

# 戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測

—受音点の高さが 1.2m から 8.2m の場合—

江崎克浩

## 1. はじめに

本研究は、戸建て住宅地における道路交通騒音のレベル減衰に関する簡便な予測手法を提示することを目的としている。これまで、受音点の高さが 1.2m の場合を検討してきた。しかし、日本の住宅事情を考えると多様な条件に対応できるような予測手法が必要である。そこで、更に高い位置での騒音減衰量を知ることが必要である。

そこで本論文では、これまでと同様の実験を行い、受音点の高さが 5.2m ~ 8.2m (住宅の 2 階、3 階) の場合の戸建て住宅群による道路交通騒音の予測手法について研究した。

## 2. 模型実験

### 2.1 実験の概要

建物等による道路交通騒音減衰量を、縮尺模型実験によって検討した。実験は住宅が立ち並ぶ市街地をモデル化した縮尺模型によって建物等による道路交通騒音の超過減衰量を求めた。

Fig.1 に示すように、簡易半無響室内に地表面に相当する床 (厚さ 21mm の合板、ペイント塗装) を設置し、実スケール 100m × 80m (以下、特に断りのない場合は実スケールで示す) の範囲に住宅地模型を配置し、音源から道路交通騒音を想定した音を発生させて、住宅地内の受音点において道路から伝搬してくる音の音圧レベルを測定するという実験を行う。そして、道路交通騒音の住宅地伝搬に伴うレベル減衰量 (建物による超過減衰量) を求める。模型の縮尺は音源その他の音響特性を考慮して 1/20 とした。また実験周波数は相似則に従い、実際の道路交通騒音の 20 倍に設定する。

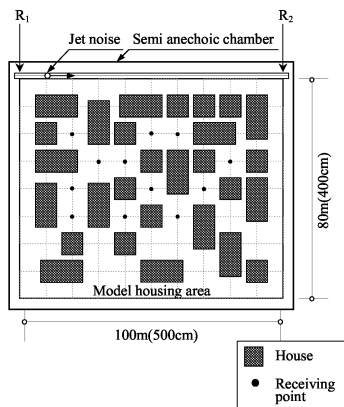


Fig.1 Outline of the experiment

### 2.2 住宅地モデル

住宅地内には独立住宅がランダムに配置されていると想定し、住宅の配置を平面的な密度と建物の高さでモデル化する。実験では Table.1 に示すように、家屋密度を 4 段階 (16.8% ~ 34.4%) に変化させて住宅を配置することにした。配置する住宅の平面は 8m × 8m と 8m × 16m の 2 種類、高さは 1 階建て (4m)、2 階建て (7m)、3 階建て (10m) とし、発泡スチロールで製作した。

Table. 1 Experimental conditions

No.	Houses	
	Covering percentage	Height
T-11	16.8%	4.0m
T-12	21.6%	
T-13	28.0%	
T-14	34.4%	
T-21	16.8%	7.0m
T-22	21.6%	
T-23	28.0%	
T-24	34.4%	
T-31	16.8%	10.0m
T-32	21.6%	
T-33	28.0%	
T-34	34.4%	

### 2.3 音源と受音点

音源にはジェットノイズを使用した。この音源は、実験の周波数の範囲でほぼ点音源とみなすことができる。これを、Fig.1 の  $R_1$  から  $R_2$  までの区間 (100m の直線道路) を 40s で定常走行させ、その時受音点で得られる音圧レベルを連続的に測定した。なお音源の高さは 0.5m である。

受音点は、Fig.1 に示す計 12 点 (道路から 20、30、40、50m の各距離に 3 点) で、高さは 1.2m・5.2m・8.2m である。また、音源が道路交通騒音のスペクトルを有する場合に受音点で A 特性音圧レベル (騒音レベル) が測定されるようにした。

### 2.4 騒音減衰量の算出

建物を配置した場合と配置していない場合に同一受音点で測定されたユニットパターンから、単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  を算出し、建物を配置していない場合の値  $L_{AE0}$  と建物を配置した場合の値  $L_{AE1}$  との差を、住宅群による騒音減衰量  $\Delta L_{AE} (= L_{AE1} - L_{AE0})$  とした。なお、ここで定義する減衰量は通常の定義と符号が逆であるので注意されたい。

## 2.5 実験結果と分析

騒音減衰量  $\Delta L_{AE}$  は、音源から受音点までの直接音や、建物等による反射や回折音に規定される。そこで、直接音や反射・回折音の影響を捉えるために、Fig.2に示すように、受音点から音源が見える部分(図中の斜線部分)、と見えない部分(図中の  $Q_a$  以外の部分)に分けて考えてみた。

すなわち、建物を配置した場合のエネルギー  $E_1$  を、受音点から音源が見える部分  $E_{1a}$  と見えない部分  $E_{1b}$  に分けて考えれば、

$$\begin{aligned}\Delta L_{AE} &= 10 \log_{10} \frac{E_1}{E_0} \\ &= 10 \log_{10} \frac{E_{1a} + E_{1b}}{E_0}\end{aligned}$$

である。ここで、受音点から音源が見える部分の見通し角の合計を  $\phi$  とすると、建物を配置しない場合のエネルギー  $E_0$  は、

$$\begin{aligned}E_{0a} &= E_0 \frac{3}{2\pi} \phi \\ E_{0b} &= E_0 \left(1 - \frac{3}{2\pi} \phi\right)\end{aligned}$$

として、

$$E_0 = E_{0a} + E_{0b}$$

と表せるので、

$$\begin{aligned}10 \log_{10} \frac{E_{1a}}{E_{0a}} &= 10 \log_{10} \frac{E_{1a}}{E_0} - 10 \log_{10} \left(\frac{3}{2\pi} \phi\right) = Q_a \\ 10 \log_{10} \frac{E_{1b}}{E_{0b}} &= 10 \log_{10} \frac{E_{1a}}{E_0} - 10 \log_{10} \left(1 - \frac{3}{2\pi} \phi\right) = Q_b\end{aligned}$$

と表すと、

$$\begin{aligned}\Delta L_{AE} &= 10 \log_{10} \left(\frac{E_{1a}}{E_0} + \frac{E_{1b}}{E_0}\right) \\ &= 10 \log_{10} \left\{10^{Q_a/10} \cdot \frac{3}{2\pi} \phi + 10^{Q_b/10} \cdot \left(1 - \frac{3}{2\pi} \phi\right)\right\}\end{aligned}$$

となる。

### 2.5.1 パラメータの導入

音源が見える部分の騒音減衰量  $Q_a$  と、見えない部分の騒音減衰量  $Q_b$  は、道路からの距離や音が音源から受音点まで伝搬する際の反射や回折等の規定される。本研究は、住宅群による騒音減衰量を簡単なパラメータで予測する方法を得ることを目的としているので、次のようなパラメータを導入してみた。

受音点から音源への垂線を中心とした角度  $\theta$  の範囲の三角形(以下基準三角形)を想定し、基準三角形内の見通し角度(音源が見える角度)  $\phi$  と建物率(三角形の面積に対する配置した住宅面積の合計の割合)  $\xi$  と、行路差  $\delta$ (受音点 P から道路に垂線を引き、その断面において、音源 S、受音点 P、回折点 A、B とした時、行路 SABP と行路 SP との差  $\delta(=SA+AB+BP-SP)$ ) を考えた。なお  $\theta$  は  $2\pi/3$  とした。

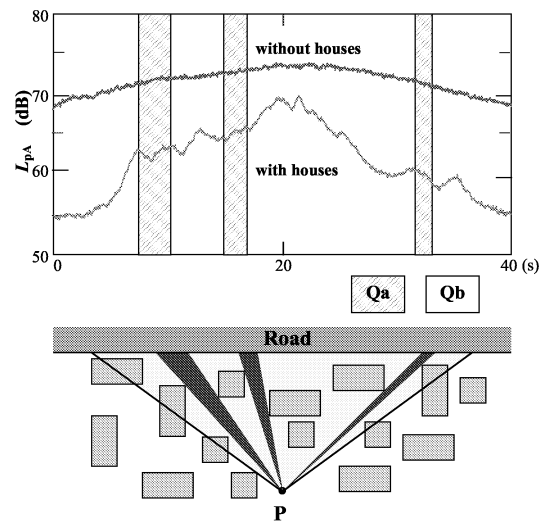


Fig.2 Explanation of  $Q_a, Q_b$

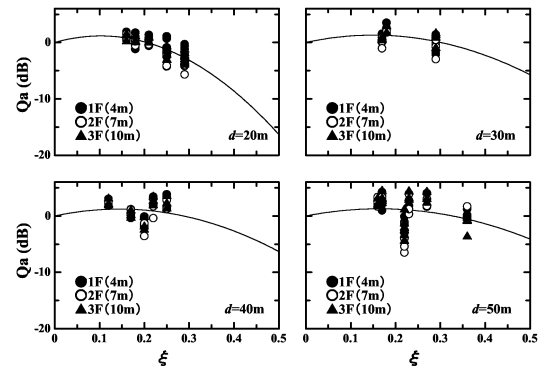


Fig.3 Relation between  $Q_a$  and  $\xi$

### 2.5.2 $Q_a$ の分析

受音点から音源が直接見える場合、騒音減衰量は直接音の影響が大きく、見えない場合に比べて減衰量が小さくなる。しかし、音源から受音点へ至る経路の周辺の建物の状態によっては、反射、回折によって減衰量は変わってくる。そこで、 $Q_a$  について、建物率  $\xi$  の関係を検討してみた。結果を Fig.3 に示す。これより、 $\xi$  が大きくなると減衰は大きくなる、すなわち音源から受音点へ至る経路の周辺の建物が多くなるほど、騒音が減衰することが分かる。また建物高さの影響はほとんどないことが分かる。

そこで、建物高さを無視して、 $Q_a$  と  $\xi$  の関係を

$$Q_a = a\xi^2 + b\xi$$

という式で表現し、最小2乗法により係数  $a$ 、 $b$  を求めた。Fig.3 から分かるように係数  $a$ 、 $b$  は受音点から道路までの距離  $d$  によって変化するため、 $d$  ごとに得られた  $a$ 、 $b$  の値をさらに回帰分析し、 $a = 1.881d - 134.629$  及び  $b = -0.218d + 25.797$  という関係を得た。

### 2.5.3 $Q_b$ の分析

受音点から音源が直接見えない場合、建物の配置と高さによって騒音減衰量は変わる。そこで、音源が直

接見えない場合の騒音減衰量  $Qb$  と建物率  $\xi$  の関係を検討してみた。結果を Fig.4 に示す。

図より、 $Qb$  は建物率  $\xi$  が大きくなるほど小さくなり、また道路からの距離  $d$  が大きくなるほど  $\xi$  の影響が強くなる事が分かる。これは、住宅の密度が大きいほど音源から受音点までの伝搬経路における音の回折が複雑になり、騒音減衰量が大きくなるものと考えられる。更に、道路から受音点までの距離  $d$  との関係を見てみると、音源から受音点までの距離  $d \cdot$  建物高さ  $\cdot$  受音点高さとの系統的な傾向が認められる。そこで、音源が直接見えない場合の騒音減衰量  $Qb$  を、建物率  $\xi \cdot$  道路から受音点までの距離  $d \cdot$  行路差  $\delta$  で、線形で重回帰分析を行った。その結果、次のような式を得た。

$$Qb = c_1\xi + c_2\delta + c_3d + c_4$$

ここで、 $c_1 = -16.251$ 、 $c_2 = -0.073$ 、 $c_3 = -0.060$ 、 $c_4 = 0.333$  である。

#### 2.5.4 実験式

以上のようにして求めた  $Qa$ 、 $Qb$  を用いて、戸建て住宅群による道路交通騒音の超過減衰量  $\Delta L_{AE}$  を求めた。

$$\Delta L_{AE} = 10 \log_{10} \left\{ 10^{Qa/10} \cdot \frac{3}{2\pi} \phi + 10^{Qb/10} \cdot \left(1 - \frac{3}{2\pi} \phi\right) \right\} \quad (1)$$

$\Delta L_{AE}$  : 住宅群による騒音減衰量 (dB)

$Qa$  :  $Qa = a\xi^2 + b\xi$

$a$  :  $a = 1.881d - 134.629$

$b$  :  $b = -0.218d + 25.797$

$Qb$  :  $Qb = c_1\xi + c_2\delta + c_3d + c_4$

$c_1$  :  $c_1 = -16.251$

$c_2$  :  $c_2 = -0.073$

$c_3$  :  $c_3 = -0.060$

$c_4$  :  $c_4 = 0.333$

$\phi$  : 見通し角度 (rad)

$\xi$  : 建物率

$\delta$  : 行路差

$d$  : 道路(車線)からの距離 (m)

本実験の条件は、予測地点は道路から 20 ~ 50m まで、見通し角度  $\phi$  は 0 ~ 1.25 まで、建物率  $\xi$  は 0.12 ~ 0.39 まで、行路差  $\delta$  は 0.52 ~ 9.88m であるので、(1) 式の適用範囲は原則としてこの範囲に限定される。また、基準三角形の外の住宅の配置も、この範囲から大きく逸脱しない状況である必要がある。

(1) 式による予測値と実験値との比較を Fig.5 に示す。相関係数は 0.801 で全データ 432 個のうち 94% は、 $\pm 3$ dB 以内に収まっておりまずまずの一致と言える。

### 3. 実験式の有効性の検討

#### 3.1 実測

実験式の有効性を検証するために、実際の住宅地において道路交通騒音の実測を行い、実験式との比較を行った。

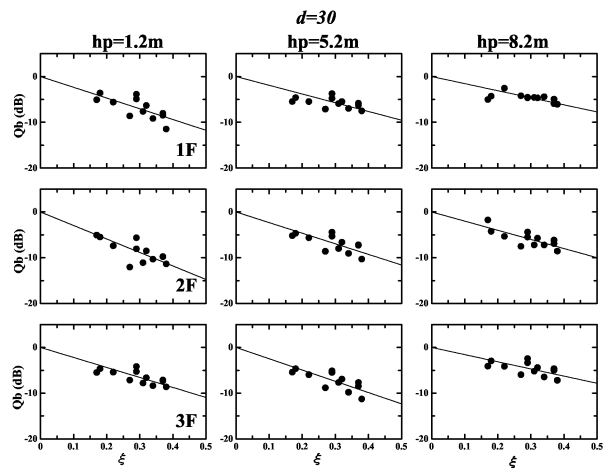


Fig.4 Relation between  $Qb$  and  $\xi$

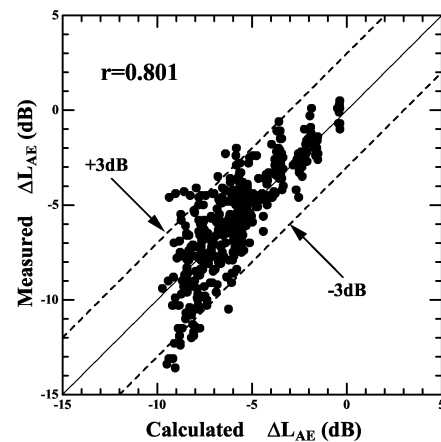


Fig.5 Comparison with Measured  $\Delta L_{AE}$  and Calculated  $\Delta L_{AE}$

#### 3.1.1 実測の概要

福岡市内にある、比較的交通量の多い道路に面した住宅地を 2ヶ所 (A、B 地区) を選び、道路交通騒音の実測を行った。実測の目的は建物による道路交通騒音の減衰量を求めることであるので、測定点は、道路端と住宅地内に設け、両方の測定点で同期して騒音レベルを測定した。測定点は、道路端は A 地区は 3 点、B 地区は 2 点、住宅地内は、受音点高さ 1.2m 点は A 地区 11 点、B 地区 6 点とした。受音点高さ 5.2m 点は A 地区 4 点、B 地区 3 点とした。住宅地内の測定点ごとに、そこから最も近い道路端測定点と同時に測定を開始し、一定時間 (20s) の等価騒音レベルを測定した。

#### 3.1.2 騒音減衰量の算出

実測された道路端の騒音レベル  $L_{Aeq,d_0}$  と住宅地内の騒音レベル  $L_{Aeq,d}$  から、次式で算出される値を建物による騒音減衰量  $\Delta L_{AE}$  とした。

$$\Delta L_{AE} = L_{Aeq,d} - L_{Aeq,d_0} + 10 \log_{10} \frac{d}{d_0}$$

ここで、 $d_0$  及び  $d$  は、それぞれ道路端及び住宅地内測

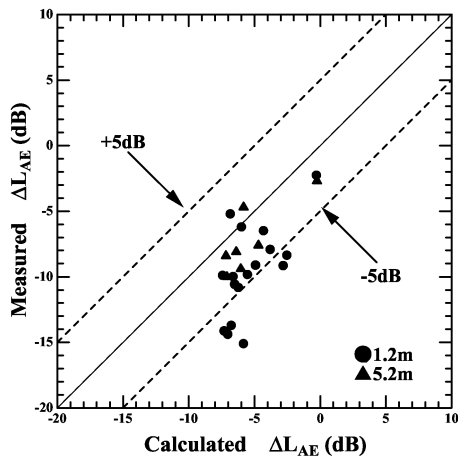


Fig.6 Comparison with Measured  $\Delta L_{AE}$  and predicted  $\Delta L_{AE}$

定点から道路中央までの距離を示す。

### 3.1.3 結果と考察

実験式による予測値と実測値との比較を Fig.6 に示す。結果は実験式による予測の方が、騒音が減衰しないというものになった。これは、音源を線音源とみなして計算したが、実際は、完全な線音源ではなかったということと、実験の適用範囲から外れる受音点があったためと思われる。今後は、他の騒音減衰要因を捉える必要があると考える。

### 3.2 既往の研究との比較

次に、音響学会道路交通騒音予測計算法 ASJ Model 1998 の建物群による騒音減衰量を求める方法と比較した。比較に用いた住宅配置は、2章の実験で用いた4つの配置で、建物高さは2階建てとした。

ASJ Model 1998 の建物群による騒音減衰量を求める方法は、沿道に、奥行きが同じ道路近接建物が列状に並んでおり、その背後に様々な形状の建物が配置されているという市街地を想定して、道路近接建物列より背後の地点における平均的な  $L_{Aeq}$  を求めるものであり、ここで対象とするランダムに住宅が配置した住宅地にはそのまま適用できない。ここでは、道路から1列目にある住宅を近接建物、それ以外の建物を背後建物とみなして、式を適用することにした。

結果を Fig.7 に示す。両者の差は概ね  $\pm 3\text{dB}$  以内であり、まずまずの対応といえる。ただし、減衰量が大い場合（道路から離れた点）で実験式の方がやや小さな騒音減衰量となる（減衰しない）という傾向が認められる。ASJ Model 1998 は今回のようなランダムな建物配置を想定外のためと推察されるが、ランダム配置の場合でも、実験式は平均的には ASJ Model 1998 と概ね同じ減衰量を与えようといえる。

### 4. 実験式の適用例

実験式によって、住宅地内の騒音レベル分布がどのように求められるか、住宅の配置が騒音レベル分布にどのように影響するかをみるために、実験式を戸建て住宅地に適用して騒音レベル分布を求めてみた。

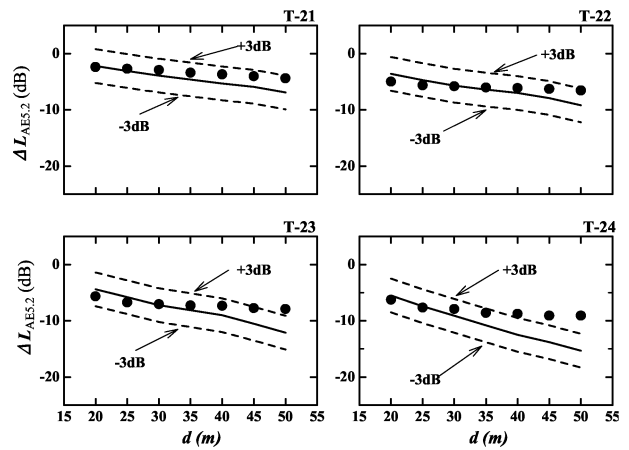


Fig.7  $\Delta L_{AE}$  .vs.  $d$

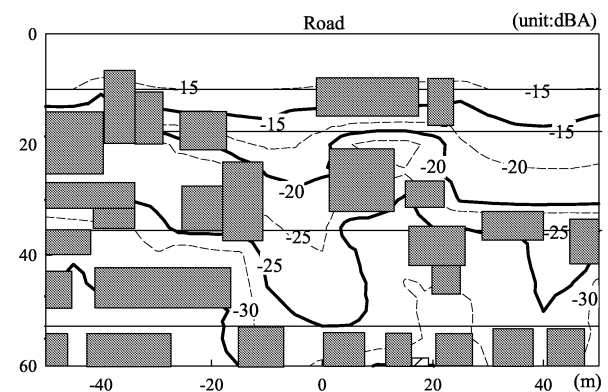


Fig.8 Distribution of noise level

計算結果を Fig.8 に示す。参考のために、図中にはこれまでに提案した式（受音点高さ 1.2m）と、ASJ Model 1998 の式の計算結果も併せて示している。ASJ の式は、道路からの距離が同じ場合には騒音レベルも同じ値となるが、実験式は、予測地点ごとに住宅配置を考慮するため、住宅の配置に対応した騒音レベル分布が得られている。また、これまでに提案した式と比べると、受音点高さによって騒音レベルに違いが生じる様子が把握できる。

### 5. むすび

縮尺模型実験により戸建て住宅地における道路交通騒音の伝搬性状を捉え、建物による道路交通騒音の超過減衰量の推計手法について検討した。その結果、騒音減衰には見通し角度、建物率、道路からの距離、行路差の4つのパラメータが大きく関係することが分かった。本論文で提案した実験式は、これまで難しかった住宅地内の特定地点の騒音レベルを求めることができ、受音点高さ・建物高さの変化にも対応しており、環境騒音の推計手法としても有効な方法であると考えられる。

これらの結果から、4つのパラメータをもとに、戸建て住宅群による道路交通騒音の騒音減衰量を求める実験式を提案した。この実験式は実験条件内であるならば有効な予測手法となると考える。