壁に近く回折減衰が大きい場合は透過音の効果は大きく、このプログラムでは障壁ごとに1/1オクターブバンドレベルの透過損失を入力することとした。

(3) 厚さのある障壁

厚さのある障害物、たとえば建物や厚い壁などによる回折については薄い障壁と別の計算方法をとらなければならない。これについては薄い障壁を仮定する方法や藤原の薄い半平面障壁に厚さ効果を加える方法⁴⁾、Kurzeの2つの直角エッジによる回折を加算する方法⁴⁾などがある。このプログラムでは以上のうち薄い障壁を仮定する方法とKurzeの方法についてサブプログラム化した。

前者の方法は図12のごとく音源Sとエッジ Z_1 を結ぶ線、受音点Pとエッジ Z_2 を結ぶ線、この2線の交点Oに薄い障壁を考える。これにより(1)で述べた方法

で厚さのある障壁の減衰量 $[Att]_w$ を算出した。図13はその具体的な計算手法であり受信点 p に B で示したのが計算の範囲である。 X_{w1} , X_{w2} , X_{WN} はそれぞれ図9における X_{B1} , X_{B2} , X_{BN} に対応している。ただし、障壁の高さについては S , P と頂点 Z_1 , Z_2 の座標から計算する。

後者の Kurze の方法は図14に示すとおり厚さ w の障

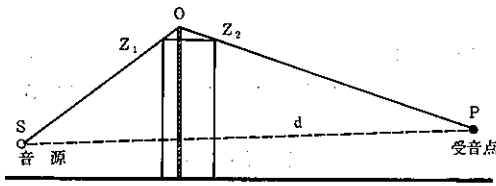


図12 厚さのある障壁
(薄い障壁を仮定する方法)

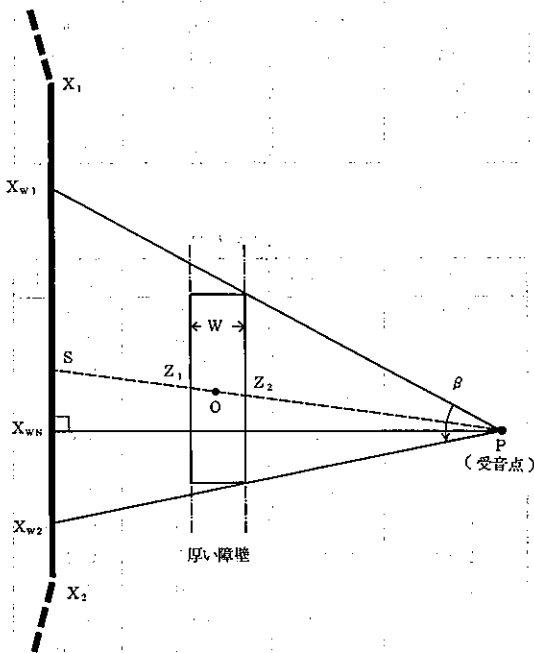


図13 厚さのある障壁の回折減衰を薄い障壁を仮定して計算する方法

壁があるとき頂点 Z_1 , Z_2 で2度回折があると考え、それぞれの減衰量を加えて全体の減衰量を求める。この減衰量 $[Att]_w$ は、

$$[Att]_w = [Z_1] + [Z_2] - 5 + 20 \log(1/d) \dots (20)$$

$[Z_1]$: 頂点 Z_1 における回折量

$[Z_2]$: 頂点 Z_2 における回折量

l : SZ_1Z_2P の経路長

d : 音源と受信点の距離

で与えられる。ここで $[Z_1]$, $[Z_2]$ はそれぞれ図14に示す $S \rightarrow Z_1 \rightarrow P'$, $S' \rightarrow Z_2 \rightarrow P$ の経路で計算した薄い障壁の減衰量である。 -5 は Z_1 , Z_2 が直角エッジであることによる減衰量の修正項である。図6に破線で直角エッジ減衰量を示しており薄い障壁に比べて 2dB 低くなっており、2点の直角エッジでは 4dB の低下となるが、このプログラムでは Kurze の式により 5dB の低下としてプログラム化した。なお $20 \log(1/d)$ は距離減衰計算の補正項である。

この計算の具体的な手法は図15に示してあり、(1)の薄い障壁と同様に計算範囲の両端と最短点 X_{WN} における減衰量を計算、それにより全体の減衰量を推定した。

8 過剰減衰

このプログラムでは過剰減衰のうち、① 空気中の吸収による減衰、② 地表面の状態による影響についてサブプログラムを作成した。その他の要因についても有効なデータが蓄積されれば逐時組み入れられる。

(1) 空気吸収による減衰

空気中の吸収による減衰については、C.M. Harris の研究以後、いろいろな算出方法が提案されてきた。

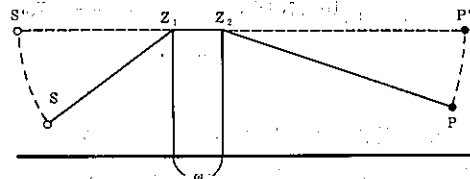


図14 厚さのある障壁
(2つの直角エッジを仮定する方法)

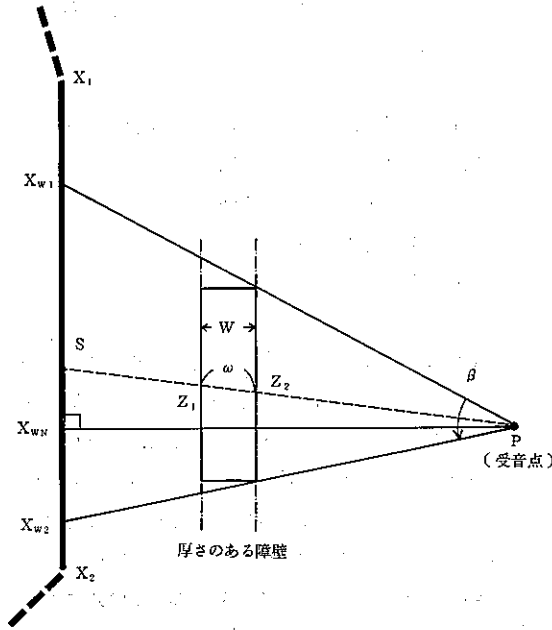


図15 厚さのある障壁の回折減衰を2つの直角エッジを仮定して計算する方法

今日、一般には空気中の吸収について、① 熱伝導及び粘性による古典吸収 (classical absorption), ② 酸素分子と窒素分子の回転による弛緩現象 (relaxation) による吸収, ③ 酸素分子の振動による弛緩現象による吸収, ④ 窒素分子の振動による弛緩現象による吸収, の4項により説明されている。これら4項目の特性により計算する方法も提案されているが今回はISO/DIS 3891 (Acoustic -Procedure for describing aircraft noise heard on the ground) により計算することとした。ここでは次式により100 mあたりの減衰量 α が規定されている。

$$\alpha = 10^{2.05 \log(f_0/1000) + 1.1394 \cdot 10^{-3} \cdot \theta - 1.1916984 + \gamma(\delta) \cdot 10^{\log(f_0) + 8.42994 \cdot 10^{-3} \cdot \theta - 2.755624}} \dots \text{②}$$

ここで f_0 は算出しようとする1/3オクターブバンドの中心周波数により表2で与えられる。また, $\gamma(\delta)$ は表3で与えられ δ は次式により計算する。

$$\delta = \sqrt{\frac{1010}{f_0}} \cdot 10^{\log RH + g(\theta)}$$

$$g(\theta) = 1.328924 + 3.179768 \times 10^{-2} \cdot \theta - 2.173716 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^2 + 1.7496 \times 10^{-6} \cdot \theta^3 \dots \text{②}$$

θ : 温度 (°C)

RH : 湿度 (%)

実際の計算においては②式により δ を求め、その値により表3から前後値 δ_1, δ_2 を求め比例配分により γ を算出した。ただし、

$$\delta \leq 0 \text{ のとき } \gamma(\delta) = 0$$

$$\delta \geq 6.50 \text{ のとき } \gamma(\delta) = 0.200 \text{ である。}$$

なおISO/DIS 3891では温度、湿度により1/3オクターブバンドごとに空気中の吸収が規定されている。

表2 f_0 の値

中心周波数	f_0	中心周波数	f_0
50	50	800	800
63	63	1000	1000
80	80	1250	1250
100	100	1600	1600
125	125	2000	2000
160	160	2500	2500
200	200	3150	3150
250	250	4000	4000
315	315	5000	4500
400	400	6300	5600
500	500	8000	7100
630	630	10000	9000

(Hz)

(Hz)

表3 $\gamma(\delta)$ の値

δ	$\gamma(\delta)$	δ	$\gamma(\delta)$
0.00	0.000	2.50	0.450
0.25	0.315	2.80	0.400
0.50	0.700	3.00	0.370
0.60	0.840	3.30	0.330
0.70	0.930	3.60	0.300
0.80	0.975	4.15	0.260
0.90	0.996	4.45	0.245
1.00	1.000	4.80	0.230
1.10	0.970	5.25	0.220
1.20	0.900	5.70	0.210
1.30	0.840	6.05	0.205
1.50	0.750	6.50	0.200
1.70	0.670	7.00	0.200
2.00	0.570	10.00	0.200
2.30	0.495		

今回のプログラムではすべてのデータを1/1オクターブバンドレベルで取り扱っているため、1/3オクターブバンドレベルで計算したものを合成して使用することとした。いまある1/1オクターブバンドの空気吸収のないレベルをLとおき、これに対応する3つの1/3オクターブバンドは等しい音の強さを持ち、それぞれの空気吸収量を $\Delta L_1, \Delta L_2, \Delta L_3$ とし、空気吸収を考えたレベルを $L' = 10 \log(I)$ とおくと、

$$I = \frac{\frac{1}{3} \cdot 10^{L/10}}{10^{\Delta L_1/10}} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 10^{L/10}}{10^{\Delta L_2/10}} + \frac{\frac{1}{3} \cdot 10^{L/10}}{10^{\Delta L_3/10}}$$

$$= 10^{L/10} \left(\frac{1}{3 \cdot 10^{\Delta L_1/10}} + \frac{1}{3 \cdot 10^{\Delta L_2/10}} + \frac{1}{3 \cdot 10^{\Delta L_3/10}} \right) \dots\dots (23)$$

となる。②式のカッコのなかをIaとおくと空気中の吸収による減衰量[Att]_aは、

$$[Att]_a = -10 \log(Ia) \cdot d / 100 \dots\dots (24)$$

となる。これを温度、湿度により図示したのが図16であり、高周波域ではかなりの減衰量になっていることが分かる。

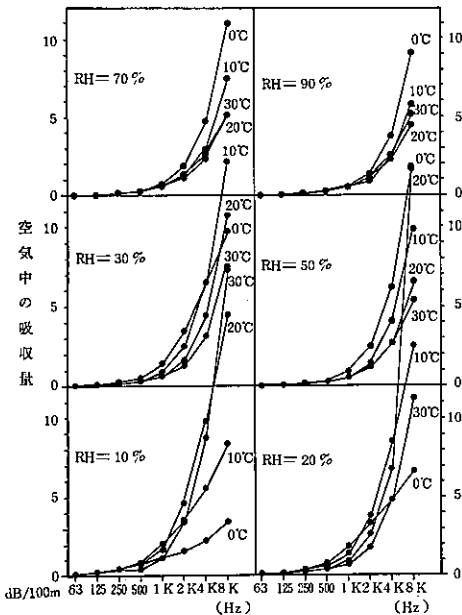


図16 100 mあたりの空気中の吸収量

(2) 地表面による影響

障壁や建物のほか地表面の樹木や草地により種々の減衰効果が生じる。樹木による減衰は葉などによる吸収、散乱が主な原因と言われ、単位体積あたりの葉の表面積、樹木帯の奥行き、周波数の平方根に比例するとの報告もあるが、統一的な実験図表が示されるまでにはいたっていない。

ここで反射率をRとおくと吸収率 α との関係は、

$$R = 1 - \alpha \dots\dots (25)$$

となる。このプログラムでは前述のごとく半球面を考えて距離減衰を計算しており、 $R=1, \alpha=0$ を仮定している。しかし、地表面は吸音性があり $\alpha \neq 0$ の場合が多い。特に田畑、低木、草地においては草木や土質による吸音の影響が考えられる。都市内における自動車交通騒音の場合は比較的この点を考慮しなくてもよいことが多いが、このプログラムでは一応Kurzeらの式³⁾により前述の樹木と低木・草地について計算可能なようにサブプログラムを作成した。

まず樹木帯の場合は、

$$[Att]_T = 0.01 \cdot f^{1/3} \cdot r \dots\dots (26)$$

ただし $[Att]_T > 30$ のときは、 $[Att]_T = 30$ とする。

f : 周波数
r : 奥行き

つぎに低木・草地の場合であるが

$$[Att]_G = \{ 0.18 \log(f) - 0.31 \} \cdot r \dots\dots (27)$$

ただし $[Att]_G > 30$ のときは、 $[Att]_G = 30$ とする。

なお②式も②7式も奥行きrは次のように定義する。

$$r = \frac{\pi/2}{1/a + 1/b} \dots\dots (28)$$

a : 樹木帯等の幅
b : 樹木帯等の中央線の距離

図17は50 mあたりの $[Att]_T, [Att]_G$ を示す。

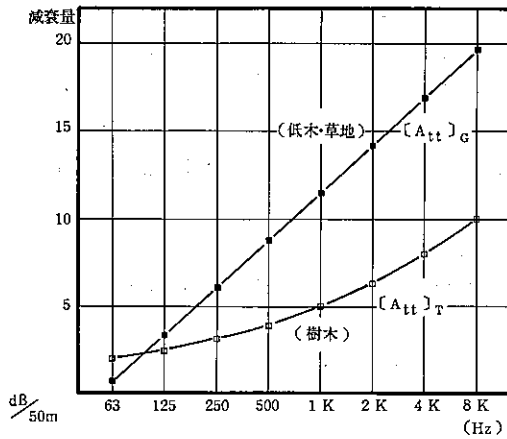


図17 50 mあたりの樹木と低木・草地の減衰量

9 おわりに

本報告により自動車交通騒音を Leq で予測するためのプログラムの概略を報告した。これにより、自動車の音響パワーが道路上に一様分布し、それが一定の平均値と分散を持つ正規分布と仮定することにより見込み角で積分する簡単なプログラムになることを示した。また各種の減衰要因についてはそれぞれ資料にもとづきサブプログラム化し、必要により選択し使用できる

ように作成した。著者は引き続きプログラムの各要素、入力データ等について実測を含め検討を行っており、これらについては次報以降報告したい。

参考文献

- 1) 日本音響学会・建築音響研究会資料：新しい騒音の測定方法をめぐって、(1980)。
- 2) 末岡伸一：自動車交通騒音予測の検討，東京都公害研究所年報，(1981および1982)。
- 3) Kurze, U. J. 他：User's Manual for the Prediction of Road Traffic Noise Computer Program, Department of Transportation Office of the Secretary, (1972)。
- 4) 日本音響材料協会編：騒音・振動対策ハンドブック，技報堂，(1982)。
- 5) 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，(1975)。
- 6) 橋秀樹他：トンネル内の残響音場を利用した自動車の定常走行音パワーレベルの測定，日本音響学会講演論文集，637，(1978)。
- 7) 藤原恭司：堀による音波減衰，日本音響学会誌，34，724，(1978)。