

幹線道路の影響を考慮した都市環境騒音予測手法

Urban noise evaluation method considering a traffic
noise of trunk road.

長谷部正基^{*} 金安 公造^{**} 和田 博夫^{***}

By Masaki Hasebe, Kozo Kaneyasu and Hiroo Wada

As a result of the spreading of towns and the related growing use of private cars, road traffic noise increased in the city and intruded into rural areas with every new road. In order to protect the residents in their urban dwellings, the land use planning should be combined with traffic noise evaluation method. In this study, the evaluation method including the effect of trunk roads in the urban area was constructed using the theory for an ideal homogeneous city and the calculated results were compared with the measurement.

1. はじめに

都市内の音環境にとって、道路交通はその大部分を占めるものとされており、従来より多くの研究が都市環境騒音と道路交通との関連についてなされて来た。最近の都市化の進行に伴い、都市住民はより快適な環境を強く求める傾向にある。このため今日の都市環境問題は、快適な環境の確保と創造が重要な課題となっている。特に音環境においては都市環境騒音を改善し、快適な環境を確保するためその機構の解明と利用し易い予測手法の確立が重要な課題となっている。

環境騒音の予測を行おうとする領域が都市域のよう

源として自動車を想定し、それが都市内に一様に分布しているとして都市内での騒音レベル中央値 L_{50}

を与えるモデルを示した。この手法はより利用しやすい形に整理されて、EPAモデル²⁾としてアメリカ合衆国において利用されている。高木ら³⁾は都市を想定した面内に音源がランダムに分布している場合について検討した。以上の研究では建物などによる遮蔽効果を均一に、あるいは空気による音波吸収を含めて表している。しかし実際の都市域では、自動車交通流が明確な主要音源として存在しており、幹線道路に面しているか、または近い地域と、その他の地域では音環境に明確な差がみられる。

このことから、都市域を均一な面、あるいはそれに準じてランダムに騒音源が分布していると捉えるよりもむしろ、自動車交通流を明確に考慮に入れた方が実際の都市域での音環境を把握するためには妥当であろうと考えられる。

本研究ではこのような観点から、都市域の幹線道

^{*}正会員 工博 北海道大学助手 工学部衛生工学科
(〒065 札幌市北区北13条西8丁目)

^{**}正会員 工博 北海道大学教授 工学部衛生工学科

^{***}工修 北海道室蘭保健所衛生課公害係
(〒051 室蘭市幸町9番11号)

路を、騒音源が偏在してできる様な線音源と考え、また細街路は交通量が少ないことから騒音源である自動車が均一に分布している面音源と考える計算手法を明らかにした。また、その手法を札幌市内で行われた環境騒音調査結果の解析に適用し、その妥当性を検討した。

2. 都市環境騒音予測理論の検討

幹線道路による環境騒音予測モデルと、細街路による環境騒音予測モデルの二つのモデルにより出力された予測値を合成し、任意の地点の騒音レベルを予測する方法を検討する。

2-1 幹線道路自動車騒音予測方法

交通量の多い幹線道路によって受音点で観測されるであろう騒音レベル値の予測は一般的に音源としての自動車を無指向性点音源として扱い、それを等間隔に一車線に並べたモデルを基にした日本音響学会式⁴⁾によって行われている。一方、道路を非干渉性の線音源として扱い、予測式を表すことも可能である。この方法は後に述べる細街路自動車騒音予測モデルと統一性があるため、本研究ではこちらを用いて予測方法を検討した。

都市域のような比較的広い地域での騒音を予測するための方法としては、Shawらの均一な都市に対する理論があり、これを幹線道路に適用する。都市内のある一台の自動車を騒音源として考える。この音源から基準距離 R_m (m)離れた地点での音圧レベルを P_m とすると、音源から任意の距離 R_i (m)離れた地点での音の強さ I_i は、音響エネルギー密度を ε_i とし、

$$I_i = \varepsilon_i \cdot c = F (P_m^2 / \rho c) (R_m^2 / R_i^2) \exp(-\alpha (R_i - R_m)) \quad \dots\dots\dots(1)$$

一般には $R_m \ll R_i$ であるから

$$I_i = \varepsilon_i \cdot c = F (P_m^2 / \rho c) (R_m^2 / R_i^2) \exp(-\alpha R_i) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで ρ : 大気密度(kg/m³) c : 音速(m/sec)

α : 大気吸収係数(dB/m) F : 遮蔽係数

遮蔽係数 F は音の伝搬途中での障害物、地表面の音響的性質などの影響でおこる超過減衰を表す係数で

ある。すなわち $F = 1$ の場合は騒音は半自由空間を超過減衰無しに伝搬するものとする。また Shawらのものと同様に F は音源からの距離には依存しないものとする。これは、 F の要因の主なものとして、沿道にある建物による回折減衰があるが、建物を厚みの無い遮音壁と考えるとそれによる回折減衰値は道路から充分離れると一定値と考えてよいことによるものと考えられる。それゆえ、遮蔽係数 F 値は沿道の建物の高さ、幅、建物間の距離など地表面上の建築性状に依存しているはずである。

幹線道路の影響による受音点での音の強さ I_p は、音源の密度を N_p [台/m]として、(付録1参照)

$$I_p = \frac{1}{2\pi} W_0 10^{L_{pWL}/10} \int_1 F N_p / R^2 \exp(-\alpha R) \cdot dl \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで W_0 は、 $W_0 = 10^{-12}$ (watt) である。

受音点での幹線道路に起因する音圧レベル L_n は

$$L_n = 10 \log_{10} (I_p / I_0) \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで l は幹線道路を表す線分であり、また

$I_0 = 10^{-12}$ (watt/m²) である。

具体的に計算を行う場合には直線部、曲線部を含む幹線道路を微小区間に分割し、積分を数値計算した。

2-2 細街路自動車騒音予測計算方法

細街路に関する予測計算方法は基本的にはShawらによる均一な都市に関する計算方法を踏襲するが、現実の都市は局所的に様々な状況になっているため、ここでは有限な大きさ(500m×500m)の正方形の区画を考え、その中での均一な状態を想定して行った。

受音点を中心とする半径 R_0 ($1/\sqrt{\pi N_0}$; N_0 は音源の密度 [台/m²]) の円を考え、その円の外側の平面から受音点での音の強さ I への寄与を I_0 、円の内側にある局所音源 (local source) から受音点での音の強さ I への寄与を I_L とすると、まず I_0 については、(付録2参照)

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} W_0 10^{L_{pWL}/10} \int_S F N_0 / R^2 \exp(-\alpha R) \cdot dS \quad \dots\dots\dots(5)$$

となる。具体的に計算を行う場合には平面をリング状の微小区間に分割し、積分を数値計算した。

次に、 I_L については

$$I_L = W_0 10^{\frac{L_{PWL}}{10}} F N_D \exp(-\alpha / \sqrt{2\pi N_D}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

となり、細街路のみの寄与による自動車騒音予測値 L_N は、

$$L_N = 10 \log_{10} (I_N / I_0) = 10 \log_{10} ((I_D + I_L) / I_0) \quad \dots\dots\dots(7)$$

で計算できる。なお、 L_{PWL} は、音響学会式で用いられている式⁴⁾を基に走行車両の年式構成比を考慮した式⁵⁾を用いた。

$$L_{PWL} = 86.5 + 0.2V + 10 \log_{10} (a_1 + 8a_2) \quad \dots\dots\dots(8)$$

以上の2-1、2-2で計算した受音点での幹線道路に起因する音圧レベル L_M と細街路に起因する自動車騒音予測値 L_N をパワー合成し、計算対象地点での計算値を求めた。

3. 都市内道路騒音予測手法の札幌市への適用

3-1 札幌市における環境騒音調査

調査は札幌市役所により昭和60年の非積雪期に札幌市の市街化区域を、主に500m×500mの区画に分割し、その中心部を測定点としてJIS Z8731に基づき昼間の騒音レベル中央値 L_{50} などを測定した。測定は土曜日、日曜日、祝日等通常の音環境と異なる日、および雨天、強風により調査結果に影響があると考えられる日は除かれている。

3-2 都市内道路騒音予測計算の実行

ここでは具体的な予測計算の実行方法について説明する。図-1に計算手順のフロー図を示した。

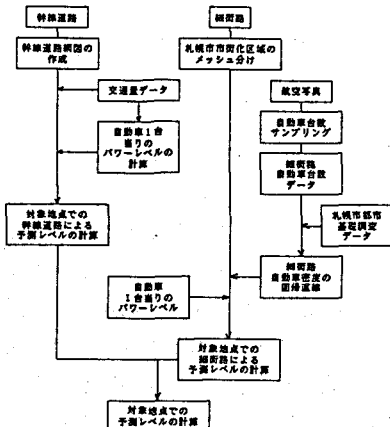


図-1 予測計算実行のフロー図

幹線道路の交通量は、騒音調査と同時に行われた交通量調査結果を基にした。細街路交通量は、各用途地域別に抽出した83区画について、航空写真を用い、走行している自動車台数を数え、人口、容積率、及び商業・業務率（総延床面積の割合）を説明変数として回帰式を作成し、市内の任意の地点に対して細街路自動車交通量(N_D)を計算できるようにした。回帰式作成に利用した、札幌市7区（北区、豊平区等）の細街路自動車交通量平均値は、6.5～27.0（台/20.2ha）の範囲であった。その回帰式を式(9)に示す。

$$N_D = 0.0395 P_L + 0.103 R_L + 0.347 S_L \quad \dots\dots\dots(9)$$

(台/20.2ha)

P_L : 人口 (人/ha)

R_L : 容積率 (%)

S_L : 商業・業務率 (%)

3-3 都市内道路騒音予測値と実測値との比較

前項で求めた予測値と、実測値との比較検討を行った。ここでは遮蔽係数 F は、Shawらによって示された値 ($F = 0.032$; -15dB に対応する) を用いた。また α の値としては道路交通騒音の代表的周波数500Hzにおける値 $5 \times 10^{-3} \text{dB/m}$ を用いた。¹⁾ 図-2には実測値 (中央値 L_{50}) と計算値の差の度数分布を1dB毎に示した。検討の対象とした地点は札幌市全域より均一に509点を選択した。その土地利用別の内訳は表-1に示した。

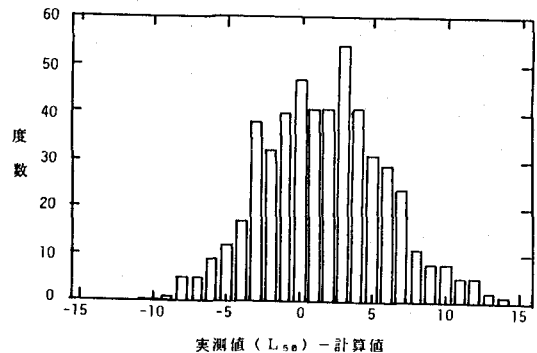


図-2 実測値 L_{50} と計算値との差の分布

用途地域	地点数
第1種住居専用地域	92
第2種住居専用地域	119
住居地域	178
近隣商業地域	34
商業地域	28
準工業地域	50
工業地域	8
札幌市全域	509

表-1 計算された地点の用途地域別地点数

度数分布の ± 3 dB以内に含まれる地点数は全体の約60%にあたり、この手法によって種々の土地利用形態の地点が幅広く含まれているにもかかわらず、良好な予測値が得られることを示している。具体的に地図上での比較をみるため、図-3(a)～(c)に札幌市内の一部地区について計算した結果の例を等レベル線図として示した。

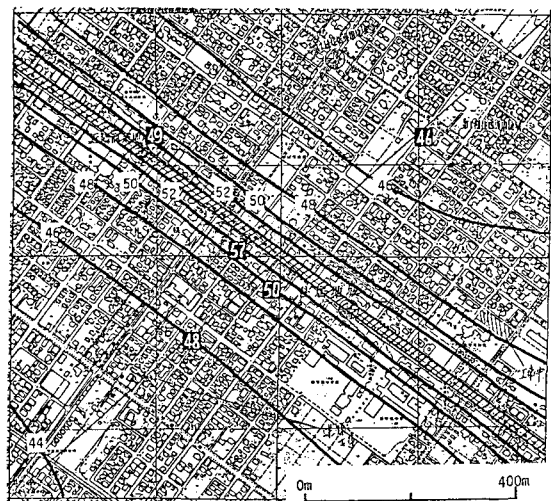


図-3(a) 北区新琴似地区における等レベル線図

幹線道路は斜線で覆われた領域
実測値は白抜き数字、計算値はレベル線上に
黒数字で示した。



図-3(b) 中央区山鼻地区における等レベル線図



図-3(c) 中央区都心部における等レベル線図

図-3(a)、(b)の主に住居地域が占める地区については予測計算値は、測定値の傾向としてみられる幹線道路の影響を良く表現している。しかし、図-3(c)にみられるような札幌市中心部のビル街については測定値に較べて低い値が算出される。

これは細街路の交通量を予測する回帰式が、混雑したビル街中の道路には対応しきれないこと、商業活動などに伴う実測騒音レベルの増加などによることが考えられる。このようにビル街など特殊な地区を除くと比較的良く都市内環境騒音を予測するこ

とが可能であることがわかった。しかしながら図-2に示された度数分布の中心は若干右へのずれが見られる。すなわち(実測値) > (計算値)の傾向が見られる。そこで土地利用形態別の傾向を検討するため、遮蔽係数F値にそれらの影響が組み込まれていると考え、各土地利用形態毎のF値を算出した。

3-4 遮蔽係数Fへの土地利用形態の影響

土地利用形態のF値への影響を検討するため、各計算点の用途地域別の実測値と計算値との差の平均を遮蔽係数Fに換算した値および標準偏差を表-2に示した。

用途地域	遮蔽係数	標準偏差
第1種住居専用地域	0.050	4.2
第2種住居専用地域	0.044	4.2
住居地域	0.042	4.2
近隣商業地域	0.035	2.9
商業地域	0.065	4.2
準工業地域	0.069	4.3
工業地域	0.135	7.0

表-2 用途地域別の遮蔽係数

その結果は、住居系の用途地域(第1種住居専用地域、第2種住居専用地域および住居地域)、および近隣商業地域で小さく、商業地域および工業系の用途地域(準工業地域および工業地域)では大きくなっている。このことから住居系の用途地域ではShawらの用いた遮蔽係数F値が比較的あてはまると考えられる。これはShawらのモデルにおける遮蔽係数Fは、CanadaのOttawaの郊外の住居地域においての測定から決定されたことに符合している。また、遮蔽係数Fが騒音の周波数及び音源と受音点間の距離に依存しないというShawらの結論とも一致していると考えられる。しかし、商業地域および工業系の用途地域では(実測値) > (計算値)の傾向がある。特に、工業地域ではその傾向が強く、住居地域とは異なる都市構造、騒音源となる活動が存在することが推察される。すなわち工場建物周辺の空地が多いため、遮蔽効果を示す建物などが比

較的に少ないことと、工業活動などに伴う卓越的な周波数成分を持つ騒音の影響が組み合わされていることによる結果とみられるが、本研究では道路交通騒音以外の騒音源については検討していないため、他の騒音源の周波数特性の影響については今後の研究課題である。

4. あとがき

本研究で明らかにした手法によって都市域での環境騒音を定量的に予測することが可能となった。従来の手法では区画内の平均的な騒音レベルを求める比較的マクロな予測を行っていたが幹線道路を明確に理論に取り込むことによってその影響も適切に表現している等レベル線図も描けることがわかった。

この手法を応用することによって都市域における住民の騒音暴露人口の正確な算出、都市計画上の幹線道路配置に騒音の影響を考慮することなども可能となると考えられる。今後は道路交通騒音以外の騒音源である商業、工業活動などに伴う騒音の影響を考慮する方法、地域ごとの遮蔽係数の実測による検討などが必要と考えられる。最後に、環境騒音測定結果を提供して戴いた札幌市役所衛生局公害部の関係各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) E.A.G. Shaw and N.Olson: "Theory of steady-state urban noise for an ideal homogeneous city," J. Acoust.Soc.Am., vol.51, No.6(1972) 1781-1793.
- 2) U.S. Environmental Protection Agency: "Transportation noise and noise from equipment powered by internal combustion engines" NTID300.13, Dec 31(1971) Appendix B.
- 3) 高木興一、他: "環境騒音の把握方法に関する考察"、日本音響学会講演論文集昭和55年(1980) 373-374.
- 4) 石井聖光: "道路交通騒音予測計算方法に関する研究(その1)"、日本音響学会誌31巻(1975) 507-517.

- 5) (財) 計量計画研究所：昭和61年度東京都環境
保全局委託調査都市環境騒音の把握調査報告書
(1987) 83-95.

付録1

幹線道路に音源が一様に分布し、それぞれの音源が式(2)で表される強さの音を放出しているとき、音源密度を N_D とする。このとき微小長さ

dl 中に音源が存在する確率は $N_D dl$ である。したがって、 dl 中の音源による測定点での音の強さは、

$$dI = F (P_m^2 / \rho c) (R_m^2 / R^2) N_D \exp(-\alpha R) \cdot dl \quad \text{.....(A1)}$$

となり、幹線道路全体の寄与による音の強さ I_D は、これを重ねあわせて、

$$I_D = \int_1 F (P_m^2 / \rho c) (R_m^2 / R^2) N_D \exp(-\alpha R) \cdot dl \quad \text{.....(A2)}$$

となる。

一方、音源から充分離れた地点での音圧が P_m であるとする、音の強さ $I_{P,m}$ と音圧 P_m との関係は、

$$I_{P,m} = P_m^2 / \rho c$$

W のパワーをもつ音源が地表面上にあり、半球面状に音源から $R(m)$ 離れた地点まで伝搬するとすれば、 W と音の強さ $I_{P,m}$ との関係は、

$$I_{P,m} = W / 2\pi R^2$$

また、パワーレベル L_{PWL} の定義により、

$$L_{PWL} = 10 \log_{10} (W / W_0) \quad \text{.....(A3)}$$

ここで $W_0 = 10^{-12}(\text{watt})$ である。

ゆえに、

$$P_m^2 \cdot R_m^2 / \rho c = 1 / 2\pi W_0 10^{L_{PWL}/10} \quad \text{.....(A4)}$$

結局、

$$I_D = \frac{1}{2\pi} W_0 10^{L_{PWL}/10} \int_1 F N_D / R^2 \exp(-\alpha R) \cdot dl \quad \text{.....(A5)}$$

となる。

付録2

I_D については、付録1で示した線音源についてと同様な議論で、都市内に多くの音源が一様に分布し、それぞれの音源が式(2)で表される強さの音を放出しているとき、音源密度を N_D とする。このとき微小面積 dS 中に音源が存在する確率は $N_D dS$ である。したがって、

$$I_D = \frac{1}{2\pi} W_0 10^{L_{PWL}/10} \int_S F N_D / R^2 \exp(-\alpha R) \cdot dS \quad \text{.....(B1)}$$

となる。この場合は積分は円の外側における面積

I_L については、Shaw¹⁾ による均質な音源分布の都市域に対するモデルにより、

$$I_L = 2\pi F N_D (P_m^2 R_m^2 / \rho c) \exp(-\alpha / \sqrt{2\pi N_D}) \quad \text{.....(B2)}$$

から、 L_{PWL} を含めた形として、

$$I_L = W_0 10^{L_{PWL}/10} F N_D \exp(-\alpha / \sqrt{2\pi N_D}) \quad \text{.....(B3)}$$

となる。