

信号交差点から発進する車群によって発生する騒音の予測

渡辺義則*・角 知憲**・吉松正浩***

大型車が混入し、かつ、上り坂に設置された信号交差点部での騒音対策の追求には、精密な騒音予測計算モデルが必要である。なかでも車両発進時の騒音は停止車両の発進加速によって交差点付近に発生する音と、通過車両による音で構成されるが、本研究では、前者の計算モデルを検討した。特に、車種や荷物の積載状況の異なる車両が混在して走行すること、更には、上り坂や道路周辺の状況などをモデルに反映させるために、エンジンの性能、車両走行重量、道路勾配や道路周辺の音の伝播特性を考慮可能にした。

Key Words : road traffic noise, signalized intersection, noise prediction, vehicle behavior

1. 緒 言

大型車が相当数混入する道路では騒音が問題になりやすいが、なかでも地形の制約から上り坂に設置された信号交差点部で深刻な騒音被害がみられる。このような状況下の騒音の減音対策を追求するには、精密な騒音予測計算モデルが必要であるが、そのようなモデルは報告されていない。信号交差点部で特に問題となる車両発進時の騒音は停止車両の発進加速音と、既に加速を終了した通過車両の定常走行音で構成されるが、とりわけ、前者の研究が十分ではない。そこで本研究では、複数の停止車両の発進加速によって交差点付近に発生する騒音の予測計算モデルを検討した。特にここでは、車種や荷物の積載状況の異なる多種多様な車両が混在して走行することをモデルに反映させるために車のエンジンの性能や車両走行重量（積載率）を、更に、上り坂や道路周辺の状況などをモデルに反映させるために、道路勾配や道路周辺の音の伝播特性を考慮可能な様に工夫した。

発進加速する1台の車両（音源）が、どの程度の音響パワーを発生するかについては既に報告した^{1),2)}。文献1)では、発進加速する非定常単独走行車から発生する騒音の音響パワーレベル（PWL）を推定する方法を提示した。そこでは車のエンジンの性能、道路勾配、車両走行重量から、車両が加速に使用可能な加速度を決定した後に、これとドライバーが希望する加速状態及び変速時のアクセルの踏み具合から変速位置、変速速度を決定し、車両発進後のPWLの時間変化、距離変化を求めている。更に文献2)では、この推定法を使って車種、荷物の積載状況、道路勾配、ドライバーの運転状況で騒

音のPWLがどのように変化するかを数値計算によって明らかにした。そして、要因の組み合わせ方によって車両走行挙動（使用段位、加速度、速度、位置）が異なり、各種要因とPWLの関係は複雑であること、要因のなかでも車種とドライバーの運転状況がPWLに及ぼす影響が大きいことを示した。

本研究ではこの結果を踏まえて、Ⅰ) 多種多様な複数の車両の発進加速時の走行挙動の表現方法、Ⅱ) 道路周辺の音の伝播特性を騒音予測計算モデルに組み込む方法を検討した。複数車両の発進挙動の表現方法において、モデルの基本的な枠組は、文献1)で示した単独走行車の発進挙動のそれと同じである。異なるのはⅠ) ドライバーが希望する走行挙動を乗用車のパラメータを使用した追従理論式で算出すること、Ⅱ) 車のエンジンの性能、道路勾配、積載状況を反映させて得た追従車の加速状態は、単独車の発進加速時のように単純ではないので、このような時にも使用段位と変速速度を決定できるルールを作ることである。一方、道路周辺の状況に応じた騒音伝播特性のモデルへの組み込みは、線形系の応答に関する諸性質を利用した騒音予測方法³⁾を基にした。ただ、文献3)は全車両が一定の音響出力と速度で定常的に走行する場合を対象にしたものであるので、本研究では、音響出力と速度が時々刻々変化する非定常走行車にも利用できる様に工夫した。

2. 音響パワーレベル（PWL）推定計算式

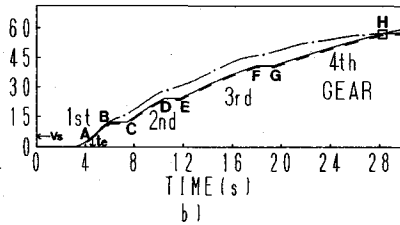
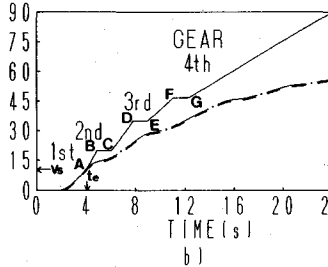
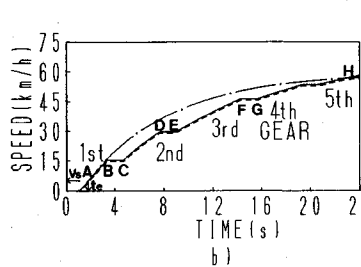
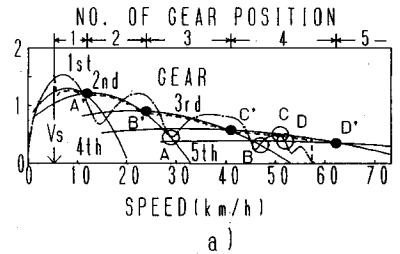
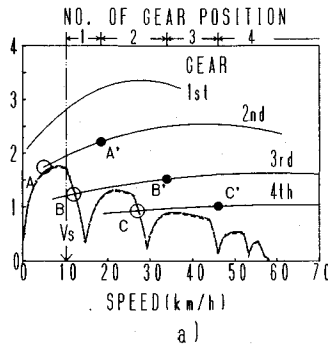
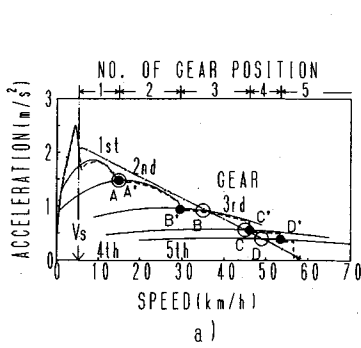
表-1にPWL推定計算式を示す。なお、これは文献4)で与えられた観測結果から、文献1)で述べた要領で誘導した。元の式は文献4)表-2中の供試車B（乗用車、ガソリン機関、排気量2000cc、52年式）と供試車D（貨物自動車、ディーゼル機関、排気量5400cc、54年式、定積）に対応する式であり、以下に示す。

供試車B： $SL = 52.6 + 0.17V + 0.241N + 0.0216A$

* 正会員 工博 九州工業大学助教授 工学部設計生産工学科 (〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1)

** 正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科

*** 正会員 工修 北九州市役所



図一 先頭の大形車の走行挙動推定例
(車名: ELF 250, 積載率 0.92, 道路勾配無し)

図二 2台目の乗用車の走行挙動推定例
(車名: ローレル, 道路勾配無し)

図三 3台目の大形車の走行挙動推定例
(車名: KTC 585, 積載率 0.92, 道路勾配無し)

表一 音響パワーレベル推定計算式

車種	使用段位	音響パワーレベル推定計算式
乗用車	1速	$L=78.1+0.477V+0.0216A$
	2速	$L=78.1+0.362V+0.0216A$
	3速	$L=78.1+0.291V+0.0216A$
	4速	$L=78.1+0.256V+0.0216A$
大型車	1速	$L=93.9+1.134V+0.0384A+B$
	2速	$L=93.9+0.665V+0.0384A+B$
	3速	$L=93.9+0.422V+0.0384A+B$
	4速	$L=93.9+0.313V+0.0384A+B$
	5速	$L=93.9+0.268V+0.0384A+B$

(注) L: 音響パワーレベル dB(A)
V: 車の走行速度 km/h, A: 加速度 Gal
B: 最大積載量と車両走行重量の補正

表二 追従式中のパラメータ

	α	β	T
1台目	7.689	-5.11	0.7
2台目以降	1.425	—	0.7

W_G : 対象車両の総重量 (kgf)

PS : 同上の機関出力 (馬力)

W : 同上の走行重量 (kgf)

W_0 : 文献4) の供試車 D の総重量, 7920 kgf

PS_0 : 同上の機関出力, 145 馬力

なお、 C_0 の値は最大積載量が4.5tf以下の場合には35、同じく4.5tfより大きい場合には15とする。

表一からPWLは車種、積載状況だけでなく、走行挙動(使用段位、速度、加速度)にも関係する事が解る。

但し、変速空費時間中についてはそのPWLを推定する式は見あたらないので、ここでは昭和54年規制の自動車定常走行時の平均PWLを算定する式を用いた⁵⁾。

小型車類: $L=86+0.2V$

大型車類: $L=95+0.2V$(2)

V: 車の走行速度 (km/h)

3. 交差点停止車両の走行挙動推定法

基本的な考え方は既に報告した単独車両の発進挙動の推定法¹⁾と同じであり、I) 希望と余裕の両加速度曲線の交点の速度にK値を乗じて変速速度を算出する、II)

供試車 D: $SL=68.4+0.146V+0.417N+0.038A$
但し、SLは車から7.5m離れた地点の騒音レベル(dB(A))、Vは車の走行速度(km/h)、Nは機関回転数(rpm/100)、Aは加速度(Gal)である。同式で機関回転数を速度に変換する時の減速比と動輪半径は、文献4)表一中の供試車B、Dの諸元に近い車(B:日産ローレル2000cc, 52年式, D:いすゞフォワードFX-1, K-SBR422, 55年式)のものを使用した。

また、表一中の補正項Bによって、大型車は最大積載量、積載率別に考える。

$$B=C_0 \log \frac{W_G/\sqrt{PS}}{W_0/\sqrt{PS_0}} + 5 \log \frac{W}{W_G} \dots\dots\dots(1)$$

*文献4)の著者へのヒヤリングでは表一中のVの範囲は15~100km/hであった。私達は15km/h以下でも表一を使用しているが検討の余地はあると考えている。

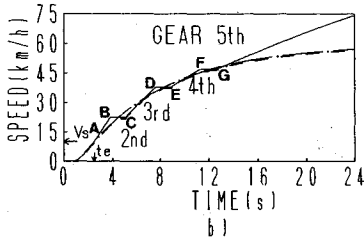
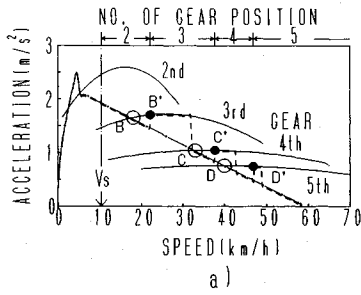


図-4 先頭の大形車の走行挙動推定例 (車名: ELF 250, 積載率 0.1, 道路勾配無し)

希望速度とフルスロットル速度を比較して、車両の走行挙動 (速度と加速度) を推定するという停止車両全部について繰り返す。ただ、本研究では前方に存在する車両の走行挙動が、後続の車両のそれに影響を及ぼすために多少の工夫をしている。図-1~3は後掲の図-9のLANE 1に停車した先頭から3台の車両の走行挙動推定例である。また図-4, 5は、他の条件は同じで、先頭の大形車の積載率だけが小さくなった場合の走行挙動である。なお、図-1~5において一点鎖線はドライバーの希望する走行挙動、つまり、希望走行 (速度、加速度) 曲線であり、破線が走行挙動の推定結果 (ドライバーの最終の走行挙動) である。また、図-1a)~5a) 中の実線は余裕加速度曲線、同じく図-1b)~5b) 中の実線はフルスロットル速度曲線である。これらの図を用いて交差点停止車両の走行挙動の推定方法を以下に説明する。

①希望走行曲線は追従理論を用いて算出する。なおこの時5.で報告する騒音測定時に、ビデオカメラを用いて信号停止車の走行挙動を記録し、分析したものがあるので⁶⁾、その結果を利用した。つまり次の様考えた。I) 先頭の車は41 km/hでSTEP関数的に発進する仮想車に追従する。II) 式(3)中のパラメータの値を表-2に示す。先頭車 ($k=1$)を除き、2台目以降 ($k=2, 3\cdots$)の車には同じパラメータを使用した。これは乗用車に関するものだが、大型車を運転する時にもこれと同じ追従行動をドライバーは希望する。なお、表-2中の α, β は文献6)中の各ドライバーのパラメータを平均したものである。ただし、文献6)では T を信号が赤から青に変わって車両が発進するまでの時間としているが、それ

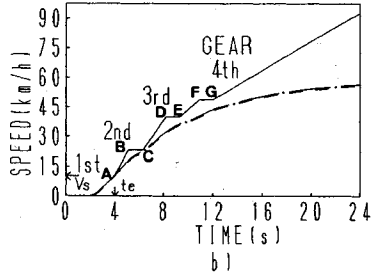
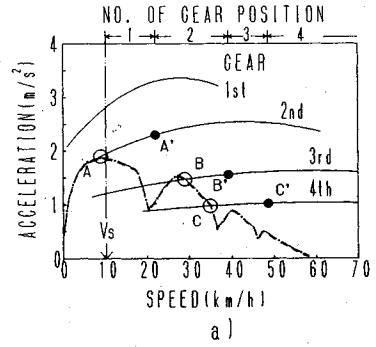


図-5 2台目の乗用車の走行挙動推定例 (車名: ローレル, 道路勾配無し)

では過大評価になるので、2台の乗用車を使って発進実験を別途実施し^{7), 8)}、 $T=0.7$ 秒という値を求めた。つまり、本研究では車両の発進間隔は1.1秒、発進後のドライバーの反応時間は0.7秒と仮定して計算した。III) 先頭の車は最初の1秒間、加加速度一定 (2.5 m/s^3)で走行する。

$$v_k(t-T) - v_{k+1}(t-T) = \alpha v_{k+1}(t) + \beta \cdots \cdots (3)$$

v_k : k 番目の車の走行速度 (m/s)

T : ドライバーの反応時間 (s)

②各段位の余裕加速度曲線を次式から計算する¹¹⁾。

$$\frac{dv}{dt} = \frac{9.8T_a}{W(1+\epsilon)} \cdots \cdots (4)$$

余裕駆動力 (T_a) = 車両性能駆動力 - 走行抵抗

v : 車の走行速度 (m/s)

t : 時間 (s)

W : 車両走行重量 (kgf)

ϵ : 相当質量係数

なお乗用車は常に1速で発進する。一方、大型車は原則として2速発進するが、もし、半クラッチ終了速度 V_s において、希望加速度が2速の余裕加速度を上回る場合には1速で発進する (例: 図-1a)。余裕加速度曲線は車種 (例: 図-1, 2), 最大積載量 (例: 図-1, 3), 積載率 (例: 図-1, 4) によってかなり異なる。積載率は式(4)中の車両走行重量 W (= 積載率 \times 車両の最大積載量 + 車体重量) を算出する時に用いるので、また、道路勾配は走行抵抗の中に組み入れているので、余裕加

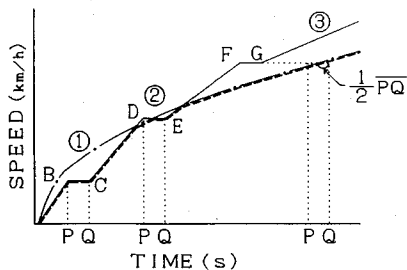


図-6 変速空費時間範囲の決定法

速度や条件によってはドライバーの最終の走行挙動が制約を受け、その結果、騒音の音響パワーレベル、更には、瞬時値や中央値に影響が及ぶ。

③希望加速度曲線と余裕加速度曲線の交点(例:図-4a)中のB, C, D)の速度、つまり、フルスロットル走行時の変速速度、そして、それに対応する機関回転数 N_f (サフィクスfはフルスロットル走行の意味、ドライバーはフルスロットル走行時に変速するとは限らない、実際の変速速度に対応する機関回転数と区別するためのサフィクスである、cf. 文献1))を各段位について計算する。もし、交点が無い場合には、その段位の最低回転数 N_{fmin} に対応する速度をフルスロットル走行時の変速速度とする(例:図-2a)中のA)。一方、交点が複数存在する場合には、速度の大きい方を採用する(例:図-5a)中の3rdではB)。図-1a)~5a)中のA~Dはこのようにして得られた交点である。

④これらの交点に K 値を乗じて実際の変速速度を算出する。もし、それが可能速度(最高回転数と余裕加速度曲線の隣接段位同士の交点に対応する速度のうちで小さい方)をこえる場合には、可能速度が変速速度となる。勿論、希望加速度曲線が余裕加速度曲線を完全に上回る場合にもそうである。例えば図-1a)中のA'は余裕加速度曲線の交点で、同じくB'は最高回転数で変速速度が決まっている。結局、実際の変速速度は図-1a)~5a)中のA'~D'となる。なお、例えば大型車の K 値は次式で算出する ($X=N_f/700$)¹⁾。

$$K=4.47-3.32X+1.117X^2-0.130X^3 \dots\dots\dots (5)$$

⑤半クラッチ終了時間 t_e まではドライバーの希望どおり車両を走行させ、その後は各変速速度までフルスロットルで走行した場合の速度の時間変化(フルスロットル速度曲線)を計算する。

⑥希望速度とフルスロットル速度を比較して、車両の走行挙動(速度と加速度)を推定する。なお、この時、前者が後者を上回ったならば、希望速度に達する(例:図-3b)ではH□)までフルスロットルで走行すると仮定する。以上の要領でドライバーの最終の走行挙動を推定する。

なお、 N_f の適用範囲 (N_{fmin} , N_{fmax})、乗用車の K 値、

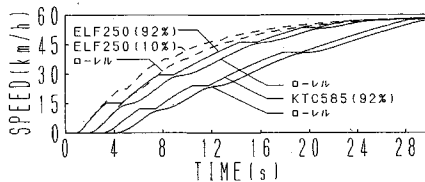


図-7 停止車両の速度の時間変化

各段位の最高回転数、変速空費時間(例:図-1b)中のBC, DE, FG)は文献1)と同じ値を、また、半クラッチ終了速度 V_s は2速発進では10.3 km/h、1速発進では5.3 km/hと仮定した。

また、変速空費時間中のPWLは式(2)から算出するが、ここでは第一次近似として図-6に示す①②③の各場合に対してPQを変速空費時間と考えた。

図-9のLANE 1に停止した全車両の速度変化を推定した結果をまとめて図-7に実線で示す。そして図中には、先頭的大型車の積載率が0.1の場合についても(ただし先頭車と追従車だけ)点線で示してある。この図と図-1~5から、I)積載率が0.92では、大型車は共に1速で発進し、ほぼ余裕加速度で走行することを余儀なくされる。つまり、車のエンジンの性能、車両走行重量などに制約され、大型車ではドライバーの希望どおりの発進ができないし、追従走行もできない。そのために、後続の乗用車も速度が抑制される。II)先頭的大型車の積載率が0.1になると、この大型車は2速で発進する様になり、また、ドライバーの希望に近い走行が可能になる。そして、それに従って乗用車の追従速度も上昇する。

4. 信号交差点周辺の騒音予測計算モデルの構造

予測計算モデルを構築する立場で、信号交差点から発進する車群の挙動をみれば、それらは音響出力や位置を非定常的に時々刻々と変え、しかも、その値は個々の車両で異なっている。このような場合、通常では、“ある瞬間に着目し、その時の車両の音響出力と、車両と観測点間の相対的な位置関係から、観測点の音の強さを算出し、それを全車両について合計することを所定の時間にわたって繰り返す”という方法が取られるであろう。

しかし、本研究で提示する予測計算モデルでは、これを次の様に考える。いま、速度は時々刻々変化するが、音響出力は常に1ワットの仮想音源(仮想車両)を考える。この音源が、1つだけ車線の中央線上を(図-8a)のB方向に移動すれば、音源の移動に応じて観測点Pの音の強さは変動する。この変動曲線を時間の関数で表現すれば、計算範囲に存在する音源に対応する数の変動パターンが生じる。しかしこのことを、車両が u_0 に存在

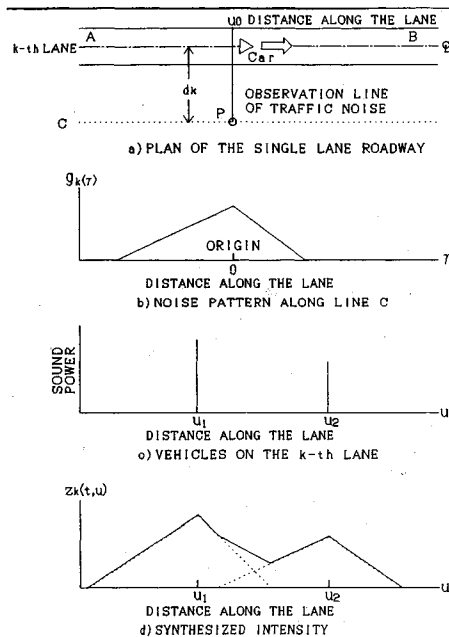


図-8 モデル説明図

する時、車線の中央線に平行な線上（例：図-8a）では距離 d_k の観測線 C 上）では、音の強さはどのように観測されるのかという視点から考え直してみる。つまり、1ワットの仮想音源が u_0 に存在する時、観測線 C 上に、 u_0 を原点にとり、車線に沿った距離 γ を媒介変数とする図-8b) の様な音の強さに比例する変動パターンが生じると考える。そうすれば、いかなる速度で走行する仮想車両に対しても、観測点の音の強さの変動パターンは同じである。更に、車両の位置（例： u_0, u_1, u_2 ）にかかわらず、この変動パターンが同じであると仮定すれば、 u の位置における観測点の、ある瞬間 t の音の強さ $z_k(t, u)$ は、その時の仮想音源（一般には複数）の道路上の存在位置並びに音響出力さえ与えられれば算出できる（例：図-8c), d)）。

次に、線形系の応答に関する諸性質を利用して、これらのことを定式化する。今、対象道路の車線数を n 、 k 車線上の音源の単位距離当りの音響出力（算出方法は 5. (2) b) ②を参照、単位 w/m ）を $y_k(t, u)$ 、 k 車線の荷重関数を $g_k(\gamma)$ とすれば、時刻 t に k 車線上に存在する音源によって、車線の中央線に平行な観測点に生じる音の強さ $z_k(t, u)$ は、次式で表わされる。

$$z_k(t, u) = \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\gamma) y_k(t, u - \gamma) d\gamma \quad (k=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (6)$$

更に、自動車に起因しない騒音（暗騒音、 w/m^2 ）を $h(t, u)$ とすれば、対象道路区間の全音源（全車両）と暗騒音によって観測点に生じる音の強さ $z(t, u)$ は

$$z(t, u) = \sum_{k=1}^n z_k(t, u) + h(t, u) \dots\dots\dots (7)$$

である。なお計算では、 $z(t, u)$ 、 $z_k(t, u)$ 、 $y_k(t, u)$ 、 $g_k(u)$ 、 $h(t, u)$ を u に関してフーリエ変換した $Z(t, \beta)$ 、 $Z_k(t, \beta)$ 、 $Y_k(t, \beta)$ 、 $G_k(\beta)$ 、 $H(t, \beta)$ の間に、次の関係が成立することを利用する。

$$Z_k(t, \beta) = Y_k(t, \beta) G_k(\beta)$$

$$Z(t, \beta) = \sum_{k=1}^n Z_k(t, \beta) + H(t, \beta) \dots\dots\dots (8)$$

β : 波数 (m^{-1})

$Z(t, \beta)$ を逆フーリエ変換すれば、位置 u の関数として、時刻 t に車線の中央線に平行な観測点に生じる音の強さ $z(t, u)$ が得られる。

荷重関数の例として、平坦部道路区間に対し、次の様なものが考えられる。

$$g_k(u) = a(d_k^2 + u^2)^{-b/2}, \zeta < u < \eta$$

$$= 0, \quad u < \zeta, u > \eta \dots\dots\dots (9)$$

ζ, η : 車両から生じた音が障害物によって遮断されない範囲 (ζ, η)、 m

a, b : 音の伝播性状によって異なるパラメータ

d_k : k 車線の中央と観測点間の距離、 m

特に音が完全反射面を持つ半自由空間を伝播する（音が幾何減衰する）と仮定する場合には、 $a=1/(2\pi)$ 、 $b=2$ を上式に代入すればよい。

なお、図-8を用いたモデル化に関連する著者らの最初の論文は文献9)である。その後、道路交通騒音の予測におけるこのモデルの妥当性や利点について検討してきた^{3), 10), 11)}。一方、他研究者の図-8と類似な考え方のモデル化は文献12)で行われており、ここではインターチェンジのランプ付近のように複雑な構造の道路の側方の騒音をユニットパターン（一台の自動車が道路上を走行した時の各受音点での音圧の変化パターン）を縮尺模型実験で求めるとともに、それを用いたハイブリッドモデルで予測している。更に、ユニットパターンを積分して等価騒音レベル (L_{Aeq}) を予測する方法¹³⁾も日本音響学会騒音研究会で検討されてきた。文献12), 13)の研究との相違点は、著者らの方法は騒音の瞬時値をコンピュータを使用してFFT（高速フーリエ変換）法で求められるように定式化している所である。その為に瞬時値を求めるものとしては計算時間が短く¹¹⁾、周波数別に計算した後にそのオーバーオールレベルの値を求めなければならない時などに有効である。また、騒音レベルの分散を求めることもでき、 L_{Aeq} や時間率騒音レベルだけでなく Noise Pollution Level の予測に対応することができる。文献12), 13)では、時間率騒音レベルや L_{Aeq} を求めるためにモデル化を行っているが、著者らのこれに関する研究は文献10), 14), 15)である。

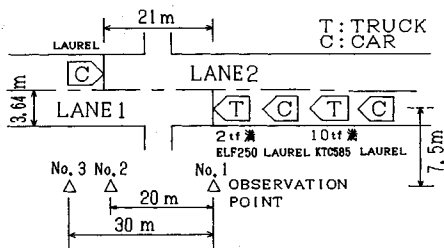


図-9 騒音測定現場概図

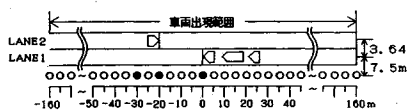


図-10 モデル上の道路

表-3 車長と停止車間距離

車種	車長 (m)	停止車間距離 (m)
乗用車	5	2
大型車	10	3

5. 適用例

(1) 実験概要

測定現場は直線の2車線道路で、道路勾配は無視できる程小さい信号交差点部である。また、測定時期は昭和60年11月下旬であり、道路周辺は刈り入れ後の田圃である。そして、周辺には大きな構造物などの音の伝播上、障害になるものは無く、暗騒音も十分小さい。図-9に測定現場の様子を示す。この図の車両配置は後掲の表-4のCASE 3にあたる。騒音は、LANE 1の停止線から0, 20, 30mの距離で、LANE 1の中央から7.5m、道路表面からの高さ1.2mの所にマイクロホンを3台設置して測定した。なお、本交差点では、LANE 1, 2に直交する方向から流入する交通は殆ど無い。騒音計(A特性)からの信号をデータレコーダに収録し、後日、研究室で動特性fastで0.2秒毎に騒音レベルの瞬時値を求めた。

(2) 数値計算

a) 計算の前提

以下に本章で行った計算の前提を列挙する。

①車両は無指向性の点音源とし、各車線(図-9のLane 1, 2)の中央線上を移動する。また、音源の高さは舗装面から0.3mであり、音源位置は車両最後尾とする。なお、本研究で対象とした観測点で音源の高さが0.3mと1mの場合の幾何減衰量を計算した所、両者にほとんど差がなかったため、乗用車と大型車の音源の高さを区別しなかった。

②車両が信号交差点に停止した状況を見ると、停止線と先頭車の距離、そして、先行車との車間距離はドライバー

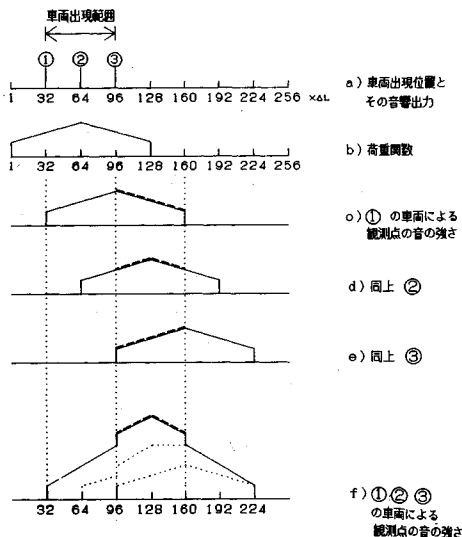


図-11 計算機使用時の工夫

表-4 実測値と予測値の比較に用いた車両配列

CASE	LANE 2 向こう側車線 →	LANE 1 手前側車線 ←
CASE 1	CC	CCCCC
CASE 2	C	CCCCCC
CASE 3	C	TCTC
CASE 4	T	CCCCCC
CASE 5	CCTCCC	C
CASE 6	TCTCCC	TC

注) C: 小型車 T: 大型車
CASE 3: 1台目が2tf車満載, 3台目が10tf車満載
CASE 4: 1台目が4tf車中載
CASE 5: 1台目が4tf車空載
CASE 6: 1台目が10tf車満載, 4台目が4tf車満載, 6台目が4tf車中載

によってかなりばらつくし、また、車両の長さも(特に大型車では)かなり異なるが、本章では先頭車は丁度停止線の所に停止するものとし(図-10)、車長や先行車との車間距離は表-3の様に仮定する。

③音は完全反射面を持つ半自由空間を伝播する。但し、本章では音源が観測点に有意に影響する範囲などを考慮して、Lane 1の停止線から左右160mの道路区間として計算する(図-10)。基本となる式(6)では無限長の道路を想定しているが、現実には、音源が遠方になれば、観測点の音の大きさは無視できるほど小さくなることを利用して、有限長の道路として取り扱う。なお、本研究で提示したモデルでは向こう側車線の車両の騒音伝播が手前側車線の車両によって遮られるということは構造上考慮できない。現時点では著者らは車から発生する騒音の音響パワーレベルをより正確に算出できるように

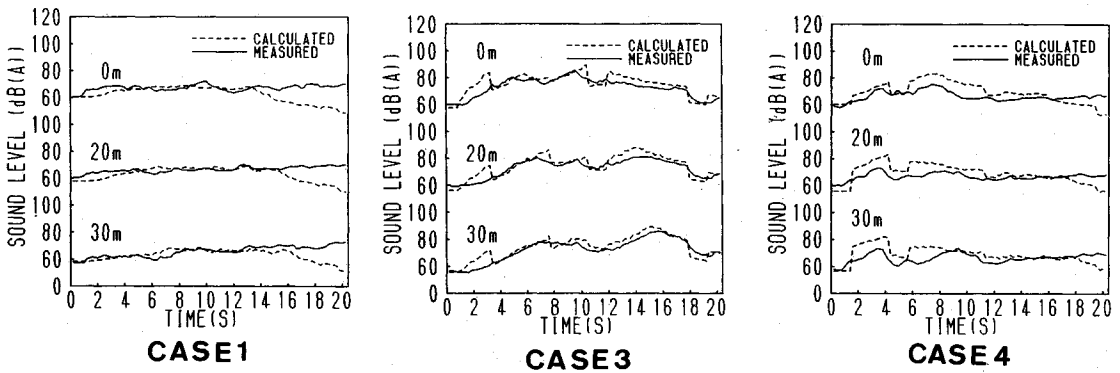


図-12 騒音瞬時値の実測値と予測値の比較

する事の方が車両による遮音を考慮することに優先すると考える。

b) 計算の概要

計算には電子計算機を利用するが、この時、FFT (高速フーリエ変換) を利用したり、道路の長さを有限なものとして取り扱うので、若干の工夫がある。それ故、以下に計算の概要を簡単に述べる。

①電子計算機のプログラムを作成する時には、図-10を図-11の様に考える。つまり、道路を5m毎に分割し ($\Delta u=5$)、[1~256] Δu の範囲で計算する。図-10の [-160~160] に対応するのは [32~96] Δu である。なお、[32~96] Δu 以外の所には車両が存在しないものとする。

② $y_k(t, u)$ は次の要領で計算する。ある時間 t における車両の位置を3.の走行挙動推定法で述べたことを利用して算出する。この時、その時点の使用段位、加速度、速度も求まるので、最大積載量、車両走行重量を考慮して、2.の推定計算式から音響パワーレベルを算出する。これを音響出力に換算した後に、 Δu で除せば、 $y_k(t, u)$ が得られる。

③荷重関数は式(9)に $a=1/(2\pi)$ 、 $b=2$ を代入して計算する。但し、 d_k^2 は (音源と観測点の水平距離の差)² と (両者の高さの差)² の和である。FFT では座標に負の値を使えないので、図-11b)の様に [1~128] Δu の範囲で考える。つまり、

$$g_k(i\Delta u) = 1 / \{2\pi \{d_k^2 + \{(i-64)\Delta u\}^2\}\}$$

$$i=1, 2, \dots, 128$$

ここで、[1~128] Δu の範囲で荷重関数を定義したのは、次の理由による。4.で荷重関数 $g_k(u)$ は車両の位置にかかわらず同じであると仮定して、基本となる式(6)を導いている。しかし、道路の長さが有限な場合には、この仮定を満足できず、特に、音の減衰が緩やかな場合に(例：図-11b))、それが問題になる。例えば、図-11a)に示すように車両が①②③の位置に存在していたならば、そ

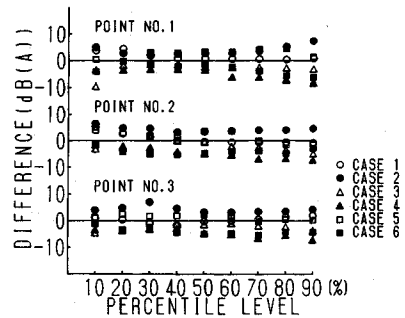


図-13 各観測点における時間率騒音レベルの実測値と予測値の差

の時、観測点に生じる音の強さは、図-11の c), d), e) の太い点線で示す様に、車両正面に位置する観測点で最も大きく、それより遠方になるにつれて小さくなる。しかし、このままでは車両の位置によって変動パターン(車両の音響出力が常に1ワットならば荷重関数となる)が異なるので、車両出現範囲の2倍の範囲で荷重関数を定義した。

④次に、 $y_k(t, u)$ と $g_k(u)$ を u に関してフーリエ変換し、式(8)から各車線毎に、さらには全車線を合成した値 $Z(t, \beta)$ が求まる。そして、これを逆フーリエ変換すれば、ある時間 t における音の強さが5m毎に得られる。なお、ここでは暗騒音は無視した。但し、FFTを使用するために荷重関数を図-11b)のように仮定しているので、車両が図-11a)の①②③に存在する事により、観測点には図-11c), d), e)の変動パターンが生じる。しかし、この変動パターンの太い点線が車両出現範囲で観測されるべきものであり、この部分を合成した図-11f)の太い点線が採用されるべき値となる。

⑤以上の計算を0.2秒毎に繰り返して、交差点停止車両の発進に伴う音の強さの時間変化を、図-10の320mに渡って5mごとの観測点について求めた。また、これから各観測点の騒音瞬時値、等価騒音レベル、中央値などを算出する。

(3) 騒音の実測値と予測値の比較

騒音は図-9に示す3地点で測定しているのので、これに対応する計算結果と比較した。実測値と予測値の比較に用いた車両配列(信号で停止した車両の配列)を表-4に示す。CASE 1, 2は乗用車のみであり、残りのCASEは大型車を含む。計算結果によれば、大型車は希望どおり走行できずに、性能によって大きな制約を受ける。ここでは、2t車にいずれもELF 250, 4t車にいずれもK-SBR 422, 10t車にヒノKTC 585, 乗用車に日産ローレルの昭和55年の車両諸元を使用した。また、観察によって積載状況を判断したので、正確な積載率は不明であるが、文献1)と同じ要領で満載、中載、空載の積載率を算定し、ここでは各々0.92, 0.34, 0.1と仮定した。図-12に各地点における騒音瞬時値の実測値と予測値を比較して示す。更に、全ケースともに、信号が青に変わってからの16秒間は車両の発進加速音と判断されたので、この間について騒音瞬時値の累積度数分布を求めた。0~30mの各地点についてパーセントマイル毎に実測値と予測値の差を比較して図-13に示す。本研究ではドライバーの希望する走行挙動を、追従式(3)と乗用車に関するパラメータ(表-2, 平均的な追従行動を表現するための値)を用いて求めており、いわば希望挙動(追従現象)を確定的に表現している。そして、それに伴って騒音も瞬時値として確定的に算出される。然るに、現実の追従現象ではドライバー(必然的に観測CASE)毎に希望する走行挙動は異なる。そして、このような不確定さはドライバーの最終の走行挙動、さらには騒音瞬時値にも影響を与える。それゆえ、このような不確定さをモデルに反映する方が望ましい。しかし、本研究で提示した方法では、この間のギャップはまだ解消されていない。このことが主たる原因で、図-12, 13では実測値との間に差が認められる場合もある。例えば図-13では中央値(50パーセントマイル)で両者の差は3.5~5.3dBの範囲にある。しかし、これを平均してみれば両者の差は小さくなる。つまり本研究の方法では、信号周期(本研究では観測CASE)毎の予測にはまだ検討の余地があるものの、騒音中央値などの幾つかの信号周期に渡っての平均(通常こちらの方が騒音評価量として使用されると思う)は比較的精度良く予測可能である。なお、図-12のCASE 1において14~16秒以降で実測値と予測値の差が拡大しているのは、本研究では信号交差点部で停止した車両による発進加速音だけを計算しているのに対して、現実にはそれだけではなく、通過車両の定常走行音も含まれるからである。

6. 結 言

本研究では複数の停止車両の発進加速によって交差点付近に発生する騒音の予測計算モデルを検討した。得ら

れた結果と今後の検討課題をまとめて以下に示す。

(1) 車種や荷物の積載状況の異なる多種多様な車両が、前車に影響を受けながら走行することや、信号交差点部の道路勾配の影響を騒音予測計算モデルに反映させるために、追従理論式を基に車のエンジンの性能、車両走行重量(積載率)、道路勾配を考慮して発進加速時の走行挙動を決定する方法を示した。これにより、車両が発進してからの加速度、速度、位置、使用段位が推定でき、どの位置で、どの程度の大きさの音響出力が放射されるかが算定できる。

(2) 発進加速により各車両の音響出力や速度などが時々刻々変化するが、このような非定常走行車から構成される交通流から発生した音が、どの程度の騒音レベルで道路周辺に伝播するかを、線形系の応答に関する諸性質を利用して定式化した。これにより、交差点周辺の状況が異なっても、そこでの音の伝播特性を求めておけば、荷重関数の形でその影響を騒音予測計算モデルに反映できる。

(3) 本論文で提示した騒音予測計算モデルを実際の信号交差点に適用した。そして、大型車で積載率が0.92の場合には、1速で発進し、ほぼ余裕加速度で走行することを余儀なくされ、ドライバーの希望どおり走行できないこと、また、車のエンジンの性能や車両走行重量によって、使用段位や変速速度が有意に異なるなどの計算結果が認められ、これらの要因を考慮に入れる必要性が示された。また、騒音中央値の実測値と予測値の差は観測CASE毎には認められるが、これを平均してみれば小さく、本研究の方法で比較的精度良く予測可能である。

今後、I)車種、荷物の積載状況、道路勾配、停止車両への大型車の混入などの要因が発進加速音に及ぼす影響を明らかにする、II)発進加速音だけでなく定常走行音、右左折時の騒音などを加えた包括的な信号交差点の騒音の中で、各種騒音の寄与の程度を示す、III)交差点周辺の状況をできるかぎり類型化して、その模型を無響室内に製作し、そこを一台の車両が走行した時の音の伝播の様子を調べる、IV)道路上には様々な年式の車両が走行しているので、推定精度をより向上させる為には、許容限度が与えられた年度毎に、発進加速時の騒音計算に利用できるPWL推定計算式や式(1)の補正項Bなどを求める、V)推定精度を損なうことなく、今少しパラメータを整理・統合するという視点から、感度解析やモデルの改良を行い、実用的なモデルにする、などに関する研究が必要と考える。

最後に本研究に対してご助力いただいたショーボンド建設 若菜和之氏、佐藤工業 三角衡一郎氏、日本電気 栗林哲一氏に深謝致します。

また、本研究は平成2年度文部省科学研究費(一般研

究 (C)) による研究助成を受けたことを付記し、研究遂行の機会を与えられたことを感謝します。

参考文献

- 1) 渡辺義則・角 知憲・川崎 孝・吉松正浩：単独車両の発進挙動に基づく音響パワーレベル推定法，土木学会論文集第 425 号/IV, pp. 155~164, 1991.
- 2) 渡辺義則・角 知憲・吉松正浩：発進加速する単独の大型車の音響パワーレベルに影響する要因，土木学会論文集第 449 号/IV-17, pp. 231~234, 1992.
- 3) 渡辺義則：交通流変動と騒音伝播特性の場所的な違いを考慮した道路交通騒音の予測，土木学会論文集第 347 号/IV-1, pp. 127~134, 1984.
- 4) 安東武夫・大塚 保・村上孝行・森 茂：実走行状態と等価な単純走行モデルによる自動車騒音の測定法に関する研究，環境庁企画調整局研究調整課編，環境保全研究成果集 II 昭和 55 年度，pp. 102-1~102-8, 1980.
- 5) 清水 博・足立義雄・辻 靖三・根本 守：道路環境，山海堂，1987.
- 6) 福本聖史：信号交差点における自動車の発進挙動に関する基礎的研究，九州大学卒業論文，1986.
- 7) 河野俊史：交差点停止車の発進加速挙動，九州工業大学卒業論文，1988.
- 8) 大久保康弘：交差点停止車の追従挙動，九州工業大学卒業論文，1990.
- 9) 渡辺義則・石村和寿：郊外の直線道路区間における道路交通騒音の予測，九州工業大学研究報告 (工学)，No. 38, pp. 11~18, 1979.
- 10) Watanabe, Y. : A Calculation Method of Noise Propagating Over Various Ground Surfaces From Random Traffic Flow, Proceedings of the 15th International Conference on Noise Control Engineering, pp. 1281~1286 1986.
- 11) 渡辺義則：自動車定常走行時の道路交通騒音予測のための一計算方法，騒音制御，vol. 12, No. 6, pp. 42~47, 1988.
- 12) 金安公造・金泉 昭：道路交通騒音の予測計算方法に関する研究，土木研究所報告，第 156 号，pp. 1~56, 1981.
- 13) 佐々木 実・橘 秀樹：エネルギーモデルによる道路交通騒音の予測について，日本音響学会騒音研究会資料，N-87-01-3, 1987.
- 14) 渡辺義則・角 知憲・菊永昌洋・田中浩一郎：自動車定常走行時の道路交通騒音の一簡易推定法，土木学会論文集，第 389 号/IV-8, pp. 75~82, 1988.
- 15) 渡辺義則・喜洲淳哉：荷重関数に基づく道路交通騒音のための等価騒音レベル簡易計算法，交通工学，第 25 巻 3 号，pp. 9~16, 1990.

(1992. 10. 5 受付)

PREDICTION OF NOISE DUE TO PLATOONS STARTING FROM A SIGNALIZED INTERSECTION

Yoshinori WATANABE, Tomonori SUMI and Masahiro YOSHIMATSU

In this paper, the authors proposed the precise prediction model for noise due to platoons starting from a signalized intersection, where the intensity of truck is high. In this model, we can consider the effects of the performance of the engine, load, gradient of road, vehicle operations desired by drivers and the characteristics of sound propagation to the surroundings. And a field measurement was made at a signalized intersection with two-lane straight way in flat site. This validation study has indicated that the presented way of calculation produces the small difference between the mean values of calculated and measured L_{50} over all cases though some difference arises in each case.