

九州工業大学 正会員 ○渡辺義則
山口県 正会員 石村和寿
北九州市 柴田邦孝

1. まえがき 音源と観測点間の音の伝搬特性は道路交通騒音の予測精度に重要な影響を及ぼすにもかかわらず、これを推定する方法はいまだ確立されていない。そこで本研究では、対象道路区間の道路構造ならびに周辺環境によって複雑に変化する伝搬特性を、音源としての道路交通流ならびに観測点に生じる騒音の測定結果から、ランダムデータの統計的な処理手法を利用して実験的に推定できる方法について検討した。

2. 基本的な考え方 現実には多数の音源(車輛)は道路の各車線上を移動し、それに伴って観測点の騒音レベルが時間的に変動する。それゆえにその騒音レベルを予測計算する場合には、各時刻毎の車輛配置が必要となる。そしてそのことは従来の予測計算モデルにおける解析計算上の1つの立脚点である。しかし本研究では線形系の応答に関する諸性質を利用して、次のモデル(以後線形モデルと仮称)を考える。①車輛は点音源とし、各車線の中央線上に仮定する。ただし音源は各車線の中央線上を移動するのでなく、各車線の中央線と観測点からそれに下した垂線との交点に、瞬間的に現われては消えていく。②この音源の出現に対応して観測点に適当な履歴曲線を仮定する。この曲線は単位の音響出力を持つ音源が、1つだけ車線の中央線上を移動したときに、観測点に生じる音の強さが時間的に変化することと同じ形をもつ。③出現する音源の音響出力は、車種や交通量などの要因によって時間的に連続に変動する。

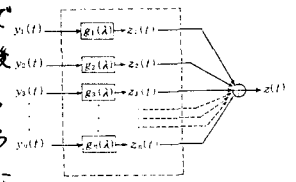


図1 多入力線形系

以上の仮定に従って、図1に示すような多入力線形系を考えると、次式が成立する。

$$Z(t) = \sum_{k=1}^n Z_k(t) = \sum_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} g_k(\lambda) y_k(t-\lambda) d\lambda \quad k=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

ただし、 $y_k(t)$ は入力、 t は時間、 $Z_k(t)$ は $y_k(t)$ のみによって生成された出力、 $g_k(t)$ は $y_k(t)$ に対する荷重関数、 $Z(t)$ は n 個の線形系より出力の和である。いま式①において n を道路の全車線数、 $Z_k(t)$ を k 車線の中央線上を移動する多数の音源によって時間的に観測点に生じる音の強さに対応させる。また入力 $y_k(t)$ としては音源の音響出力の時間変化率を考える。つまり

$$y_k(t) = W_k \chi_k(t) = 10^{-12} \times 10^{(0.2V_k + 85)/10} \quad (W/SEC) \quad (2)$$

ただし、 W_k は k 車線における乗用車1台当りの音響出力、 V_k は k 車線の平均速度(km/h)、 $\chi_k(t)$ は単位時間当りに k 車線を通過する換算車輛台数(Vehicle/sec)である。なお大型車種の1台は16台、小型貨物車種の1台は3台の乗用車に換算する。また W_k の算出にはパワーレベル(PWL)と速度の関係を表わす式③を利用した。

$$PWL = 0.2V + K \quad K: \text{大型車} 97, \text{小型貨物} 90, \text{乗用車} 85 \quad (3)$$

いま入力 $y_k(t)$ を定常不規則過程、システムを定数係数線形系と仮定すれば、その出力 $Z(t)$ も定常不規則過程に属する。このような場合定常不規則過程のスペクトル密度関数 $S_{kz}(f)$ は

$$S_{kz}(f) = \sum_{j=1}^n H_j(f) S_{kj}(f) \quad (4)$$

$$H_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j2\pi f\tau} h_j(\tau) d\tau \quad -\infty < \tau < \infty$$

従って周波数領域における荷重関数 $H_j(f)$ は入出力の $Z(t)$ 、 $y_k(t)$ 間のスペクトル密度関数 $S_{kz}(f)$ と入力 $y_k(t)$ 、 $y_j(t)$ のそれ $S_{kj}(f)$ を求め、 $H_j(f)$ を未知関数とする連立方程式④を解けば求められる。次

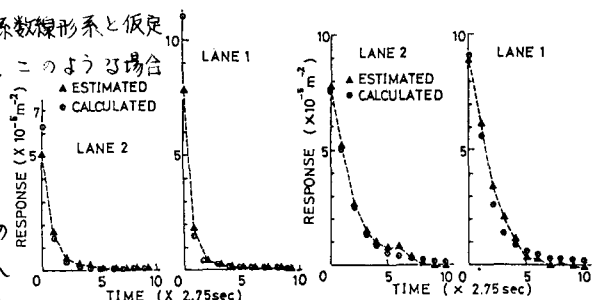


図3 荷重関数($d=10m$) 図2 荷重関数($d=40m$)

に $h_k(t)$ を逆フーリエ変換すれば時間領域における荷重関数 $h_k(t)$ が求まる。

以上の基本式をもとに荷重関数を推定する手順をまとめると次のようになる。①直線道路区間において交通特性(車線別交通量, 平均速度, 車種)並びに騒音レベルの同時測定を行う。②データ長, サンプリングタイムを決定し, 各時刻の騒音レベルと各車線別の換算車輦台数をサンプリングする。③騒音レベルより観測点の音の強さを, 換算車輦台数より音源の音響出力を算出する。④各入力データの直流分(平均値)を除き, 最大遅れ時間を決定し, 共分散関数を算定する。⑤共分散関数をフーリエ変換して, 生のスペクトル密度関数を算定した後に, これをスペクトルウィンドウで平滑化し, これを用いて周波数応答関数, 偏関連関数, 多重関連関数等を算定する。⑥入出力の直流分の除去に対する補正を考慮して逆フーリエ変換を施し, 時間領域の荷重関数を得る。

3. 荷重関数の推定 音源と観測点間の音の伝播特性を表わす荷重関数を次式の如く仮定して, その騒音レベルを線形モデルで計算した。

$$g_k(t) = 1 / \{ \pi [l_k^2 + (\bar{v}_k t)^2] \} \quad (5)$$

ただし, $\bar{v}_k$ は k 車線の平均速度(m/sec), l_k は k 車線までの距離である。次にこの計算結果と入力データから逐に荷重関数を推定し, 信号打ち切りの

影響を調べた。対象としたのは対向2車線の道路で, 路肩から $d=10\text{m}$, 40m の観測点である。その結果を図2, 3に示す。図2から推定値は一定時間以上の範囲で真の値をもつし, また理論値との間にも若干の差を生じるが, 騒音レベルに重要な影響を及ぼす時間範囲内では比較的適確に荷重関数が推定される。なおデータ長と最大遅れ時間を約2倍にして同様な計算を行った結果, 前述の短所がかなり改善された。

図3から認められるように $d=10\text{m}$ では $d=40\text{m}$ のそれと比べて $t=0$ における値の理論値との差が大きく(LANE1 $0.1\text{dB} \rightarrow 1.5\text{dB}$, LANE2 $0.1\text{dB} \rightarrow 0.8\text{dB}$) $d=40\text{m}$ の場合よりも推定精度が低下している。次に4車線の直線道路区間において交通特性並びに騒音レベルを測定し, 荷重関数を実際に推定した。測定現場付近は周辺が空地(裸地)で, 道路勾配も殆どない。騒音は路肩から 10m 離れ, 高さ 1.2m の位置で精密騒音計を用いて動特性fastで測定した。また交通特性は8mmカメラを用いて求めた。なお騒音レベルと交通特性は同時に測定したが, 両者を正確に対応させるために, 大型車が単独に走行する所で騒音レベルのピーク値と大型車の出現位置を一致させるという補正を行った。図4は各車線の音源の音響出力と観測点の音の強さとの共分散関数である。これから観測点に近い車線ほど $t=0$ で相関が強いが, LANE4では $t=0$ にも大きなピークが認められる。これはLANE1, 2で発生する騒音の影響を受けるためであり, $t=0$ での最大値の出現を避けるにはデータ長を長くする必要がある。図5に観測点の音の強さのパワースペクトル密度を示す。図から 0.0105Hz に大きなパワーをもつので, 観測点の音の強さは95秒の周期で変動することがわかる。これは観測点に最も近い交差点の信号周期とほぼ一致する。図6に荷重関数の推定値を示す。

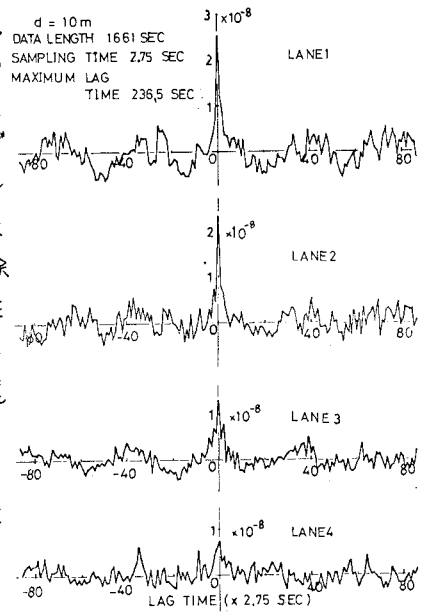


図4 音響出力と音の強さの共分散関数(4車線直線道路区間)

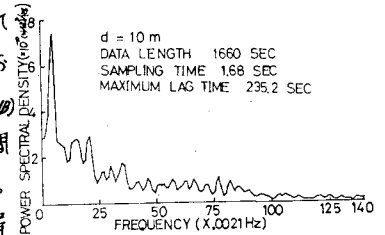


図5 パワースペクトル密度

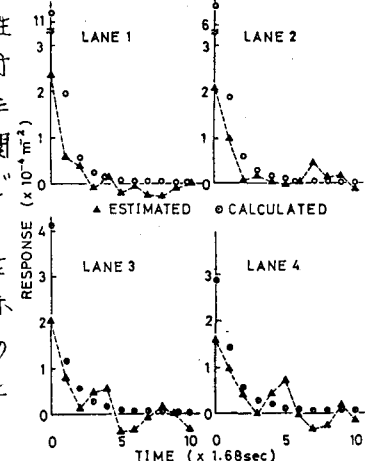


図6 荷重関数($d=10\text{m}$)

1) 渡辺, 石村: 道路交通騒音の予測に関する一考察, オ33回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅱ117