

曲線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

村山 建二

1. はじめに

平成 11 年 4 月に施行された「騒音に係る環境基準」では、道路に面する地域における騒音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面的な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るが、住宅地内の騒音伝搬は非常に複雑なため、ASJ RTN-Model 2003¹⁾では「建物群背後における平均的な騒音レベルを求める方法」が示されている。しかし、環境基準を住戸ごとに詳細に評価するためには、住宅地内の平均的な値だけではなく特定点の値も予測できない。そこで藤本研究室では、住宅地内の騒音レベル分布を予測することが可能な、平面および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(以下、F2006+ と呼ぶ)²⁾を提案してきた。

F2006+ は直線道路を対象とした予測式であるが、実際の市街地は直線道路ばかりとは限らない。そこで本論文では、曲線道路に面する地域においても適用可能な、戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測式を提案することを目的とする。

2. 求めようとする予測式のご概念

これまでに提案されている“建物群による騒音減衰量の予測式”はいずれも線音源を仮定しており、例えば ASJ RTN-Model 2003 には、建物が存在しないときの L_{Aeq} を車線ごとに求めた後に、建物群による超過減衰量を考慮する方法が示されている。しかし、曲線道路を対象とする場合には、音源を点としてモデル化し、図-1 に示すように、ASJ RTN-Model 2003 の予測計算フローのユニットパターンを求める際の、回折補正量や地表面効果などと併せて“建物群による騒音減衰量”

を予測できなければならない。そこで本研究では、平面道路の縮尺模型実験結果を用いて、道路上の点音源から受音点への騒音伝搬に対する建物群による騒音減衰量を求め、それを予測するための新たなパラメータを検討して騒音減衰量の予測式を導出する。曲線道路に面する地域の騒音予測は、道路上に複数の点音源を設定し、この予測式を各点音源から受音点への騒音伝搬に対して適用することによって建物群による騒音減衰量を算出する。

3. 予測式の導出

3.1 実験の概要

簡易無響室内に住宅模型を配置し、道路上の音源から道路交通騒音を想定した音を発生させ、住宅地内の受音点において伝搬してくる音の音圧レベルを測定するという 1/20 の縮尺模型実験を行なった。そして、道路交通騒音の住宅地伝搬に伴うレベル減衰量を求めた。

3.2 騒音減衰量の算出

騒音減衰量 ΔL_B は次のように算出した。まず、マイククロホンの出力(アナログ)信号を AD 変換し、1/3 オクターブバンド音圧レベルを算出した。それに、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音源の周波数特性の相対的なレベル差を補正し、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、 L_{pA} の時間変化によって求められるユニットパターンを受音点から $\pi/6$ の範囲に区切り、騒音レベル L_B を算出し、建物を配置してない場合の値 L_{B0} と、建物を配置した場合の値 L_{B1} との差を、住宅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設定と符号が逆である。

3.3 パラメータ

これまでの研究²⁾から、建物群による騒音減衰量には、受音点からの道路の見通し角度 ϕ が大きく関係することがわかっており、本研究において点から点の騒音伝搬に対する建物群の影響を捉えるためにも、受音点と道路を結ぶ基準 3 角形の開き角度の設定が重要である。基準 3 角形の開き角度 (F2006+ では $2\pi/3$) は、広すぎると曲線道路に当てはめることができず、狭すぎると建物群の影響を正しく説明することができない。本研究ではいくつかの検討を踏まえて、基準 3 角形の開き角度を $\pi/6$ とした。

図-2 に示すように、基準 3 角形の開き角度 $\pi/6$ 内の見通し角度 $\phi (= \phi_1 + \phi_2 + \dots)$ と建物面積 S (3 角形内

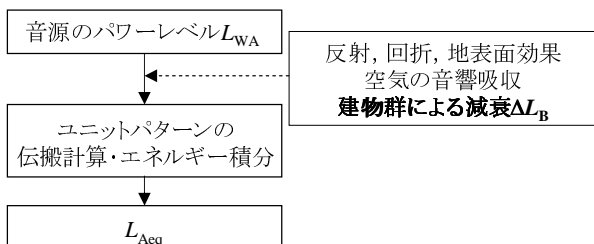


図-1 予測計算の手順

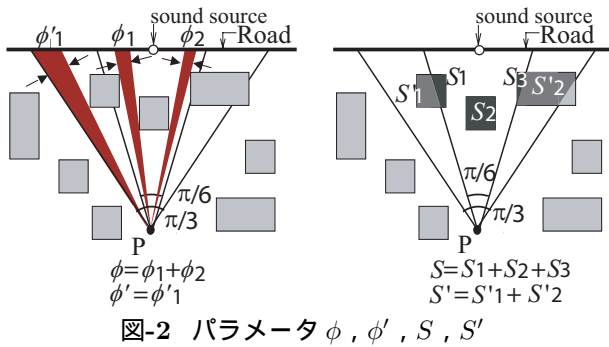


図-2 パラメータ ϕ , ϕ' , S , S'

に配置された住宅面積の合計) を考えた。また、基準 3 角形内の道路の midpoint から受音点までの距離を d' とした。これらは、音源から受音点へ至る経路において、直接音の影響と建物による騒音伝搬の障害の影響を捉えようとしたものである。また、建物上方からの回り込みを捉えるために、建物の高さ H もパラメータとした。

さらに、基準 3 角形外から回り込んでくる回折音や反射音を捉えるために、基準 3 角形に隣接する範囲もパラメータとして用いた。図-2 に示すように、基準 3 角形の左右に $\pi/12$ ずつ、合計 $\pi/6$ 開いた範囲の三角形内の見通し角度を ϕ' 、建物面積を S' とした。

3.4 予測式の導出

式の導出には、音源位置を $\pi/30$ ずつ移動した騒音減衰量を用いた。道路からの距離が 20m, 30m, 40m, 50m の場合、それぞれ 13, 11, 9, 7 データを取り出し、計 1,920 データを用いて式を導出する。

まず、有限長線音源からの音圧レベルは見通し角度 ϕ のとき $10 \log_{10} \phi$ で決まること、基準 3 角形内に建物が存在しない場合 ($\phi = \pi/6$) の騒音減衰量の算術平均値が 1.67 dB となること、 ΔL_B は ϕ が 0 でない場合 (受音点から道路が見通せる場合) と 0 の場合 (見通せない場合) に分けた方が捉えやすいことを考慮して、今回の騒音減衰量予測式も、F2006+ にしたがって $\Delta L_B = a \log_{10} \{6\phi/\pi (1-b) + b\} + 1.67$ を基本形とすることにした。

次に、 $\phi = 0$, $\phi = \pi/6$ の場合を除く実験結果 ΔL_B に対して、 $a \log_{10} \{6\phi/\pi (1-b) + b\} + 1.67$ の式を当てはめて回帰係数 $a = 12.3$, $b = 0.193$ を得た。図-3 に示すように、受音点から道路が全く見通せない ($\phi = 0$) 場合、 ΔL_B は ϕ 以外の要因によって大きくばらつき、受音点から道路が見通せる ($\phi \neq 0$) 場合も、 ΔL_B は ϕ 以外の要因によってばらついている。すなわち、 ΔL_B は ϕ だけでは説明できず、建物の立地状況を考慮しなければならない。そこで、ばらつきが大きい $\phi = 0$ の場合の ΔL_B と $a \log_{10} b + 1.67$ の差を算出し、その値と隣接する 3 角形の見通し角度 ϕ' との関係調べてみた。図-4 に示すように、 $\phi' = 0$ の場合が最も大きくばらついている。 $\phi = 0$, $\phi' = 0$ の場合は受音点から道路がまったく見えないため、建物の立地状況を考慮する必要があり、 $\phi = 0$, $\phi' = 0$ の場合の ΔL_B と $a \log_{10} b + 1.67$ の差を、基準 3 角形の建物面積 S 、隣接する 3 角形の建物面積 S' 、道路からの距離 d' 、建物

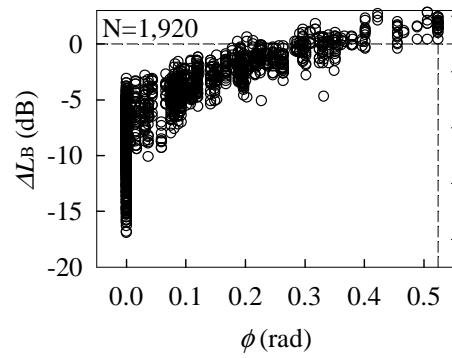


図-3 実験値と見通し角度 ϕ の比較

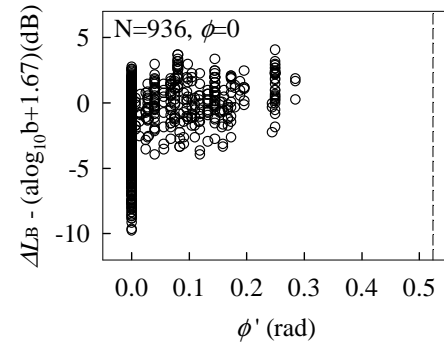


図-4 実験値 $-a \log_{10} b + 1.67$ と隣接する 3 角形の見通し角度 ϕ' の比較

高さ H を用いて重回帰した。

最後に $\phi = 0$, $\phi' = 0$ 以外のばらつきを表すために、重回帰の結果に ϕ , ϕ' の関数による補正值 ω を掛けることにした。 ω は $\Delta L_B - [a \log_{10} \{6\phi/\pi (1-b) + b\} + 1.67]$ を重回帰の結果で割った値となり、連続性を保つために、 $\phi = 0$, $\phi' = 0$ の場合は $\omega = 1$ とした。 ϕ , ϕ' が大きくなると建物による減衰の影響は小さくなるため、 ω が 0 に漸近するように回帰分析を行い、 $\omega = 10^{-(5.71\phi + 19.0\phi')}$ を得た。(回帰分析の際に $|\omega| \geq 100$ の値は、省いた。) 以上のようにして導いた式 (1) を F2008 と呼ぶ。

$$\begin{aligned} \Delta L_B = & 12.3 \log_{10} \{6\phi/\pi (1 - 0.193) + 0.193\} + 1.67 \\ & + 10^{-(5.71\phi + 19.0\phi')} (0.296 - 0.0318S \\ & - 0.0146S' + 0.207d' - 0.101H) \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、

- ΔL_B : 住宅群による騒音減衰量 (dB)
- ϕ : 基準 3 角形の見通し角 (rad.)
- ϕ' : 隣接する 3 角形の見通し角 (rad.)
- S : 基準 3 角形の建物面積 (m^2)
- S' : 隣接する 3 角形の建物面積 (m^2)
- d' : 道路 (車線) からの距離 (m)
- H : 建物高さ (m)

である。

実験条件から、F2008 の適用範囲は、予測地点は道路から 20m ~ 53m まで、見通し角 ϕ , ϕ' は共に $0 \sim \pi/6$ まで、建物面積 S は $0 m^2 \sim 298 m^2$ まで、 S' は $0 m^2 \sim$

465 m² まで、建物高さ H は 4 m ~ 10 m までに限定される。また、隣接する 3 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。

3.5 F2008 による予測値と実験結果の比較

まず、1,920 データの ΔL_B による比較を行った。結果を図-5 に示す。予測値と実験値の最大誤差は 6.2 dB とやや大きいですが、 ± 3 dB 以内に 95.3% が収まっており、まず

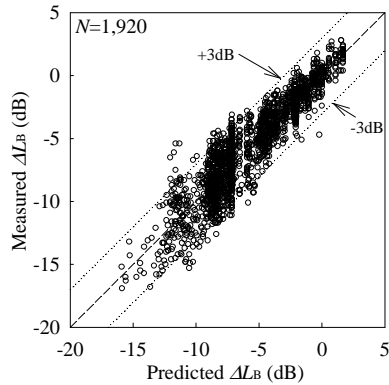


図-5 F2008 による予測値と実験結果の比較

次に、 ΔL_B の予測値と実験結果をユニットパターン(車両が直線道路を走行したときの受音点における騒音レベルの時間変化)で比較した結果を図-6 に示す。2 種類の住宅配置(建物率 16.8%、道路からの距離 20m と建物率 21.6%、道路からの距離 40m の例)について、直線道路上の点音源を受音点から $\pi/360$ ずつ移動したときの予測値と実験値の比較である。両者の対応は良く、F2008 によって道路上の各点音源からの騒音伝搬を予測できていることがわかる。

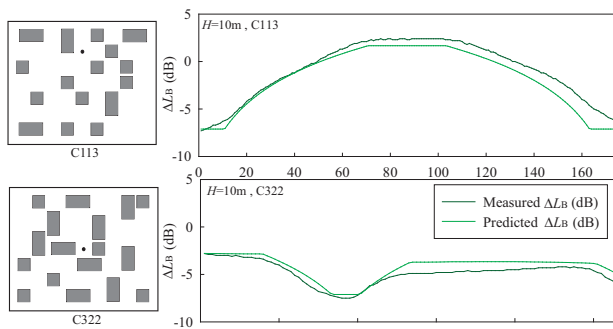


図-6 騒音減衰量 ΔL_B のユニットパターンの比較

4. F2008 の有効性の検証

F2008 の有効性を、曲線道路模型による検証実験と、曲線道路沿道における実測によって検証した。

4.1 曲線道路模型による検証実験

平面道路実験とは道路の形状や住宅配置を変更して実験を行った。曲線道路は、現実の道路を参考にして半径 97.8 m の円弧とし、音源を図-7 の R_1 から R_2 までの区間 (84.6 m の曲線道路) を 42 s で定常走行させた。

住宅配置は予測式の適用範囲を満たすように 16.6%、21.5%、28.3%、34.2% の 4 段階とし、16 パターンの住

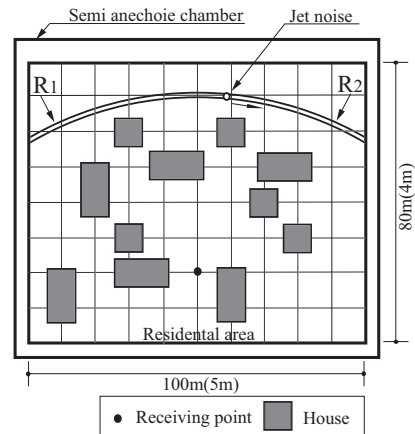


図-7 検証実験の概要

宅配置とした。建物高さは 10m とし、道路から受音点までの最短距離は 20 m、30 m、40 m、50 m とした。

F2008 による予測値と実験結果の比較を騒音減衰量 ΔL_B により行った (図-8)。予測値と実験値の最大誤差は 7.4 dB とやや大きいですが、実験値より予測値の方が騒音減衰量は大きくなる(減衰しない)傾向にあり、曲線道路では F2008 の予測値は安全側の値を与える式となってい

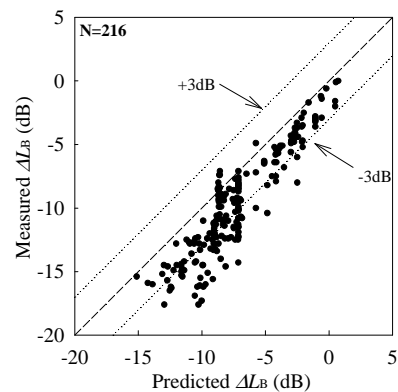


図-8 F2008 による予測値と検証実験値の比較

4.2 実測による F2008 の有効性の検証

実際の曲線道路沿道における実測と、F2008 の予測値を比較した。

4.2.1 曲線道路沿道における騒音の実測

曲線の半径がおよそ 200 m の道路沿道において騒音の測定を行った。実測地の概要を図-9 に示す。2 車線

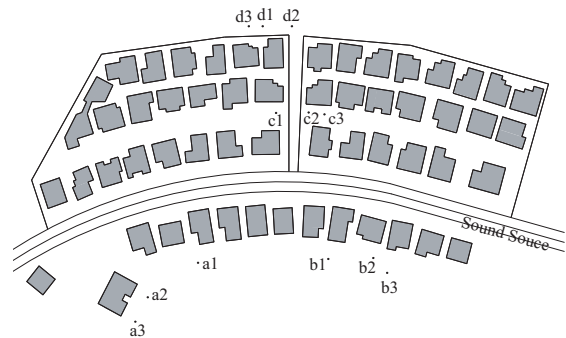


図-9 実測地の道路と住宅配置

表-1 実測の概要

測定点	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3	d1	d2	d3
測定時間 (min.)	11.9	10.1	15.2	19.8	12.5	22.5	20.5	23.8	30.1	5.8	13.8	12.9
道路端における L_{Aeq} (dB)	68.1	68.5	68.5	70.0	70.8	70.2	70.8	70.7	70.7	72.0	71.4	71.5
道路端から車線までの距離 (m)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
車速, V (km/h)	39.9	41.9	41.7	51.1	55.7	52.0	49.2	49.1	48.7	43.9	41.1	41.5
交通量(台/h)	672	672	672	720	720	720	828	828	828	1272	1272	1272
受音点から車線までの距離 (m)	29.4	37.8	45.2	30.4	26.8	31.5	28.0	28.3	28.1	63.5	63.4	63.7
受音点における L_{Aeq} (dB)	51.1	50.3	48.6	49.1	49.4	51.5	51.8	54.8	52.4	40.1	45.4	40.1

道路で、交通量はおよそ 800 台/h である。住宅は、平面がおよそ 10m×10m ですべて 2 階建て (平均高さは 7.0m) で、建物密度はおよそ 28.2% である。このような住宅地において、道路からの距離が 28m~64m の範囲に 12 箇所の測定点 (建物背後地) を設定した。

騒音レベルの測定は、精密騒音計を用いて、道路端と建物背後地 3 点において 4 点同時に行った。騒音レベルは 0.1s 毎の瞬時値を 1 時間連続測定し、道路交通騒音以外の音 (犬や鳥の鳴き声, 住宅地内を走行する自動車音など) の混入のない時間帯だけを抜粋 (5.8 min ~ 30.1 min) し、それらから等価騒音レベルを算出した。実測の概要を表-1 に示す。また、建物群による道路交通騒音の減衰量 (F2008) の計算に必要な道路と住宅の正確な位置を、光学式測量機器 (トプコン社製 GPT-3005W) を用いて測量した。

4.2.2 曲線道路沿道における騒音レベルの予測

実測の目的は、F2008 による予測値と実際の曲線道路沿道の住宅地における住宅群による騒音減衰量との対応を調べることであるが、実際の住宅地において、建物群による道路交通騒音の減衰量 (住宅のない場合とある場合のレベル差) を直接測定することはできない。ここでは図-10 に示すような手順で建物背後地における騒音レベルを予測した。すなわち、まず道路を 1 車線にモデル化し、ASJ RTN-Model 2003 を用いて道路端の騒音レベルを予測し、予測値が道路端の実測値 L_{Aeq} に一致するように走行車両の A 特性音響パワーレベル L_{WA} の値を設定した。こうして設定された L_{WA} を用いて、ASJ RTN-Model 2003 によって建物背後地の測定点における騒音レベルを予測した。このとき、騒音伝搬の計算には、車線上に受音点から車線までの最短距離の間隔で 3 点の離散音源点を設置した。計算過程において、建物群による騒音減衰量 ΔL_B と住宅面の地表面効果 (住宅地面を実効的流れ抵抗 $1,250kPa \cdot s \cdot m^{-2}$ の固い地面としたときの地表面の吸音効果による補正量) を考慮した場合と、考慮しない場合の計算を行った。こうして得られた騒音予測値 L_{Aeq} を、建物背後地における予測値 L_{Aeq} とした。

4.2.3 予測値と実測結果の比較

予測値と実測結果の比較を図-11 に示す。住宅地面の地表面効果を考慮した場合はよい対応である。全体的に実測値の方が予測値よりもやや小さい値になって

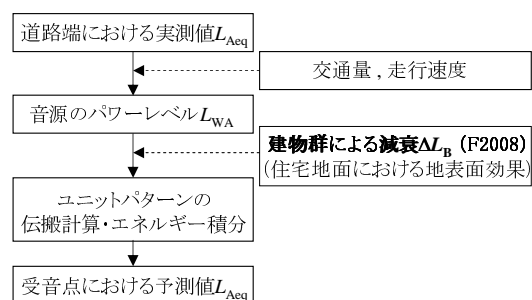


図-10 建物背後の騒音レベルを求める手順

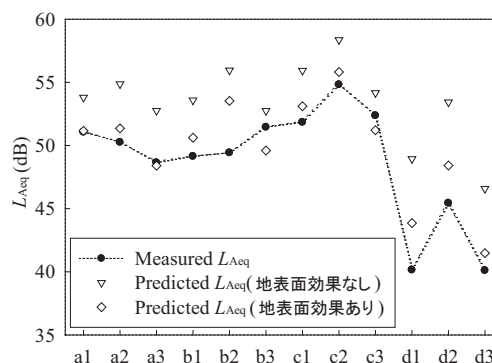


図-11 予測値と実測結果の比較

おり、F2008 は実際の曲線道路にて安全な予測ができる有効な式であると言える。

5. まとめ

平面道路の模型実験結果より、点から点の騒音伝搬に対応したパラメータを提案し、曲線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式 F2008 を提案した。さらに、曲線道路の模型実験と曲線道路沿道における実測によって F2008 の有効性を検証し、予測値が安全側に推移することを示した。

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) 藤本一寿, 山口晃治, 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”, 日本音響学会騒音・振動研究会資料 N-2007-51, 1-8 (2007.12).