特集・騒音と振動の予測

道路交通騒音の予測

佐々木 實*

はじめに

道路交通騒音の問題がはじめて歴史的文献上に現れたのは、ソクラテスが「外を通る馬車の音がうるさくて思索の妨げになった」と書いた言葉であると言われている。以来、文明が進むにつれて最近まで残っていた馬車はもはや無くなったものの機械による交通手段として列車、航空機、自動車などから発する騒音が、交通量の増大と高速化によって増大してきた。戦後はこれら交通手段による騒音が大きな公害問題として取り上げられるようになり、特にジェット機、新幹線、高速道路は3大交通騒音源と言われてわが国各地で問題となってきた。そしてこれらに対して、騒音に係る環境基準の中に道路交通騒音については道路に面する地域として車線数に応じた基準が示されている。

さて、わが国の高度成長時代はもちろんのこと、その後の安定成長時代といわれた時代、また現在の景気低迷時代になっても、他の乗り物にはない利便性に裏付けされた自動車保有台数の増大と、それに伴う高速自動車道路網の全国的整備によって道路交通騒音は増加の一途を辿っているのが現状である。従って特に都心部では上記の環境基準をクリアするのは至難の状態であり、生活意識の根本的改革とかなり思い切った施策の実行によらなければ、問題は解決しないであろう。

以下に道路交通騒音による影響から住民の心身の健康を守るために、適切な都市計画の実施に必要な道路交通騒音の予測方法について、若干の歴史的背景と、現在及び将来への方向について述べる

1. 道路交通騒音の予測方式の検討・構築の流れ

わが国において道路交通騒音の予測が公的機関ではじめて行われたのは昭和30年台のごく初期に故・北村音一先生が大阪大学産業科学研究所において日本道路公団の依頼により行われ、筆者も先生の弟子として参加したのが最初であると思う。これはわが国最初の自動車高速道路として建設が計画されていた名神高速道路の騒音を予測する調査・研究であった。現在ではとても出来そうもない、大阪一奈良を結ぶ阪奈道路を約15分程を何回も交通遮断して、実験車（ワゴン車とトラック）を時速80km/h乃至100km/hで走らせて道路端から水平方向と高さ方向で走行騒音を測定した。またこれの防止対策として塀を立てた場合について検討し、周辺住民に対しては、理論的には高さ5mの塀が必要であるということがわかり、当時、大阪刑務所に唯一、5mの塀があることを知り、そこをお借りして遮音実験を行った。

その後、東名高速道路をはじめ、多くの高速道路がわが国の国土を覆う勢いで計画が相次ぐに及んで、日本音響学会が日本道路公団より研究委託受け、道路騒音調査研究委員会が組織され、昭和44年3月に報告書がまとめられた。¹⁾²⁾次いで昭和49年に日本道路公団、首都高速道路公団及び阪神高速道路公団の3公団から、その時点で広く道路設計に応用出来る騒音の推定計算方法を開発、立案するため調査・研究の委託を受け、学会として改めて道路交通騒音調査研究委員会を組織してこれにあたった。この成果は昭和50年8月に報告書としてまとめた。³⁾⁴⁾これにより出来た道路交通騒音の予測計算方式は、いわゆる音響学会式と呼ばれ、現在、行政が行う環境アセスメントをはじめ、高速道路周辺の騒音推定予測に比較的簡便な方法として広く用いられている。こ

* 東和大学工学部 マルチメディア工学科
Minoru SASAKI

の委員会は初代委員長は石井聖光東京大学名誉教授
次いで筆者が務め、現在は東京大学生産技術研究所
橋 秀樹教授である。

昭和50年に報告されたものが上述の現行音響学会
式で、後述する簡単な交通流モデルを基礎に騒音レ
ベルの中央値 L_{50} を推定予測できるようになってい
る。しかし現在では騒音のうるささをはじめ、騒音
の影響を評価するには中央値 L_{50} よりも等価騒音レ
ベルの方が良く対応すること、また騒音の予測計算
においても時間率である L_{50} よりもエネルギー合算
で合理的に計算出来る同じく等価騒音レベルの方が
予測量として優れていることから、エネルギーベ
ースによる予測計算方式の構築を検討している。

2. 音響学会による現行の道路交通騒音の
予測方式³⁾⁴⁾の概要

2-1 道路交通騒音の中央値 L_{50} を推定する基本式

道路近傍の受音点において観察される騒音レベル
は一般に不規則に変動する。それは車両が小型から
大型までの多種にわたっていることと車頭間隔が不
規則に分布していることによる。これをすでに考察
が行われている⁵⁾⁶⁾、最も基本的かつ単純な車両の流
れとして個々の車両を音響出力の全て等しい無指向
性音源とみなし、それが道路上に等間隔に配列して
いるとするモデルを仮定した。このような車両列を
等間隔等パワーモデルと呼び、車道から距離 l (m)
離れた受音点における騒音レベル中央値 L_{50} は(1)式
で表される。

$$L_A = L_w - 8 - 20 \log l + 10 \log ((\pi l / d) \tanh (2 \pi l / d)) + \alpha \tag{1}$$

ただし $\alpha = \alpha_d + \alpha_1$
 α_d = 高架高欄、遮音壁その他、音響障害物に
よる減音量 (回折による補正值) (dB)
 α_1 = 受音点の高さと道路構造別距離減衰補正值
(dB)
また l = 車線から受音点までの距離 (m)
 d = 平均車頭間隔 (m)
 L_w = 一台の車両から放射される騒音の A 特
性パワーレベル (dB)

2-2 基本式における補正值 α と音源の A 特性パ
ーレベルについて

上式における α_d は音源から受音点に至る直達距
離と回折点を越えてゆく距離との行路差 δ と音の
波長 λ から求めるが、図-1 に例示されているよう

に高架高欄、遮音壁の場合のように鋭い回折点ば
かりでなく、切土、掘割、盛土構造では直角又はく
さび形における回折もある。減衰量は基本的にはフレ
ネル定数 $N (=2\delta / \lambda)$ から周波数ごとに求めるが、
道路交通騒音のスペクトルが概ね一定であるとし
て、これを前提とし、図-2 によって行路差 δ から
求められるようになっている。

距離減衰補正值 α_1 は伝搬条件として沿道におけ

図-1 音響遮物による行路差 δ の計算モデル

図-2 回折点を乗越える距離と直達距離の差 δ から
回折による補正值 α_d (dB) を求める計算図

表1 道路構造別、高さ別の距離減衰補正值(dB)

構造	高さ (m)	路 肩 端 か ら の 距 離 (m)									
		0	5	10	20	30	40	50	60	70	80
盛土	12.5			-3.0	-2.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.0	-3.5	-3.5
	7.0			-5.0	-4.0	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-4.5	-5.0
	3.5			-6.5	-5.0	-4.5	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.5
	1.2	-2.0	-6.0	-8.0	-6.0	-5.5	-6.0	-6.0	-6.5	-7.0	-7.5
切土	12.0			-2.0	-3.5	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.0	-6.5
	7.0			-3.0	-5.0	-6.5	-7.0	-7.0	-7.0	-6.5	-6.5
	3.5			-4.0	-7.0	-8.0	-8.0	-8.0	-7.5	-7.0	-6.5
	1.2	-3.5	-3.5	-6.0	-8.5	-9.5	-9.5	-9.0	-8.5	-8.0	-8.0
高架(中分閉)	12.0		-2.5	-3.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5
	7.0		+1.5	0.0	-1.5	-3.0	-4.0	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5
	3.5		+1.5	0.0	-1.5	-3.0	-4.0	-4.5	-5.0	-5.0	-5.5
	1.2	+6.0	+3.0	+1.0	-1.5	-3.0	-4.0	-4.5	-5.5	-6.0	-6.5
高(中分閉)架	*スケ ペー シス ヤ ル		-4.5	-5.0	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5
高架(中分閉)	12.0		-2.5	-3.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0
	7.0		-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-4.0	-5.5	-6.0	-6.0	-6.0
	3.5		0.0	-0.5	-2.0	-3.5	-3.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.0
	1.2	0.0	+1.0	+0.5	-1.0	-2.5	-2.5	-4.5	-5.5	-6.0	-6.0
平坦	12.0		-4.5	-2.5	-3.0	-3.0	-3.0	-3.5	-3.5	-4.0	-4.0
	7.0		-4.0	-3.0	-3.5	-4.0	-4.5	-4.5	-5.5	-5.5	-5.5
	3.5		-4.5	-4.5	-5.0	-6.0	-6.5	-6.5	-7.5	-8.0	-8.5
	1.2	-2.5	-7.0	-7.5	-8.5	-8.5	-9.0	-9.0	-10.0	-10.5	-11.0

* 路面と受音点高さの差が±0.5m以内の場合

る地表面性状等種々の補正のすべてが一括して含まれているが、各種道路構造についての測定による実測値と、 a_0 までを含んだ(1)式による計算値との差を求め、これを地上高さ別距離減衰補正值 α_1 とした。この補正值を表1に示す。ただし、距離80mまでの値が示されているので、この距離が α_1 の使用予測可能な距離限界である。

音源のA特性パワーレベル L_w (dB) は2車種分類の場合(2)式を用いて算出される。

$$L_w = 87 + 0.2V + 10 \log_{10} (\alpha_1 + 10\alpha_2) \quad (2)$$

ここに V = 車速 (km/h)

α_1 = 小型車混入率

α_2 = 大型車混入率、

ただし $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$

(2)式に示されているように音源のパワーは小型車に対して大型車が10倍になっているが、この比率は後述するように現在ではこの値よりも小さくなる傾向にある。

以上の手順により1本の仮想車線による受音点に

おける L_{50} を算出することができる。仮想車線を2つ以上設定したときは、便宜的に各々による L_{50} をエネルギー加算して複数車線全体による L_{50} としている。

なお、この推定計算方法の適用範囲としては、自動車専用道路またはこれに準ずる道路を毎時約1000台以上の自動車が30～100km/h程度の速度で定常的に走行している時、道路から約100m迄の地点の騒音レベル L_{50} を求めるために用いられる。

3. 現行の音響学会式の再検討(見直し)について

3-1 再検討の必要性

現行の音響学会式が一般に提案されてから環境アセスメントその他の場面で広く用いられてきたが、これが構築されてから約10年経過した時点で、道路交通騒音調査研究委員会により見直し検討が行われた。その内容は主として次の5点による。

1. 補正值 α_1 の物理的意味の明確化

2. 音源のパワーレベルの変化
3. 道路構造の変化と特殊箇所周辺の計算方法の構築
4. 気象条件特に風向、風速による騒音伝搬への影響

5. 基本的予測量を等価騒音レベル L_{Aeq} とする

1. については補正值 α_1 が実測値と計算値の数値的違いを補う以上の意味を持っていないので、予測方式をなお合理的なものにするために、補正值 α_1 の内容の物理的意味を出来る限り明確にしようとするための検討であり、2. については自動車の排気音が年度規制をはじめ種々の技術開発によって軽減されてきていることに対応するため、また、3. については前述の切土、盛土、高架に加えて、新たに半地下構造の道路が実現したので、これの音響遮蔽の計算方法を検討するため、及びインターチェンジ部周辺とトンネル坑口部周辺の騒音の予測計算手法である⁷⁾⁸⁾。

4. については経験的には明らかに影響があるのでこれを定量的に把握し、予測計算の中に組み入れようとする検討である。

5. については予測量が中央値 L_{50} よりも等価騒音レベルの方がエネルギーベースにより⁹⁾、合理的に予測できること、及びうるささその他、騒音による影響の評価に良く対応するためである。これについては図3-1、3-2に中央値が等しく、等価騒音レベルが異なる2つの騒音レベル変化の例を示した。明らかに図3-2の方がうるさく感じられるが、中央値よりも等価騒音レベルの方がそれをよく反映して

いる。しかし、現時点での評価量は中央値 L_{50} であるので、 L_{Aeq} を予測した後これを L_{50} に変換する方法を見出す必要がある。

4. 新しい予測方法の構築⁹⁾¹⁰⁾

道路交通騒音調査研究委員会における上記の5項目については再検討という形で出発したが、現在では現委員会（委員長 橘 秀樹 東京大学生産技術研究所教授）によって新しい予測方法の構築を目指し、平成8年度現在では、建設省、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本州四国連絡橋公団の諸委託を受け、すでに実用出来る段階に至っている。上記の1. については、道路公団、大学、研究所などに保有されている実測データを収集して検証を行った結果、適用範囲を逸脱して使用しなければ実測値と予測計算値とは良く整合しており、 α_1 の値は十分機能しているという結果となった。2. ～5. については現在以下に示す新しい予測方法の構築の検討が続けられている。これの詳細については、文献9)及び10)に記載されているので、ここではその概略を述べることする。

4-1 新しい予測方法の考え方

一台の自動車が走行したときの、受音点における騒音レベルに時間変化（ユニットパターン）を求めることを基本とするが、それには道路上に多数の点音源を等間隔に配列し、その各点から受音点に至る音の伝搬を計算する。得られたユニットパターンを積分することによって単独走行車の、受音点における騒音の総量が得られる。得られた積分値に必要時

図-3-1
騒音レベルの時間
変動 ($L_{50}=71\text{dB}$,
 $L_{Aeq}=74\text{dB}$)

図-3-2
騒音レベルの時間
変動 ($L_{50}=71\text{dB}$,
 $L_{Aeq}=77\text{dB}$)

図-3 よく似た2つの騒音レベル変動例：中央値が等しく等価騒音レベルが異なる

間内に通過する自動車台数を掛け、その時間について平均値を計算することによって L_{Aeq} が求められる。しかし前述したように現在、行政面で広く用いられている評価量は中央値 L_{50} であり、これを予測出来ることが必要であるので、多くの実測結果から L_{Aeq} と L_{50} との間の統計的関係を見いだして変換する方法を検討した。

4-2 適用範囲と計算手順

新しい予測方法の適用範囲は以下の通りである。

- 1) 対象道路：一般部として盛土、切土、高架、平坦の道路構造の直線区間とし、縦断面構造が一樣な箇所とする。
- 2) 交通量：原理的には制限がないが、 L_{Aeq} と L_{50} との間の統計的関係を得るためのデータ範囲によって500台/h時以上とした。
- 3) 走行速度：600km/h～120km/h
- 4) 予測距離：道路から水平距離100mの範囲で高さ12mまでとする。
- 5) 気象条件：無風で特に強い気温勾配がない状態とする。

計算手順としては車線は上下2車線とする、それ以上の車線数の場合は上下車線のそれぞれの中心に仮想車線を設け、ユニットパターン及び L_{Aeq} の計算は各仮想車線ごとに行う。また騒音源のモデルとしては点音源が完全反射面上の高さ0mにあり、自由半空間に一樣に音を放射しているとする。

点音源の設置は受音点正面を中心に左右に20 l (lは受音点から道路中心までの距離) に等間隔配置する。ユニットパターンの計算は、対象道路を一台の車両が走行したときの、受音点における騒音レベルの時間変化、すなわち自動車一台による受音点における騒音が接近するにつれて成長し、遠ざかるとともに減衰する形(これをユニットパターンと呼んでいる)を求め、それに含まれる全エネルギーを時間積分し、交通条件に従って受音点におけるエネルギー時間平均を求める。ユニットパターンの計算における騒音の伝搬については、波長に関係ない幾何学的な距離減衰に加えて地表面の条件、音響障害物による回折効果のように波長に関係する減衰を周波数別に計算する精密計算法(A法と呼んでいる)と、幾何音響のモデルと実験式を基礎に騒音レベル変化を計算する方法(B法と呼んでいる)の二つの方法を構築した。計算手順のフローを図-4に示す。

4-3 騒音のパワーレベル及びパワースペクトル

図-4 予測計算の手順 (ASJ MODEL-1993)

パワーレベルの経年変化と、走行速度との関係である。とくに速度に関しては現行の音響学会式では車速を V (km/h) とすると、速度依存性の項は前記(2)式に示すように一次関数で $0.2V$ となっている。これは低速走行になったときのギャチェンジによる影響によるものであるが、現委員会での検討結果では60年式以降の車両についてのデータをもとにした場合 $20\log V$ になるとしている。2車種分類としたときの車種混入率を含めたA特性ワースレベル L_w (dB) の速度依存式は(3)式となった。

$$L_w = 65.1 + 20\log V + 10\log (a_1 + 4.4a_2) \quad (3)$$

ここに V = 車速 (km/h)

a_1 = 小型車混入率

a_2 = 大型車混入率,

ただし $a_1 + a_2 = 1$

伝搬計算のA法による場合ではオクターブバンド中心周波数 (125Hz～4 kHz) についてのパワースペクトルを計算するとき、オーバーオールを 0 dB としたとき、(4)式で与えられるとした。

$$L(f) = -10\log_{10} \{1 + (f/2,000)^2\} \quad (4)$$

ここに $L(f)$ = パワースペクトル (dB),

f = 周波数 (Hz)

4-4 L_{Aeq} の計算と L_{50} の推定

ユニットパターンの時間積分値を(5)式で計算し、時間交通量を掛け、当該時間で平均した値を dB 表示して L_{Aeq} を求める。

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} (\Sigma 10^{U_i/10} \cdot \Delta t \cdot N / T) \quad (5)$$

ここに N : 交通量(台/h), U_i : i 番目の音源から受音点に到達する騒音の音圧レベル
 $\Delta t = \Delta D / V$, ΔD : 等間隔設置した点音源の間隔 (m),

V : 走行速度 (m/s), $T = 3,600$ (秒)

この計算を上下線ごとに行い、それをレベル合成して受音点における道路全体からの騒音の L_{Aeq} とする。

次に従来からのデータを道路構造別に統計処理して求められた変換式を用いて中央値 L_{50} を求めて最終値とする。変換式は統計処理の結果(6)式に示す、一次関数となり、簡便に変換出来ることが分かった。

$$L_{50} = L_{Aeq} + aX + b, \quad X = d/l \quad (6)$$

ここに d = 平均車頭間隔(m), l = 車道中心から受音点までの距離 (m)

係数 a と切片 b は道路構造別に表 2 の通りとなった。

5. む す び

以上、日本音響学会・道路交通騒音調査研究委員会において構築し、現在行政をはじめ各方面で広く利用されている、いわゆる音響学会式の成り立ちと、使い方、その後の当委員会における学会式の予測精度向上のための検討、及び現在、殆ど完成を見ている、エネルギーベースによる L_{Aeq} の予測を基礎とした新たな方式を、一応使用出来る形で説明を行った。この方式は現在の騒音に係る環境基準の騒音評価量

に合わせて L_{50} を求める様になっているが、 L_{50} を使用しているのはわが国だけであり、それに対して、 L_{Aeq} は予測に対して物理的合理性があり、また人間に対する影響と良く対応することについて国際的に同意が得られていること及び、国道43号線における騒音訴訟における最高裁判決での騒音の評価も L_{Aeq} 示されたこともあり、わが国における騒音の評価も近い将来、 L_{Aeq} を用いて行われる情勢にあり、新たな予測方式はこのような体勢に即応出来る様になっているものである。

参 考 文 献

- 1) 道路騒音調査報告書, 日本音響学会道路騒音調査研究委員会 (1969年 3月)
- 2) 自動車騒音と道路構造, 道路騒音調査研究委員会, 総合報告, 日本音響学会誌26巻 2号 (1970) 85
- 3) 道路交通騒音の予測計算方法に関する研究報告書, 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会 (1975年 2月)
- 4) 石井: 「道路交通騒音の予測計算方法に関する研究 (その1) 一実用的な計算式について」 日本音響学会誌31巻 8号 (1975) 507
- 5) 庄司, 山本, 中村: 「街頭騒音に関する研究 第1報一車種別騒音の特性と交通騒音の距離による減衰」 日本音響学会誌 9巻 3号 (1963) 97-105
- 6) E. J. Rathe: "Uber den Larm des Straßenverkehrs," Acustica, Vol.17 (1966) 268
- 7) 佐々木, 山下: 「道路特殊箇所騒音の予測方法に関する検討ートンネル坑口部周辺ー」 日本音響学会誌40巻 8号 (1984) 554-558
- 8) 佐々木, 山下: 「道路特殊箇所騒音の予測方法に関する検討ーインターチェンジ部周辺ー」 日本音響学会誌40巻 9号 (1984) 638-643
- 9) 小特集一道路騒音の予測: 道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測法 (日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告) 日本音響学会誌50巻 3号 (1994)
 - I. 新しい道路交通騒音予測法の構築を目指して 橘 秀樹 227-228
 - II. 予測計算法の概要 橘 秀樹, 佐々木 實 229-232
 - III. 自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル 曾根敏夫, 香野俊一, 岩瀬昭雄 233-239
 - IV. 道路交通騒音予測における伝搬計算法 高木興一, 山本貢平, 吉久光一 240-249
 - V. 道路交通騒音における L_{Aeq} と L_{50} の関係 山口静馬, 佐々木 實 250-252
- 10) L_{Aeq} による道路交通騒音予測, 日本音響学会第4回音響技術セミナーテキスト (1995年12月・東京, 1996年1月・大阪)

表 2

構 造	a	b
平 坦	-1.0	-1.0
盛 土	-1.0	-1.0
切 土	-0.6	-0.6
高 架	-0.6	-1.4