

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

山口 晃治

1. はじめに

平成 11 年 4 月施行の「騒音に係る環境基準」では、道路に面する地域においては一定地域ごとに基準値を超過する建物の戸数や割合によって環境基準達成状況の評価をすることになっており、またすべての建物について騒音レベルを測定することは困難であることから、騒音を推計することも認めるとされている。

騒音の推計には建物群による騒音減衰量を求める必要があり、ASJ RTN-Model 2003¹⁾には建物群背後における平均的な騒音レベルを求める方法が提示されている。藤本研究室は、より現実に即した環境評価のためには地区内の平均的な値だけではなく特定点の値も必要であると考え、縮尺模型実験による検討結果に基づき、住宅群による道路交通騒音減衰量を見通し角度 ϕ 、建物率 ξ 、道路からの距離 d 、建物高さ H 、受音点高さ h_p の 5 つのパラメータから求める予測式(以下、F2002 と呼ぶ)を提案した²⁾。また、盛土道路(音源高さ h_s が変化する場合)にも適用できるように、その後 F2002 を拡張した。しかしながら、上記の模型実験は、必ずしも十分な精度ではなかった。

そこで本研究では、実験システムを改良し、より精度の高い騒音減衰量予測式を導出することを目的とする。

2. 模型実験

2.1 実験の改良

今回行う模型実験は、以下の 3 点を改良した。

)これまでの実験では、実験に用いた機械の仕様から、実スケール 200~1,600Hz(以下、実スケールで示す)の周波数範囲しか取り扱うことができなかったが、実際の道路交通騒音はその範囲以外の周波数成分も含んでいるので、今回の実験では、高速 AD Converter を用いて、解析周波数を 50~5,000Hz に拡張した。

)ジェットノイズの指向性を測定し、高周波領域においても、できるだけ住宅地側が無指向性となるように音源の設置方法を改良した。

)これまでの実験で、受音点位置によっては、受音点から音源への垂線を中心とした角度 $2\pi/3$ の範囲の三角形(以下、基準三角形)以外からの騒音も測定していたので、今回の実験では、受音点を図-1 の R_1, R_2 の中心垂線上に設置することで基準三角形以外からの騒音をできるだけ少なくした。

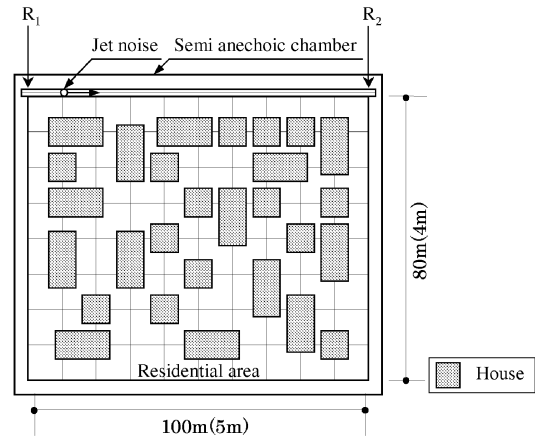


図-1 模型実験の概要

2.2 実験の概要

図-1 に示すように、簡易半無響室内に地表面に相当する床を設置し、100m × 80m 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(建物群による挿入損失)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。

2.3 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。現実の住宅地における調査結果から、実験では家屋密度(道路などを含めた住宅地全域に対する住宅の建築面積の割合)を 16.8%、21.6%、28.0%、34.4% の 4 段階に変化させた。さらに各密度、各受音点位置ごとに 4 つの配置を作成し、64 種類の住宅配置を作成した。住宅配置例を図-2 に示す。住宅の平面は、8m × 8m と 8m × 16m の 2 種類、高さ H は 1 階建て(4m)、2 階建て(7m)、3 階建て(10m) の 3 種類の直方体とし、実験で使用する音の周波数においてほぼ完全反射とみなすことのできる発泡スチロールで製作した。

2.4 音源と受音点

本研究では、道路を無限長線音源と想定し、これを実験で再現するために次のようにした。

音源には道路交通騒音の周波数特性をカバーでき、

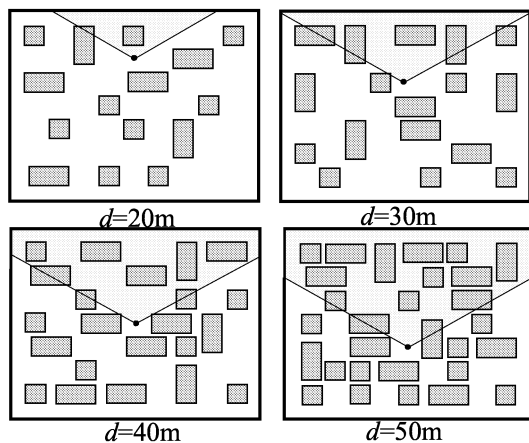


図-2 住宅配置の例と受音点位置

実験で使用する周波数の範囲でほぼ点音源とみなせるジェットノイズを使用した。これを、図-1の R_1 から R_2 までの区間 (100m の直線道路) を約 42s 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。音源の高さ h_s は、過去の実験では 0.5m であったが、今回の実験では ASJ RTN-Model 2003 の音源により近い 0.3m とした。ジェットノイズの周波数特性を図-3 に示す。

受音点は、図-2 に示す 4 点 (道路から受音点までの距離 d は 20, 30, 40, 50m) とした。受音点高さ h_p は 1.2, 5.2, 8.2m とし、受音点高さは建物高さ以下とした。

2.5 騒音減衰量の算出

騒音減衰量 ΔL_{AE} は次のように算出した。まず、受音点で得られるマイクロホンの出力 (アナログ) 信号を、分解能 24bit, サンプリング周波数 200kHz で AD 変換した。次に、サンプリングデータを時系列順に $16,384 (=2^{14})$ 個ずつ取り分け、それぞれをフーリエ変換し、計 512 個のパワースペクトルを求めた。さらに、そのパワースペクトルから 1/3 オクターブバンド音圧レベルを算出し、それに図-3 の ASJ RTN-Model 2003 に示されている道路交通騒音の平均的な A 特性スペクトルと実験で用いたジェットノイズの周波数特性の相対的なレベル差 (図-3 の Correction Value) を周波数補正し、全周波数帯域での A 特性音圧レベル L_{pA} を求めた。そして、これらの L_{pA} によって求められるユニットパターン (音源の移動に伴って受音点で測定される騒音レベルの時間変動) 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に得られた L_{AE} を基準にして、建物を配置した場合の L_{AE} との差を建物の影響による騒音減衰量 ΔL_{AE} とした。

3. 実験結果と式の導出

まず、受音点高さ h_p による $\Delta L_{AE, h_p=x}$ の変化を調べた (受音点高さ $h_p=x$ の場合の ΔL_{AE} を $\Delta L_{AE, h_p=x}$ と表す)。結果を図-4 に示す。この図より、受音点高さ

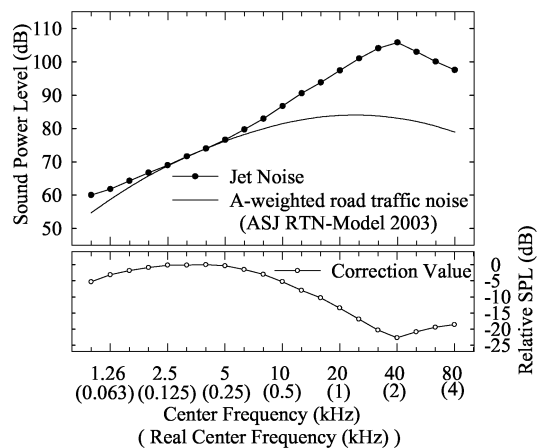


図-3 道路交通騒音と Jet Noise の周波数特性

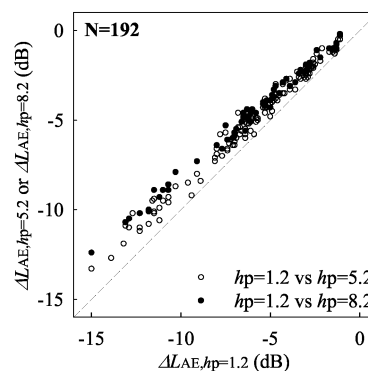


図-4 h_p による ΔL_{AE} の変化

h_p が高くなると、 ΔL_{AE} は大きくなる (減衰しない) 傾向がわかる。これは、受音点が高くなるほど建物上方からの回折音の影響をより多く受けているためと考えられる。

そこで、 h_p の値が実験条件内で変化した場合の ΔL_{AE} を $\Delta L_{AE, h_p=1.2}$ と h_p で表し、式 (1) を導出した。

次に、 $h_p=1.2$ の場合の式を導出する。

受音点の騒音レベルは直接音の影響が大きいことが、これまでの基礎実験の検討結果から明らかになっている。建物が存在しない場合の有限長線音源からの音圧レベルは $10 \log_{10} \phi$ で決まるが、建物が配置された場合には $\log_{10} \phi$ の係数が建物の状況により変化すると予想されること、また基準三角形内に建物が存在しない場合 ($\phi=2\pi/3$) の騒音減衰量は 0 となることに基づいて、 d ごとに ΔL_{AE} と ϕ の関係を $\Delta L_{AE, h_p=1.2} = a \log_{10} \left\{ \frac{3\phi}{2\pi} (1-b) + b \right\}$ で表現し、最小 2 乗法により求めた回帰係数 a , b を道路からの距離 d の関数で表した。

見通し角度 ϕ が 0 の場合、 ΔL_{AE} と $a \log_{10} b$ で計算される差を補正值とし、補正值と建物密度 ξ , 建物高さ H , 道路からの距離 d との関係を見てみた。補正值は ξ, H が大きくなるほど減衰し、 d が小さくなるほど減衰していることが分かった。これは、 ξ が大きいほど建

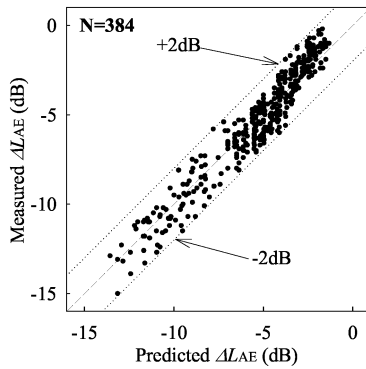


図-5 F2006 による予測値と実験値の比較

物による回折が複雑になり、 H が大きいほど建物上方からの回折音の影響が少なくなり、騒音減衰量が大きくなることによるものと考えられる。また、 d が小さくなるほど減衰しているのは、 a 、 b が d の関数であるためと考えられる。そこで、補正値を ξ 、 H 、 d を用いて補正した。

以上のようにして、平面道路における道路交通騒音の減衰量を求める次式を得た。F2006 と呼ぶ。

$$\Delta L_{AE} = p\Delta L_{AE, h_p=1.2} + q \quad (1)$$

$$\Delta L_{AE, h_p=1.2} = \begin{cases} a \log_{10} \left\{ \frac{3\phi}{2\pi} (1-b) + b \right\} & (\phi \neq 0) \\ a \log_{10} b - 32.8\xi - 0.242H \\ \quad + 0.358d + 3.60 & (\phi = 0) \end{cases} \quad (2)$$

ΔL_{AE} : 住宅群による騒音減衰量 (dB)

h_p : 受音点高さ (m)

ϕ : 見通し角 (rad)

d : 道路 (車線) からの距離 (m)

ξ : 建物率

H : 建物高さ (m)

a : $a = 74.2e^{-0.174d} + 4.74$

b : $b = 8.82e^{-0.236d}$

p : $p = -2.05 \times 10^{-2}(h_p - 1.2) + 1$

q : $q = -\frac{0.684}{h_p} + 0.570$

本実験の条件は、予測地点は道路から 20m~50m まで、見通し角度 ϕ は 0~0.92 まで、建物率 ξ は 0.12~0.39 までであるので、F2006 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必要がある。

3.1 F2006 による予測値と実験結果の比較

F2006 による予測値と実験値との比較を図-5 に示す。これまでの研究では、両者の差は概ね ± 3 dB 以内であっ

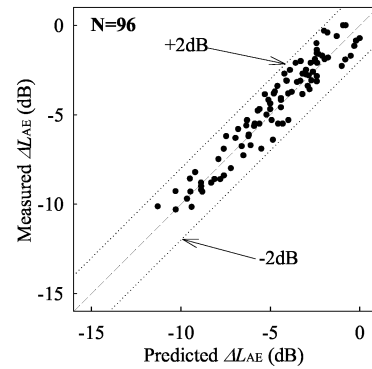


図-6 F2006 による予測値と検証実験値の比較

たが、本研究では、実験方法の改善により両者の差が ± 2 dB 以内に収まり、予測式の精度を向上することができた。

4. F2006 の有効性の検証

次に、提案した実験式の有効性を検討した。

4.1 検証実験

受音点高さ及び住宅配置を変更した場合について実験をした。家屋密度は実験式の適用条件を満たすように 19.2%、29.6% の 2 段階とし、24 パターンの住宅を配置した。建物高さは 7m と 10m とし、受音点高さは、1.5m、4.0m、6.5m ($H=7$ m の場合) と 2.0m、5.0m、8.0m ($H=10$ m の場合) とした。音源高さは 0.3m とした。道路から受音点までの距離は 20m、30m、40m、50m で、受音点位置は本実験と同じ位置である。

実験値と F2006 による予測値との比較を図-6 に示す。両者の差は ± 2 dB 以内に収まっており、F2006 は受音点高さや住宅配置が変化しても有効な高精度の予測式であると言える。

4.2 既往の研究との比較

次に、現在我が国で広く用いられている ASJ RTN-Model 2003 の建物群による騒音減衰量を求める方法と F2006 の対応を見る。ASJ RTN-Model 2003 には 2 つの予測法が提示されているが、ここでは「道路近接建物列と背後建物群のパラメータを用いる方法」を用いた。

住宅配置は図-7 に示す 2 種類で、100m × 60m の市街地に様々な大きさの住宅が平面道路と平行に並んでいる状況を想定した。評価区間は道路からの距離が 15、30、45、60m の区間とし、評価区間上に住宅は配置されていない。また、道路近接建物列は道路と平行に並んだ道路直近の列とした。住宅配置の家屋密度はそれぞれ 28.5%、33.9% で、共に F2006 の適用範囲内である。なお、F2006 では評価区間上 1m ごとに予測値を求め、その平均値を F2006 による騒音減衰量の区間平均値とし、建物高さを 7m、受音点高さを 1.2m とし計算を行った。

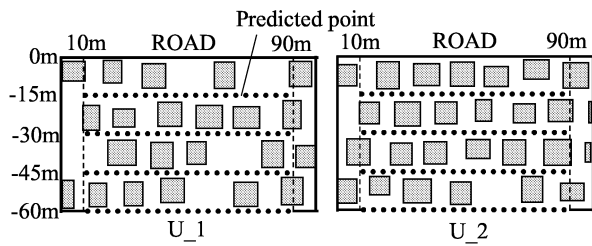


図-7 ASJ RTN-Model 2003 との比較に用いた住宅配置

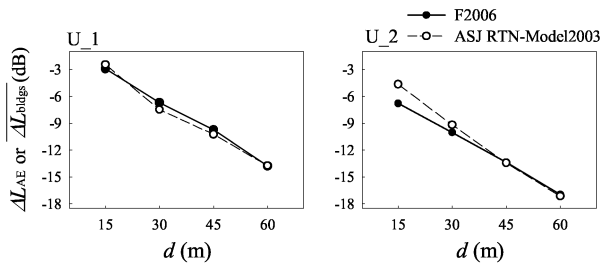


図-8 ASJ RTN Model 2003 と F2006 の比較

結果を図-8 に示す。家屋密度が高い場合、道路に近い評価区間ほど F2006 による減衰量の方がやや大きくなる(騒音レベルが減衰する)傾向が認められるが、F2006 は ASJ RTN-Model 2003 と概ね同じ減衰量を与える。これより、F2006 は道路からの距離が一定の評価区間ごとに平均減衰量を求める場合にも有効な予測式であると言える。

5. 実験式の適用例

F2006 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、受音点の高さが騒音レベル分布にどのように影響するかを求めてみた。なお、道路からの評価区間は F2006 の適応範囲から逸脱しない 15m ~ 60m としている。

計算結果を図-9 に示す。この図は、道路から距離 d における騒音レベル ΔL_{pA} が、 $L_{pA} = L_{WA} - 8 - 10 \log_{10} d + \Delta L_{AE} + \Delta L_g$ (ここで、 L_{WA} は自動車交通騒音の A 特性単位パワーレベル、 ΔL_g は地表面効果による補正量を示す) で計算されると考えたとき、 $L_{WA} = 0 \text{ dB/m}$ 、 $\Delta L_g = 3 \text{ dB}$ (半自由空間を考慮) として計算した値、すなわち騒音レベルの相対値を示している。

6. まとめ

これまで藤本研究室で提案してきた道路交通騒音減衰量の予測式の導出のための模型実験は、必ずしも十分な精度ではなかった。そこで、本研究では予測式の精度向上を目的として、解析周波数範囲を拡大し、音源指向性を考慮し、受音点の配置を改善した実験を行った。その

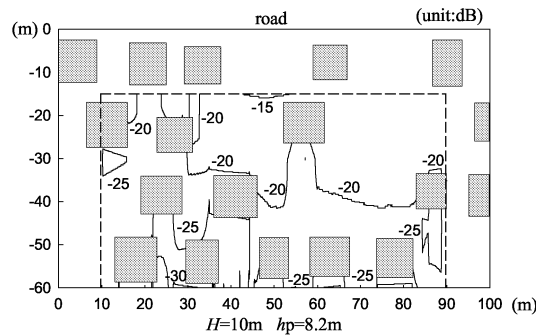
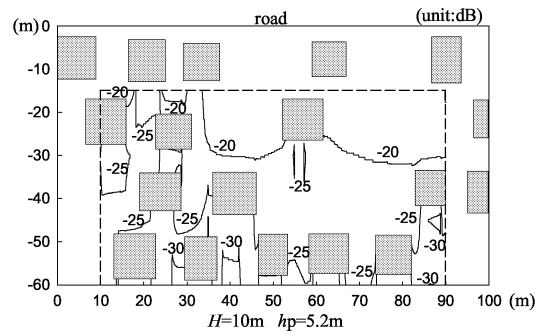
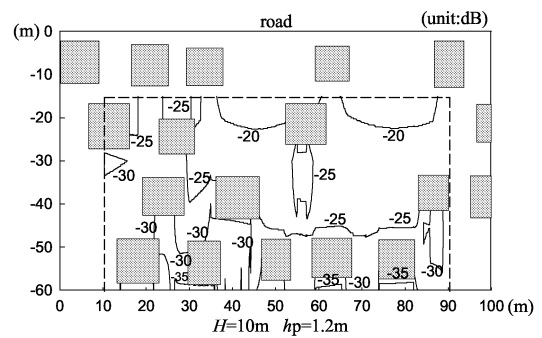


図-9 騒音レベル分布

結果に基づいて、精度の高い予測式を提案した。また、検証実験および既往の研究 (ASJ RTN-Model 2003) との比較により、その有効性を検証した。さらに、F2006 を用いて住宅配置に対応した騒音レベル分布を予測できることを示した。

今後は、提案した F2006 がどこまで実際の道路交通騒音減衰量に適用できるかを、実測値との比較によって明らかにするとともに、盛土道路にも適用できるように F2006 を拡張していきたい。

参考文献

- 1) 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 2003”, 日本音響学会誌, 60, 192-241 (2004)
- 2) K.Fujimoto, K.Anai and R.Ohta, “Excess attenuation of road traffic noise by detached houses: Predictions when receiving points are lower than houses,” *Acoustical Science and Technology*, 24, 120-129 (2003)