

点音源モデルに基づく戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法の検討

東口 陽子

1. 研究の背景と目的

平成 11 年 4 月に施行された「騒音に係る環境基準」で導入された“面的評価”を行うには沿道に立地する建物群による騒音減衰量を推計する必要があることから、当研究室ではこれまで平面道路¹⁾及び盛土道路²⁾に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法 (F2006 及び F2006⁺) を提示してきた。これらは、日本音響学会道路交通騒音予測計算法の最新版 ASJ RTN-Model 2008³⁾にも採用されている。F2006 及び F2006⁺ は、直線道路を想定して線音源に対する騒音減衰量を予測するもので、道路が直線でない場合には適用できない。一方、ASJ Model の騒音予測は、道路を走行する車両を点音源と想定し、点音源から騒音予測点までの騒音伝搬を計算すること(点音源モデル)が基本となっており、こうすることで道路が直線でなくても騒音予測が可能となっている。

必ずしも直線ではない実際の道路沿道における道路交通騒音の面的評価を行うためには、“点音源モデルに基づく建物群による騒音減衰量の予測法”が必要である。そこで本論文は、沿道に立地する戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量を点音源モデルに基づいて予測する方法について検討した。

2. 模型実験

2.1 研究の方法

戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測方法を理論的に求めることは困難であるため、これまでの研究¹⁾²⁾と同様に、戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量を模型実験によって求め、得られた騒音減衰量と住宅群の配置条件の関係を分析して騒音減衰量の予測方法を見出そうとした。

2.2 実験方法

模型実験は、これまでと同様に、簡易無響室内に 100m×80m の住宅地を設定し、その一辺(100m)を道路とみなして、辺上に点音源を走行させたときの住宅地内の受信点における音圧を測定し、戸建て住宅群を配置したときとしないときの測定結果の差から、住宅群による騒音減衰量を求めるといったものである。模型の縮尺は 1/20 である。

実験条件を表-1 に示す。住宅群の配置は、住宅密度(住宅地全体に対する住宅面積の割合) ω を 4 段階(16.8%, 21.6%, 28.0%, 34.4%), 各密度について異なる配置 4 種類、受信点は道路からの距離 d が 20m, 30m, 40m, 50m の 4 点(例を図-1 に示す)とし、これらの組み合わせ(64 配置)とさらに 11 配置を加えた合計 75 配置とした。受信点高さ h_p は 1.2m である。

表-1 実験条件

d	住宅密度 ω	配置数	d	住宅密度 ω	配置数	住宅
20m	16.8%	4	30m	21.6%	1	平面 8m×8m 8m×16m 高さ $H=10$ m
30m	21.6%	4		28.0%	2	
40m	28.0%	4		34.4%	3	
50m	34.4%	4	40m	34.4%	4	
			50m	34.4%	1	

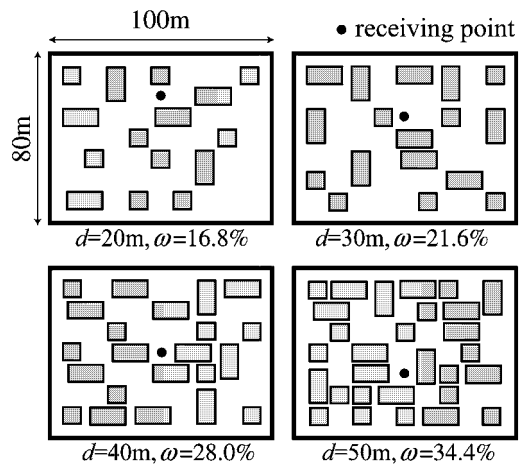


図-1 住宅群の配置の例

2.3 騒音減衰量の算出

実験で測定された音圧信号から、音源を自動車騒音と考えたときの受信点における騒音レベルを算出した。算出方法はこれまでの研究¹⁾と同じである。算出した値は、1 台の車両が 100m の道路を走行したときに受信点で観測される騒音レベルであり、個数は 512 個である。

本実験の目的は、道路上の車両(点音源)が発生する騒音が受信点に伝搬するときの住宅群による騒音減衰量を求めることである。騒音減衰量は以下のように算出した。

音源から受信点に伝搬する騒音は、音源から受信点に至る経路上の周辺に立地している住宅群の影響を受けると考えられるが、どの範囲に立地する住宅群の影響を受けるかはわからない。そこで、実験で得られた 512 個の騒音レベルのうち、音源から受信点に至る経路上の住宅立地に大きな偏りのないよう、音源が道路 100m のうちの中央 60m の範囲にある場合だけを分析対象とすることにした。また、実験誤差を小さくするために、車両が道路 10m を走行したときのエネルギー平均値 L_B を実験データの 1 サンプルとし、住宅を配置してない場合 L_{B0} と配置した場合 L_{B1} の差を建物

群による騒音減衰量 $\Delta L_B (= L_{B1} - L_{B0})$ とした。なお、ここで定義する“減衰量”は通常の見通しと符号が逆となっている。 ΔL_B は1つの実験条件で121個得られるので、実験全体では9,075個の ΔL_B が得られた。

3. 騒音減衰量の予測式の検討

3.1 見通し角度率

これまでの研究から、音源から受音点へ伝搬する騒音は、受音点から道路がどの程度見通せるか(直接音の存在)に大きく依存していることがわかっている。そこで、騒音予測の第一の要因として受音点から道路を見通せる度合いに着目した。見通しの度合いは点音源から受音点の直線経路だけでは捉えられないので、図-2に示すように、音源を中心に道路上の前後5mの範囲(ΔL_B の算出に用いた騒音レベルの平均化の範囲と同じ)の道路を考え、この10mの道路について、受音点からみた見通せる角度 ϕ と全角度 ϕ_a の割合を“見通し角度率” Φ と定義し、騒音減衰量予測のパラメータとした。

ΔL_B と Φ の関係を図-3に示す。図より、 ΔL_B は Φ と相関があることがわかる。そこで、データの傾向を考慮して、 $\Delta L_B = a + b \log_{10}(\Phi(1-c) + c)$ を想定し、最小2乗法によって係数 a, b, c を求め、それぞれ1.6, 11.29, 0.1693を得た。相関係数は0.78であった。得られた式から計算される ΔL_B と実験結果との対応を図-4に示す。全体的には ± 3 dB に入る場合も少なくないが、誤差の最大値は12.8 dBであり、 ΔL_B の予測値が-7 dB付近の対応が著しく悪い。図-3から、これらは $\Phi = 0$ 付近のものであることがわかる。すなわち、

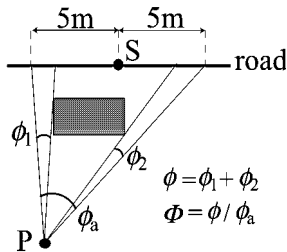


図-2 見通し角度率

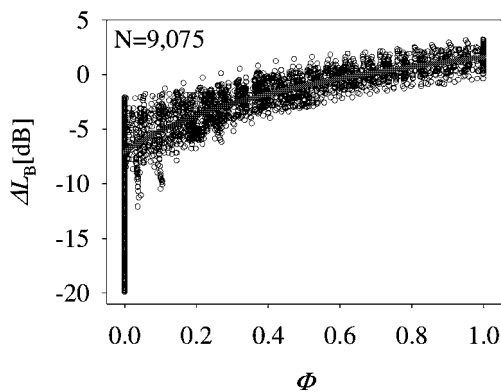


図-3 ΔL_B と Φ の関係

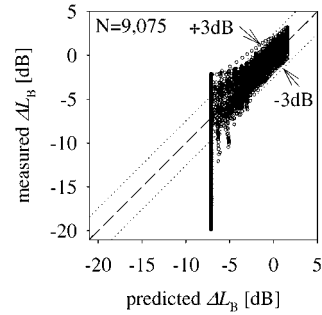


図-4 予測値と実験値の対応

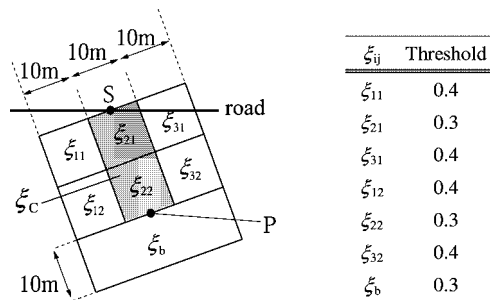


図-5 建物率

受音点から道路が見通せない場合の建物による反射や回折の影響は Φ だけでは捉えられない。

3.2 建物密度とパターン番号

音源から受音点に伝搬する騒音は伝搬経路に立地する建物群の影響を受け、それは、3.1に見たように、特に受音点から道路への見通し角度率が0の(全く見通せない)場合に大きい。そこで、騒音減衰量を捉えるための第二の要因として、音源から受音点に至る経路周辺部に立地する建物群の密度と配置を取り上げる。具体的には、図-5に示すように、音源 S と受音点 P の周辺に、幅30m、奥行きが $SP + 10$ m(受音点の背後)の矩形を考え、ここに立地する建物の密度と配置に着目することにする。

建物がランダムに立地している場合は建物密度が大きいほど騒音の減衰は大きく、音源 S と受音点 P を結ぶ経路上に建物が立地しておらず周辺部分にのみ建物が立地している場合には、逆に建物密度が大きいほど騒音が大きくなると考えられる。このような経験的考察から、図-5の矩形全体の建物密度を考えるだけでは騒音減衰量は捉えられないと推測される。そこで、矩形をもう少し小さく分割し、各分割要素の建物の立地状況を考えてみることにした。すなわち、図-5の矩形を、幅は3分割、奥行き方向は2分割し、受音点背後部分と合わせて7個の矩形(セルと呼ぶ)とし、各セルの建物密度を ξ_{ij} ($i = 1, 2, 3, j = 1, 2$), ξ_b で表し、セルの建物率の組み合わせを考えた。

7個のセルのうち、音源 S と受音点 P を結ぶ直線経路にあるセル(2,1)とセル(2,2)の建物密度が騒音減衰

量に影響するとの考えから、両セルを1つにしたときの建物率 ξ_C をパラメータとし、 ΔL_B から ϕ の影響を除いたものを ΔL_C として、両者の関係をみてみた (図-6)。データの傾向から、 $\Delta L_C = d\xi_C^2$ を想定して回帰分析し、係数 $d = -40.0$ を得た。得られた式から計算される ΔL_C と実測値との対応を図-7 に示す。最大誤差は 8.1 dB と大きいですが、74%のデータが誤差 ± 3 dB の範囲にあり、両者の差の RMS は 2.5 dB であった。

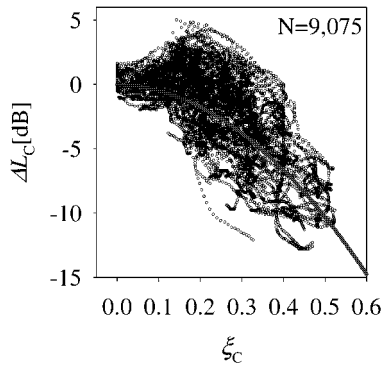


図-6 ΔL_C と ξ_C の関係

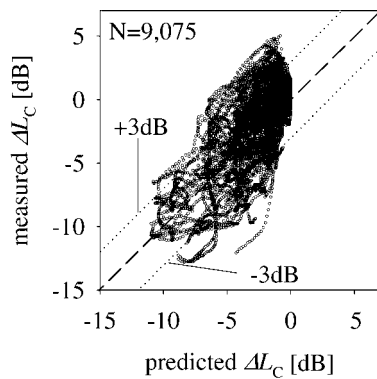


図-7 予測値と実験値の対応

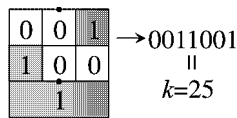


図-8 配置パターン番号

先に述べたように、建物密度は騒音の減衰に機能する場合と騒音の増大に機能する場合が考えられるので、7個のセルの組み合わせを考えてみた。具体的には、7個のセルの閾値を図-5(右)のように設定し、建物密度が閾値以上の場合を“1”、未満の場合を“0”と表現し、その組み合わせ(配置パターン)で補正することを考えた。図-8の例のように、7個の(0/1)データを7桁の2進数とみなし、それを10進数で表すと、配置パター

表-2 グループ分類と $\overline{\Delta L_D}$

想定する現象	k	パターン例	$\overline{\Delta L_D}$ [dB]
group-1 側方反射 + 背後反射	1,3,9,11,17,19,25,27,65 67,73,75,81,83,89,91		0.8
group-2 側方反射	0,2,8,10,16,18,24,26,64 66,72,74,80,82,88,90		1.7
group-3 回折 + 背後反射	5,7,13,21,23,33,35,37 39,41,45,49,51,53,55 69,77,97,101,105,109		1.0
group-4 回折	4,6,12,20,22,32,34,36 38,40,44,48,50,52,54 68,76,96,100,104,108		0.8
group-5 減衰 (小)	14,15,28,29,30,31,42 43,56,57,58,59,70,71 78,79,84,85,86,87,92 93,98,99,106,107,112 113,114,115,120,121		0.0
group-6 減衰 (大)	46,47,60,61,62,63,94 95,102,103,110,111 116,117,118,119,122 123,124,125,126,127		-0.3

ンは10進数(k)で0から127($=2^7 - 1$)となる。

これらの配置パターンを、伝搬経路周辺の建物による反射と回折、受信点背後の建物による反射の3現象の組み合わせによって表-2に示す6つのグループに分類した。この分類は、理論的根拠に基づくものではなく、あくまでも経験的推測によるものである。図-3と図-4から分かるように、予測値と実験値の差は ϕ が0付近の場合に絶対値が大きくなり、 ϕ が大きくなると絶対値は小さい。 ΔL_C から ξ_C の影響を除いたものを ΔL_D 、各グループの $\phi < 0.03$ の場合の ΔL_D の平均値を $\overline{\Delta L_D}$ とし、これを各グループの代表値とする。さらに $10^{-\phi}$ で重み付けした値 $10^{-\phi} \overline{\Delta L_D}$ を“建物の立地状況による補正值”とした。

3.3 騒音減衰量の予測式

以上をまとめると、騒音減衰量 ΔL_B を求める式は次のようになる。

$$\Delta L_B = 1.6 + 11.29 \log_{10}(0.8307\phi + 0.1693) - 40.0\xi_C^2 + 10^{-\phi} \overline{\Delta L_D} \quad (1)$$

ただし、

ϕ : 見通し角度率 [-]

ξ_C : 建物率 [-]

$\overline{\Delta L_D}$: 建物立地状況によるグループ代表値 [dB] である。

3.4 住宅群による騒音減衰量 ΔL_{bldgs}

式(1)を用いて、模型実験を行ったすべての音源について ΔL_B を算出し実験値と比較したところ、79%のデータが ± 3 dB 以内に収まり (図-9)、両者の差の RMS は 2.4 dB であった。全配置 (75 配置) について、住宅群による騒音減衰量 ΔL_{bldgs} を計算し実験値と比較したところ (図-10)、95%のデータが ± 3 dB 以内に収まっていた。

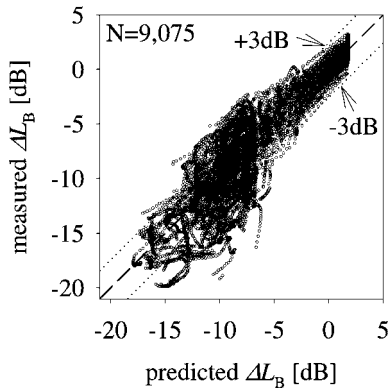


図-9 予測値と実験値の対応

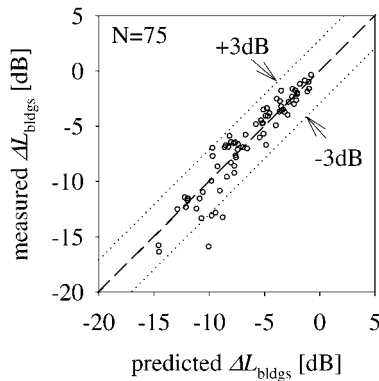


図-10 予測値と実験値の対応

表-3 検証実験の実験条件

d	住宅密度 ω	配置数
20m	16.6%	1
30m	21.5%	1
40m	28.3%	1
50m	34.2%	1

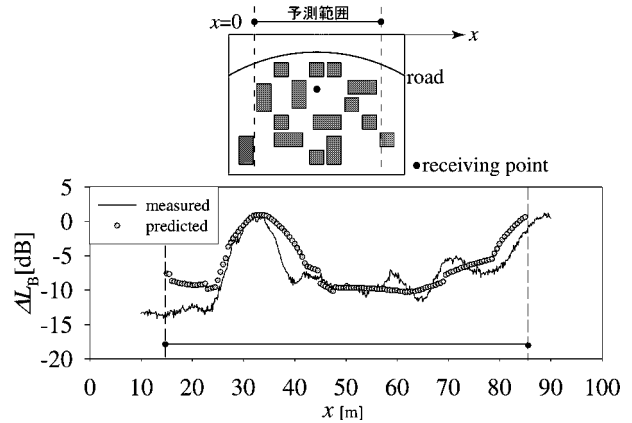


図-11 ユニットパターン

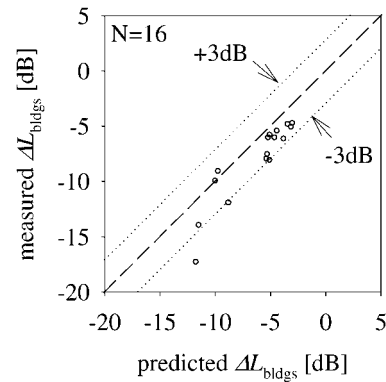


図-12 予測値と実験値の対応

4. 予測式の検証

4.1 検証実験

予測式の有効性を調べるために、道路の形状を曲線にして実験を行った。実験条件を表-3に示す。その他の実験方法は2.と同じである。住宅配置は16種類で、合計2,256個の ΔL_B を得た。

4.2 予測値と検証実験結果の比較

式(1)によって予測点における騒音減衰量 ΔL_B のユニットパターンを計算し、実験で得られた騒音減衰量と比較した。建物密度 $\omega=16.6\%$ のときの住宅配置及びユニットパターンの一例を図-11に示す。ここで、 x は車両の位置を直線横軸(図-11の上の図)に投影した座標を表す。予測値は全体的には実験値とよい対応を示しているが、 $x=15\sim 25\text{m}$ や $x=75\sim 85\text{m}$ などの場合に大きな差が認められる。これらは、見通し角度率 ϕ が0付近の(道路の見通しが悪い)場合である。これより、式(1)の予測精度の向上には道路の見通しが悪い場合の再検討が必要と思われる。

ユニットパターンから予測点における住宅群による騒音減衰量 ΔL_{bldgs} を算出し、実験結果と比較した(図-12)。両者の差は大きいところで5.5dBになるが、全データ(16配置)の88%が $\pm 3\text{dB}$ 以内に収まっており、よい対応といえる。

5. まとめ

沿道に立地する戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量を点音源モデルに基づいて予測する方法について検討し、音源を中心に10mの道路が受音点から見通せる角度の割合、音源と受音点の周辺に幅30m、奥行きSPの矩形を6分割したセルの建物密度、受音点の背後10mの矩形の建物密度とその組み合わせをパラメータとする新しい予測式を提示した。予測式は、近似的には住宅群による騒音減衰量を捉えることができているが、予測精度が悪い部分もあるため、引き続き予測方法の改善を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 藤本一寿, 山口晃治, 中西敏郎, 穴井謙: 平面道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法, 日本音響学会誌, 63, 309-317 (2007)
- 2) 山口晃治, 藤本一寿, 穴井謙, 平栗靖浩: 盛土道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法, 騒音制御, 33, 156-164 (2009)
- 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 RTN-Model 2008, 日本音響学会誌, 65, 179-232 (2009)