

付属資料

(沿道の建物群背後における道路交通騒音の予測・評価に関する文献)

- 付1. 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 高木興一: 幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法, 騒音制御, Vol.23, No.3, pp.189-199 (1999)
- 付2. 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 高木興一: 道路に直面した単独建物および建物列後方における等価騒音レベルの簡易計算方法, 騒音制御, Vol.23, No.6, pp.430-440 (1999)
- 付3. 上坂克巳, 大西博文, 千葉隆, 高木興一: 道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの計算方法, 騒音制御, Vol.23, No.6, pp.441-451 (1999)
- 付4. 上坂克巳, 木村健治, 大西博文, 千葉隆, 高木興一: 平面道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの簡易計算方法, 騒音制御, Vol.25, No.4, pp.233-242 (2001)

幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法*

上坂 克巳*¹・大西 博文*¹・三宅 龍雄*²・高木 興一*³

(1998年12月16日受付, 1999年1月14日受理)

【要 旨】

騒音に係る環境基準改定により評価指標が L_{50} から L_{Aeq} に改められ、道路に面する地域の基準値は幹線道路近接空間とその背後地に分類されたため、沿道建物後方での道路交通騒音 (L_{Aeq}) 計算の必要性が高まっている。本論文では、直方体形状の単独建物が幹線道路に面する場合に、前川チャートを用い、その後方空間の全ての受音点位置において、相反の定理及び計算値の連続性を保ちつつ、騒音レベルを簡便に計算する方法を提案した。これらの方法は、建物の上方及び側方を伝搬する音の寄与を音の回折及び反射を考慮して計算し、それらを合成するものであり、その妥当性を波動音響理論による計算値と模型実験値との比較により明らかにした。

【ABSTRACT】

The revised environmental quality standards for noise have adopted L_{Aeq} as an evaluation index in place of L_{50} which has been used for a long time. The new standards divide the 'areas facing roads' into the ones adjacent to arterial roads and the others, and give different target values to each of them. Therefore calculating L_{Aeq} of road traffic noise at the positions behind a building becomes increasingly important. This paper presents simple methods for calculating sound pressure level at all the receivers behind a building of rectangular cross-section directly facing the arterial road. The methods which apply the Maekawa's chart to calculation of sound attenuation by a virtual thin barrier take account of both sound diffraction and reflection, meet the reciprocity and secure the continuity of calculated values in all the combinations of positions of sound sources and receivers. The sound pressure levels at the receivers are calculated by summing the contributions from the paths propagating over the top and the sides of the building. The validity of the methods presented here is verified by comparing the values by the methods with those calculated on a basis of wave acoustics and with those measured through model experiments.

キーワード: 沿道建物, 音の回折と反射, 模型実験, 騒音に係る環境基準, 道路交通騒音

: Roadside Building, Sound Diffraction and Reflection, Model Experiment, Environmental Quality Standards for Noise, Road Traffic Noise

1. はじめに

平成10年9月30日に、等価騒音レベル(以下、「 L_{Aeq} 」という)を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」¹⁾が環境庁より告示された。同基準では、道路に面する地域を、幹線道路に近接する空間(以下、「近接空間」という)とその背後地(以下、「後方空間」という)とに区分し、異なる基準値を与えている。

したがって、今後の環境アセスメント等における

* Calculation Methods for Sound Pressure Level behind a Building Facing an Arterial Road

¹ Katsumi Uesaka and Hirofumi Ohnishi: Public Works Research Institute, Ministry of Construction (建設省土木研究所)

² Tatsuo Miyake: Sogo Engineering Inc. ((株)総合技術コンサルタント)

³ Koichi Takagi: Department of Environmental Engineering, Kyoto University (京都大学)

道路交通騒音の予測では、評価量が騒音レベルの中央値 L_{50} から L_{Aeq} に変更となることはもとより、予測地点についても従来のように官民境界上（多くの場合、道路端）とするだけではなく、近接空間（本論文では、幹線道路から1列目の建物が立地している空間とみなす。図-1 (c) 参照）の後方も重要な予測地点となりうる。

建物後方の騒音レベルを精度よく求めるためには、点音源に対する単独建物による減音効果を求めることが基本となるが、これに関する研究としては、Kurra²⁾、足立ら³⁾の文献がある。これらの文献では、直方体の形状を有する建物背後の騒音レベルを、建物の上方及び側方を伝搬する音の寄与を合成して求める方法を提案している。Kurra²⁾は、薄い半無限障壁による減音量の計算にKurzeの方法⁴⁾を、厚みのある障壁における厚み部分の効果の計算に藤原ら⁵⁾及び前川の方法⁶⁾を用いている。一方、足立ら³⁾は、半無限障壁による減音量の計算には前川の実験チャートを、厚みのある障壁による減音量の計算にはKurzeの方法⁷⁾を利用している。

しかし、上記の2つの方法は、建物による遮蔽（回折）効果の計算を主な目的にしているため、図-1で示すように、受音点Pが建物背後にある（建物

の側壁面を延長した2つの平面に挟まれる）場合しか想定していない。また、音源Sの位置は、Kurraの方法でもPから見た建物の陰となる領域に限定されており、両方法では、建物背後の受音点でさえ、対象道路（図-1で音源ラインにあたる）から発生する道路交通騒音を L_{Aeq} として評価する場合に必要なユニットパターンの計算⁸⁾が完全にはできない。なお、これらの音源位置、受音点位置の制約は、両方法が厚みのある障壁による減音効果の計算に用いている藤原ら⁵⁾・前川の方法⁶⁾あるいはKurzeの方法⁷⁾が、PからSを見通せる場合などを計算対象としていないことによる。

そこで、本論文では、直方体形状の単独建物が道路に面して立地している場合を対象に、道路上のあらゆる位置の音源（走行車両）に対して、後方空間に位置するあらゆる受音点での騒音レベルを、相反の定理及び計算値の連続性を保ちつつ、簡便に求める方法の構築を行う。ただし、基本的には、建物の道路側の壁面が、十分長い直線道路に平行な場合を対象とする。

また、騒音レベルの計算にあたっては、建物の表面を完全反射とみなし、文献2)、3)同様、建物の上方及び側方を伝搬する音の寄与を合成することとするが、その際、建物による遮蔽（回折）効果だけでなく、建物壁面における反射音の影響も併せて考慮する。なお、騒音レベルの計算に基本となる半無限障壁による減音量の計算には前川の実験チャート⁹⁾を、反射性厚み障壁（全ての面が完全反射の厚みのある障壁）による減音量の計算には、筆者らが提案している方法¹⁰⁾を拡張して用いることとする。

以下、まず、2. では、筆者らが提案する反射性厚み障壁による減音量の計算方法を拡張し、建物と同程度の厚みを有する場合を対象に、その計算値と波動音響理論（以下、「波動理論」という）計算値との比較を行う。次に、3. では、反射性厚み障壁を完全反射の地面上に設置した場合に、地面反射の影響を考慮した計算方法を、模型実験により検証する。さらに、4. では単独建物の後方空間での騒音レベルの計算方法を提案し、模型実験により検証する。最後に、5. では、 L_{Aeq} の計算における地面反射音の取り扱い等について考察する。

2. 反射性厚み障壁による減音量の計算方法

単独建物後方の騒音レベルを精度よく計算するには、音源から建物の上方及び左右の側方を伝搬して受音点に至る各々の音の寄与を、正確に求めること

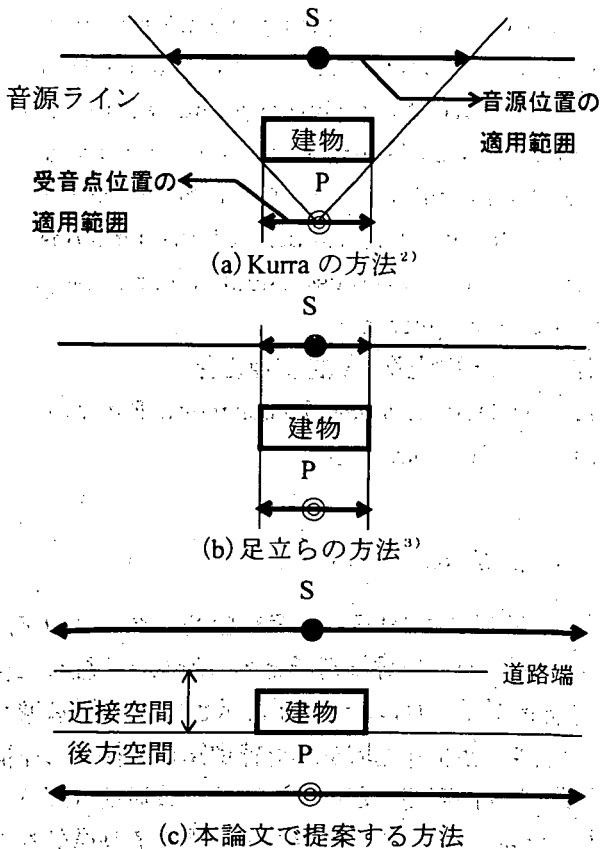


図-1 従来の方法と本論文で提案する方法の音源、受音点位置の適用範囲の差異

が基本となる。

ここでは、それらの音の寄与を筆者らが提案する反射性厚み障壁による減音量の計算式¹⁰⁾を用いて求めることとした。ただし、文献10)では、音源位置が反射性厚み障壁の上端より低い場合(1)式の③、④の条件にあたる)における減音量の計算方法しか示されておらず、この方法を用いて建物側方の伝搬音を計算する場合、音源、受音点とも建物の側壁面に対面する位置にある時は計算ができない。したがって、まず、文献10)の方法を、音源が障壁の上端より高い位置にある場合にまで拡張し、音源が障壁の上端より低い位置にある場合と併せて、一般化して定式化する。なお、定式化にあたっては、相反の定理を満足させ、計算値の連続性を確保するように配慮した。

また、文献10)では、障壁の厚みが建物ほど広い場合については計算方法の検証が行われていないため、厚みが建物の間口、奥行きと同程度の場合を対象に、拡張した計算式の妥当性を波動理論計算値との比較により明らかにする。

2.1 計算方法

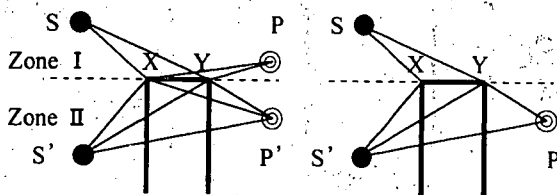
反射性厚み障壁 (Reflective Wide Barrier) による減音量 $\Delta L(RW)_{SXP}$ の計算式を、以下のとおり定式化する (図-2 参照)。

- ① 音源 S, 受音点 P とも Zone I にある場合

$\Delta L_{SXP} \leq \Delta L_{SYP}$ の時

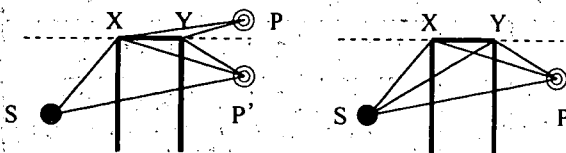
すなわち $\delta_{SXY} < 0 \wedge \delta_{XYP} < 0 \wedge \delta_{SXP} \leq \delta_{SYP}$ の時

$$\Delta L(RW)_{SXP} = -10 \log_{10} \{ 10^{-\Delta L_{SYP}/10} + (r/r')^2 (10^{-\Delta L_{S'YP}/10} - 10^{-\Delta L_{S'XP}/10}) \}$$



① 音源 S, 受音点 P とも Zone I の場合

② S が Zone I, P が Zone II の場合



③ S が Zone II, P が Zone I の場合

④ S, P とも Zone II の場合

図-2 反射性厚み障壁による減音量計算のための模式図

$\Delta L_{SXP} > \Delta L_{SYP}$ の時

すなわち $\delta_{SXY} < 0 \wedge \delta_{XYP} < 0 \wedge \delta_{SXP} > \delta_{SYP}$ の時

$$\Delta L(RW)_{SXP} = -10 \log_{10} \{ 10^{-\Delta L_{SXP}/10} + (r/r')^2 (10^{-\Delta L_{SXP}/10} - 10^{-\Delta L_{SYP}/10}) \}$$

- ② S が Zone I, P が Zone II にある場合

すなわち $\delta_{SXY} < 0 \wedge \delta_{XYP} \geq 0$ の時

$$\Delta L(RW)_{SXP} = -10 \log_{10} \{ 10^{-\Delta L_{SYP}/10} + (r/r')^2 (10^{-\Delta L_{S'YP}/10} - 10^{-\Delta L(RW)_{S'XP}/10}) \}$$

- ③ S が Zone II, P が Zone I にある場合

すなわち $\delta_{SXY} \geq 0 \wedge \delta_{XYP} < 0$ の時

$$\Delta L(RW)_{SXP} = -10 \log_{10} \{ 10^{-\Delta L_{SXP}/10} + (r/r')^2 (10^{-\Delta L_{SXP}/10} - 10^{-\Delta L(RW)_{SXP}/10}) \}$$

- ④ S, P とも Zone II にある場合

$\Delta L_{SXP} \leq \Delta L_{SYP}$ の時

すなわち $\delta_{SXY} \geq 0 \wedge \delta_{XYP} \geq 0 \wedge \delta_{SXP} \leq \delta_{SYP}$ の時

$$\Delta L(RW)_{SXP} = \Delta L_{SYP} + \Delta L_{SXY} - 5$$

$\Delta L_{SXP} > \Delta L_{SYP}$ の時

すなわち $\delta_{SXY} \geq 0 \wedge \delta_{XYP} \geq 0 \wedge \delta_{SXP} > \delta_{SYP}$ の時

$$\Delta L(RW)_{SXP} = \Delta L_{SXP} + \Delta L_{XYP} - 5 \quad (1)$$

ここで、一般に ΔL_{ABC} , δ_{ABC} と書く値は、各々、音源が A, 受音点が C の場合に、上端を B とする半無限障壁による減音量 (前川の実験チャート⁹⁾により求める) 及び回折行路差 (A から C を見通せる場合は負の値とする) を表し、 $\Psi \wedge \Omega$ (Ψ , Ω は条件式を表す) と書く表現は Ψ , Ω 両方の条件を満たすことを示す。また、 r は音源 S と受音点 P の間の直線距離、 r' は S, P' 間または S', P 間の直線距離を表す。また、S', P' は、各々、直線 XY に対して、S, P と対称の位置にある点である。また、減音量 $\Delta L(RW)_{SXP}$ が負の値を示す時は、反射音の影響が回折による減音効果を上回り、障壁がない場合に比べ音圧レベルが増加していることを示す。

(1) 式の条件③、④の場合の式の導出過程は、文献10)で示されており、条件②の場合の式は相反の定理に基づき、条件③の場合の考え方を拡張したものである。したがって、ここでは、条件①の場合の式の導出過程について示すこととする。

条件①での計算にあたっては、負の行路差を有する回折効果による回折音の寄与 C_1 (エネルギー量) と障壁上面での反射音の寄与 C_2 を考慮している。ここで、 C_1 は、音源側または受音点側の半無限障壁を回折する音の寄与で近似することとし、回折減音量 ΔL_{SXP} と ΔL_{SYP} のうち、大きい方を採用し

た。これは、条件①と条件②③との境界での計算値の連続性にも配慮している。一方、 C_2 の計算にあたっては、スリット法¹¹⁾を用いることとし、その適用条件も文献11)に示されたものを用いた。

今、 $\Delta L_{SXP} > \Delta L_{SYP}$ の時を考える。障壁が存在しない場合のPでの音の寄与をC、P'での音の寄与をC'とすると、

$$\begin{aligned} \Delta L(RW)_{SXP} &= -10 \log_{10} \{ (C_1 + C_2) / C \} \\ &= -10 \log_{10} \{ C_1 / C + (C' / C) \\ &\quad \times (C_2 / C') \} \end{aligned}$$

となる。ここで、

$$C_1 / C = 10^{-\Delta L_{SXP} / 10}, C' / C = (r / r')^2$$

であり、スリット法によると、

$$C_2 / C' = 10^{-\Delta L_{SXP} / 10} - 10^{-\Delta L_{SYP} / 10}$$

であるから、(1)式が得られる。

また、 $\Delta L_{SXP} = \Delta L_{SYP}$ の時は、明らかに $\Delta L_{SYP} = \Delta L_{SXP}$ 、 $\Delta L_{SXP} = \Delta L_{SYP}$ であるため、条件①における適用条件の境界での計算値の連続性は確保されている。

次に、SがZone IとZone IIの境界にあり、PがZone Iにある時は、条件①の $\Delta L_{SXP} > \Delta L_{SYP}$ の場合と条件③の境界にあたるが、この境界での計算値の連続性も確保されている。なぜなら、条件③において、式中の $\Delta L(RW)_{SXP}$ の値は、条件④の時の式に基づくと、 $\Delta L_{SXP} \leq \Delta L_{SYP}$ かつ $\Delta L_{SXP} = 5$ の時、 $\Delta L(RW)_{SXP} = \Delta L_{SYP}$ であり、条件①の時の式と同形となるからである。

$\Delta L_{SXP} \leq \Delta L_{SYP}$ の時も全く同様であり、条件①と条件②の境界での計算値の連続性も確保されている。さらに、文献10)では、条件③と条件④の境界での計算値の連続性が示されており、同様に、条件②と条件④の境界の連続性も明らかである。したがって、(1)式は、全ての音源、受音点位置の組み合わせにおいて計算値の連続性が確保されていることが確認された。

2.2 波動理論計算値との比較

反射性厚み障壁の厚み w が建物の間口や奥行きと同程度の場合における(1)式の計算結果の妥当性を検討するため、波動理論計算値との比較を行った。

波動理論を用いた反射性厚み障壁による減音量計算の妥当性については、川井が二重回折波に関するPierceの方法¹²⁾とウェッジにおける一重回折波に関するPierceの第2近似式¹²⁾を組み合わせた計算結果と模型実験値との比較により検討している¹³⁾。その結果では、これらの方法は、音源、受音点が各

エッジより半波長以上離れており、各エッジ間の距離が半波長以上の場合に適用可能であることが示されている。

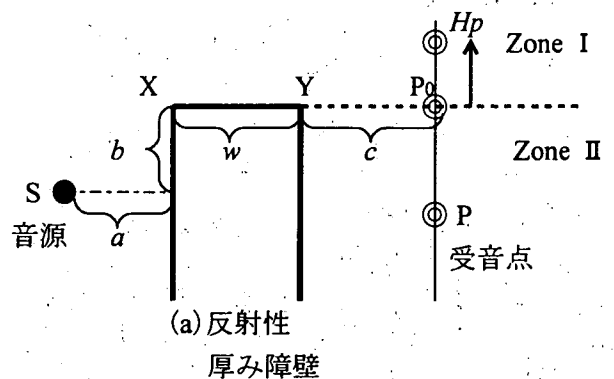
ここでは、二重回折波の計算にPierceの方法を、ウェッジにおける一重回折波の計算には、Pierceの第2近似式より計算対象となるウェッジ開き角の適用範囲が広いとされる¹⁴⁾Kouyoumjian & Pathakの漸近解¹⁵⁾を用いた。

まず、二重回折に関するPierceの方法に、Kouyoumjian & Pathakの漸近解を組み合わせた場合の波動理論計算値と、(1)式による計算値及び模型実験値との比較を、文献10)における模型実験結果を用いて行った。

なお、波動理論による計算は、1/27オクターブバンドの中心周波数で行った。一方、(1)式における半無限障壁による減音量の計算は、1/3オクターブバンドの中心周波数で行った(以下、同様)。また、両者とも自動車走行騒音の代表パワースペクトル¹⁶⁾で重み付けしたA特性オーバーオール値として、減音量を算出した。

図-3に、文献10)における模型実験の配置から、今回の分析に用いたものを抜粋して示した。 w は1.5m, 3m, 5m(実物換算。以下、模型実験に関する数値は、「原寸」と表示しない限り実物換算で示す)の3通りで、対象周波数は315~1,600Hz(1/3オクターブバンド中心周波数)であった。

図-4(a)~(c)に、(1)式による計算値、波動理論



w	a	b	c	H_p
1.5	4	1	3.5	3, 1, 0.4, 0, -1, -2
3	4	1	2	3, 1, 0.4, 0, -1, -2
5	2.5	1	2.5	3, 2, 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0, -0.4, -0.6, -0.8, -1, -1.2, -1.4, -2

(単位 m, 実物換算)

図-3 模型実験の配置

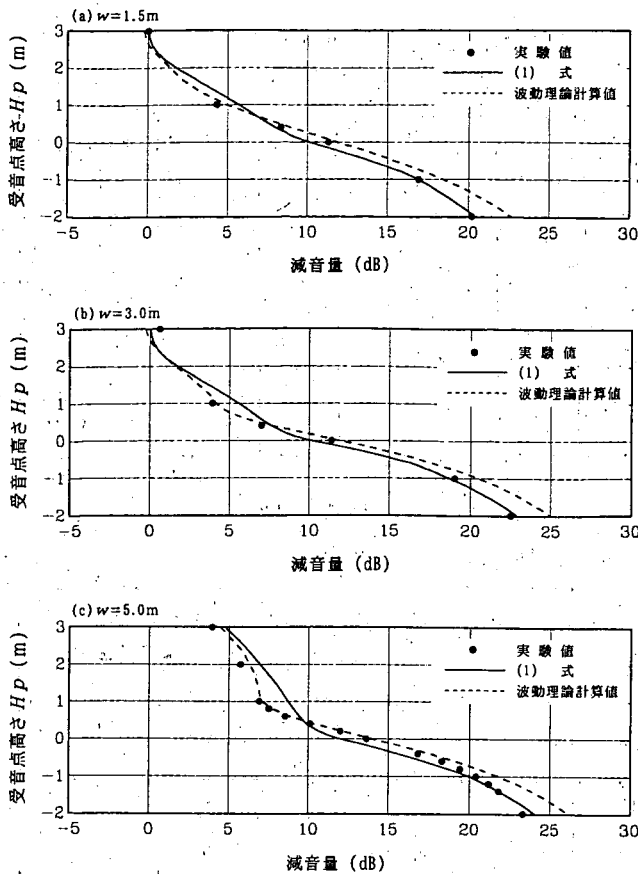


図-4 計算値と模型実験値の比較

計算値及び模型実験値を示す。まず、Zone II では、 w にかかわらず、(1)式による計算値と模型実験値はよく一致しているが、波動理論計算値は模型実験値より1~2 dB程度大きい値を示している。一方、Zone I では、波動理論計算値は模型実験値とよく一致しているが、(1)式による計算値は、 $H_p=1$ m付近で、1~2 dB程度、実験値より大きい値を示している。

次に、 w が建物の間口、奥行きと同程度の場合について、(1)式と波動理論による計算結果の比較を行った。ここでは、対象周波数は、上記の検討より広帯域で、道路交通騒音の主要な周波数帯域を含む50 Hz~5 kHzとした。

音源、受音点配置を図-5に示す。反射性厚み障壁の厚み w は8 m または16 m とし、各々のケースにおいて、音源が Zone I にある場合と Zone II にある場合を想定した。

両計算結果の比較を、図-6 (a)~(d) に示す。

w が8 m, 16 m の場合とも、音源が Zone I にある時(図-6 (a), (c))は、(1)式による計算値と波動理論による計算値は、非常によく一致している。

一方、音源が Zone II の場合(図-6 (b), (d))は、

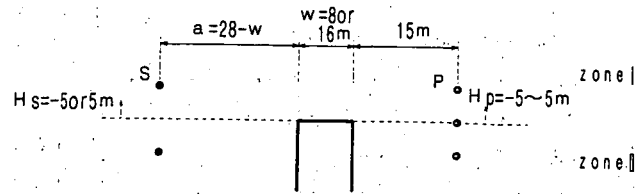


図-5 自由空間における反射性厚み障壁と音源・受音点の配置

特に、受音点も Zone II にある時に、両計算値の差異がやや大きくなり、(1)式による計算値が波動理論計算値より2 dB程度小さい値を示している。しかし、音源が Zone II の場合の両計算値の大小関係は、図-4における結果と同様の傾向を示しており、 w が大きくなるにつれ、両計算値の乖離が特に大きくなることはない。

したがって、(1)式は、建物の間口、奥行きと同程度の広い厚みを有する反射性厚み障壁に対しても、ほぼ適用できると考えられる。

3. 地面上の反射性厚み障壁による挿入損失の計算方法

2. において、建物の間口や奥行きと同様の厚みを有する反射性厚み障壁 ($w=8$ m 及び16 m) に、(1)式がほぼ適用できることが示された。

ここでは、 $w=8$ m の反射性厚み障壁が、完全反射の無限平面(以下、「地面」という)上に設置された時に、(1)式を基本に地面反射音の影響を考慮した場合の計算結果の妥当性を、模型実験により検証する。なお、音源、受音点とも、障壁の上端より低い (Zone II に相当) 場合を対象とした。

3.1 計算方法

地面上に反射性厚み障壁が設置された場合の挿入損失 IL_{SXYP} の計算を、以下のように定式化した。ただし、音源は、地面上(高さ0 m)にあるとしている(図-7参照)。

$$IL_{SXYP} = -10 \log_{10} (10^{-AL(RW)_{SXYP}/10} + 10^{-AL(RW)_{SXYP}/10}) \quad (2)$$

ここで、 P' は受音点 P の地面に対する反射イメージであり、(2)式では、障壁回折後の地面反射音の寄与を前川の提案する方法¹⁷⁾により与えている。なお、 $AL(RW)_{SXYP}$, $AL(RW)_{SXYP}$ の計算には(1)式を用いる。

また、音源(パワーレベル= PWL)が地面上にある場合、音源から距離 r 離れた受音点 P での音圧レベル SPL は、次式¹⁸⁾で求めることができる。

$$SPL = PWL - 8 - 20 \log_{10} r - IL_{SXYP} \quad (3)$$

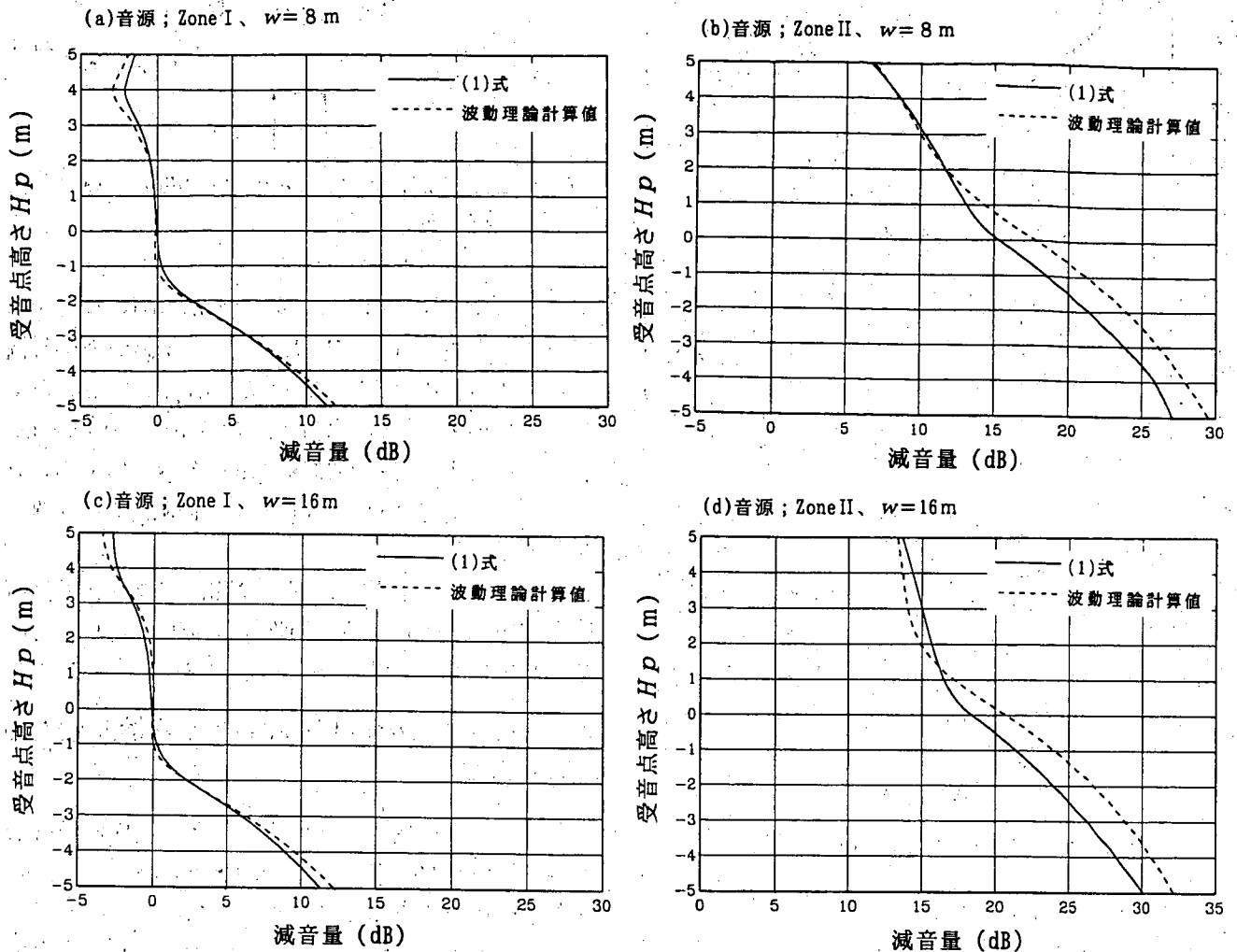


図-6 (1)式と波動理論による計算値の比較

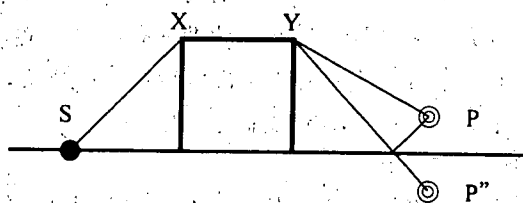


図-7 地上の反射性厚み障壁による挿入損失計算のための模式図

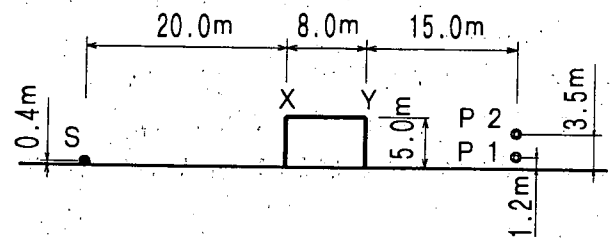


図-8 模型実験における地上の反射性厚み障壁と音源・受音点の配置

(3) 式は地面上にある音源からの半球面波伝搬による距離減衰を表しており、言い換えれば、地面に沿って伝搬する音に関しては、地面反射の影響はすでに考慮されている。しかし、図-7のように障壁の上方を伝搬する音の寄与を計算する場合には、さらに受音点側の地面反射音の影響を考慮する必要があると考えた。

3.2 模型実験による検証

(2) 式を検証するため、無響室において、縮尺比 1/20 の模型実験を行った。

実験配置を図-8に示す。地面及び反射性厚み障

壁は反射性とし、それぞれ、厚さ 3 mm 及び 5 mm (原寸) のアクリル板で製作した。反射性厚み障壁は、高さ 5 m; 厚み 8 m (高さ、厚みの設定の考え方は、4.2 参照) とし、延長は、障壁側方からの回折音を無視できるように 200 m とした。音源には、点音源としてのジェットノイズ音源を横向き (高さ 0.4 m) にして用い、それを図-8において紙面と垂直方向に向け、図-8の断面において無指向性となるように配慮した。受音点は $P1$ (高さ 1.2 m) 及び $P2$ (高さ 3.5 m) の 2 点とし、マイクロホンは 1/4 イ

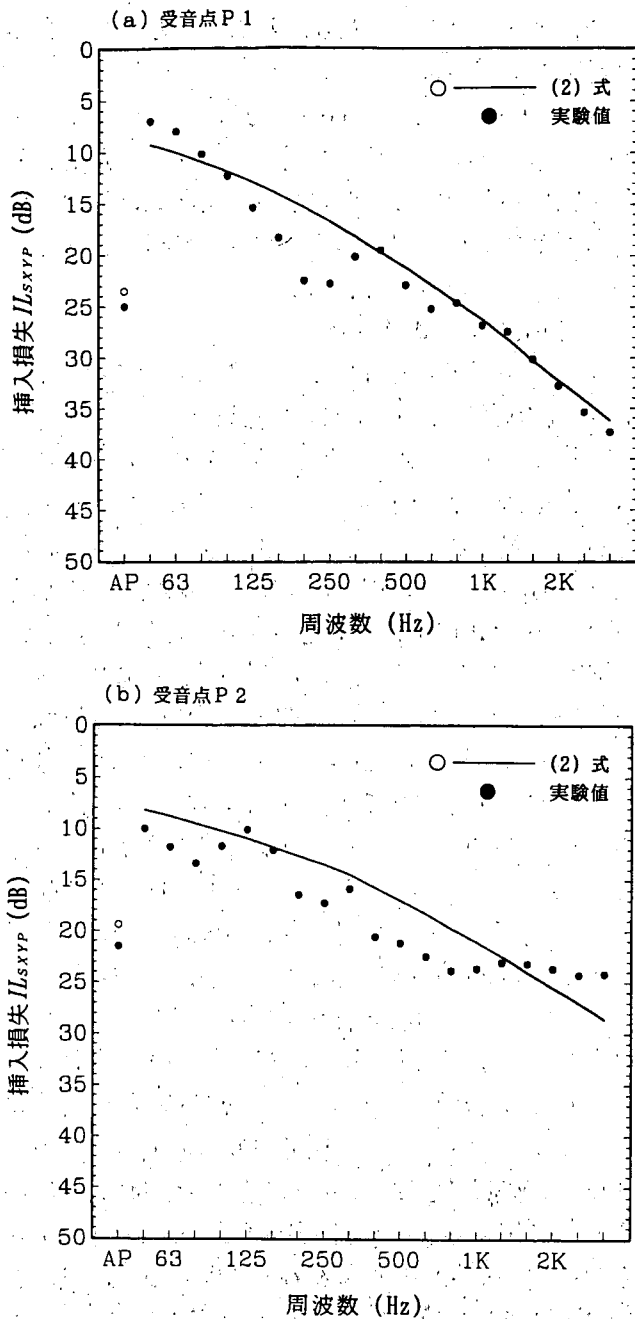


図-9 (2)式による計算値と模型実験値との比較

ンチタイプ (4.2 も同様) を使用した。また、対象周波数は、予備実験の結果、無響室における反射音の影響を排除できる 50 Hz ~ 3.15 kHz とした。

図-9 (a), (b) に、(2)式による計算結果と模型実験値を周波数毎に比較して示した。なお、計算には (2)式を用いるため、計算上の音源高さは 0 m とした。

受信点 P1 では、計算値と実験値は、よい整合を示しているが、200 ~ 250 Hz 付近と 630 Hz 付近で、実験値に干渉ディップが生じている。これは、主に障壁の受信点側エッジを回折後、受信点に直接到達する音と地面で反射して到達する音の干渉 (計算上では、225 Hz, 675 Hz で干渉ディップが生じる) の

影響と考えられる。また、音源から直接障壁の音源側エッジに到達する音と地面で反射して到達する音の干渉ディップは、計算上は 876 Hz で生じると考えられるが、その影響は実験値には顕著に現れていない。

また、受信点 P2 では、受信点 P1 と比べて、計算値と実験値の整合性がよくない。これは、受信点側の地面反射音の影響による干渉ディップ (計算上は 78 Hz, 235 Hz, 392 Hz, 549 Hz, 706 Hz 等で生じる) の影響が大きいと考えられる。

しかし、50 Hz ~ 3.15 kHz において、自動車走行騒音の代表パワースペクトル¹⁶⁾ で重み付けした A 特性オーバーオール値としての挿入損失は、P1, P2 とも、計算値が実験値と比べ 1 ~ 2 dB 小さい値を示す程度であり、(2)式による方法は、道路交通騒音のような広帯域の周波数成分を含む騒音の予測には、実用上、十分利用できると思われる。

なお、音源高さを 0.4 m とし、障壁設置前の地面反射音及び障壁設置後の音源側の地面反射音の影響も併せて考慮した計算も行ったが、計算結果にほとんど差異は認められなかった。

4. 単独建物による挿入損失の計算方法

2. 3. の結果を用いて、直方体形状の単独建物が道路に面して立地する場合に、建物後方での挿入損失の計算方法を提案する。ここでは、3. での検討結果を踏まえ、建物上方を回折した音の受信点側地面での反射の影響を考慮することとした。

4.1 計算方法

単独の建物による挿入損失 IL_{build} を求めるにあたり、図-10 に示す 4 本の伝搬パスによる音の寄与を考えることとした。この図において、音源 S は地面上 (高さ 0 m) にあり、受信点 P は地面より高い

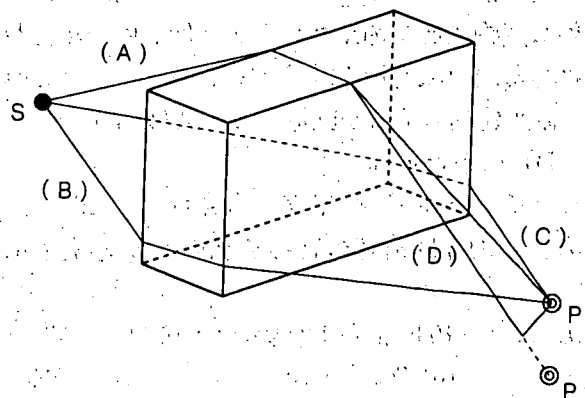


図-10 単独建物 (厚みのある有限長障壁) と音の伝搬経路

位置にある。ここで、(A) は建物上方を回折して受音点 P に到達するパス、(B) は建物の左方を回折して受音点 P に到達するパス、(C) は建物の右方を回折して受音点 P に到達するパス、(D) は建物上方を回折した後、受音点側の地面で反射して受音点 P に到達するパスを表している。なお、(D) は、(2)式同様、建物上方を回折して受音点 P の地面反射イメージ P' に到達するパスで代用できると考えた。

なお、地面上の音源 S の PWL が与えられた場合の受音点 P での SPL は、(3)式同様、S からの半球面波伝搬による距離減衰を基本として求めることができる。したがって、3.1 で述べた理由により、パス(B)、(C) には、すでに地面反射音の影響が含まれていると考えられる。

これらの音の寄与を合成するにあたり、以下に示す 2 通りの方法をとることとした。ここでは、建物の上方、左方、右方の壁面を厚み部分とする反射性厚み障壁を想定し、パス(A)、(B)、(C)、(D) に対応する反射性厚み障壁による減音量を、各々、 ΔL_{upper} , ΔL_{left} , ΔL_{right} , $\Delta L''_{upper}$ と表す。

まず、山本、高木らが提案する(厚みのない)有限長障壁による減音量の計算方法^{19), 20)}を、厚みのある有限長障壁(建物)に拡張するとともに、新たに地面反射音の寄与を加味した方法を示す。

$$IL_{build.} = -10 \log_{10} \{ 10^{-\Delta L_{upper}/10} + 10^{-\Delta L''_{upper}/10} + (1 - 10^{-\Delta L_{upper}/10} - 10^{-\Delta L''_{upper}/10}) \times (10^{-\Delta L_{left}/10} + 10^{-\Delta L_{right}/10}) \} \quad (4)$$

山本、高木らの方法は、有限長障壁として、半無限障壁の上端に矩形の障壁を付加したモデルを取り上げ、Fresnel-Kirchhoff の近似回折理論に基づき自由空間における減音量を計算するものである。一方、(4)式は、上記モデルにおける半無限障壁の上端の位置に地面があると想定し、地面より上の半自由空間での建物による挿入損失を与えている。自由空間に置き換えて考えれば、この式は、地面に対して対称な建物鏡像を加えた高さが 2 倍の仮想建物が空中にある時の減音量を計算するものであり、この場合、仮想建物の下方を回折するパスは、図-10 のパス(D)に相当する。

次に、ISO 9613-2²¹⁾ や足立らの文献³⁾ で示された考え方に、地面反射音の寄与を加味した方法を示す。

$$IL_{build.} = -10 \log_{10} (10^{-\Delta L_{upper}/10} + 10^{-\Delta L''_{upper}/10} + 10^{-\Delta L_{left}/10} + 10^{-\Delta L_{right}/10}) \quad (5)$$

(5)式は、図-10 で示された 4 本の伝搬パスにおける音の寄与を、単純にエネルギー合成したもので

あり、(4)式において ΔL_{upper} および $\Delta L''_{upper}$ が共に十分大きい場合にあたる。

なお、(4)式、(5)式における ΔL_{upper} , ΔL_{left} , ΔL_{right} , $\Delta L''_{upper}$ の計算には(1)式を用いる。また、 $IL_{build.}$ の計算結果が負の値となる場合は、建物壁面での反射音の影響により、建物がない場合に比べ、音圧レベルが増加していることを示す。

4.2 模型実験による検証

(4)式、(5)式の妥当性を検討するため、無響室において、縮尺比 1/20 の模型実験を行った。

建物の上方及び側方の回折効果を測定するためには、音源は、無指向性であることが望ましいため、点音源としてのジェットノイズ音源を上向き(音源高さ 0.8m)にして用いた。地面及び直方体の建物(高さ 5m, 間口 10m, 奥行き 8m)は反射性とし、それぞれ、厚さ 3mm 及び 5mm (原寸) のアクリル板を用いて製作した。なお、建物の形状は、建築面積 80 m² の 2 階建てを想定したものであるが、無響室の壁面での反射音の影響による回折減音量の測定限界から、建物の高さは通常の 2 階建てよりやや低く設定している。また、図-8, 図-11 の模型実験配置において、音源、受音点位置を建物壁面から 15m 以上離しているのも同じ理由による。

対象周波数は、3.2 同様、50 Hz ~ 3.15 kHz とし、自動車走行騒音の代表パワースペクトル¹⁶⁾ で重み付けした A 特性オーバーオール値で挿入損失を表した。なお、計算には、(4)式、(5)式を用いるため、計算上の音源高さは 0m とした。また、(4)式、(5)式において用いる(1)式の計算にあたり、反射性厚み障壁に対して音が斜めに入射する場合の回折点は、音の伝搬経路が最短になるように設定した。

実験配置を図-11 に、受音点 P1 及び P2 (いずれも、高さ 1.2m) における挿入損失の模型実験値

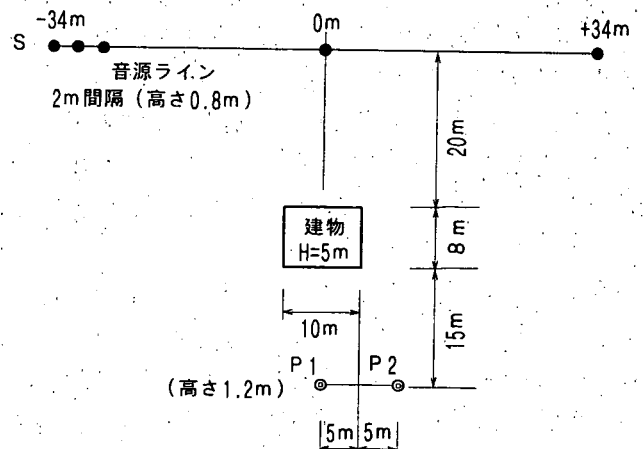


図-11 単独の建物と音源・受音点の配置

及び計算値を、各々、図-12 (a), (b) に示す。

(4)式と(5)式の計算結果は、図において区別できないほど一致し、模型実験値との整合性も高いが、挿入損失のピーク付近において、計算値が実験値をやや上回る傾向が見られた。また、受音点P2での計算値は、音源位置12m付近において、建物側壁での反射音による音圧レベルの増加もよく表現できている。

なお、3.2同様、音源高さ(0.8m)を考慮した計算も行ったが、両式とも、計算結果にほとんど差異は認められなかった。

5. 考 察

(4)式と(5)式による計算値の差異を詳細に検討する。まず、図-11の受音点位置P1の場合に、P1の高さを変化させて、図-12と同様の計算を行った。P1が建物より高くなった場合(高さ10m)の計算値を図-13に示す。(5)式による IL_{build} の計算値は、音源位置が-17mより左または17mより右の場合

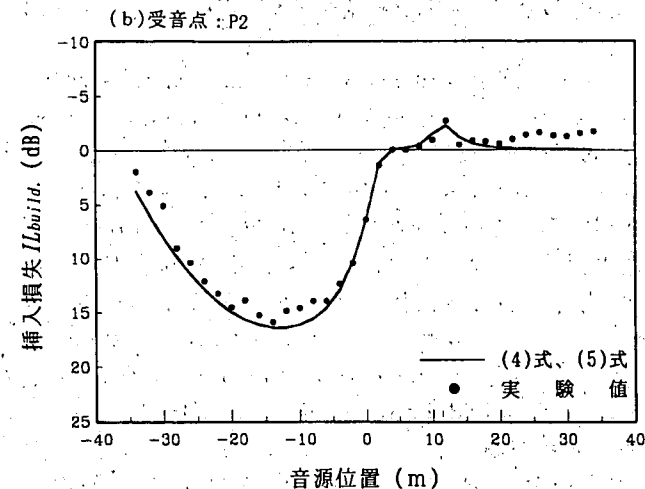
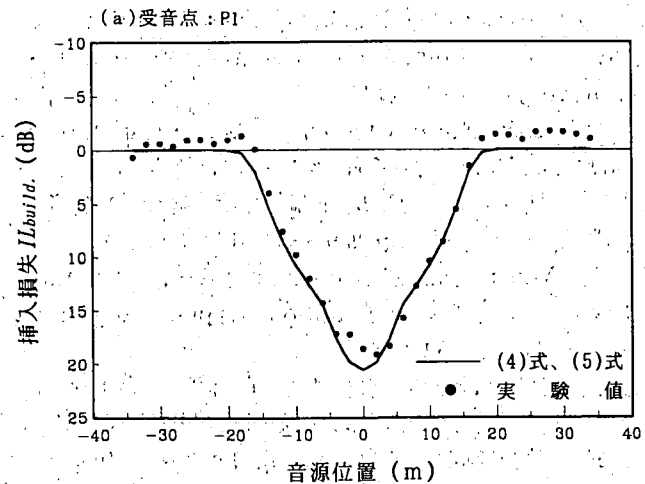


図-12 (4)式, (5)式による計算値と模型実験値の挿入損失の比較

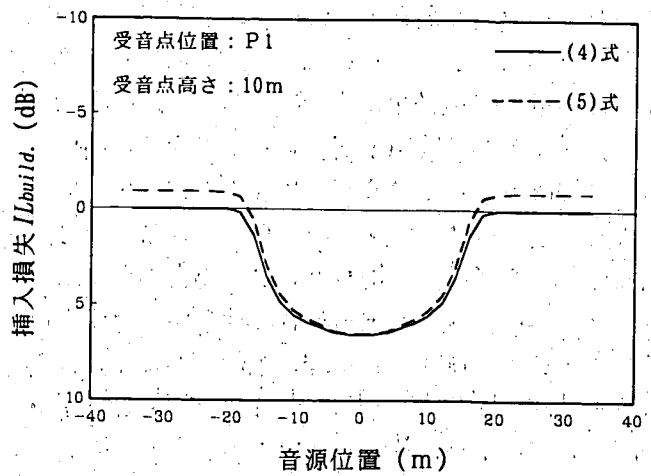


図-13 (4)式と(5)式による計算結果の差異

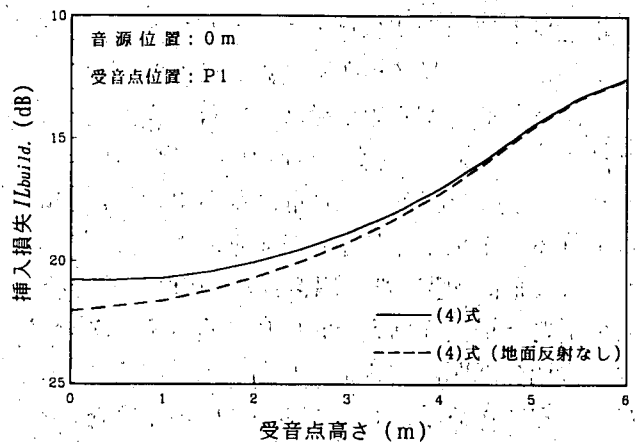


図-14 受音点側の地面反射音の影響

に負の値となり、不合理な結果を示している。このような建物の側方から音源を見通せる受音点位置では、 $10^{-\Delta L_{left}/10}$ または $10^{-\Delta L_{right}/10}$ の値が1に近づき、さらに、受音点が高く $10^{-\Delta L_{upper}/10}$ も大きくなる場合に、(5)式における対数の真数部分が1を超えるためである。その他の音源、受音点位置では、(4)式と(5)式による計算結果の差異はほとんど認められなかったものの、適用範囲や式の合理性の点では、(4)式が(5)式よりすぐれている。

次に、受音点側の地面反射音が計算結果に及ぼす影響を詳細に検討する。図-11において地面反射音の影響が最も大きくなると考えられる音源位置0m(音源高さは0m)、受音点位置P1の場合に、P1の高さを0mから6mまで変化させた。この時の(4)式の計算結果及び(4)式で地面反射音の影響を無視($10^{-\Delta L_{upper}/10}=0$ とする)した場合の計算結果を図-14に示した。計算上、地面反射音を考慮した場合としない場合の計算値の差異は、受音点高さが低いほど大きくなるが、最大でも1dB程度(高さ0m)

であり、道路交通騒音の予測における一般的な受音点高さ (1.2m 以上) では 1dB 未満であった。図-12 (a)、図-14 の結果から判断すると、地面反射音を考慮した方が計算値と実験値との整合性は高いものの、地面反射音が計算値に及ぼす影響は小さい。

また、図-12 (a)、(b) の計算ケースにおいて、地面反射音を考慮した場合としない場合で、ユニットパターンのエネルギー積分値の計算値の差異を比較したところ、両者とも 0.1dB 未満であった。さらに、図-12 (a) の P1 (高さ 1.2m) を、音源ラインに直角方向に水平に移動し、建物の受音点側壁面から 1m の距離にまで近づけて同様の計算を行っても、計算値の差異は 0.3dB 未満であった。したがって、単独建物後方の騒音レベルを L_{Aeq} で評価する時は、地面反射音の影響はほとんど無視できると考えられる。これは、受音点から音源が見通せる場合をはじめ、建物側方からの伝搬音の寄与が支配的になるためである。なお、受音点位置がより高くなると、図-14 から分かるように、地面反射音の寄与自体が無視できるほど小さくなると考えられる。

ただし、地面が吸音性の場合には、建物による回折、反射の影響と地表面効果とを併せて検討する必要がある、今後の課題である。

なお、建物が道路に対して斜めを向いて立地している時は、音源と受音点の位置関係により、本論文で提案する方法がそのままでは適用できない場合がある。複数の建物周辺の騒音レベルの計算同様、今後、検討すべき課題である。

6. ま と め

直方体形状の単独建物が道路に面して立地する場合に、その後方での騒音レベルの計算方法の検討を行った。筆者らが提案する反射性厚み障壁による減音量の計算方法を用いて、建物の上方及び側方を伝搬する音の寄与を求め、それらを合成することにより、建物による回折及び反射の影響が考慮でき、建物後方の騒音レベルを簡便に求められることが、波動理論計算値及び模型実験値との比較により明らかとなった。また、地面反射音の影響が大きい受音点位置では、その影響を計算上考慮した方が模型実験値との整合性はよいものの、 L_{Aeq} の計算においては、地面反射音の影響はほとんど無視できることを簡単な試算により示した。

なお、本論文で示した単独建物後方の騒音レベルの計算方法は、道路交通騒音だけでなく、広帯域の周波数成分を含む騒音に対しても広く利用できると

考えられる。

謝 辞

模型実験の方法等に関して数多くの貴重な御助言を頂いた(財)小林理学研究所の山本貢平氏に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 騒音に係る環境基準について、平成 10 年環境庁告示第 64 号 (1998)
- 2) S. Kurra : A computer model for predicting sound attenuation by barrier-buildings, Applied Acoustics, Vol. 13, pp. 331~355 (1980)
- 3) 足立義雄, 平野興彦 : 緩衝性建築物による道路交通騒音の減音効果の予測 (模型実験と予測計算), 日本音響学会講演論文集, pp. 45~46 (1981. 5)
- 4) U. Kurze, G.S. Anderson : Sound attenuation by barriers, Applied Acoustics, Vol. 4, No. 1, pp. 35~53 (1971)
- 5) K. Fujiwara, Y. Ando, Z. Maekawa : Noise control by barriers - Part 1 : Noise reduction by a thick barrier, Applied Acoustics, Vol. 10, No. 2, pp. 147~159 (1977)
- 6) Z. Maekawa : Environmental sound propagation, Proc. Eighth International Congress on Acoustics, London, pp. 29~46 (1974)
- 7) U. Kurze : Noise reduction by barriers, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 55, pp. 504~518 (1974)
- 8) 橋 秀樹, 佐々木實 : II 予測計算法の概要, 日本音響学会誌, 50 巻 3 号, pp. 229~232 (1994)
- 9) K. Yamamoto, K. Takagi : Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics, Vol. 37, pp. 75~82 (1992)
- 10) 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 石川賢一, 高木興一 : 厚みのある障壁, 二重障壁による回折効果に関する実験的研究, 騒音制御, 22 巻 3 号, pp. 153~161 (1998)
- 11) 日本音響学会編 : L_{Aeq} における道路交通騒音予測, 日本音響学会第 4 回音響技術セミナー資料, pp. 38~39 (1995)
- 12) A.D. Pierce : Diffraction of sound around corners and over wide barriers, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 55, pp. 941~955 (1974)
- 13) 川井孝雄 : 厚みのある障壁及び角柱による回折音場, 日本音響学会誌, 34 巻 7 号, pp. 369~375 (1978)
- 14) 川井孝雄 : ウェッジによる回折音場の漸近解に関する検討, 日本音響学会誌, 35 巻 10 号, pp. 544~553 (1979)
- 15) R.G. Kouyoumjian, P.H. Pathak : A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface, Proc. IEEE, Vol. 62, pp. 1448~1461 (1974)
- 16) 曾根敏夫, 香野俊一, 岩瀬昭雄 : III 自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル, 日本音響学会誌, 50 巻 3 号, pp. 233~239 (1994)

- 17) 前川純一：障壁（塀）の遮音設計に関する実験的研究，日本音響学会誌，18巻4号，pp. 187~196（1962）
- 18) 高木興一，山本貢平，吉久光一：IV 道路交通騒音予測における伝搬計算方法，日本音響学会誌，50巻3号，pp. 240~249（1994）
- 19) 山本貢平，堀田竜太，高木興一：有限長障壁に対する音の回折効果の計算方法について，日本音響学会誌，50巻4号，pp. 271~278（1994）
- 20) K. Takagi, R. Hotta, K. Yamamoto : A simple method for the calculation of noise attenuation by a finite length barrier, Applied Acoustics, Vol. 43, pp. 353~365（1994）
- 21) ISO9613-2 : Acoustics —Attenuation of sound during propagation outdoors— Part 2 : General method of calculation（1996）

道路に直面した単独建物および建物列後方における 等価騒音レベルの簡易計算方法*

上坂克巳*¹・大西博文*¹・三宅龍雄*²・高木興一*³

(1999年3月16日受付, 1999年7月13日受理)

【要旨】

騒音に係る環境基準の改定により, 沿道建物後方での道路交通騒音予測の必要性が高まっている。本論文では, 平面道路に面した単独建物後方の特定地点における等価騒音レベル (L_{Aeq}) の計算方法, および平面道路に沿って1列に並んだ建物の背後における区間平均等価騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq}$) の計算方法を提案し, それらの妥当性を模型実験で検証した。さらに, これらの計算に用いる建物の高さ, 建物列の間隙率などのパラメータと計算値の関係を分析し, 受音点の位置により計算方法が簡略化できることを示した。

【ABSTRACT】

As the environmental quality standards for noise were revised, it becomes increasingly important to predict road traffic noise behind roadside buildings. This paper presents methods for calculating L_{Aeq} at specific individual positions behind a building directly facing a surface road and for calculating section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level ($SA \cdot L_{Aeq}$) behind a row of buildings belong the road. The validity of the methods presented here is verified by model experiments. In addition, the authors analyze the relationship between the calculated values and the parameters for the calculations such as height of the building, opening ratio of the row of buildings and so on. As a result, it is shown that the calculation methods can be simplified at some positions of receivers.

キーワード: 沿道建物, 区間平均等価騒音レベル, 模型実験, 騒音に係る環境基準, 道路交通騒音
: Roadside Buildings, Section-Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level ($SA \cdot L_{Aeq}$), Model Experiment, Environmental Quality Standards for Noise, Road Traffic Noise

1. はじめに

平成11年4月1日に, 等価騒音レベル(以下「 L_{Aeq} 」という)を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」¹⁾が施行された。同基準では, 幹線道路に近接する空間とその背後地に対して異なった基準

値を与えているため, 道路に直面する建物後方での騒音予測の必要性が高まっている²⁾。

筆者らは, 前報²⁾で, 直方体形状の単独建物が道路に面して立地している場合に, その後方での騒音レベルの計算方法を提案した。この方法は, 建物の上方および左右の側方を伝搬する音の寄与を各々求め, それを合成する(以下, この方法を「3パスの方法」という)ため, ある程度正確なユニットパターン(道路上を自動車が走行したとき, 一つの受音点(予測地点)における音圧レベルの時間変化のパターンのこと³⁾)。本論文では, 音源位置ごとの受音点での音圧レベルをいう)の計算が可能である。しかし, この方法は, 建物が道路に対して斜めを向いて立地している時には, 音源と受音点の位置関係によりそのままでは適用できない場合がある。また,

* Simple Methods for Calculating L_{Aeq} behind a Building and a Row of Buildings Directly Facing a Road

*¹ Katsumi Uesaka and Hirofumi Ohnishi: Public Works Research Institute, Ministry of Construction (建設省土木研究所)

*² Tatsuo Miyake: Sogo Engineering Inc. ((株)総合技術コンサルタント)

*³ Koichi Takagi: Graduate School of Engineering, Kyoto University (京都大学大学院工学研究科)

計算対象を近接して立地する複数の建物まで拡張することは困難と考える。

一方、環境アセスメント等において実際に道路交通騒音を予測する場合は、建物の高さ、間口、奥行き等のパラメータ（以下、「建物パラメータ」という）を調査する必要がある。これらの数が多いと予測計算が煩雑になるだけでなく、その調査に費やす労力も多大となる。したがって、実用上は、計算に用いる建物パラメータの数ができるだけ少ない予測計算方法が有効である。

本論文では、道路に直面した単独建物後方の特定地点における L_{Aeq} のより汎用的な計算方法、および沿道に1列に並んだ建物（以下、「道路近接建物列」という）背後における評価区間の平均的な L_{Aeq} の計算方法を提案する。さらに、受音点の位置に応じた計算の簡略化の方法を明らかにする。

なお、ここでは平面道路を取り上げ、対象とする建物と道路との間には遮音壁等の音響的障害物がない場合を想定する。また、建物壁面および地面は完全反射とみなす。ただし、建物後方での地面反射音が計算結果に及ぼす影響は一般的には小さいと考えられる²⁾ため、これを無視する。

2. 単独建物後方の特定地点における L_{Aeq} の計算方法

道路に直面した単独建物後方の特定地点における L_{Aeq} の計算方法を検討する。

まず、2.1において建物による音の回折および反射の影響を考慮した L_{Aeq} の計算方法を2種類提案する。次に、2.2ではこれらの方法の妥当性を模型実験により検証し、2.3では計算値相互の比較により計算の簡略化の方法を明らかにする。最後に、2.4では建物群背後の特定地点での L_{Aeq} 計算の可能性に関して考察する。

2.1 計算方法

(A) 3パスの方法

上坂ら²⁾の3パスの方法では、建物が道路に対して斜めを向いて立地している場合に、音源、受音点の位置により計算ができないことがあった。この場合には、建物の上方および側方の伝搬音を計算するための回折点設定の考え方が示されていないためである。したがって、ここでは3パスの方法における回折点設定の考え方を一般化して示す。

半自由空間におけるユニットパターンの計算式は次式で示される。

$$L_p = L_w - 8 - 20 \log_{10} r - IL^{(PS)} \quad (1)$$

ここで、 L_p : 音圧レベル [dB], L_w : 自動車走行騒音のパワーレベル [dB], r : 音源と受音点の距離 [m], $IL^{(PS)}$: 点音源 (Point Source) に対する単独建物による挿入損失 [dB]。

$IL^{(PS)}$ は、上坂ら²⁾と同様に、次式で求める。

$$IL^{(PS)} = -10 \log_{10} \{ 10^{-\Delta L_{upper}/10} + (1 - 10^{-\Delta L_{upper}/10}) (10^{-\Delta L_{left}/10} + 10^{-\Delta L_{right}/10}) \} \quad (2)$$

ここで、 ΔL_{upper} , ΔL_{left} , ΔL_{right} は、順に、建物の上方、左方、右方の回折減音量を表す。これらは、建物が直方体とみなせる場合は、基本的に、反射性厚み障壁 (Reflective Wide Barrier) による減音量 $\Delta L (RW)$ ²⁾ として求める。したがって、 ΔL_{upper} , ΔL_{left} , ΔL_{right} には、建物壁面での反射音も考慮されていることになる。

ΔL_{upper} は次式で計算する (図-1 参照)。

$$\Delta L_{upper} = \begin{cases} 1) \text{ 鉛直平面 SP が建物と交差する場合} & \Delta L (RW)_{SXYP} \\ 2) \text{ 1) 以外の場合} & \Delta L_{SY'P} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、X, Y: 鉛直平面 SP (音源 S, 受音点 P を通り鉛直な平面) と建物の上部エッジとの交点、Y': 鉛直平面 SP と、受音点から見た建物投影面を水平方向に延長した面の上部エッジとの交点、 $\Delta L_{SY'P}$: Y' を回折点とする半無限障壁の回折減音量 (Yamamoto ら⁴⁾の方法により求める)。

一方、 ΔL_{left} , ΔL_{right} は、 $\Delta L (RW)$ の計算式より求めるが、その回折点は最短伝搬経路を与える点とする。なお、側方の回折経路が三重回折となる場合は、その寄与を無視 (回折減音量が ∞) する。

(B) 建物側壁面での反射音を考慮した1パスの方法

次に、厚みのない有限長障壁による減音効果の計算に用いられる1パスの方法^{3), 5), 6)}を基本とし、建物の遮蔽効果と建物側壁面での反射音の影響を個別

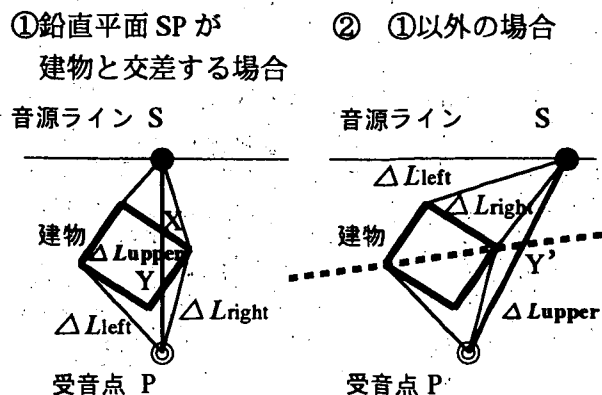


図-1 3パスの方法の模式図 (平面図)

に計算する方法を示す。

この方法によるユニットパターンの計算式は、次式で示される。

$$L_p = 10 \log_{10} \left(10^{L_{p,0}/10} + \sum_{i=1}^N 10^{L_{p,i}/10} \right) \quad (4)$$

ここで、 $L_{p,0}$: 建物上方および側方の直接伝搬音による音圧レベル [dB], $L_{p,i}$: 建物側壁面 i における反射音による音圧レベル [dB], N : 建物側壁面の数、直方体の単独建物の場合 $N=4$ (建物群を対象とする場合 (2.4 参照) は、すべての建物の側壁面数の合計)。

$L_{p,0}$ の計算は、次式により行う。

$$L_{p,0} = L_w - 8 - 20 \log_{10} r - \Delta L_{upper} \quad (5)$$

ΔL_{upper} は、次式で与えられる (図-2①参照)。

$$\Delta L_{upper} = \begin{cases} 1) \text{ 鉛直平面 SP が建物と交差する場合} \\ \quad \Delta L (RW)_{SXYP} \\ 2) \text{ 1) 以外の場合} \\ \quad 0 \end{cases} \quad (6)$$

また、 $L_{p,i}$ の計算は、次式により行う (図-2②参照)。

$$L_{p,i} = \begin{cases} 1) \text{ S, P とも、建物側壁面 } i \text{ と対面する側に} \\ \quad \text{あり、鉛直平面 SP}_i \text{ が、建物側壁面 } i \text{ と} \\ \quad \text{交差する場合} \\ \quad L_w - 8 - 20 \log_{10} r_i - \Delta L_{slit,i} \\ 2) \text{ 1) 以外の場合} \\ \quad -\infty \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 P_i : P の建物側壁面 i に対する鏡像受音点、 r_i : S と P_i の間の距離 [m], $\Delta L_{slit,i}$: 建物側壁面 i での反射時の減音量 [dB]。

$\Delta L_{slit,i}$ は、建物側壁面 i と同じ高さで、水平方向に無限長のスリット面を仮定し、次式で求める。

$$\Delta L_{slit,i} = -10 \log_{10} (1 - 10^{-\Delta L_{SRP_i}/10}) \quad (8)$$

ここで、 R : 鉛直平面 SP_i が建物側壁面 i の上部エッジと交差する点。

なお、直方体の単独建物の場合、(7) 式の 1) の条件に該当する側壁面の数は、最大でも 2 である。

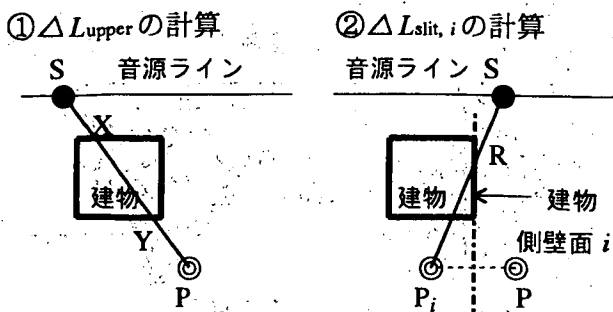


図-2 1パスの方法の模式図 (平面図)

2.2 模型実験による検証

(1) 実験の方法

2.1 で提案された (A), (B) の方法の検証を行うため、無響室において縮尺比 1/20 の模型実験を行った。実験配置を図-3 に示す。

音源 S は、点音源としてのジェットノイズ音源を上向き (音源高さ 0.8 m (実物換算。本論文では、模型実験に関する数値は、「原寸」と表示しない限り実物換算で示す)) にして用いた。受音点は、建物後方に 3 点 (P1~P3) 設け、1/4 インチマイクロホンで音圧レベルを測定した。

地面および直方体の建物 (高さ 5 m, 間口 10 m, 奥行き 8 m) は反射性とし、それぞれ厚さ 3 mm (原寸) および 5 mm (原寸) のアクリル板を用いて製作した。なお、建物の形状は、建築面積 80 m² の 2 階建てを想定したものである。ただし、無響室の壁面での反射音の影響による回折減音量の測定限界から、建物の高さは通常の 2 階建てよりやや低く設定している。音源および受音点 P1, P2 を建物壁面から 15 m 以上離しているのも同じ理由による。さらに、対象周波数については、予備実験の結果、この実験配置において無響室壁面での反射音の影響がほぼ排除できると判断された 50 Hz~3.15 kHz とした。

(2) ユニットパターン計算値と模型実験値との比較

図-4 (a)~(c) に計算値と模型実験値の比較を示す。 L_{pA} は自動車走行騒音の代表パワースペクトル³⁾ で重み付けした A 特性オーバーオール値を表し、 $L_{WA}=0$ とした場合の相対レベルとして示している。ここでは、計算上の音源高さは 0 m とし 1/3 オクターブバンドごとにその中心周波数を用いて計算を行い (本論文の計算はすべて同様)、その結果を

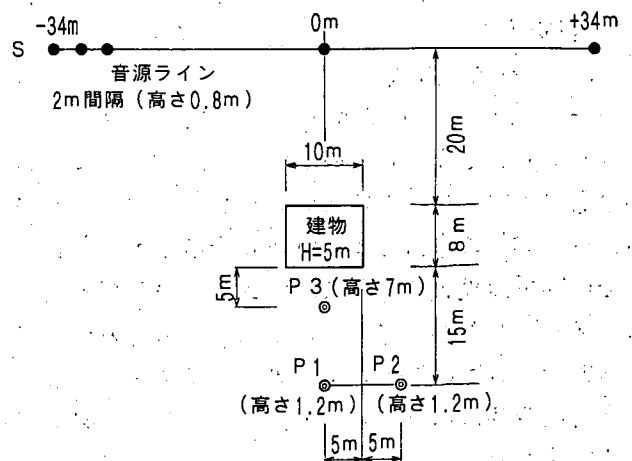


図-3 単独建物と音源、受音点の配置

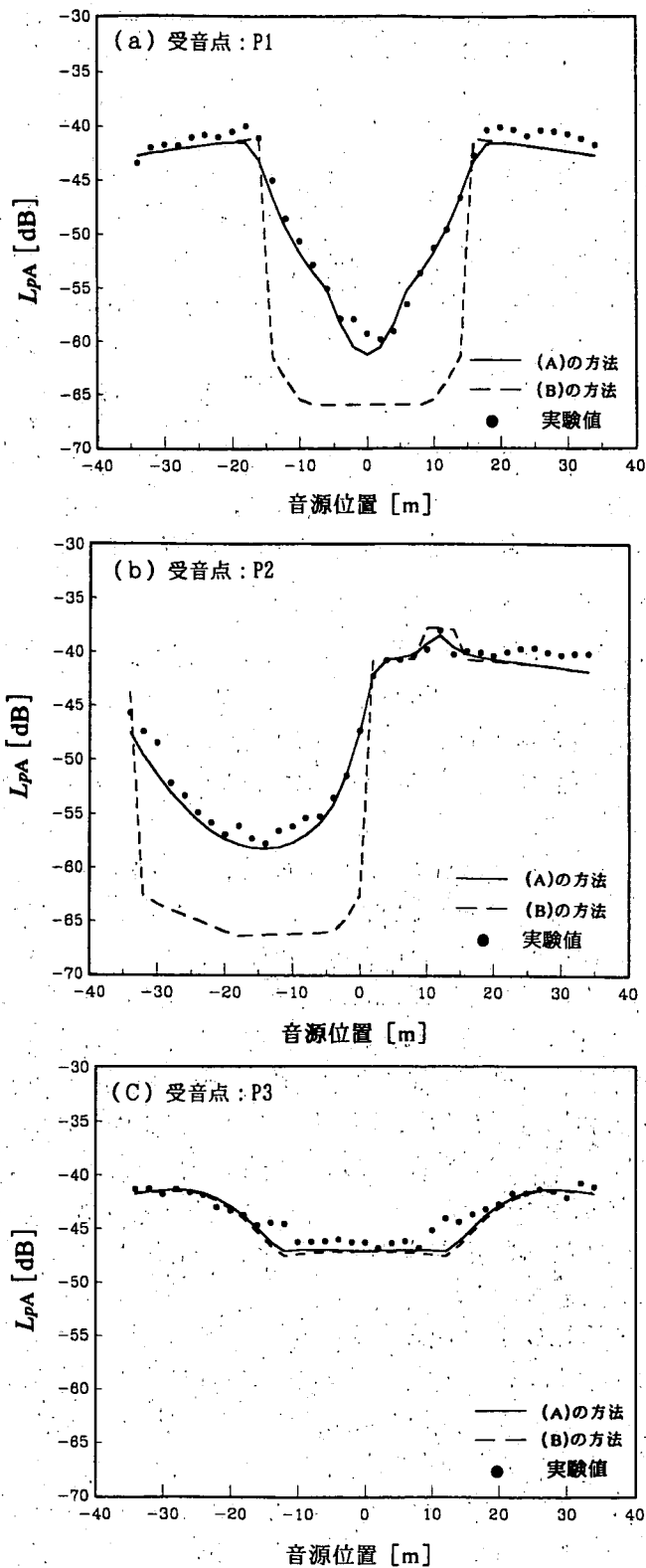


図-4 計算値と模型実験値の比較

合成した。また、実験値は半自由空間での理論減衰値から測定した挿入損失を差し引いて求めた。

(A)の方法による計算値は実験値とよく一致している。一方、(B)の方法による計算値は、受音点 P1, P2において、音源が受音点から見て建物の陰となる領域にある場合に、実験値に比べて過小な値となる。これは、(B)の方法が、建物側方の伝搬音

の寄与を考慮していないためと考えられる。また、両方法とも、受音点 P2 の場合の音源位置 12 m 付近において、建物側壁面での反射音による音圧レベルの増加をよく表現できている。

2.3 両方法によるユニットパターンの積分値の比較と計算方法の簡略化の検討

上記の検討により、 L_p の計算に関する (A) の方法の妥当性が確認された。一方、(B) の方法では、音源位置により模型実験値との乖離が大きくなる場合があることが分かった。しかし、 L_{Aeq} の計算において特に問題となるのは、個別の位置の音源に対する L_p ではなく、ユニットパターンの積分値である。

ここでは、図-5のように、十分長い直線道路に面して10階建て相当の建物(間口30m, 奥行き15m, 高さ30m)が立地した場合を想定する。そして、(B)の方法によるユニットパターンの積分値の計算値を、2.2で妥当性が確認された(A)の方法による計算値と比較する。

まず、受音点 P1~P24 (高さ1.2m) において、建物の有無によるユニットパターンの積分値の差(以下、線音源(Line Source)に対する挿入損失という意味で「 $IL^{(LS)}$ 」という)を両方法により求めた。なお、音源は2m間隔で2kmの区間に配置し、 $IL^{(LS)}$ は、自動車走行騒音の代表パワースペクトル³⁾で重み付けしたA特性オーバーオール値(50~5kHz)として算出した。

図-6に、受音点 P_j ($j=1\sim 24$) から建物を見た場合の水平方向の見込み角 θ [°] と (A), (B) の方法による $IL^{(LS)}$ の計算値の関係、および次式を併せて示した。

$$IL^{(LS)} = -10 \log_{10} \{ (\theta_0 - \theta) / \theta_0 \} \quad (9)$$

ここで、 θ_0 は、対象とする建物が存在しない場合に、受音点から見た道路全体の見通し角であり、十分長い直線道路では $\theta_0 = 180$ [°] とする。

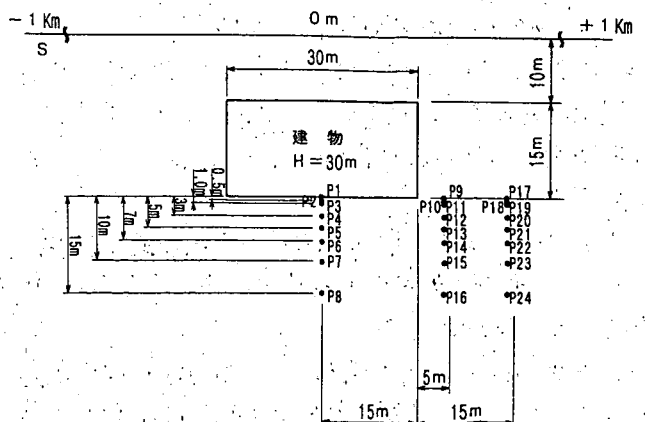


図-5 計算値の比較のための建物と受音点の配置

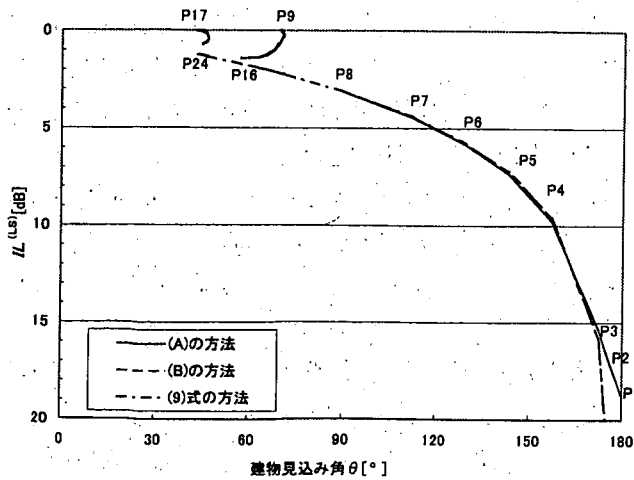


図-6 建物の見込み角 θ と $IL^{(LS)}$ の関係

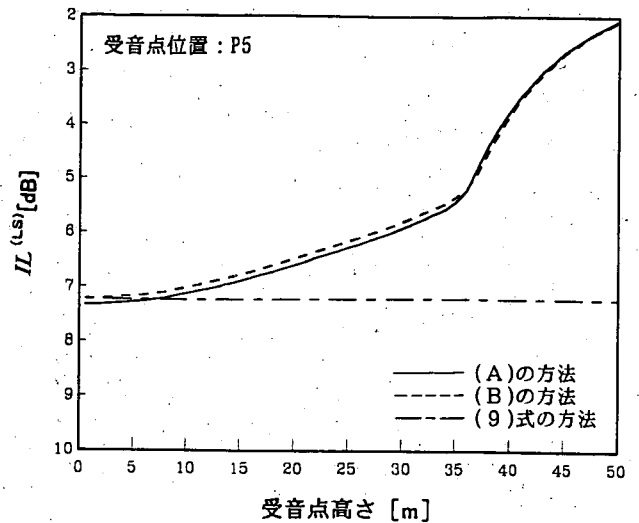


図-7 受音点高さ と $IL^{(LS)}$ の関係

(9)式は、直線道路を対象とした場合に、(B)の方法で建物側壁面における反射音の寄与を無視する((4)式で $L_{p,i} = -\infty$ とする)とともに、建物の高さを無限大と考え建物上方を伝搬する音の寄与を無視する((6)式1)で $\Delta L(RW)_{SXYP} = \infty$ とする)場合に相当する。なお、(9)式の導出過程については、上坂ら⁶⁾を参照されたい。

次に図-7に、建物の背後5mの受音点P5の高さを1.2mから50mまで変化させた場合に、受音点高さ、(A)、(B)の方法および(9)式による $IL^{(LS)}$ の計算値との関係を示した。

これらの図から以下のことが分かる。

- 1) (A)、(B)の方法による計算値は、 θ が 180° に近い場合を除きほとんど差異がない。
- 2) 建物背後の受音点(P1~P8)の高さが1.2mの場合(図-6)は、(B)の方法と(9)式による計算値は、図において区別ができないほど一致する。P5の高さを変化させた場合(図-7)は、建物と同じ高さ(30m)では両方法による計算値の差は1dB程度であるが、それより高くなると計算値の差異が大きくなる。
- 3) 建物の斜め後方の受音点(P9~P16, P17~P24)においては、(A)、(B)の方法と(9)式の結果の差異は、最大で2dB程度である。これは、(9)式が建物側壁面における反射音の寄与を無視していることに起因する。

以上の結果から、(A)、(B)の方法の適用条件、および(9)式の適用等による計算の簡略化の方法は、次のように整理できる。

1) θ が 180° に近い場合は(A)の方法を用いる必要があるが、それ以外の場合は(A)、(B)どちらの方法を用いてもよい。なお、騒音がほぼ1方向から

到来する場合は、建物側方の回折音を考慮しなければならない(A)の方法を用いる必要がある。これには、トンネル坑口の蓋かけ部上方に建物が立地し、その背後の受音点で明かり部の道路からの影響を計算する場合などがあたる。

2) 建物背後の受音点で、その高さが建物より低いときは、計算方法を以下のように簡略化できる。まず、直線道路を対象とする場合は、(9)式を用いればよい。すなわち、建物高さの調査は必要なく、平面形状についても θ の設定に必要な範囲で調査すればよい。このことは、直方体形状以外の建物を対象とした場合でも、 θ さえ設定できれば L_{Aeq} が計算できることを意味する。また、曲線道路においては、建物高さを無限大と考え、(B)の方法を用いればよい。なお、建物側壁面での反射音の寄与 $10^{L_{p,i}/10}$ は、ほぼ無視できる。

3) 建物の斜め後方の受音点では、建物側壁面における反射音を考慮した方が計算精度は高い。しかし、反射音が L_{Aeq} の計算結果に及ぼす影響は、鏡面反射を仮定した場合でも最大1~2dB程度と考えられる。実際の建物壁面がある程度の凹凸と吸音性を持つことを考慮すると、(B)の方法において、建物側壁面での反射音の寄与を省略した近似計算が可能である。この場合、受音点高さが建物より低い時は、上述した建物背後の受音点と同様、計算方法がより簡略化できる。

2.4 建物群背後の特定地点での L_{Aeq} 計算の可能性に関する考察

2.1で提案した方法を建物群背後の特定地点での L_{Aeq} 計算へ適用することの可能性について考察する。ただし、(A)の方法を建物群背後の受音点での

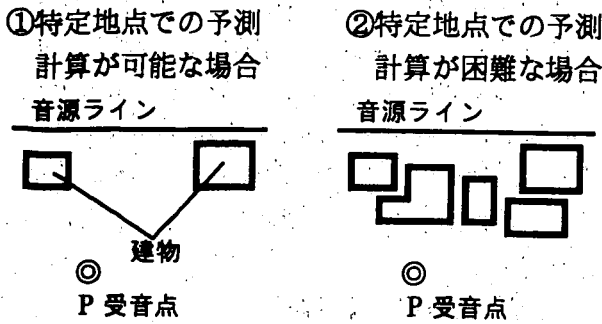


図-8 建物群背後での騒音予測計算

計算に適用することは、煩雑で適用範囲が限定されることも予想されるため、以下では (B) の方法を検討対象とする。

まず、図-8①のように、複数の建物が十分な間隔をおいて立地し、建物間の多重回折、多重反射の影響がほぼ無視できる場合は、原理的には (B) の方法が適用可能である。この際、2.3 の検討結果から判断すると、計算の簡略化のため、建物側壁面での反射音の寄与を省略した近似計算も可能と考える。

しかし、建物の立地密度が大きくなるにつれ、計算精度の向上のためには、建物上方および側方の多重回折ならびに建物側壁面間の反射音の影響を丹念に計算する必要が生じてくると考える。

さらに建物が密集し、図-8②のように P から音源が見通せない場合には、建物間の多重反射の影響や建物間隙から放射する音の指向性を正確に計算する必要がある。この場合には、特定地点での L_{Aeq} の予測計算を幾何音響理論に基づき行うことは、現在のところほとんど不可能と考える。したがって、後述するように、評価区間の平均的な L_{Aeq} を計算することが実用的であると考えられる。

3. 道路近接建物列の背後における評価区間の平均的な L_{Aeq} の計算方法

上述したように、建物群背後においても隣接する建物の間隔が十分広いときは、比較的簡易に特定地点での L_{Aeq} の計算が可能である。しかし、建物が密集するにつれ計算が煩雑になり、最終的には幾何音響理論に基づく計算がほとんど不可能となる。

また、予測地点 (受音点) と建物群の間隙との位置関係により、予測地点での L_{Aeq} は複雑に変化する。よって、たとえ特定地点での L_{Aeq} の計算が可能であったとしても、環境アセスメント等において地域の代表的な騒音レベルを評価する場合は、予測地点の選定が困難である。

したがって、ここでは、道路近接建物列の背後に

おける騒音の評価指標として、3.1 で示す評価区間の平均的な L_{Aeq} を用いることとする。また、3.2 ではその計算方法を示し、3.3 ではその妥当性を模型実験により検証する。さらに、3.4 ではケーススタディにより、計算の簡略化の方法および適用範囲を明らかにする。

なお、基本的には、同一高さ、同一奥行き of 直方体形状の建物から構成される道路近接建物列を想定して議論を進める。

3.1 建物列背後での騒音レベルの区間評価

筆者らは、多くの開口部を有する低層遮音壁 (パネルタイプおよび奥行きを有する植栽柵タイプがある) 背後における評価区間の平均的な等価騒音レベルとして、次式で示される区間平均等価騒音レベル (Section-Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level, $SA \cdot L_{Aeq}$) を提案している^{6),7)}。

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} 10^{L_{Aeq}(x)/10} dx \right) \quad (10)$$

$SA \cdot L_{Aeq}$ [dB] は、道路端から一定距離隔たった一定高さの評価区間 ($x_1 \sim x_2$) が一定時間に受ける音のエネルギーを、時間的かつ空間的に平均した場合の騒音レベルである。

なお、 $SA \cdot L_{Aeq}$ を測定で求める場合は、等間隔に配置した n カ所の測定点での $L_{Aeq}(i)$ から、次式により計算する。

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Aeq}(i)/10} \right) \quad (11)$$

さらに上坂ら^{6),7)} は、低層遮音壁設置前後の $SA \cdot L_{Aeq}$ の差を区間平均挿入損失 (Section-Averaged Insertion Loss, $SA \cdot IL$) と定義している。

道路近接建物列は、低層遮音壁の植栽柵タイプと同様、直方体形状の障壁が道路に沿って1列に並んだものである。したがって、低層遮音壁による減音効果の予測・評価に有効であった $SA \cdot L_{Aeq}$ および $SA \cdot IL$ を、道路近接建物列背後の騒音レベルの評価にも用いることとする。

3.2 計算方法

平面道路を対象とした場合、道路近接建物列背後における評価区間の $SA \cdot L_{Aeq}$ は、道路近接建物列が存在しない場合の等価騒音レベル L_{Aeq} および道路近接建物列による区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ を用いて次式で計算する。

$$SA \cdot L_{Aeq} = L_{Aeq} - SA \cdot IL \quad (12)$$

SA・ILの計算については、上坂ら^{6,7)}の方法を適用する。すなわち、これらの文献で示されたSA・ILの計算式において、道路近接建物列の延長が十分長い(無限長)とすると、次式が得られる。

$$SA \cdot IL = -10 \log_{10} \{ 10^{-IL_0^{(LS)}/10} + (1 - 10^{-IL_0^{(LS)}/10}) \alpha \} \quad (13)$$

ここで、 $IL_0^{(LS)}$ は、道路近接建物列が無限に連続しているとみなした場合に、無限線音源に対する建物列の有無によるユニットパターンのエネルギー積分値の差を示す。連続した建物列は反射性厚み障壁²⁾とみなせるため、 $IL_0^{(LS)}$ の計算には、(3)、(6)式同様、 $\Delta L(RW)$ の計算式を用いる。

また、 α は道路近接建物列の間隙率であり、次式で定義する(図-9参照)。

$$\alpha = \left(\sum_{i=1}^n g_i \right) / l \quad (14)$$

ここで、 l は評価区間長[m]を、 $g_i (i=1 \sim n)$ [m]

音源ライン(十分長い平面道路)

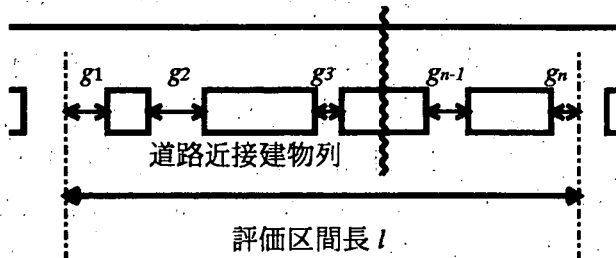


図-9 道路近接建物列背後の評価区間と間隙率 α の設定

は評価区間内における*i*番目の建物間隔(gap)を表す。なお、 g_1, g_n は、評価区間の両端(一般的には、評価区間の外郭を形成する交差道路の中心線)から最も近い建物側壁面までの距離を示す。

なお、(13)式では、音が道路近接建物列の間隙を伝搬する際に生ずるエネルギーの損失は十分に小さいと仮定している。

3.3 模型実験による検証

(1) 実験の方法

(13)式の検証を行うため、無響室において、縮尺比1/20の模型実験を行った。

図-10に模型実験の配置を示す。2.2と同じ直方体の建物模型(間口10m、奥行き8m、高さ5m)4棟を等間隔で整列させ、その両側に、高さ、奥行きが同じで延長が40~80mの建物を設置した。隣接する建物の間隔 g は0.5m, 2m, 5m, 10m(間隙率 α は、順に、0.048, 0.167, 0.333, 0.5となる)と変化させた。また、受音点高さは、 $g=0.5$ mの時、1.2m; 4m, 8m, 12mの4通りとし、その他の g では1.2mとした。音源には、ジェットノイズを利用した線音源⁸⁾(延長160m、半径=音源高さ0.2m)を用い、それを床面(地面)上に置いた。地面および建物は反射性とし、それぞれ厚さ3mmおよび5mm(原寸)の亚克力板で製作した。また、対象周波数は、予備実験の結果、無響室壁面での反射音の影響と計測器のノイズをほぼ排除できる200Hz~3.15kHz

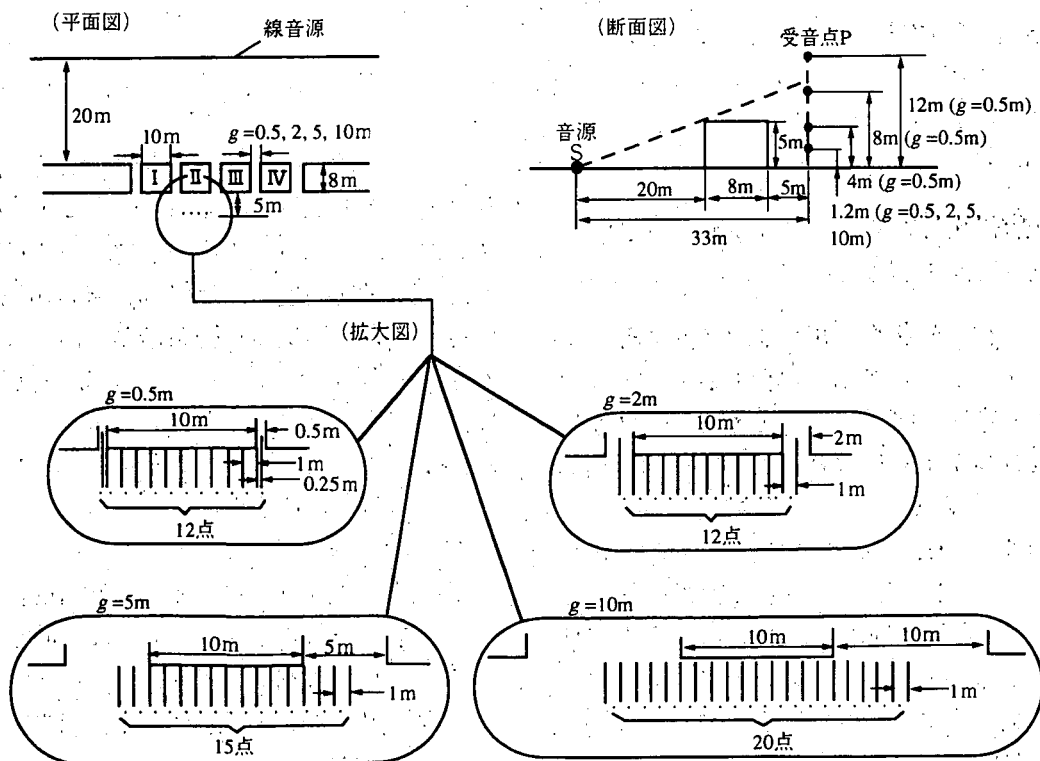


図-10 4棟建物を用いた模型実験の配置

とした。

図-10のとおり、基本的には、建物Ⅱの後方の評価区間を1m間隔に区分して、各々の区間中央に受音点を配置した。ただし、 $g=2\text{m}$ 、受音点高さ1.2mの時には、後述する図-11での検討のため、建物Ⅰの後方も含め24点の受音点を配置した。

$SA \cdot IL$ の実験値は(15)式より算出した。算出にあたっては、地面上に何も設置しない場合と、4棟の建物およびその両側の建物を設置した場合の音圧レベルの差異から、受音点*i*での挿入損失 $IL_i^{(LS)}$ を1/3オクターブバンドごとに求めた。

$$SA \cdot IL = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-IL_i^{(LS)}} \right) \quad (15)$$

ただし、 $g=0.5\text{m}$ の時は、間隙背後の区間を0.25m区間に分割したため、他の1m区間の $IL_i^{(LS)}$ の測定値は(15)式において4点分と数えた。

(2) $IL_i^{(LS)}$ の実験値および4棟建物をを用いた実験の妥当性

本実験では建物を等間隔に配置している。これは、 $SA \cdot IL$ が建物間隙の位置や数に関わらず間隙率 α に依存して定まることが、(13)式の検討過程において明らかとなっている⁶⁾からである。

図-11に、受音点高さ1.2m、 g が0.5m、2m、5m、10m時の各受音点での $IL_i^{(LS)}$ の実験値を示す。なお、 $IL_i^{(LS)}$ は、自動車走行騒音の代表パワースペクトル³⁾で重み付けしたA特性オーバーオール値として示した(図-12、14の $SA \cdot IL$ も同様)。

g が2mの場合、建物Ⅰ、Ⅱの後方で周期的な $IL_i^{(LS)}$ の変化が観測され、各周期の $SA \cdot IL$ もほぼ一致した。したがって、図-10に示す建物Ⅱの後方区間の $SA \cdot IL$ を測定すれば、建物が等間隔で無限に立地した場合とほぼ同等の結果が得られると判断した。

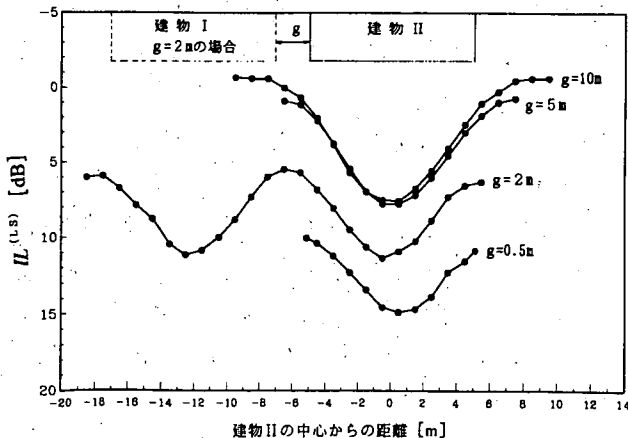


図-11 $IL_i^{(LS)}$ の模型実験値

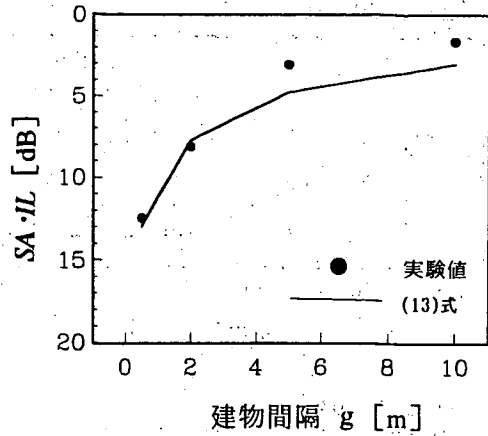


図-12 建物間隔 g を変化させた場合の $SA \cdot IL$ の計算値と実験値の比較

(3) $SA \cdot IL$ の計算値と模型実験値の比較

図-12に受音点高さが1.2mの場合に、建物間隔 g を変化させた場合の $SA \cdot IL$ の計算値と実験値を示す。 g が0.5m、2mの時は、計算値と実験値は非常によく一致している。しかし、 g が5m、10mの時は、計算値が実験値より1~2dB程度大きい値を示している。

さらに図-13に、建物間隔 g と $SA \cdot IL$ の関係を周波数別に示す。 $g=2\text{m}$ 、5m、10mでは、 $SA \cdot IL$ の計算値、実験値とも、周波数にかかわらず、ほぼ一定である。これは周波数に依存する建物列上方の回折音が無視できるほど小さいためと考えられる。一方、 $g=0.5\text{m}$ の時の $SA \cdot IL$ 実験値は、周波数が低くなるにつれ減少する傾向が見られる。この時、 $SA \cdot IL$ の計算値が周波数の低下とともにやや減少するのは上方回折音の影響だが、実験値では計算値を上回る $SA \cdot IL$ の減少が観測された。

次に、図-14に、 $g=0.5\text{m}$ の場合に、受音点高さを1.2m、4m、8m、12mとした時の $SA \cdot IL$ の計算値と実験値を示した。すべての受音点高さで、計算値と実験値は非常によく一致している。

g が小さい時には、(13)式による計算値は低周波数帯域で実験値とやや乖離する傾向が見られた。しかし、 $SA \cdot IL$ を自動車走行騒音の代表パワースペクトル³⁾で重み付けしたA特性オーバーオール値として算出する場合は、計算値と実験値の差は2dB以下である。したがって、(13)式は、道路交通騒音を対象とする場合、実用上、十分に利用できると考える。なお、受音点側の地面反射音を考慮した計算も行ったが、計算結果にほとんど差異は認められなかった。

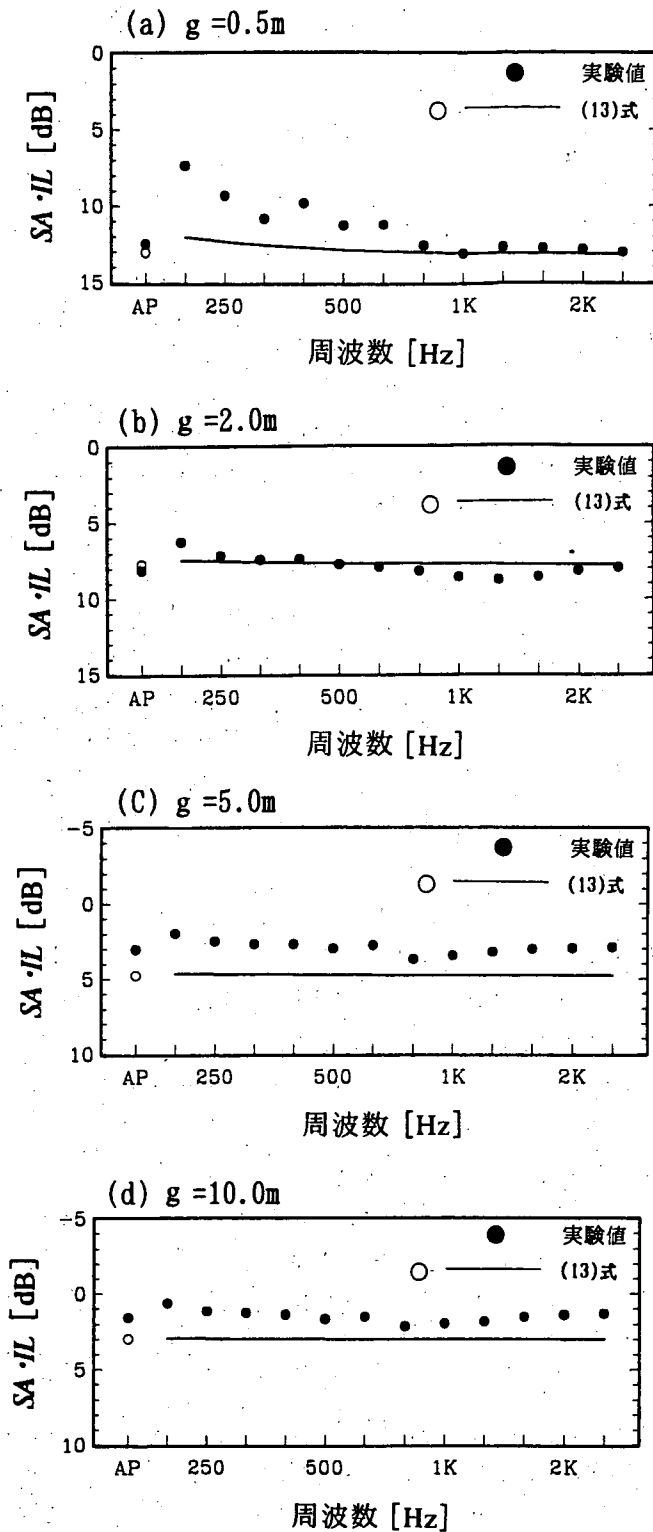


図-13 SA·IL の計算値と実験値の比較 (周波数別)

3.4 計算方法の簡略化に関する検討

(13)式による SA·IL の計算に必要な建物高さ、建物奥行き、間隙率 α というパラメータと SA·IL の関係をケーススタディにより分析し、計算の簡略化の方法および適用範囲を明らかにする。

- (1) 建物パラメータと SA·IL の関係の分析
対象道路として、都市内における幅員 30 m の 4

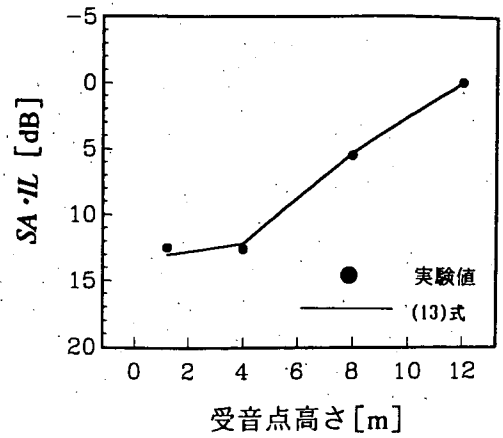


図-14 受信点高さを変化させた場合の SA·IL の計算値と実験値の比較

車線の平面道路を想定した。道路近接建物列の道路側壁面は道路端に位置するとし、建物奥行き (0~19 m)、建物高さ (5~20 m)、間隙率 α (0.05~0.5) を変化させた。音源は道路中央を移動することとし、受信点は建物後方 (道路端からの距離は 20 m) で高さは 1.2 m, 5 m, 8 m とした。なお、対象周波数は道路交通騒音の主要帯域を含む 50 Hz~5 kHz とし、SA·IL の計算値は自動車走行騒音の代表パワースペクトル³⁾で重み付けした A 特性オーバーオール値として示した。

図-15 に、建物高さが 7 m (2 階建て相当) または 10 m (3 階建て相当) の場合に、受信点高さ別に、間隙率 α と SA·IL の関係を示す。これらの図から、SA·IL は α にしたがって 3~13 dB の範囲で大きく変化していることが分かる。また、受信点高さが建物高さより低い時は、SA·IL は受信点高さにはほとんど関係していない。

図-16 に、受信点高さ 8 m、間隙率 α が 0.05, 0.2 または 0.5 の場合に、建物高さを 5 m から 20 m まで変化させた時の SA·IL の変化を示す。 α により変化の状況は異なるが、建物高さが受信点より高い場合は、建物高さは SA·IL の算出にほとんど関係していない。

図-17 に、建物高さ 7 m、受信点高さ 5 m または 8 m、間隙率 α が 0.05, 0.2 または 0.5 の場合に、建物奥行きを 0 m (道路側の壁面位置にある薄い障壁に相当) から 19 m まで変化させた場合の SA·IL の変化を示した。受信点が建物より低い場合だけでなく高い場合にも、建物奥行きは SA·IL にほとんど影響を与えないことが分かる。

- (2) 計算の簡略化の方法と適用範囲

以上の分析結果から、(13)式の簡略化の方法と適用

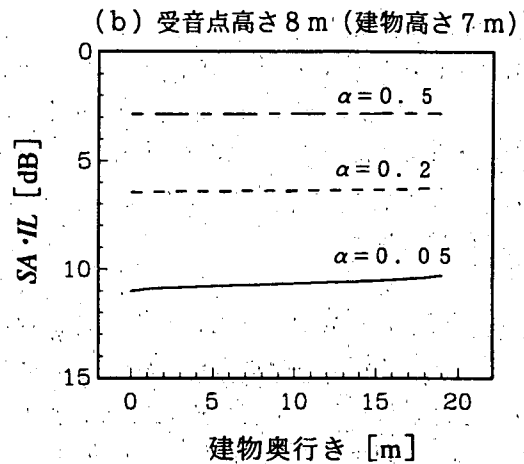
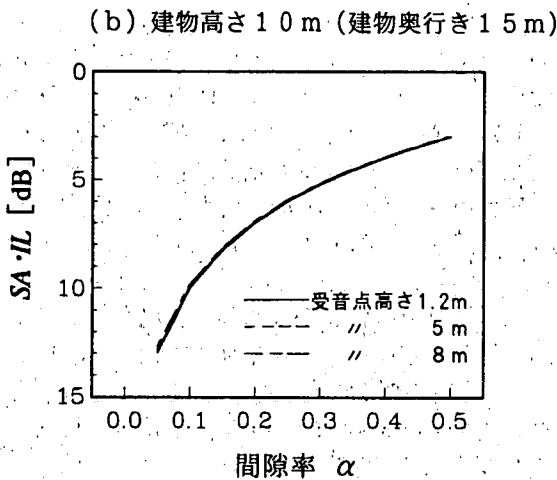
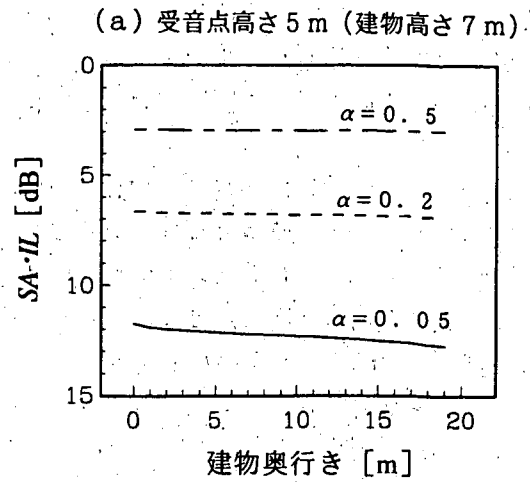
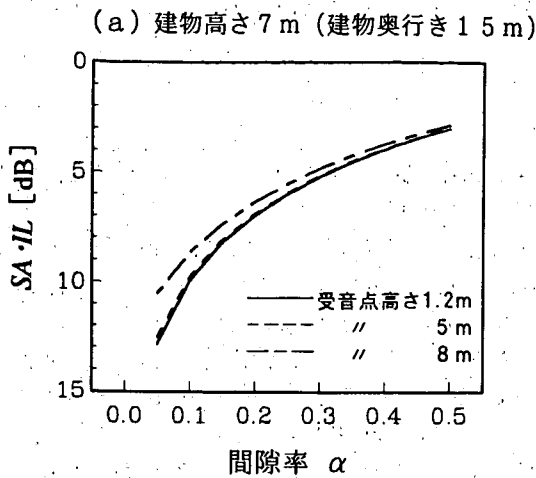


図-15 間隙率 α と $SA \cdot IL$ の関係

図-17 建物奥行きと $SA \cdot IL$ の関係

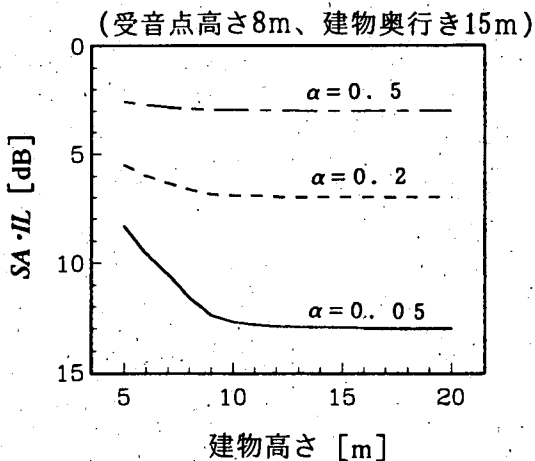


図-16 建物高さ と $SA \cdot IL$ の関係

(16)式は、高さや奥行きが異なる建物から構成される道路近接建物列にも適用できる。なお、 α が小さい場合は、その設定誤差が $SA \cdot IL$ の計算値に与える影響が大きいため、 α の調査には高い精度が要求される。

2) 道路近接建物列より高い受音点での計算では、 α に加えて、建物高さも設定する必要がある。一方、建物奥行きが $SA \cdot IL$ の計算結果に与える影響は、受音点が低い時と同様に小さい。したがって、建物を道路側の壁面からなる薄い障壁と考えても、計算上ほとんど支障はない。

4. ま と め

平面道路に直面した単独建物および建物列後方における L_{Aeq} の簡易な計算方法の検討を行った。

まず、単独建物後方の特定地点における L_{Aeq} の計算方法を2通り示し、これらの妥当性を計算値と模型実験値との比較および計算値相互の比較により明らかにした。また、これらの方法を建物群背後の特定地点での L_{Aeq} の予測に用いる場合の適用性につ

範囲は、次のように整理できる。

1) 道路近接建物列より低い受音点では、 $SA \cdot IL$ は、ほぼ間隙率 α によって決定される。したがって、建物の正確な高さや建物奥行きを調査する必要はなく、(13)式において、 $10^{-IL_0^{(LS)}/10} \approx 0$ とした次式で計算すればよい。

$$SA \cdot IL = -\log_{10} \alpha \quad (16)$$

いて述べた。次に、道路に近接した建物列の背後における区間平均等価騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq}$) の計算方法を提案し、その妥当性を模型実験により検証した。

さらに、これらの計算に必要な建物高さ、水平方向の建物の見込み角 θ 、道路近接建物列の間隙率 α などの建物パラメータと計算値の関係を分析することにより、受音点位置に応じた計算の簡略化の方法を検討した。その結果、受音点の高さが建物より低い場合は、 θ や α のみを用いて予測計算を行えばおおむねよいことが明らかとなった。

なお、本論文で提案した 2.1 の (B) の方法や 3.2 の (13) 式は、原理的には遮音壁の設置された道路に対しても応用が可能と考える。

今後は、本論文で提案した方法を実測値により検証すべきと考える。また、近接した建物列後方の特定地点における L_{Aeq} の計算方法や、2 列以上の建物群背後における $SA \cdot L_{Aeq}$ の計算方法について検討を行う必要がある。

謝辞

長期間にわたり模型実験に用いた線音源を貸与していただいた(財)小林理学研究所、模型実験の方法等について貴重な助言をいただいた同研究所の山本貢平氏ならびに計算を担当された(株)総合技術コ

ンサルタントの吉田光明氏に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 騒音に係る環境基準について、平成 10 年環境庁告示第 64 号 (1998)
- 2) 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 高木興一: 幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法, 騒音制御, 23 巻 3 号, pp. 189~199 (1999)
- 3) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル "ASJ Model 1998", 日本音響学会誌, 55 巻 4 号, pp. 281~324 (1999)
- 4) K. Yamamoto, K. Takagi: Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics, Vol. 37, pp. 75~82 (1992)
- 5) Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA: FHWA Highway traffic noise prediction model, Report FHWA-RD-77-108 (1977)
- 6) 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 千葉 隆, 高木興一: 低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 土木学会環境工学研究論文集, 34 巻, pp. 307~317 (1997)
- 7) 上坂克巳, 大西博文, 鉢嶺清範, 石川賢一, 高木興一: 種々の低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究, 騒音制御, 23 巻 2 号, pp. 99~109 (1999)
- 8) 加来治郎, 山下充康: 騒音の市街地浸透に関する研究, 日本音響学会誌, 35 巻 5 号, pp. 257~261 (1979)

道路に面した市街地における 区間平均等価騒音レベルの計算方法*

上坂克巳^{*1}・大西博文^{*1}・千葉 隆^{*2}・高木興一^{*3}

(1999年3月16日受付, 1999年7月13日受理)

【要旨】

騒音に係る環境基準が改定され、道路に面する地域の環境基準の達成状況の評価は、基準値を超過する住居等の戸数および割合を把握して行うことが示された。したがって、市街地における道路交通騒音を広域的に計算する方法の必要性が高まっている。本論文では、平面街路および遮音壁の設置された道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq}$) の計算方法を提案した。これらの方法は、市街地を道路に直面した建物列とその背後の建物群に大別してモデル化し、建物群の間隙を伝搬する音と建物群の上方を伝搬する音の寄与を合成して、 $SA \cdot L_{Aeq}$ を算出するものである。計算方法の妥当性は、模型実験および現地調査により明らかにされた。

【ABSTRACT】

The revised environmental quality standards for noise provide that the status of noise in the "areas facing roads" should be evaluated by calculating the number and the ratio of residences at which L_{Aeq} exceeds the standards. Therefore calculating road traffic noise in large built-up areas becomes increasingly important. This paper presents methods for calculating section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level ($SA \cdot L_{Aeq}$) in the built-up areas facing a surface street and a highway with noise barriers. In these methods, the built-up areas are classified into a row of buildings directly facing the road and the other buildings behind it. The values of $SA \cdot L_{Aeq}$ in the areas are calculated by summing the contributions from the sound paths propagating among buildings and over them. The validity of the methods presented here is verified by model experiments and field surveys.

キーワード：市街地，区間平均等価騒音レベル，模型実験と現地調査，騒音に係る環境基準，道路交通騒音

: Built-Up Areas, Section-Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level ($SA \cdot L_{Aeq}$), Model Experiment and Field Survey, Environmental Quality Standards for Noise, Road Traffic Noise

* Calculation Methods for $SA \cdot L_{Aeq}$ in Built-Up Areas Facing a Road

^{*1} Katsumi Uesaka and Hirofumi Ohnishi: Public Works Research Institute, Ministry of Construction (建設省土木研究所)

^{*2} Takashi Chiba: Public Planning & Policy Studies, Inc. ((株)公共計画研究所)

^{*3} Koichi Takagi: Graduate School of Engineering, Kyoto University (京都大学大学院工学研究科)

1. はじめに

平成11年4月1日に、等価騒音レベル(以下「 L_{Aeq} 」という)を評価指標とする新たな「騒音に係る環境基準」¹⁾が施行された。同基準では、道路に面する地域の環境基準の達成状況の評価は、地域内の住居等のうち基準値を超過する戸数および超過する割合を把握して行うとされている。したがって、今後の騒音評価では、多数の建物が立地する地域(以

下「市街地」という)における道路交通騒音の状況を広域的に把握する必要がある。広域的な騒音の把握を測定により行うことは多大な労力を要するため、道路交通条件および建物の立地状況から騒音を推計する手法が有効である。

本論文では、道路に面した市街地における評価区間の平均的な騒音レベルを、道路からの距離に応じて簡便に計算する方法を検討する。

以下、まず、2. では、既存の研究との比較により本研究のねらいを明らかにする。次に、3. では、市街地のモデル化および市街地における騒音レベルの計算方法について示し、4. では、模型実験により建物群の間隙を伝搬する音の超過減衰を表す回帰式を作成する。さらに、5.、6. では、提案した計算方法を模型実験値、従来の実験式および現地実測値と比較し、その妥当性を検証する。

2. 本研究のねらい

沿道の市街地での騒音伝搬に関する研究事例としては、山田ら²⁾、加来ら³⁾、家田ら⁴⁾、藤田ら⁵⁾、藤本ら⁶⁾の文献やISO9613-2の付録で示された方法⁷⁾等が挙げられる。

これらの中で、現在、わが国で最も実用的に用いられているのは加来らの方法³⁾である。この方法は、模型実験結果より、家屋による超過減衰量を道路の高さ、家屋密度、道路端からの距離で表す経験式として導いたものであるが、以下の課題を有している。

1) 郊外の住宅地を想定しているため、建物の立地密度(以下「建物密度」という)の適用範囲は0.34(200m×200mの面積中に200戸)以下、建物高さは2階建て以下、受音点高さは1.2mと限定されている。また、都市部の市街地では、用途規制の差異等から道路に近接した地域とその背後の地域では建物密度が異なることもあり、それが騒音レベルの計算結果に与える影響は大きい(4.2参照)が、このことを計算上反映できない。

2) 平面道路だけでなく、高架道路を対象とした場合の計算式も示されているが、その適用条件は高欄高さが1mの場合に限定され、それより高い遮音壁が設置された場合は適用ができない。

したがって、本論文では、特に都市部の市街地を想定し、建物密度が高く3階建て以上の建物が存在する場合にも適用が可能で、道路に直面した建物列(以下「道路近接建物列」という)とその背後の建物群(以下「背後建物群」という)の建物密度の差異

を計算に反映できる方法を提案する。また、遮音壁のない平面道路(以下「平面街路」という)に加え、遮音壁が設置された道路も対象とし、広い受音点範囲で適用が可能な方法の構築を目指す。

3. 市街地のモデル化と騒音レベルの計算方法

3.1 騒音レベルの評価指標

騒音レベルの評価指標としては、筆者らが提案している⁸⁾ 区間平均等価騒音レベル(Section-Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level, $SA \cdot L_{Aeq}$)を用いる。なお、市街地における騒音レベルの区間評価の必要性および有効性については、上坂ら⁸⁾を参照されたい。

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} 10^{L_{Aeq}(x)/10} dx \right) \quad (1)$$

$SA \cdot L_{Aeq}$ [dB] は、道路端から一定距離隔たった一定高さの評価区間 ($x_1 \sim x_2$) が一定時間に受ける音のエネルギーを、時間的かつ空間的に平均した場合の騒音レベルである。

なお、 $SA \cdot L_{Aeq}$ を測定で求める場合は、等間隔に配置した n カ所の測定点での $L_{Aeq}(i)$ から、次式により計算する。

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Aeq}(i)/10} \right) \quad (2)$$

さらに、建物群および遮音壁による減音効果を表す指標として、それらの有無による $SA \cdot L_{Aeq}$ の差である区間平均挿入損失(Section-Averaged Insertion Loss, $SA \cdot IL$)⁸⁾を用いる。

3.2 市街地における $SA \cdot L_{Aeq}$ 計算の基本的考え方

建物が密集した市街地では騒音の距離減衰が大きいため、広域的な騒音レベルの計算においては暗騒音補正を行うことが望ましい。ここでは、道路から一定距離隔たった一定高さの評価区間の $SA \cdot L_{Aeq}$ を、道路交通騒音(Road Traffic Noise)の寄与 $SA \cdot L_{Aeq}(RN)$ と暗騒音(Background Noise)の寄与 $SA \cdot L_{Aeq}(BN)$ とを合成した次式で求めることとする。

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} (10^{SA \cdot L_{Aeq}(RN)/10} + 10^{SA \cdot L_{Aeq}(BN)/10}) \quad (3)$$

$SA \cdot L_{Aeq}(RN)$ は、半自由空間での幾何減衰を考慮して計算される等価騒音レベル $L_{Aeq}(RN)$ から、建物群、遮音壁による $SA \cdot IL$ を差し引いて求める。なお、ここでは地表面効果は無視する。

$$SA \cdot L_{Aeq}(RN) = L_{Aeq}(RN) - SA \cdot IL \quad (4)$$

$L_{Aeq}(RN)$ の計算は、一般的に ASJ Model 1998⁹⁾ の方法によるが、十分長い直線道路ではこの方法を無限線音源に適用した次式を用いることができる。

$$L_{Aeq}(RN) = L_{WA} - 3 - 10 \log_{10} d - 10 \log_{10} (1,000 V/N) \quad (5)$$

ここで、 L_{WA} は走行車両の A 特性パワーレベル [dB]、 d は線音源 (音源を設定する車線) から評価区間までの距離 [m]、 V は車両の平均走行速度 [km/h]、 N は交通量 [台/h] である。

一方、 $SA \cdot L_{Aeq}(BN)$ は、別途、測定して設定することも可能であるが、一般的には騒音に係る環境基準¹⁾ という昼間、夜間に対して、各々 50 dB、40 dB とすればよいと考える。これは、1) 環境騒音が、同基準の AA 類型の基準値に相当するこれらの値を下回ることは少ないと考えられること、2) 計算値を道路に面する地域の A 類型の基準値 (昼間 60 dB、夜間 55 dB) と比較して環境基準の達成状況を評価する時 (B、C 類型の場合も同様) も、暗騒音補正の影響はほとんど無視できる、ことによる。

なお、 $SA \cdot IL$ の計算方法については後述する。

3.3 市街地のモデル化と建物パラメータ

本論文でいう市街地 (図-1 参照) は評価の基本単位でもあり、原則として対象道路およびそれと交差する道路で囲まれた地域とする。ただし、後述する市街地の建物パラメータがおおむね一定とみなせる地域は、統合して評価することができる。

音源は対象道路上にのみ線音源 S を想定し、交差道路からの発生音は考慮しない。

また、前述したように、市街地を形成する建物を道路近接建物列と背後建物群とに分類し、それらに

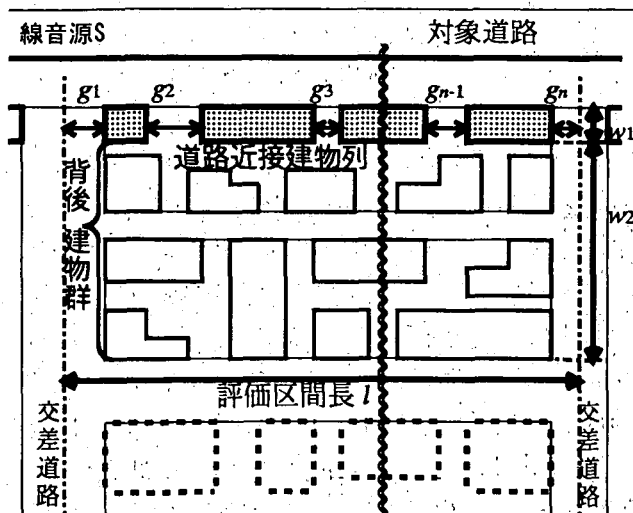
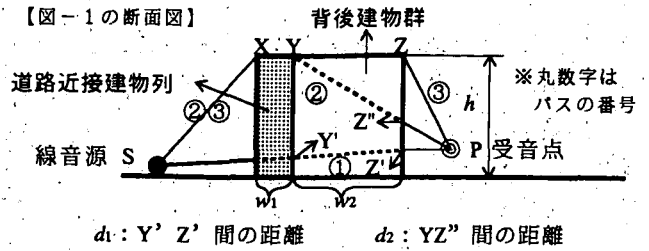


図-1 市街地のモデル化 (平面図)



(注) P が Z より高くなり SP が \overline{YZ} と交わるときは、交点を Z' とし $d_2 = 0$ とする。さらに P が高くなり SP が Y の上を通過するとき、 $d_1 = d_2 = 0$ とする。

図-2 平面街路を対象とする場合の音の伝搬パスと d_1, d_2 設定の考え方

対し、以下に示す五つの建物パラメータを与える (図-1, 2, (8), (9) 式参照)。

- 1) 道路近接建物列および背後建物群の平均高さ h [m]
- 2) 道路近接建物列の間隙率 α
- 3) 道路近接建物列の平均奥行き w_1 [m]
- 4) 背後建物群の建物密度 β
- 5) 背後建物群の平均奥行き w_2 [m]

ここで、 w_2 は道路近接建物列の後方壁面から、背後建物群の最後方壁面までの平均距離を表す。

建物パラメータとして、道路近接建物列に α 、背後建物群に β を与えた理由は次のとおりである。

1) 道路近接建物列直後の評価区間では、建物間隙を伝搬する際の多重反射、散乱による音の減衰は小さく、建物が完全反射の場合の $SA \cdot IL$ は主に α を用いて簡易に求められることが明らかとなっている⁸⁾ ((10) 式参照)。

2) 一方、背後建物群後方の評価区間 (受音点を P で表す) の $SA \cdot IL$ 計算では、建物群中を多重反射、散乱しながら伝搬する音の減衰を考慮する必要がある。このためには、建物密度がパラメータとして有効なことが、従来の研究で明らかになっている^{2), 3), 6), 7)}。

また、 h, w_1 および w_2 というパラメータは、受音点位置が高い場合や道路から離れている場合などに、特に重要となる。なお、基本的には道路近接建物列と背後建物群の平均高さがほぼ同一の場合を想定して議論を進め、両者が異なる場合の取り扱いについては 3.4(3) で述べる。

3.4 市街地における $SA \cdot IL$ の計算方法

(1) 平面街路を対象とする場合

まず、平面街路を対象に、建物群による $SA \cdot IL$ の計算方法を示す (図-2 参照)。

今、線音源 S から発生し市街地を伝搬する音の経

路（パス）として、以下の三つを考える。

- 1) パス1: 道路近接建物列の前面および上面の間隙から入射し、背後建物群中を伝搬する音を表すパス
- 2) パス2: 背後建物群の上面の間隙から入射し、背後建物群中を伝搬する音を表すパス
- 3) パス3: 道路近接建物列および背後建物群の上方を伝搬する音を表すパス

ここで、パス1、パス2、パス3による音の寄与 (Contribution, エネルギー量) を C_1, C_2, C_3 とし、建物群が存在しない場合の音の寄与を C とすると、 $SA \cdot IL$ は以下の式で与えられる。

$$SA \cdot IL = -10 \log_{10} (C_1/C + C_2/C + C_3/C) \quad (6)$$

$C_1/C \sim C_3/C$ は次式で計算する。

$$\begin{cases} C_1/C = \alpha (1 - 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10}) 10^{-4L(\beta, d_1)/10} \\ C_2/C = (1 - \beta) (10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10} - 10^{-IL^{(LS)}_{SXZP}/10}) \times 10^{-4L(\beta, d_2)/10} \\ C_3/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SXZP}/10} \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 $IL^{(LS)}_{SXYP}$ および $IL^{(LS)}_{SXZP}$ は、線音源 (Line Source) に対する無限長の連続した反射性厚み障壁 (Reflective Wide Barrier) による挿入損失を表す。これらは上坂ら¹⁰⁾の点音源に対する減音量 $4L(RW)$ の計算式を用いて、障壁の有無によるユニットパターン⁹⁾の積分値の差として求める。また、 $4L(\beta, d_i)$ は、パス i ($i=1, 2$) が背後建物群を通過する際の超過減衰量 [dB] を示し、 β および d_i の関数 (13式参照) である。さらに d_i はパス i の背後建物群中の通過距離を示し、図-2 で定義される。

(7)式の導出の考え方を示す。まず、図-3のように、エッジを X, Y または X, Z とする反射性厚み障壁の上方回折音の寄与を、各々 C_0, C_3 とすると、

$$C_0/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10}, C_3/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SXZP}/10}$$

が得られる。

C_1 の算出では、道路近接建物列の間隙を通過する

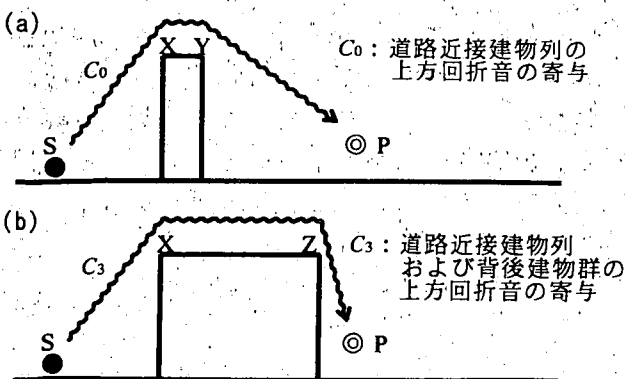


図-3 建物群を連続した反射性厚み障壁とみなすことによる上方回折音の計算

音の寄与を $\alpha (C - C_0)$ とし、それに背後建物群を通過する音の寄与の減少割合を乗じた。 C_2 の算出では、同様の考え方において、背後建物群の上面の間隙から入射する音の寄与を $(1 - \beta) (C_0 - C_3)$ で表した。これらを C で除すことにより、(7)式の C_1/C および C_2/C に関する式が得られる。

一方、道路近接建物列の間隙率 α は、次式で定義される⁸⁾ (図-1 参照)。

$$\alpha = \left(\sum_{i=1}^n g_i \right) / l \quad (8)$$

ここで、 l は評価区間長 [m] を、 g_i ($i=1 \sim n$) は道路近接建物列の i 番目の建物間隔 (gap) を表す。なお、 g_1, g_n は、評価区間の両端 (一般的には、市街地外周の交差道路の中心線) から最も近い建物側壁面までの距離を示す。

さらに、背後建物群の建物密度 β は次式で定義される (図-1 参照)。

$$\beta = \frac{A}{w_2 l} \quad (9)$$

ここで、 A (m^2) は、背後建物群中に存在する建物の建築面積の和を表す。

なお、(7)式に $\beta=0$ を代入すると、(6)式は、

$$SA \cdot IL = -10 \log_{10} \{ \alpha (1 - 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10}) + 10^{-IL^{(LS)}_{SXYP}/10} \} \quad (10)$$

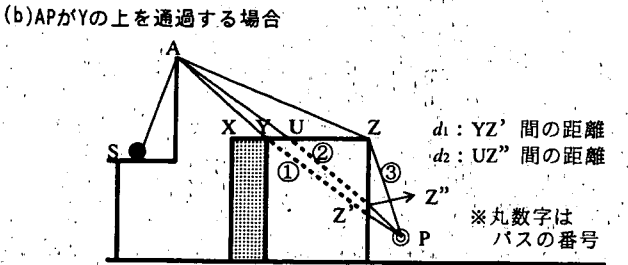
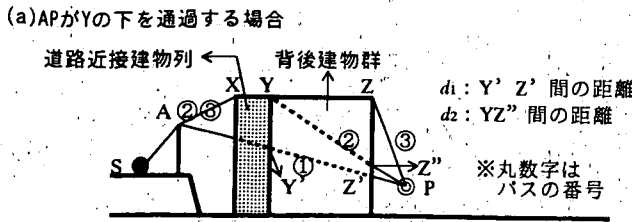
となり、上坂ら⁸⁾による平面道路に近接する建物列直後の評価区間の $SA \cdot IL$ 計算式と一致する。

(2) 遮音壁のある道路を対象とする場合

高さが一定の連続した遮音壁が設置された道路を対象とする場合、(6)式の $C_1/C \sim C_3/C$ は、(7)式の考え方を応用した次式で計算する (図-4 参照)。

$$\begin{cases} C_1/C = \alpha (10^{-IL^{(LS)}_{SAP}/10} - 10^{-IL^{(LS)}_{SAXYP}/10}) \times 10^{-4L(\beta, d_1)/10} \\ C_2/C = (1 - \beta) (10^{-IL^{(LS)}_{SAXYP}/10} - 10^{-IL^{(LS)}_{SAXZP}/10}) \times 10^{-4L(\beta, d_2)/10} \\ C_3/C = 10^{-IL^{(LS)}_{SAXZP}/10} \end{cases} \quad (11)$$

ここで、 $IL^{(LS)}_{SAP}$ は、線音源に対する遮音壁による挿入損失を表し、点音源に対する半無限障壁による減音量の計算式¹¹⁾を用いて求める。また、 $IL^{(LS)}_{SAXYP}$ は無限線音源に対する半無限障壁 (エッジ A) と反射性厚み障壁 (エッジ X, Y) による二重回折による挿入損失を示す。その算出には、点音源に対する半無限障壁 (Single Barrier) および反射性厚み障壁による二重回折の減音量 $4L(D, S-RW)_{SAXYP}$ の計算が基本となるが、これを次式で求めた。



(注)さらにAが高くなり、APがZより上を通る場合は $d_2=0$ とする。一方、PがZより高い場合の扱いは、図-2(注)を参照されたい。

図-4 遮音壁のある道路を対象とする場合の音の伝搬パスと d_1, d_2 設定の考え方

$$\Delta L(D, S-RW)_{SAXYP} = \Delta L_{SAP} + \Delta L(RW)_{AXYP} \quad (12)$$

この式では、上坂ら¹²⁾の二重障壁による減音量の計算方法を応用した。すなわち、半無限障壁による減音量を基本とし、さらにエッジA上に仮想音源を想定して反射性厚み障壁による減音量を加えた。

(3) 道路近接建物列が背後建物群より高い場合の SA・IL の近似計算方法

3.4(1), (2)において、道路近接建物列の平均高さが背後建物群より高い場合は、近似的には(6)式の $C_2/C, C_3/C$ を、 $\alpha C_2/C, \alpha C_3/C$ に改めればよい。この方法では、道路近接建物列の上方を伝搬する音の寄与は無視できるほど小さいと仮定している。

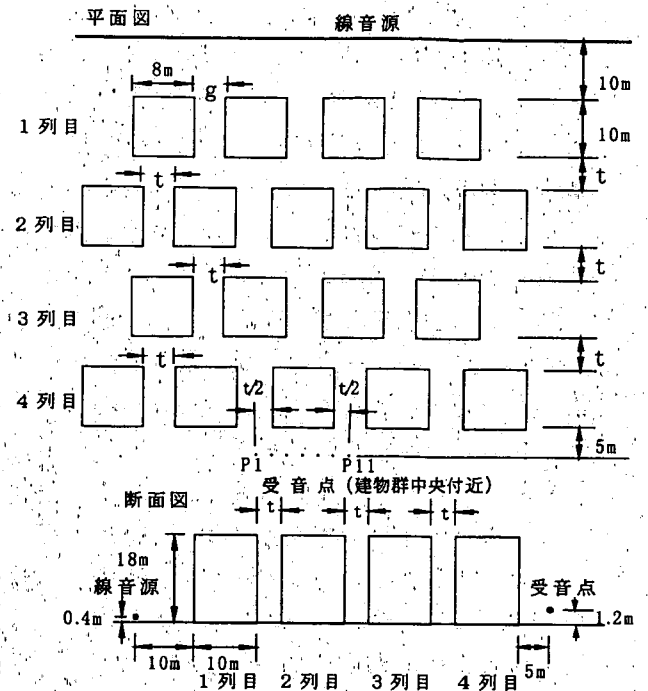
4. 背後建物群を通過する音の超過減衰式の検討

背後建物群を通過する音の超過減衰量を表す実験帰帰式を作成するため、無響室において縮尺比1/40の音響模型実験を行った。

4.1 模型実験の方法

(1) 実験方法

模型実験の配置および実験ケースを図-5に示す。この図において、「建物列数」とは実際に配置した列数を表し、「受音点位置 i ($i=1\sim 4$) 列目背後」とは、 i 列の建物を配置したと仮定した時に、その最後列の建物の受音点側の壁面から5m(実物換算。本論文では、模型実験に関する数値は、「原寸」とことわらない限り実物換算で示す)離れた位置を指す。また、各々の受音点位置において、建物が存



ケース No	建物列数	1列目の建物間隔 g (m)	2列目以後の建物間隔 t (m)	受音点位置			
				1列目背後	2列目背後	3列目背後	4列目背後
1	1	1	1				
2	2	1	1		①		
3	3	1	5			②	
4	1	2	2				③
5	3	2	5				③
6	1	3	3	○		④	
7	2	3	3		④		
8	3	3	3				⑤
9	3	3	5			○	
10	1	5	5	○	⑥	⑦	
11	2	5	5		⑥		
12	3	5	5			⑦	
13	4	5	5				⑧
14	1	7	7	○	⑨	⑩	
15	2	7	7		⑨		
16	3	7	7			⑩	
17	4	7	7				⑩

注: (13)式, (14)式の算出には、同じ○数字の実験データの組み合わせを用いた。

図-5 模型実験の配置および実験ケース

在しない場合の音圧レベルも測定した。

直方体の建物模型の大きさは、建築面積 80 m² (間口 8 m, 奥行 10 m) で、高さは建物上方の回折音を無視できると考えられる 18 m とした。この模型を、ジェットノイズを利用した線音源³⁾(延長 320 m, 半径=音源高さ 0.4 m) に沿って 320 m 以上の延長で整列させた。

建物列数、音源から1列目の建物(道路近接建物列)の間隔 g と2列目以降の建物群(背後建物群)の前後左右の間隔 t を、実験ケースのように変化させて、等間隔に配置した受音点 P1~P11 (高さ 1.2 m) で音圧レベルを測定した。測定は1/4インチタイプのマイクロホンを移動させて行った。そして、各マイクでの音圧レベル (L_{Aeq} 相当) から(2)式により建物群設置前後の $SA \cdot L_{Aeq}$ を算出し、その差分を $SA \cdot IL$ とした。なお、対象周波数は、200~1,250 Hz とし、1/3 オクターブバンドごとに分析を行った。

本実験では、 t を等間隔として建物を配置した。これは、建物密度が同じであれば建物配置が異なっても $SA \cdot IL$ の差異は小さいことが、加来らの実験結果³⁾ において明らかとなっているためである。

建物模型の材料には発泡スチロールを用いたが、音源からの音が直接入射する1列目および2列目建物の音源側の面には、厚さ3mm(原寸)の亚克力板を貼付し透過損失を高めた。また、地面(床面)は、同じ亚克力板を用いて反射性とし、すべての建物模型底面と地面との隙間はシールして塞いだ。

(2) 発泡スチロールの吸音率

発泡スチロールを十分広く敷き詰め、その表面から1mの高さに10mの間隔で音源と受音点を配置した。その時の周波数別の超過減衰の実測値と波動音響理論による計算値の比較を図-6に示す。計算上の流れ抵抗 σ が $5,000 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$ の時に、計算値と実験値の残差二乗和が最小となり、ピークディップを生ずる周波数も一致した。そこで、発泡スチロールの実効的流れ抵抗 σ を $5,000 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$ とし、その統計入射吸音率を周波数別に推定¹³⁾した。そして、自動車交通騒音のA特性代表パワースペクトル⁹⁾で重み付けして求めた200~1,250 Hzのオールパスの吸音率は0.12であった。

わが国では建物間隙の伝搬音に対する建物壁面の吸音効果に関する研究はほとんど見当たらない。しかし、ドイツ連邦交通省が定めた沿道騒音防音指針RLS-90では、平らな建築物正面での反射による吸音効果を1dB(吸音率0.2程度に相当)に設定している。したがって、本実験に用いた発泡スチロールは、模型材料としてほぼ妥当であると判断した。

4.2 α, β, d_1 および周波数 f と $SA \cdot IL$ の関係

建物列数3列、受音点位置3列目背後、 $t=5\text{m}$ ($\beta=0.41$) の場合に、 g を変化させた時の α と $SA \cdot IL$ の関係を図-7に示す。ここで、 $SA \cdot IL$ は自動車走行騒音の代表パワースペクトル⁹⁾で重み付けしたA

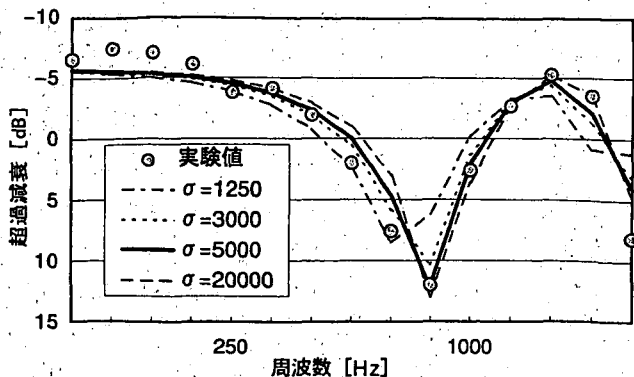


図-6 周波数別超過減衰の実験値と計算値の比較

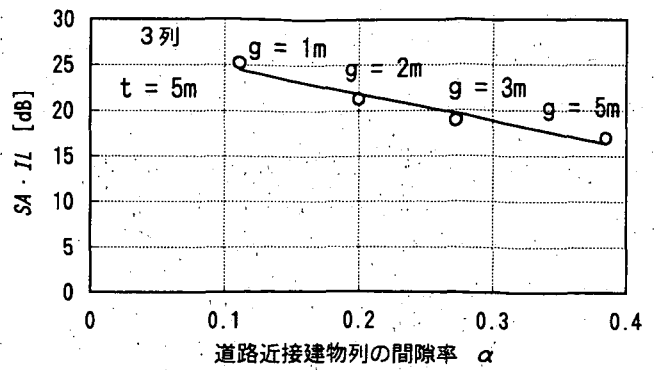


図-7 α と $SA \cdot IL$ の関係

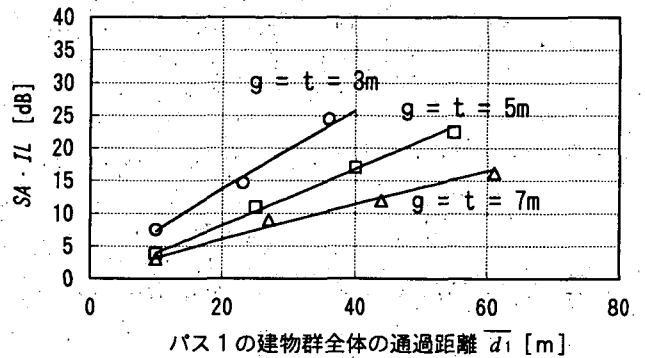


図-8 \bar{d}_1 と $SA \cdot IL$ の関係

特性オーバーオール値として示している(図-8も同様)。 g を2mから1mに狭くすると、建物群全体での建物密度 β は、0.51から0.53に変化する程度であるが、 $SA \cdot IL$ の増加は3dBをやや上回っている。これは、 α が1/2になった影響が大きいと考えられる。したがって、 α は建物パラメータとして重要な役割を果たしていることが分かる。

次に、建物列数を順次増加させ、最後列の建物後方5mの位置が受音点の時に、パス1(図-2参照)の建物群全体(道路近接建物列および背後建物群)の通過距離 \bar{d}_1 と $SA \cdot IL$ の関係を図-8に示す。建物密度による $SA \cdot IL$ の差異は、 \bar{d}_1 の増加とともに大きくなる。 $\bar{d}_1=40\text{m}$ の場合には、 $g=t=3\text{m}$ ($\alpha=0.27, \beta=0.56$)の時が、 $g=t=7\text{m}$ ($\alpha=0.47, \beta=0.31$)の時より、13dB程度 $SA \cdot IL$ が大きい。

さらに図-9には、建物列数3列、受音点位置3列目背後の場合に、周波数 f と $SA \cdot IL$ の関係を示す。建物密度が大きくなるにつれ、 f とともに $SA \cdot IL$ が増加する傾向が顕著となる。

4.3 背後建物群を通過する音の超過減衰式

4.2の検討結果を踏まえて重回帰分析を行い、伝搬音が背後建物群を通過する際の超過減衰量を表す実験回帰式を作成した。なお、分析にあたっては、図-5の下注に記した模型実験ケースの組合せによ

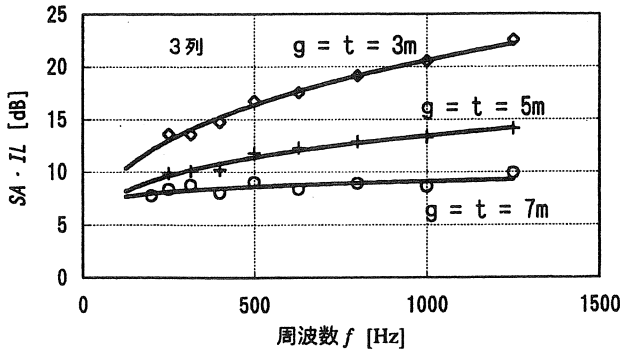


図-9 周波数 f と $SA \cdot IL$ の関係

り、1列目の建物がある状態で、さらに2列目以降の建物を追加した場合の $SA \cdot IL$ を測定した。

まず、 β 、 d_i を説明変数とした場合の式を示す。

$$\Delta L(\beta, d_i) = 0.775 \{ \beta / (1 - \beta) \}^{0.630} \times d_i^{0.859} \quad (13)$$

次に、説明変数として、周波数 f も加えた回帰式を示す。

$$\Delta L(\beta, d_i, f) = 0.235 \{ \beta / (1 - \beta) \}^{0.646} \times d_i^{0.833} \times f^{0.201} \quad (14)$$

これらの式では、超過減衰量が、 $\beta=0$ の時に0となり、 $\beta=1$ の時に無限大となるように配慮した。

なお、(13)式は、自動車走行騒音の代表パワースペクトル⁹⁾で重み付けしたA特性オーバーオール値(200~1,250 Hz)としての実験値から求めた回帰式である。一方、(14)式は、1/3オクターブバンドごとの実験値から求めた回帰式である。ただし、回帰式検討にあたっては、S/N比10 dB以上のデータを選定した。

図-10 (a), (b) に、(13), (14)式による計算値と実験値の関係を示す。両式の決定係数 R^2 は、各々0.935, 0.939であり、両式の場合とも重回帰分析の精度は非常に高い。また、(14)式において、 β 、 d_i 、 f の偏相関係数は、順に0.86, 0.82, 0.58であり、 β 、 d_i と $\Delta L(\beta, d_i, f)$ の相関が特に高い。

5. 模型実験値および従来の実験式との比較

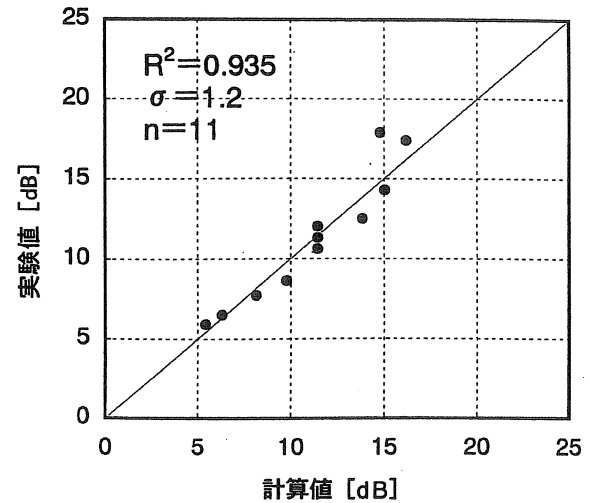
5.1 平面街路を対象とした模型実験による検証

受音点高さが変化した場合の(6), (7)式の妥当性を検証するため、図-11に示す模型実験を無響室で行った。建物高さ(6m, 2階建て相当)、受音点高さ(5通り)以外の実験条件は4.1と同様である。

$SA \cdot IL$ の計算は、200~1,250 Hzの1/3オクターブバンドごとに行った。背後建物群を通過する音の減衰式には(14)式を用い、(7)式の中の $\Delta L(\beta, d_i)$ を $\Delta L(\beta, d_i, f)$ に読み替えて(14)式を代入した。

図-12に受音点高さと $SA \cdot IL$ の関係を示す。

(a) (13)式の場合



(b) (14)式の場合

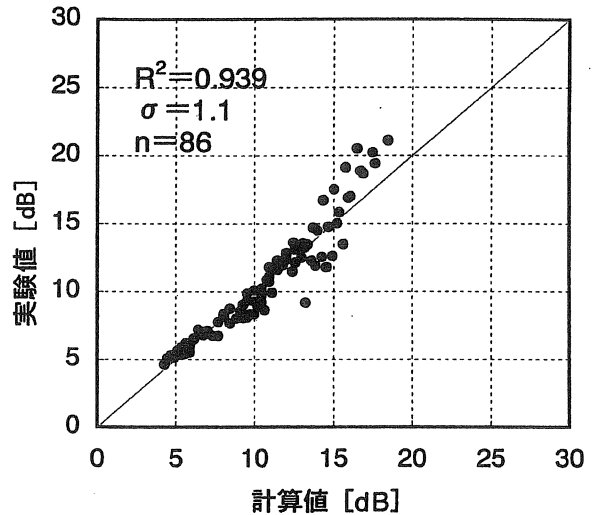


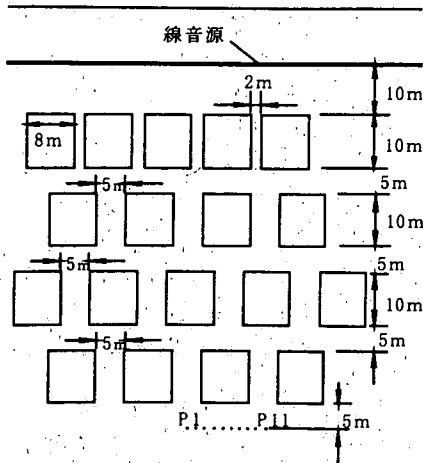
図-10 背後建物群による超過減衰量の計算値と実験値の比較

$SA \cdot IL$ は自動車走行騒音の代表パワースペクトル⁹⁾で重み付けしたA特性オーバーオール値として表した。この図によると、 $SA \cdot IL$ の計算値と実験値は、受音点高さ1.2mの時に最大で約2 dBの差異が認められる程度であり、全体的によく一致している。したがって、(6), (7), (14)式の妥当性がほぼ検証されたと考える。

5.2 加来らの実験式との比較

(13), (14)式の検討に用いたデータの範囲は、 α が0.11~0.47、 β が0.31~0.81、道路端(5.2では、1列目建物の前面の位置とする)からの距離(水平距離。本文中、以下同じ)は66m以内であった。ここでは、(13), (14)式の適用範囲の検討に加え、遮音壁のある道路に関する(11)式の妥当性を検討するため、加来らの実験式³⁾による計算結果との比較を行う。ただし、提案式での回折計算の基本となる半無限障壁

平面図



断面図

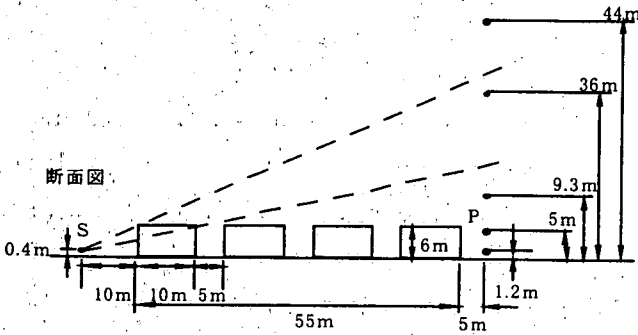


図-11 模型実験の配置

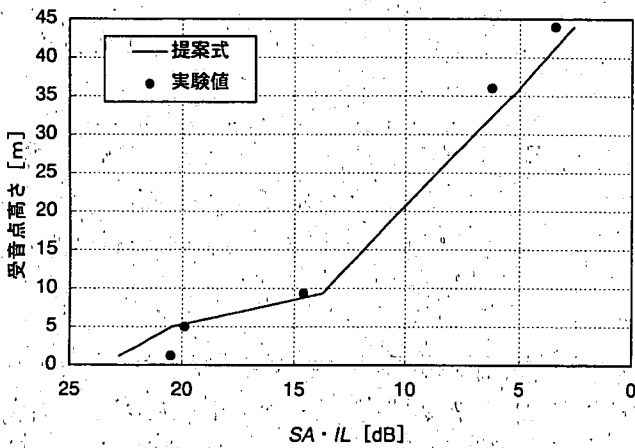


図-12 受音点高さ と SA · IL の関係

による減音量は、ASJ Model 1998⁹⁾における回折効果の補正量 ΔL_d を符号を替えて用いた。

加来らは、底面積 100 m^2 、高さ 4 m (1階建て相当) の建物と底面積 50 m^2 、高さ 6.5 m (2階建て相当) 建物が $1:1$, $1:2$, $1:4$ と混在した場合の超過減衰量の平均値を実験式の検討に用いている。したがって、提案式による計算では、上記の混在比率を $1:2$ と考え、建物の平均的な大きさを間口 8.2 m 、奥行き 8.2 m 、高さ 6 m と設定し、それらが均等に分布している状態を想定した。また、加来ら³⁾と同様、音源は道路面と同じ高さで1列目建物の前面か

ら 10 m 離れた位置とし、受音点位置は前後する建物との隙間の中央で高さは 1.2 m とした。

まず、平面街路 (音源高さ 0 m) を対象に、(6), (7), (13) 式の提案式による計算値と加来らの実験式を比較して図-13 に示す。

道路端からの距離が 50 m 程度までは、 N ($200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 中の建物の戸数) = 50 (建物群全体の建物密度 $\bar{\beta} = 0.084$), $N = 100$ ($\bar{\beta} = 0.168$), $N = 200$ ($\bar{\beta} = 0.336$) の時のいずれも、両式の差異は 1 dB 程度以下と小さい。したがって、提案式は、この範囲内であれば、 $\bar{\beta} = 0.1$ 程度の小さい建物密度でも十分適用できると考えられる。

一方、道路端からの距離が 100 m になると、提案式は加来らの式より $3 \sim 5 \text{ dB}$ 大きい $SA \cdot IL$ を与えている。この一因として、上方回折音の寄与 C_3 を求める際の回折点 X, Z の設定方法 (図-3 (b) 参照) の問題があると考えられる。すなわち、建物密度が小さい場合には、この方法では上方回折音の寄与 C_3 を過小評価する可能性がある。そこで、提案式での計算上、 Z の位置を、受音点から2列目の建物後壁の上部エッジに変更したところ、道路端からの距離 100 m の場合でも、すべての N において加来らの式との差異は 2 dB 以下となった。建物密度が小さく道路端と受音点の距離が大きい場合は、上方回折点の位置が計算結果に与える影響は大きいと考えられる。したがって、提案式の精度向上のためには、建物密度を考慮した上方回折点の合理的な設定方法を検討する必要がある。

さらに、提案式と加来らの式による計算値の差異の原因として、両式に用いた建物模型材料の表面の吸音率の差異が考えられる。

次に、道路面の高さ 10 m 、高欄高さ 1 m の高架道路を対象に、(6), (11), (13) 式の提案式と加来らの式の計算結果の比較を行った結果を図-14 に示す。ここで、 $SA \cdot IL_{\text{builds}}$ とは、高架道路が既に存在する場合に、建物群の有無による区間平均挿入損失を表す。

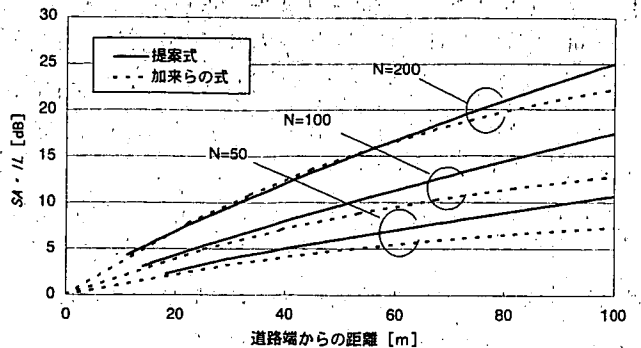


図-13 (6), (7), (13) 式と加来らの式との比較

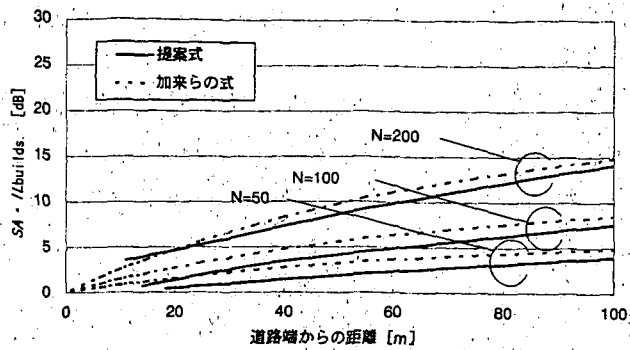


図-14 (6), (11), (13)式と加来らの式との比較

この場合は、すべての N において、道路端からの距離 100 m まで、提案式は加来らの式とよく一致している。これは、今回の計算例では、道路端からの距離 100 m でも (11) 式の C_2 が C_3 より卓越するため、上述した上方回折点の設定上の誤差が $SA \cdot IL_{buils.}$ の計算結果に及ぼす影響が小さいためである。したがって、このような場合には、提案式は、建物密度が小さく道路端から受音点までの距離が大きい時まで適用できると考える。

6. 現地調査による検証

本論文での提案式の検証を行うため、東京の都市部および郊外部の平面街路に面した市街地を対象に現地調査を行い、(3)~(7)式、(13)式による計算値との比較を行った。

6.1 対象とした道路および市街地の概要

現地調査を行った3地区の概要を表-1に示す。また、A地区を例として、建物の立地状況および L_{Aeq} の測定点配置を図-15に示す。

測定点は、対象道路とほぼ平行な区画道路（背後建物群中）および対象道路端に設け、高さは1.2mとした。測定はすべて深夜に行い、積分型騒音計を用いて10分間の L_{Aeq} を同時測定するとともに、対象道路の交通条件も同時に観測した。なお、 $SA \cdot L_{Aeq}$ は、同じ区画道路上に10m程度の等間隔で配置した測定点での L_{Aeq} を用いて、(2)式より算出した。

また、試算の結果、今回対象とする受音点位置では(7)式における C_1 が C_2, C_3 より卓越することが明らかとなったため、 C_1/C のみを計算上考慮した。 C_1/C の計算においても、上坂ら⁸⁾の結果から図-3(a)の C_0 は無視できるほど小さいと考えた。

この場合、(6), (7), (13)式は次式で表せる。

$$SA \cdot IL = -10 \log_{10} \alpha + 0.775 \cdot \{\beta / (1 - \beta)\}^{0.630} \times d_1^{0.859} \quad (15)$$

(15)式の計算において、特に高い精度が要求され

表-1 対象とした道路および市街地の概要

交通・沿道条件	A地区		B地区		C地区	
交通量[台/時]	1,674		738		492	
大型車混入率[%]	1		1		5	
平均速度[km/h]	31.5		41.5		53.7	
道路幅員[m]	23		16		23	
$SA \cdot L_{Aeq}$ 実測区間	A1	A2	B1	B2	C1	C2
市街地の α	0.20	0.20	0.24	0.36	0.15	0.15
建物パラメータ β	0.52	0.52	0.52	0.46	0.38	0.27
メータ w_2 [m]	48.7	82.7	11.4	46.7	15.7	45.4
参考	車線数		4		2	
	用途地域	商業地域	近隣商業地域	住居地域		
	道路近接建物例	商業地域	近隣商業地域	住居地域		
	背後建物群	2種住居専用地域	2種低層住居専用地域	住居地域		

(注) 「 $SA \cdot L_{Aeq}$ 実測区間」は図-15, 16中の記号に対応する。また、計算上、線音源は道路中央に設定した。

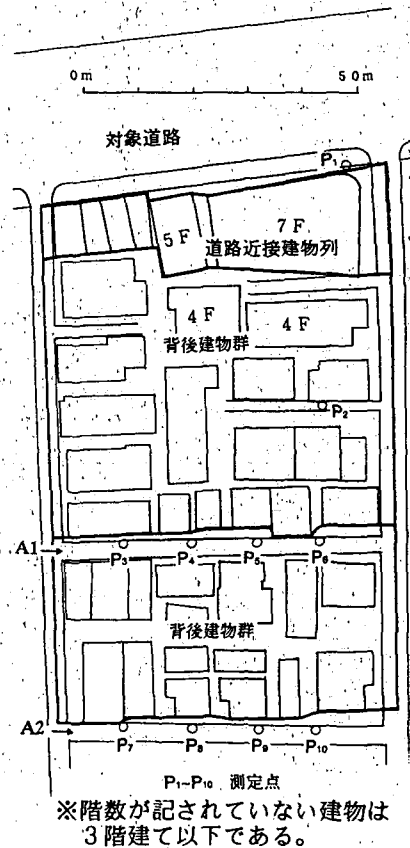


図-15 市街地のモデル化と測定点 (A地区)

※階数が記されていない建物は3階建て以下である。

る $\alpha^8)$ は現地調査により把握したが、 β, d_1 ($\approx w_2$) は図-15に示す住宅地区より読みとった。

なお、B地区では、背後建物群中で区画道路が入り組み、道路端からの距離により測定点を配置できる評価区間長が異なったため、 α, β とも2種類を与えた。さらに、C地区においては、背後建物群中に

おいて道路からの距離により建物密度が明らかに変化したため、 β のみ2種類を与えた。

6.2 計算値と実測値の比較

図-16に、提案式、ISO 9613-2⁷⁾の方法による $SA \cdot L_{Aeq}$ の計算値、開放状態における L_{Aeq} の計算値、および L_{Aeq} 、 $SA \cdot L_{Aeq}$ の実測値を示す。また、建物密度が加来らの方法³⁾の適用範囲と考えられるC地区においては、その計算結果も併せて示した。

なお、(5)式において、走行車両のA特性パワーレベル L_{WA} は、ASJ Model 1998⁹⁾の一般道路の非定常走行区間におけるパワーレベル式を用いて算出した。

$$\begin{aligned} \text{大型車類} : L_{WA} &= 88.8 + 10 \log_{10} V \\ \text{小型車類} : L_{WA} &= 82.3 + 10 \log_{10} V \end{aligned} \quad (16)$$

図-16によると、すべての地区において道路端からの距離が60~100mまでの範囲で、提案式による $SA \cdot L_{Aeq}$ の計算値は実測値とおおむね整合しており、その差は最大でも3dB未満である。なお、環境基準の達成状況の評価では、基準値が異なる「幹線交通を担う道路に近接する空間」と「背後地」¹⁾の境界(道路端から15~20m)付近での計算精度が特に要求される。B地区、C地区の結果からみると、こ

れらの位置での計算値と実測値の差異は2dB未満と非常に小さい。

一方、ISO 9613-2の方法で計算された建物群による減衰量は、実測値より過小であることが分かる。また、C地区において、加来らの方法はおおむね実測値と整合している。

なお、今回は夜間の測定のため、(3)式において $SA \cdot L_{Aeq} (BN) = 40 \text{ dB}$ とした。今後、より詳細に提案式を検証するためには、 $SA \cdot L_{Aeq} (BN)$ および β を現地調査に基づき設定することが必要と考える。

7. ま と め

平面街路および遮音壁が設置された道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベル($SA \cdot L_{Aeq}$)の計算方法を提案した。

この方法では、市街地を道路近接建物列(間隙率 α)と背後建物群(建物密度 β)に大別してモデル化した。そして、建物群に入射しその間隙を伝搬して受音点に至る音の寄与と、建物群の上方を伝搬する音の寄与を合成することにより $SA \cdot L_{Aeq}$ を算出した。上方回折音の計算には、筆者らが提案する反射性厚み障壁による減音量の計算方法を用い、背後建物群の間隙を伝搬する音の超過減衰量を表す回帰式は模型実験を通じて作成した。

本提案式の妥当性および適用範囲は、模型実験値、従来の実験式および現地実測値との比較により明らかにされた。その結果、道路端からの距離が、おおむね50m以内の範囲であれば、建物の立地密度、道路の高さ、遮音壁の有無にかかわらず、提案式が適用できることが明らかとなった。

一方、平面街路において、道路端から受音点までの距離が50mを超え β が0.3より小さい場合は、 $SA \cdot L_{Aeq}$ の計算値がやや過小となるおそれがある。提案式の適用範囲の拡張および精度向上のためには、建物密度を考慮した上方回折点の合理的な設定方法の検討が必要と考える。

また、背後建物群を通過する音の超過減衰量は、現地実測データの集積により検証していく必要がある。 α 、 β 等の市街地の建物パラメータの実用的な調査・設定方法も今後の課題である。

謝辞

長期間にわたり模型実験に用いた線音源を貸与していただいた(財)小林理学研究所に厚く感謝の意を表します。また、本稿で引用した文献³⁾における実験条件を詳細にご教示いただいた同研究所の加来治郎氏、本稿での模型実験の方法について貴重な助

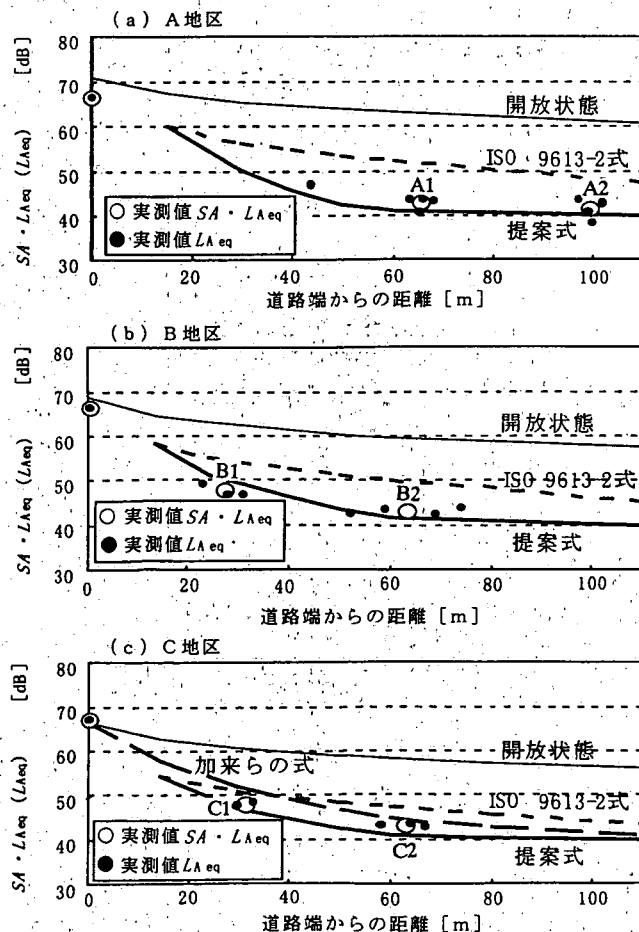


図-16 各種計算式と現地実測値との比較

言をいただいた同研究所の山本貢平氏ならびに計算を担当された(株)公共計画研究所の周 暁路氏に対し厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 騒音に係る環境基準について, 平成 10 年環境庁告示第 64 号 (1998)
- 2) 山田一郎, 石井 泰: 市街地における騒音伝搬の過剰減衰の予測の試み, 日本音響学会講演論文集, pp. 507~508 (1978.10)
- 3) 加来治郎, 山下充康: 騒音の市街地浸透に関する研究, 日本音響学会誌, 35 巻 5 号, pp. 257~261 (1979)
- 4) 家田信吾, 馬恒 堅, 久野和宏, 池谷和夫: 仮想都市空間における騒音伝搬予測の一手法, 日本音響学会誌, 39 巻 4 号, pp. 239~246 (1983)
- 5) 藤田真一, 青井一郎, 厚井弘志, 笈西隆滋: ランドサット TM データによる建物面積率を用いた道路周辺の環境騒音予測モデル, 日本リモートセンシング学会誌, 6 巻 4 号, pp. 5~10 (1986)
- 6) 藤本一寿, 金 華日, 白川秀樹, 安永和憲: 戸建て住宅地への道路交通騒音の伝搬, 日本音響学会騒音・振動研究会資料 N-98-43 (1998)
- 7) ISO9613-2: Acoustics —Attenuation of sound during propagation outdoors— Part 2: General method of calculation, Annex A. 3 (1996)
- 8) 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 高木興一: 道路に直面した単独建物および建物列後方における等価騒音レベルの簡易計算方法, 騒音制御, 23 巻 6 号, pp. 430~440 (1999)
- 9) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル “ASJ Model 1998”, 日本音響学会誌, 55 巻 4 号, pp. 281~324 (1999)
- 10) 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 高木興一: 幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法, 騒音制御, 23 巻 3 号, pp. 189~199 (1999)
- 11) K. Yamamoto, K. Takagi: Expression of Maekawa's chart for computation, Applied Acoustics, Vol. 37, pp. 75~82 (1992)
- 12) 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 山本貢平, 高木興一: 多重回折による減音効果の計算方法~障壁間隔が大きい場合~, 日本音響学会講演論文集, pp. 705~706 (1999.3)
- 13) 山本貢平, 平尾善裕: 模型実験用吸音材の吸音率推定方法に関する一考察, 日本音響学会講演論文集, pp. 705~706 (1991.10)

平面道路に面した市街地における 区間平均等価騒音レベルの簡易計算方法*

上坂 克巳*¹・木村 健治*¹・大西 博文*¹・千葉 隆*²・高木 興一*³

(2001年2月13日受付, 2001年5月15日受理)

【要旨】

平面道路に面した市街地を道路近接建物列と背後建物群に大別してモデル化し、道路と平行な評価区間における等価騒音レベルの空間平均値(区間平均等価騒音レベル)を簡易に計算する方法を検討した。道路近接建物列の間隙率及び背後建物群の建物密度、奥行きをパラメータとして計算する方法と、対象街区全体の平均的な建物密度だけをパラメータとして計算する方法を提案し、それらの計算方法の妥当性を全国33箇所におよぶ現地調査結果との比較により検証した。その結果、前者の方法がやや計算精度が高いものの、両方法とも沿道騒音の広域的な予測・評価には十分活用できることが明らかとなった。

【ABSTRACT】

Two simple calculation methods are proposed to estimate spatially averaged L_{Aeq} of an evaluation section, parallel to an arterial road at ground level, in a built-up area. In the methods, buildings in the area are classified into the first row of buildings (FRB) directly facing the road and the rear group of buildings (RGB) behind it. With regard to parameters for calculation, the first method takes into account the spacing of FRB and the density and width of RGB, whereas the second only takes into account the average density of buildings existing in the whole built-up area. Field surveys in 33 built-up areas all over Japan were conducted to verify the validity of the calculation methods. As a result, both the first method, giving a little higher accuracy, and the second one can be applied to predict and evaluate noise in large areas along the roads.

キーワード : 市街地, 区間平均等価騒音レベル, 現地調査, 予測方法, 道路交通騒音
: Built-up Areas, Spatially Averaged Equivalent Continuous A-Weighted Sound Pressure Level (L_{Aeq}), Field Survey, Prediction Method, Road Traffic Noise

1. はじめに

平成11年4月に新たな「騒音に係る環境基準」が施行され、建物群が立地する沿道市街地における実用的な騒音推計方法の確立が急務となっている¹⁾。我が国における建物群背後の道路交通騒音の実用的な推計方法としては、加来ら²⁾、上坂ら^{1),3)}、藤本ら⁴⁾の方法などが挙げられる。

上坂らの方法は、沿道市街地を道路に直面した建物列(以下「道路近接建物列」という)とその背後の建物群(以下「背後建物群」という)とに大別してモデル化し、それらの立地密度や高さなどをパラメータ(以下「建物パラメータ」という)として、

* Simple Calculation Methods for Spatially Averaged L_{Aeq} in a Built-up Area Facing a Road at Ground Level

*¹ UESAKA Katsumi, KIMURA Kenji, OHNISHI Hirofumi: National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (国土交通省国土技術政策総合研究所)

*² CHIBA Takashi: Public Planning & Policy Studies, Inc. ((株)公共計画研究所)

*³ TAKAGI Koichi: Professor Emeritus of Kyoto University (京都大学名誉教授)

道路に平行な評価区間における等価騒音レベルの空間平均値を求めるものである。

この方法では、建物群の間隙と上方を伝搬する音の3つのパス(図-2参照)の寄与を合成して、騒音レベルを算出することを基本としている。この結果、音源や受音点の高さ、建物の高さ、道路での遮音壁設置の有無に関わらず広い適用範囲での計算が可能となっている。しかし、反面、3つの伝搬パスによる寄与全てを求めるためには、設定すべき建物パラメータの数が増え、計算も煩雑になる。したがって、限られた計算条件においては、伝搬パスの数を減らして計算することが実用的である。

また、この方法では道路近接建物列と背後建物群に対して異なる建物立地密度を設定することにより、両者の建物密度の差異を計算上反映させることが可能となっている。しかし、現実には、両者を明確に分類することは困難なこともあり、その場合にも両者を規定する建物パラメータを一意的に設定するルールを明らかにする必要がある。また、対象とする市街地全体の平均的な建物密度だけを用いて計算できれば、建物パラメータ調査にかかる労力が大幅に軽減できるため、この場合の計算方法の提案と計算結果の検証も実用上重要である。

本論文では、以上の視点に立ち、特に遮音壁が設置されていない平面道路を対象に、上坂らの方法を簡略化した2種類の計算方法を提案する。さらに、それらの方法の妥当性を、全国33箇所における現地調査結果と比較して検証する。

2. 市街地における騒音レベルの簡易計算方法

2.1 騒音レベルの評価指標¹⁾

沿道市街地における騒音レベルの評価指標としては、次式で定義される区間平均等価騒音レベル(Spatially averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level, $\overline{L_{Aeq}}$)を用いる。

$$\overline{L_{Aeq}} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} 10^{L_{Aeq}(x)/10} dx \right) \quad (1)$$

ここで区間($x_1 \sim x_2$)は、対象道路と平行な評価区間を示す。

なお、 $\overline{L_{Aeq}}$ を測定で求める場合は、等間隔に配置した n 箇所の測定点での $L_{Aeq}(i)$ から、次式により計算する。

$$\overline{L_{Aeq}} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Aeq}(i)/10} \right) \quad (2)$$

さらに、建物群による減音効果を表す指標として、それらの有無による $\overline{L_{Aeq}}$ の差である区間平均挿

入損失(Spatially averaged insertion loss, $\overline{IL_{builds}}$)を用いる。

2.2 市街地における $\overline{L_{Aeq}}$ 計算の基本的考え方

道路から一定距離隔たった一定高さの評価区間の $\overline{L_{Aeq}}$ は次式で求められる¹⁾。

$$\overline{L_{Aeq}} = 10 \log_{10} (10^{\overline{L_{Aeq}(RN)}/10} + 10^{\overline{L_{Aeq}(BN)}/10}) \quad (3)$$

$\overline{L_{Aeq}(RN)}$: 道路交通騒音(Road Traffic Noise)の寄与による $\overline{L_{Aeq}}$

$\overline{L_{Aeq}(BN)}$: 暗騒音(Background Noise)の寄与による $\overline{L_{Aeq}}$

$\overline{L_{Aeq}(RN)}$ は、建物群が存在しないと仮定し半自由空間での幾何減衰を考慮して計算される等価騒音レベル $L_{Aeq}(RN, \text{without builds.})$ から、建物群による $\overline{IL_{builds}}$ を差し引いて求める。なお、ここでは地表面効果は無視する。

$$\overline{L_{Aeq}(RN)} = \overline{L_{Aeq}(RN, \text{without builds.})} - \overline{IL_{builds.}} \quad (4)$$

$L_{Aeq}(RN, \text{without builds.})$ は一般的にASJ Model 1998³⁾を用いて計算できる。ここでは十分長い直線道路を仮定しASJ Model 1998を無限長線音源に適用した次式を用いる。

$$L_{Aeq}(RN, \text{without builds.}) = L_{WA} - 3 - 10 \log_{10} d - 10 \log_{10} (1000 V/N) \quad (5)$$

L_{WA} : 走行車両のA特性パワーレベル[dB]

d : 線音源(音源を設定する車線)から評価区間までの距離[m]

V : 車両の平均走行速度[km/時]

N : 交通量[台/時]

ここで、上下車線別などに仮想線音源を複数設定する場合は、(4)・(5)式により各音源からの $\overline{L_{Aeq}(RN)}$ を求め、それらを合成することにより対象道路全体による $\overline{L_{Aeq}(RN)}$ を算出する。

2車種分類の L_{WA} は、一般道路の非定常区間では次式となる³⁾。

$$\begin{cases} \text{大型車類: } L_{WA} = 88.8 + 10 \log_{10} V \\ \text{小型車類: } L_{WA} = 82.3 + 10 \log_{10} V \end{cases} \quad (6)$$

(5)式、(6)式より、非定常区間では車両の平均走行速度が変数から除かれた次式が得られる。

$$\begin{cases} \text{大型車類} \\ L_{Aeq}(RN, \text{without builds.}) = 55.8 - 10 \log_{10} d + 10 \log_{10} N \\ \text{小型車類} \\ L_{Aeq}(RN, \text{without builds.}) = 49.3 - 10 \log_{10} d + 10 \log_{10} N \end{cases} \quad (7)$$

一方、 $L_{Aeq}(BN)$ は、箇所ごとに測定して設定することも可能であるが、本論文では騒音に係る環境基準⁵⁾でいう昼間、夜間に対して、各々45dB、40dB(文献1)では昼間の $L_{Aeq}(BN)$ を50dBとしていたがこれを改める)とする。これは、後述する33箇所の実測結果(図-8参照)に基づくものである。

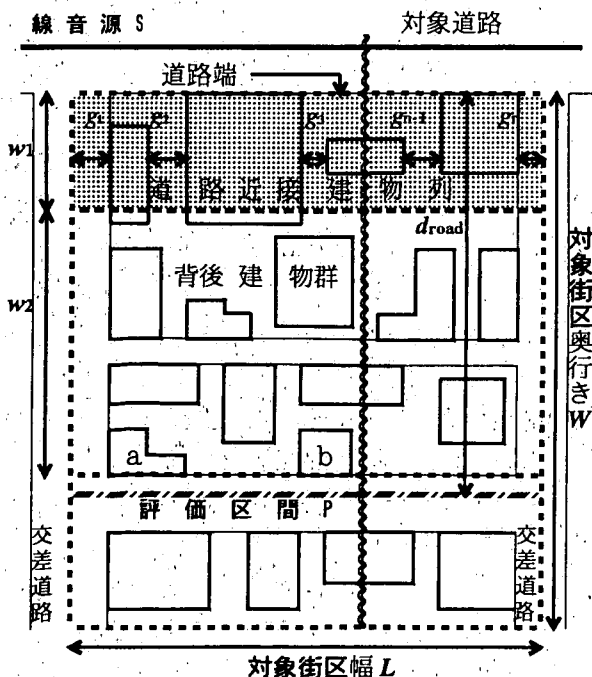
2.3 建物パラメータと IL_{builds} の簡易計算方法

上坂らは、沿道市街地に予測・評価の対象となる街区(以下「対象街区」という)を設定し、これを道路近接建物列と背後建物群に大別してモデル化している(図-1参照)。その上で、図-2に示す3つの音の伝搬パスの寄与を合成することにより、 IL_{builds} を算出することとしている^{1),3)}。

しかし、本論文では建物パラメータ調査と計算の簡略化のため、パス1による音の寄与のみを考慮することとする。この場合、計算に必要な建物パラメータは表-1のとおりである。なお、図-1と表-1で示される建物パラメータについては、文献1)と同じのものも含まれている。ただし、それらについても設定ルールを明確にするため、文献1)よりも具体的に定義した。

なお、沿道市街地において区画道路や建物が無秩序に配置されている場合は、交差道路にかかわらず対象道路を一辺とする長方形の街区を設定する。設定例については、図-9(c)を参照されたい。

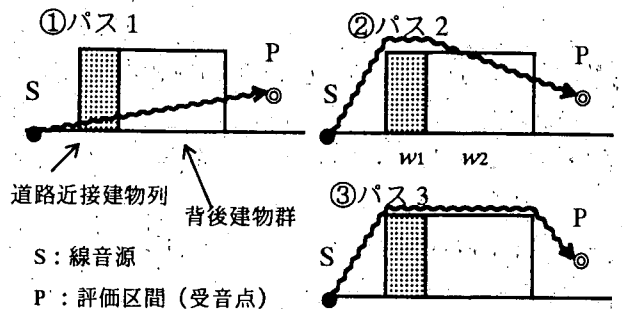
さて、これらの建物パラメータを設定する場合に



※評価区間は対象道路と平行で、区間長は対象街区幅Lと等しい。道路端～評価区間の水平距離を d_{road} と定義する。

図-1 沿道市街地のモデル化(平面図)

問題となるのは、現実の沿道市街地では道路近接建物列と背後建物群を分類することが困難な場合があることである。そこで、表-2において、両者を分類する方法(方法1)としない方法(方法2)を提案し



- ①パス1: 道路近接建物列の前面及び上面の間隙から入射し、背後建物群中を伝搬する音を表すパス
- ②パス2: 背後建物群の上面の間隙から入射し、背後建物群中を伝搬する音を表すパス
- ③パス3: 道路近接建物列および背後建物群の上方を伝搬する音を表すパス

図-2 沿道市街地における音の伝搬パス

表-1 建物パラメータの定義

w_1	道路端から道路近接建物列の平均後面位置までの水平距離 [m]。ある建物の後面位置が道路端より15m以上の場合は、道路端より15mとして計算する。したがって、 $w_1 \leq 15$ となる。
w_2	道路近接建物列の平均後面位置から評価区間の直前の建物(図-1では建物a, bが相当する)の後面位置までの水平距離 [m]。背後建物群の奥行きを表す。
α	道路近接建物列の間隙率。次式による。 $\alpha = \left(\sum_{i=1}^n g_i \right) / L \quad (8)$ L は対象街区幅 [m] を、 g_i ($i=1 \sim n$)は道路近接建物列の <i>i</i> 番目の建物間隔(gap)を表す。 ここで、 g_1, g_n は、評価区間の両端(一般的には、対象街区外周の交差道路の中心線)から最も近い建物側壁面までの距離を示す。また、 $g_2 \sim g_{n-1}$ は隣接する建物間の最短距離とした。
β	背後建物群の建物密度。次式による。 $\beta = \frac{A_2}{w_2 L} \quad (9)$ A_2 [m^2]は背後建物群中の建物の建築面積の和を表す。 β は同一街区でも評価区間の位置(d_{road})により異なる。
β_{all}	対象街区全体の建物密度。次式による。 $\beta_{all} = \frac{A_{all}}{WL} \quad (10)$ W [m]は対象街区の奥行きを表す。 A_{all} [m^2]は対象街区に存在する建物の建築面積の和を表す。 β_{all} は同一街区では一つの値をとる。

表-2 建物パラメータの設定と IL_{builds} の計算方法

方法1	w_1, w_2, α, β のすべてを調査して設定する方法 $IL_{builds} = -10 \log_{10} \alpha + 0.775 \{ \beta / (1 - \beta) \}^{0.630} \times w_2^{0.859}$ (11) (注) 表-1から明らかなように w_1 を設定しないと w_2 も設定できない。また文献1), 3) では, 式中の w_2 が d_1 (パス1の背後建物群中の通過斜距離) とされているが, ここでは $w_2 = d_1$ と考えた。
方法2	$w_1 = 15$ m (一定値) とした上で, β_{all} のみ調査して設定する方法 $IL_{builds} = -10 \log_{10} (1 - \sqrt{\beta_{all}}) + 0.78 \{ \beta_{all} / (1 - \beta_{all}) \}^{0.63} \times (d_{road} - 15)^{0.86}$ (12) $(d_{road} \geq 15$ [m] の場合) (注) 対象街区全体において建物の立地密度が均一と仮定すると, $\alpha = 1 - \sqrt{\beta_{all}}$ が得られる。

た。方法1では、両者を明確に分類できない場合においても、表-1に基づけば w_1, w_2, α, β を一意的に定めることはできる。一方、方法2では、 β_{all} だけを計算に用いるため、建物パラメータの調査はより簡略化できる。

ここで、表-1において w_1 を $w_1 \leq 15$ [m] となるように定義し、方法2で $w_1 = 15$ [m] に設定しているが、その理由は以下のとおりである。

- (1) わが国の一戸建て住宅の奥行きは、10~12 m 程度が多い。
- (2) 騒音に係る環境基準では、幹線道路近接空間は対象道路の車線数が2車線以下の場合 $d_{road} \leq 15$ [m]、車線数が2車線を超える場合 $d_{road} \leq 20$ [m] の範囲とされ、背後地はそれ以遠とされている⁶⁾。したがって、 w_1 を $w_1 \leq 15$ [m] に設定すれば、対象道路の車線数によらず背後地全域で(11)式、(12)式が適用できる。

なお、(11)式は模型実験により得られた回帰式であり、背後建物群による IL_{builds} が $\beta = 0$ のとき0になり、 $\beta = 1$ のとき無限大になるように配慮している。導出過程の詳細については文献1)を参照されたい。

3. 現地調査

表-2で提案した2種類の計算方法の実測値との整合性を比較するため、平成11年度に全国の直轄国道の沿道市街地33箇所において現地調査を行った。地方別内訳(括弧内箇所数)は、北海道(4)、東北(3)、関東(3)、中部(8)、近畿(3)、中国(4)、四国(2)、九州(3)、沖縄(3)であった。騒音の実測調査は平成11年11月から平成12年2月に行った。なお、調査は土木研究所(現国土技術政策総合研究所)が提示した調査要領にしたがって地方建設局等が実施し、調査結果の分析、とりまとめは土木研究所が行った。

3.1 調査項目と方法

3.1.1 道路交通条件

道路条件は道路台帳を用いて調べた。

一方、交通条件は上下車線別に、交通量、大型車混入率及び平均走行速度を測定した。計算に用いる交通量、大型車混入率は、3.1.3に示す騒音レベルの測定時間に通過した全車両を対象とした。計算に用いない平均走行速度は、参考として通過車両のうちから代表的な10台程度を抽出して50 m区間の通過時間をストップウォッチで測定して求めた。

3.1.2 沿道条件

表-1で示した建物パラメータを調査して設定した。 α は現地実測により設定し、 $\beta, \beta_{all}, w_1, w_2$ は住宅地図(1/1000~1/2500)より読みとった。

3.1.3 騒音レベル

遮音壁が設置されていない平面道路に面した市街地に対象街区を設定(図-9参照)し、対象道路の道路端(1地点)と街区内(最大9地点)に騒音レベルの測定点(高さ1.2 m)を設け、 L_{Aeq} の同時測定を行った。

基本的には、昼間(6時~22時)2回、夜間(22時~翌日の6時)2回、各10分間の L_{Aeq} 測定を行った。ただし、各実測時間において測定台数が200台以下の場合には、できるだけ200台が確保できるまで、10分間刻みで測定時間を延長した。なお、昼間の測定を1回も行っていない箇所(1箇所)や昼5回夜3回測定している箇所(2箇所)等もある。

3.2 調査結果

3.2.1 道路交通条件

対象道路の車線数、道路幅員を図-3に示す。4車線道路が48%を占め、道路の平均幅員は24.3 mであった。また、33箇所のうち27箇所は密粒アスファルト舗装であるが6箇所は排水性舗装であった。

一方、騒音レベル測定時間帯における交通条件を昼夜別に図-4に示す。同一箇所でも昼夜別に複数回

の騒音レベル及び交通条件の測定を行っており、図中の数値はそれらの平均値を表す（図-7も同様）。

3.2.2 沿道条件

図-5に対象街区の幅と奥行きを示す。対象街区の奥行きは、対象道路の道路端と最遠の測定点までの距離とした。奥行きの平均値は74 m、最長値は103 mであった。なお、土地利用は住居系地域14箇所、商業系17箇所、工業系2箇所であった。

図-6に対象街区の建物パラメータの例を示す。道路建物近接列の間隙率 α は0.14~0.83、街区全体の建物密度 β_{all} は0.16~0.68の範囲であった。

3.2.3 騒音レベル

道路端における L_{Aeq} の測定結果を図-7に示す。

また、対象街区における L_{Aeq} の測定結果を図-8に示す。ただし、対象道路からの距離が大きいデータにおいて、明らかに対象道路以外からの騒音の影響を受けているとみなせるものは除去した。この結果から、(3)式の L_{Aeq} (BN)は、大部分の測定値がそれを上回る昼間45 dB、夜間40 dBと設定することとした。なお、昼間45 dB以下のデータは523データ中45データ(8.6%)、夜間40 dB以下のデータは501データ中22データ(4.4%)であった。

4. 計算方法の検証

4.1 個別箇所における測定データとの比較

図-9に現地調査箇所4例における街区の設定及び測定地点の配置状況、並びに提案式と実測値との

比較結果を示す。(a)~(c)の例は街区全体の建物密度 β_{all} の差異が大きく、建物立地のパターンも異なる3種類を抽出した。一方、(d)は計算値と実測値の整合があまりよくない例であり、その理由を示すために選定した。

地図上の●印は測定点(高さ1.2m)を示している。道路端の測定点の他、街区中には区画道路上を基本として最大で9の測定点を設置した。測定点を設置する区画道路はできるだけ対象道路と平行になる(図-9(c)のような例外もある)ものを選定し、複数の測定点をほぼ等間隔で配置した。また、測定点は、建物の背後(陰になる部分)だけでなく、隣接する建物との間隙の背後にも設置するように配慮した。

また、騒音レベルの距離減衰図において、●印は個別の測定点における L_{Aeq} の測定値を示す。一方、○印は1つの評価区間上にあるとみなした複数の測定点の L_{Aeq} から(2)式を用いて求めた $\overline{L_{Aeq}}$ の測定値である。ただし、 $\overline{L_{Aeq}}$ の計算に用いた複数の測定点

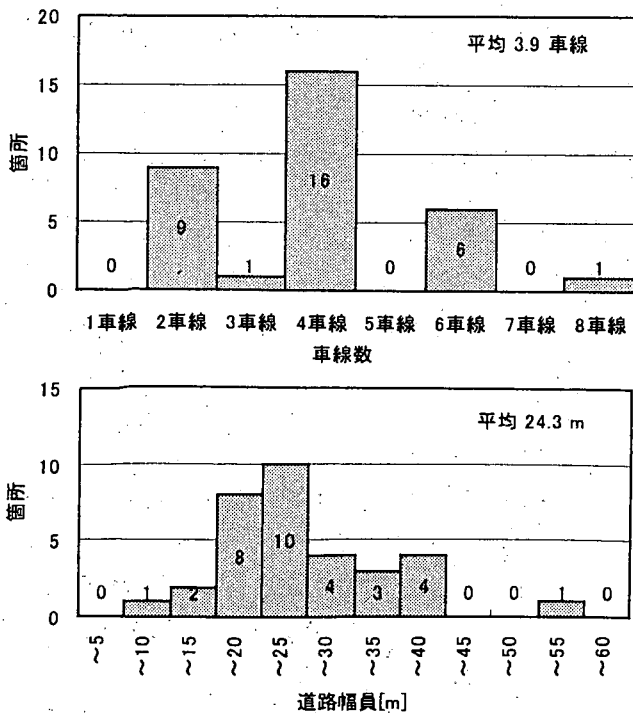


図-3 対象道路の道路条件

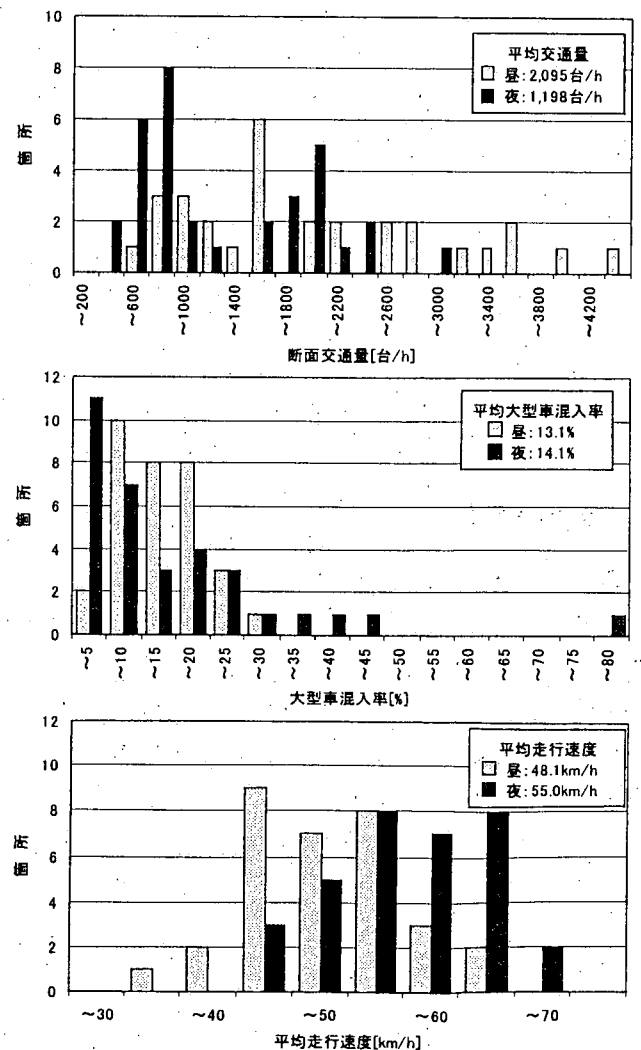


図-4 対象道路の交通条件

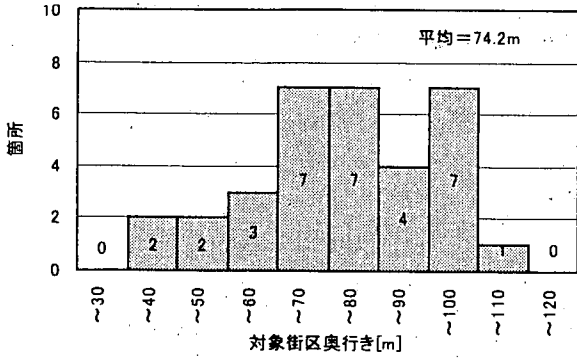
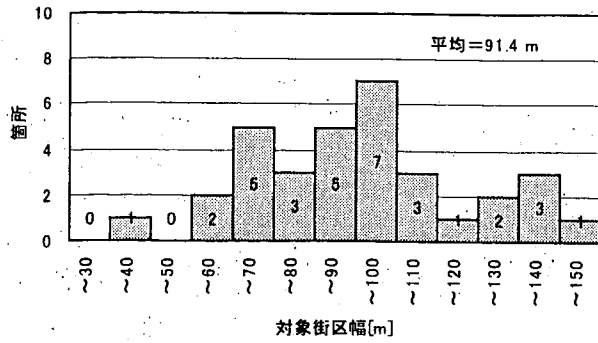
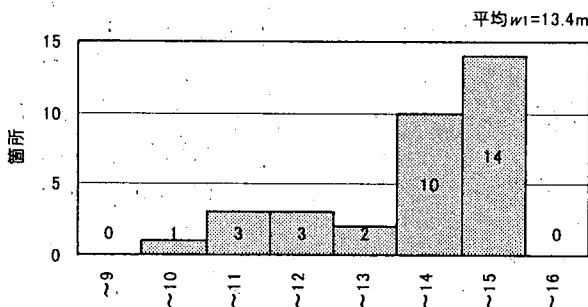


図-5 対象街区の幅と奥行き



道路端から道路近接建物列の平均後面位置までの水平距離 wt [m]

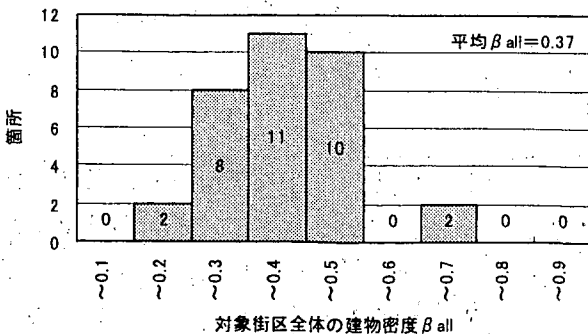
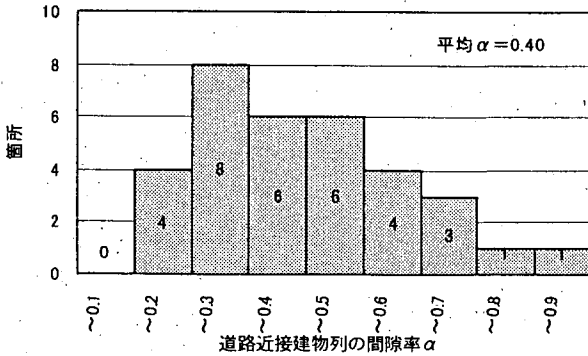


図-6 対象街区の建物パラメータの例

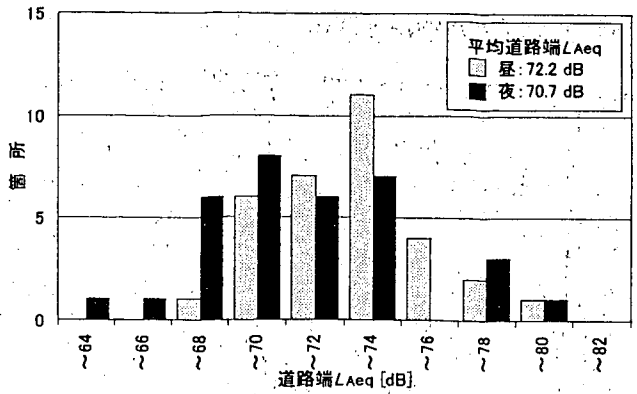


図-7 道路端の昼夜別 LAeq

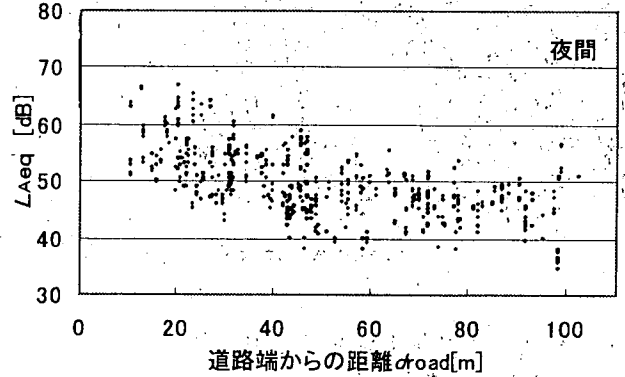
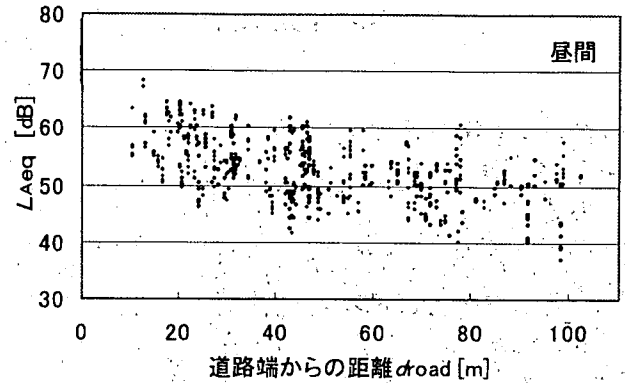
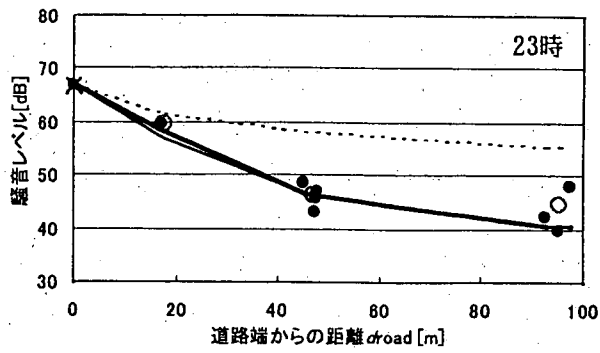
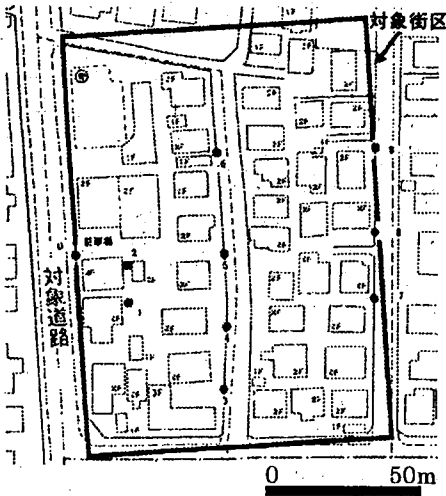


図-8 対象街区における昼夜別 LAeq

は必ずしも道路端から等距離ではないため、それらの距離の平均値を用いて○印を距離減衰図にプロットしている。

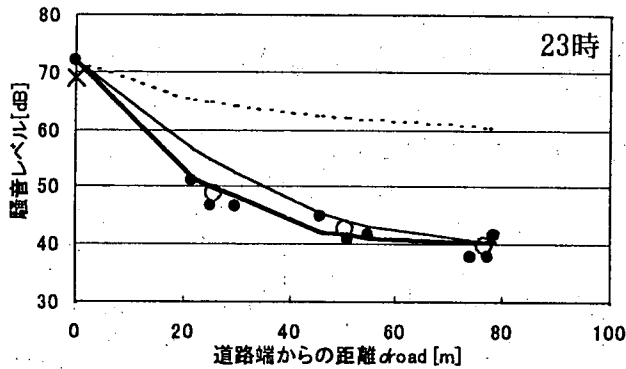
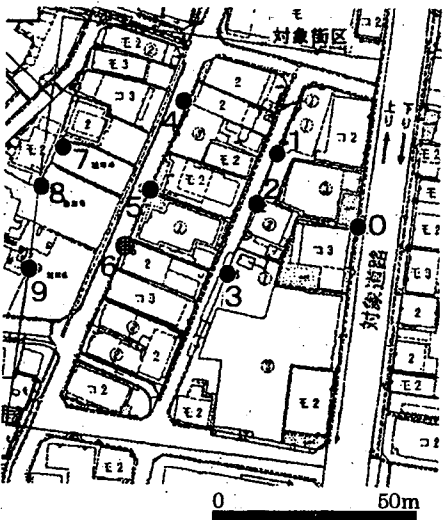
さらに距離減衰図における太実線は方法1 (3)・(4)・(7)・(11)式により計算した。一方、細実線は方法2 (3)・(4)・(7)・(12)式より求めた。ここで、交通条件は対象道路の上下車線別に与え、線音源は対象道路の上下車線の中心に設定した。ただし、(4)式から求めた上下車線別の $L_{Aeq}(RN)$ を、合成して得られる対象道路全体からの $L_{Aeq}(RN)$ の計算値は、道路端での測定値と一致するように補正した。その後、(3)式により $L_{Aeq}(BN)$ (昼間 45 dB, 夜間 40 dB)

(a) 中密度で建物がほぼ均一に立地。



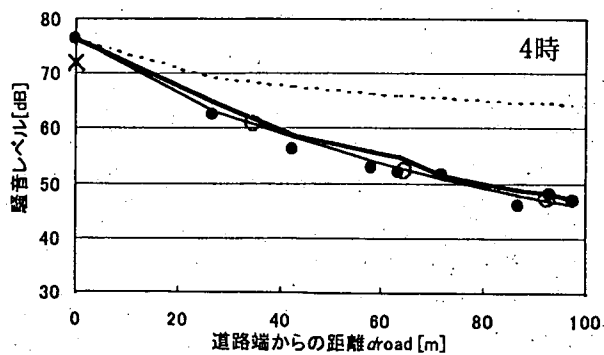
$\alpha=0.53$
 β all=0.32
 交通量 (台/h)
 (近車線) 222
 (遠車線) 137
 大型車混入率 (%)
 (近車線) 2.7
 (遠車線) 2.2

(b) 高密度で建物が立地。 α が特に小さい。



$\alpha=0.14$
 β all=0.46
 交通量 (台/h)
 (近車線) 200
 (遠車線) 261
 大型車混入率 (%)
 (近車線) 6.0
 (遠車線) 10.3

(c) 低密度で建物が不規則に立地。



$\alpha=0.78$
 β all=0.24
 交通量 (台/h)
 (近車線) 126
 (遠車線) 210
 大型車混入率 (%)
 (近車線) 81.0
 (遠車線) 71.4

凡例	● 実測値 L_{Aeq} 開放状態	—— 方法1
	○ 実測値 L_{Aeq}		—— 方法2

図-9 種々の現地調査箇所における騒音レベルの計算値と実測値の比較(1)

(d) 計算値と実測値の整合がよくない。

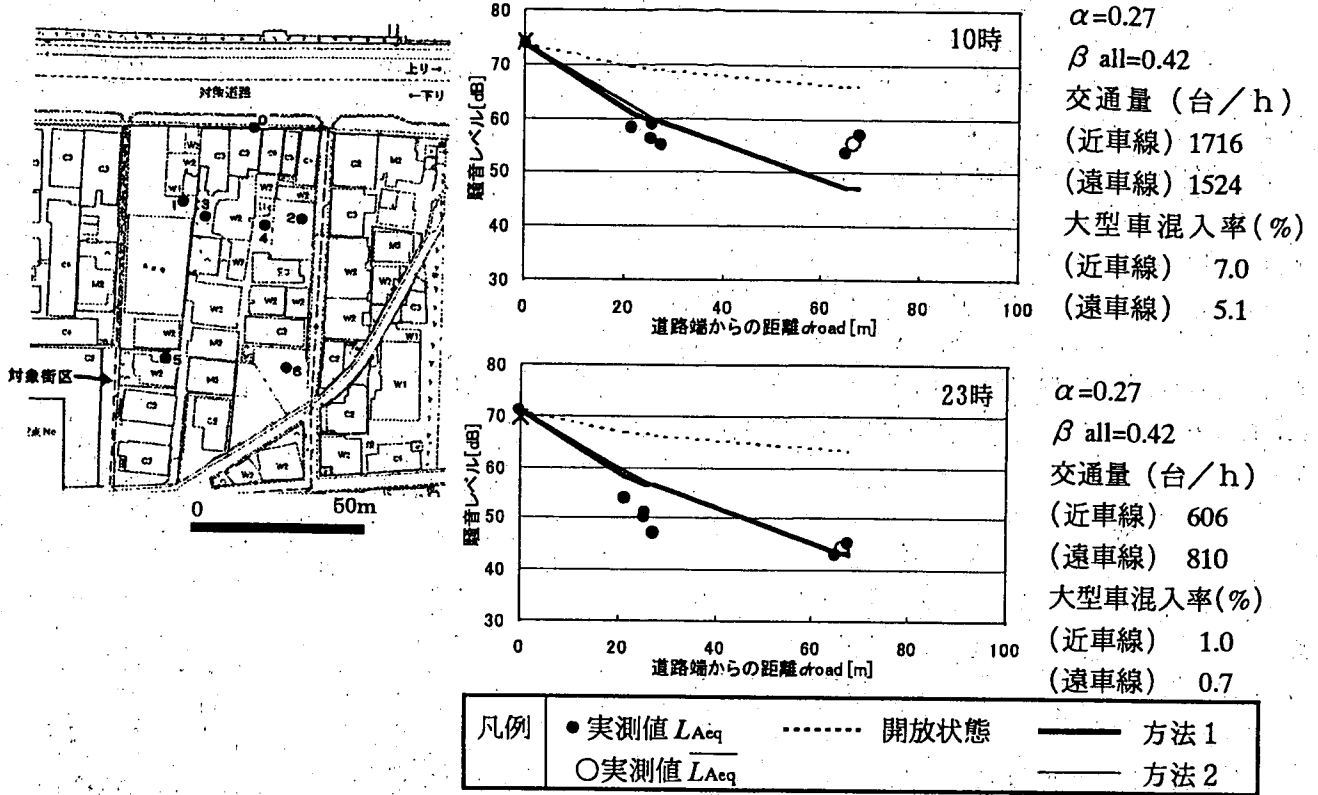


図-9 種々の現地調査箇所における騒音レベルの計算値と実測値の比較(2)

を合成した。なお、道路端の×印は、補正前の計算値を示している。また、点線は建物群が存在しないと仮定した場合の距離減衰を示している。

方法1の計算結果は(a),(b),(c)において実測値とおおむね一致している。一方、方法2による計算結果は(a)や(c)では実測値とおおむね一致しているが、(b)のように道路近接建物列の密度が街区全体に比べて大きい場合は、道路近接建物列の背後近傍において実測値よりやや過大となっている。

一方、(d) 23時(夜間)の道路端からの距離21~28mの騒音レベルが計算レベルを下回っているのは、すべての測定点が建物の陰になるところに設置されたことによると考えられる。これは測定点の設置が不適切であったと言える。したがって、この例も含め測定点の設置が明らかに不適切であったとみなせる測定データは、図-11におけるIL_{builds}実測値や図-12におけるL_{Aeq}の実測値算出においては除外することとした。

また、(d) 10時(昼間)が夜間より実測値の距離減衰が小さいのは、暗騒音が計算において設定した45dBを上回った(55dB程度)ためと考えられる。

4.2 全箇所の測定データとの比較

図-10に、方法1による評価区間の平均的な挿入

損失IL_{builds}の計算値と、街区内の個別の測定点における挿入損失IL_{builds}の実測値を比較して示した。ここで、IL_{builds}の計算においてはL_{Aeq}(BN)を昼間45dB、夜間40dBとした。一方、IL_{builds}の実測値は、道路端と街区内の測定点におけるL_{Aeq}の測定値の差異から、線音源からの幾何減衰分を差し引いて算出した。昼間、夜間とも、計算値と実測値の平均値はよく一致しているものの両者の差のばらつきは大きい。これは同じ評価区間内の測定点でも、建物の陰になる部分とならない部分で騒音レベルの差異が大きいためと考えられる。

次に図-11には、方法1及び方法2により計算したIL_{builds}と、実測値から算出されるIL_{builds}を比較して示した。この結果、次のことがいえる。

- (1) 方法1による計算値と実測値の差のばらつきは、図-10に比べかなり小さくなっている。
- (2) 方法1、方法2とも計算値と実測値の平均値はよく一致している。
- (3) 方法1が方法2に比べて計算値と実測値の差のばらつきは小さい。
- (4) 夜間が昼間に比べて計算値と実測値の差のばらつきは小さい。

さらに、図-12には、道路交通条件のみ(道路端

で計算値と実測値を一致させるための補正は行っていない)を用いて、方法1及び方法2により計算した $\overline{L_{Aeq}}$ と、実測値から算出される L_{Aeq} を比較して示した。この図では道路端及び建物背後のデータを併せてプロットしている。ただし、回帰式並びに計算値と実測値の差の標準偏差 s は、建物背後のみのデータを対象に計算されたものである。図-12からも図-11の結果と同様のことがいえる。

また、夜間における計算値と実測値の差の標準偏差は、方法1では3.7dB(図-11の $\overline{IL_{builds}}$ では3.2dB)であり、道路端での同様の標準偏差(ASJ Model 1998で計算)の2.9dBをやや上回る程度であった。

5. 考 察

図-2におけるパス1, パス2, パス3の寄与を考慮した従来の計算方法¹⁾(以下「基本式」という)で算出した $\overline{IL_{builds}}$ と実測値との比較結果(夜間)を図-13に示す。ここで、パス2, パス3の寄与の計算に必要な建物上方の回折点の位置については、現地調査結果から設定した。図-11と比較すると、基本式と方法1(パス1の寄与のみを考慮)による計算値の実測値との整合性は、回帰式と標準偏差 s からみて同等であることが分かる。これは暗騒音の影響により、 $\overline{IL_{builds}}$ が最大でも23dB程度にとどまっていることによると考えられる。

さらに評価区間の高さが2階レベル(高さ4m)の時にも、方法1が適用可能か確認するため、基本式と方法1による計算値を比較した結果を図-14に示す。計算条件は基本的に現地調査と同じとし、評価区間の高さだけを1.2mから4mに変更した。

この図から、暗騒音の影響を考慮することにより、2つの計算結果の差異は縮まることが分かる。暗騒音を考慮した場合、両者の差の平均値は0.30dB(最大値1.9dB)であった。したがって、評価区間が2階高さの場合の $\overline{IL_{builds}}$ の計算にも、方法1はおおむね適用可能と考える。

なお、本論文では $\overline{L_{Aeq}}$ を、(1)式のように評価区間の L_{Aeq} のエネルギー平均値として定義しているが、 L_{Aeq} の算術平均値として定義する考え方もある。そこで、(1)式を導いたときの模型実験値¹⁾を分析したが、前者は後者より平均で0.4dB大きい程度であり、その差は小さかった。

6. ま と め

遮音壁が設置されていない平面道路に面した市街

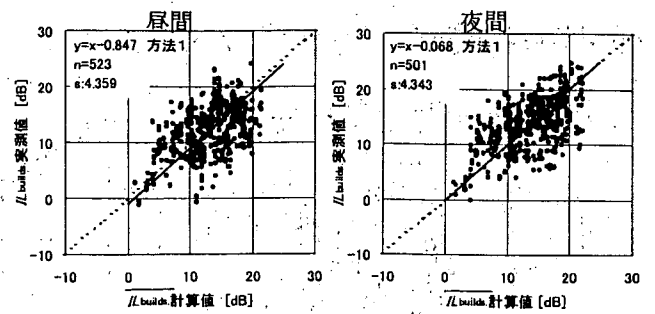


図-10 $\overline{IL_{builds}}$ の計算値と $\overline{IL_{builds}}$ の実測値の比較

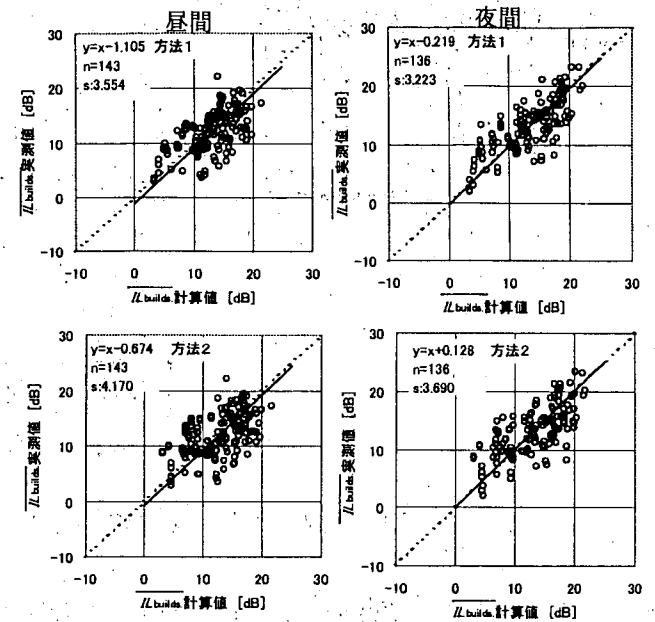


図-11 $\overline{IL_{builds}}$ の計算値と実測値の比較

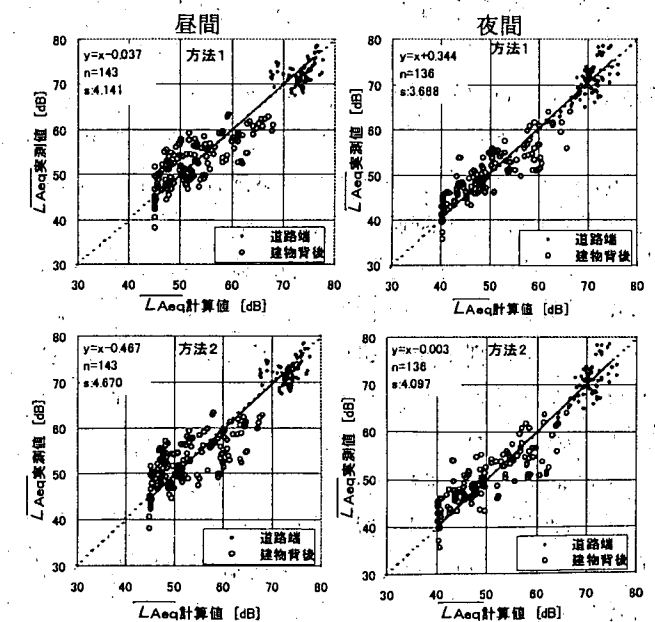


図-12 $\overline{L_{Aeq}}$ の計算値と実測値の比較

地を道路近接建物列と背後建物群に大別してモデル化し、区間平均等価騒音レベルを簡易に計算する方法を検討した。道路近接建物列の間隙率及び背後建

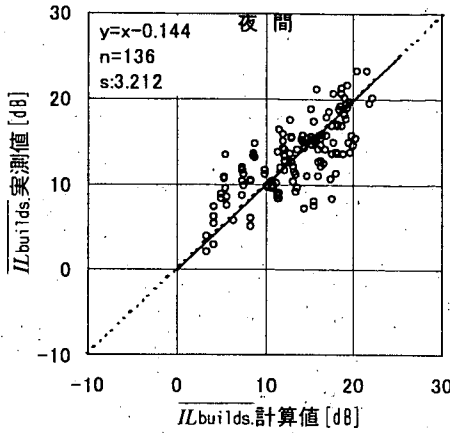
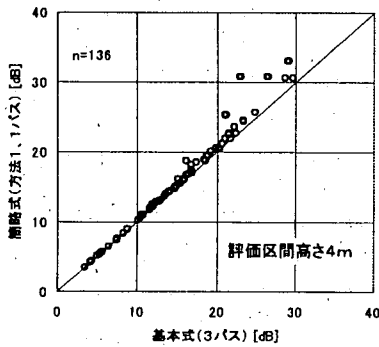


図-13 基本式による $IL_{buils.}$ の計算値と実測値の比較

暗騒音を考慮しない



暗騒音を考慮する

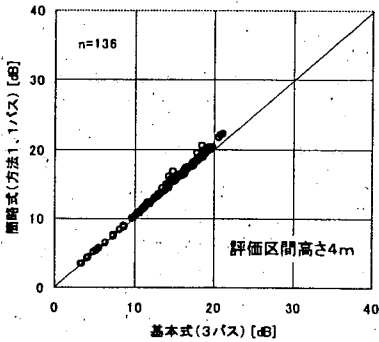


図-14 方法1 (1パス) と基本式 (3パス) による $IL_{buils.}$ 計算値の比較

物群の建物密度、奥行きをパラメータとして計算する方法(方法1)と、対象街区全体の平均的な建物密度をパラメータとして計算する方法(方法2)を提案し、それらの計算方法の妥当性を全国33箇所における現地調査結果との比較により検証した。その結果、明らかとなったことは以下のとおりである。

(1) 対象街区全体の建物立地密度が0.16~0.68、道路端~評価区間の距離100m以内、評価区間の高さ

2階以下の場合、方法1による計算値と実測値の平均値はよく一致する。また、計算値と実測値の差のばらつきの程度は、街区区内においても道路端と大差はなかった。

(2) 方法2による計算値と実測値の平均値もよく一致する。ただし、道路近接建物列の建物密度が街区全体に比べて大きい場合、道路近接建物列の背後近傍で計算値と実測値の差異が方法1に比べてやや大きくなる。

したがって、特定の街区を対象としたより精度の高い計算には方法1が有効であると言える。しかし、広範な沿道地域での騒音推定や環境基準達成状況のマクロ評価などには、方法2も十分活用できると考える。方法2の場合、GIS等を利用してパラメータを設定することができれば、その簡易性はさらに増すであろう。

今後は、本手法を活用して沿道騒音を広域評価する方法の確立や、更に戦略的な騒音対策の立案方法の検討が必要と考える。なお、本論文の内容やデータの詳細については、文献7)を参照されたい。

謝辞

現地調査に御協力頂き、貴重なデータを提供していただいた建設省(現国土交通省)の各地方建設局(現地方整備局)、北海道開発局及び沖縄総合事務局の方々に対し厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 上坂克巳, 大西博文, 千葉 隆, 高木興一: 道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの計算方法, 騒音制御, 23巻6号, pp. 441~451 (1999)
- 2) 加来治郎, 山下充康: 騒音の市街地浸透に関する研究, 日本音響学会誌, 35巻5号, pp. 257~261 (1979)
- 3) 道路交通騒音の予測モデル"ASJ Model 1998", 日本音響学会誌, 55巻4号, pp. 281~324 (1999)
- 4) 藤本一寿, 安永和憲, 江崎克浩, 大森寛樹: 戸建て住宅群による道路交通騒音の減衰, 日本音響学会誌, 56巻12号, pp. 815~824 (2000)
- 5) 騒音に係る環境基準について, 平成10年環境庁告示第64号 (1998.9.30)
- 6) 騒音に係る環境基準の改正について, 平成10年9月30日付け環大企第257号
- 7) 上坂克巳, 木村健治, 並河良治, 大西博文: 沿道市街地における道路交通騒音の予測・評価方法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第2号 (2001)