

IV-205 道路交通騒音の伝搬予測とその周波数特性について

(株)総合技術コンサルタント 正員 三宅龍雄
 建設省 土木研究所 正員 中山 隆
 建設省 土木研究所 正員 阪井清志

1. まえがき 道路交通騒音の予測においては、一般にA特性オールパス値のみを対象としているが、その周波数特性も騒音防止対策などの検討の上で重要な情報となる。筆者らは、地表面反射等の週制減衰を考慮した道路交通騒音の伝搬予測法について先に報告した。今回、平面道路と盛土道路を対象に、Kouyoumjianらの回折計算式を適用してより一般化した伝搬予測式を提案するとともに、騒音スペクトルの実測値との比較結果を報告する。

2. 伝搬予測式 平面道路上の点音源による音場は、路肩端をエッジとした開き角 π のウェッジ障壁による回折音場と等価であると考えられる。図-1に示されるように、路面及び平坦地面による音源、受音点の虚像による伝搬経路を考慮して、全音場 ϕ_t は次式で表される。

$$\phi_t = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 Q_{Si} \cdot Q_{Pj} [\phi_{ij}^s H(\pi - \angle_{ij}^s) + \phi_{ij}^d] \quad (1)$$

ここで、 Q_{Si} と Q_{Pj} はそれぞれ音源 S_i 、受音点 P_j に係る音圧反射率であり、 ϕ_{ij}^s は S_i から P_j への幾何学的音波、 ϕ_{ij}^d はエッジ点Bによる回折波を表す。 $H(t)$ はHeavisideの単位ステップ関数であり、 $\angle_{ij}^s$ は点Bを中心とする S_i から P_j への時計回りの角である。なお、反射率の計算には川井³⁾式を用いており、各経路で最短経路となる入射角や伝搬距離を変数として使用している。また、 ϕ_{ij}^d の計算には、Kouyoumjianらの回折式を障壁面での反射による4つの伝搬経路に対応させて分離した式を用いている。

盛土道路においては、地表面を路面、保護路肩、法面、平坦地面の4つ領域に分けて伝搬モデルを考える。全音場は、図-2に示されるように、路面と保護路肩面による虚音源(S_2, S_3)、法面と平坦地面による虚受音点(P_2, P_3, P_4)の組合せによる音伝搬の和として、次式で与えられるものとした。

$$\phi_t = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 Q_{Si} \cdot Q_{Pj} \phi_{ij} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \phi_{ij} = & \phi_{ij}^s H(\pi - \angle_{ij}^s) H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] \\ & + \phi_{ij}^d \eta(i) H(\pi - \angle_{ij}^s) + \phi_{ij}^d \eta(i) H(\pi - \angle_{ij}^s) \\ & + \phi_{ij}^d H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] \cdot H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] \\ & + \phi_{ij}^d \eta(i) H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] + \phi_{ij}^d \eta(i) H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] + \phi_{ij}^d \eta(i) H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 $\eta(k)$ は $k \leq 2$ の時に1、 $k > 2$ の時に-1の値をとる。式(3)の ϕ_{ij} には盛土地表面の3つの不連続点A、B、Cによる多重回折波が含まれており、その多重回折波を単回折で近似すると、上式が4~7項はまとめた

$$\phi_{ij} \approx \phi_{ij}^d \{H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] + D_{iBcj} \cdot \eta(i)\} \{H[\eta(i)(\pi - \angle_{ij}^s)] + D_{iAbj} \eta(i)\}$$

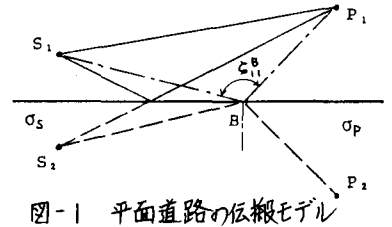


図-1 平面道路の伝搬モデル

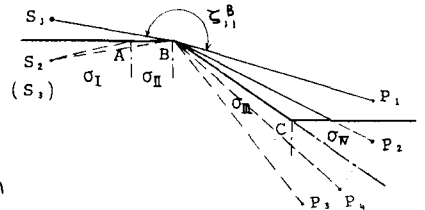


図-2 盛土道路の伝搬モデル

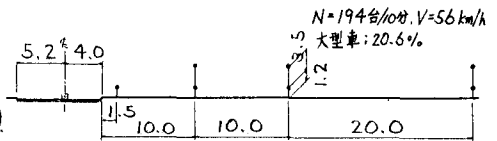
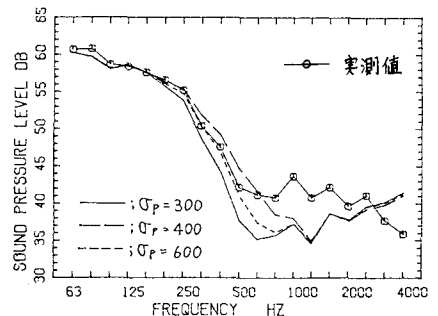


図-3 平面道路断面

図-4 騒音スペクトルと地表面特性
(地上1.2m、平面道路路端より40m)

と表される。ただし、

$$D_{ABj} = \text{Sgn}(\angle_{iB}^A - \pi) \cdot \text{Sgn}(\angle_{Aj}^B - \pi) \cdot \text{Sgn}(\angle_{ij}^B - \pi) \cdot \frac{L_{ij}^B}{L_{ij}^{AB}} \cdot D(\sigma_{AB})$$

$$D_{BCj} = \text{Sgn}(\angle_{iC}^B - \pi) \cdot \text{Sgn}(\angle_{Bj}^C - \pi) \cdot \text{Sgn}(\angle_{ij}^C - \pi) \cdot \frac{L_{ij}^C}{L_{ij}^{AB}} \cdot D(\sigma_{BC})$$

$$D(\sigma_{AB}) = \frac{e^{-i\pi/4}}{\sqrt{\pi}} F\{\sqrt{k\sigma_{AB}}\}, \quad \sigma_{AB} = L_{ij}^{AB} - L_{ij}^B$$

$$\text{Sgn}(t) = \begin{cases} 1 & ; t \geq 0 \\ -1 & ; t < 0 \end{cases}$$

である。ここで、 L_{ij}^B は点Bによる単回折経路長、 L_{ij}^{AB} は点A,Bによる2重回折経路長である。 $D(\sigma)$ はスクリーン障壁に対するキルヒホッフの近似回折式を表し、 $F\{\}$ は複素フレネル積分、 k は波長定数である。

単独の走行自動車による音圧レベル変化は、点音源を道路上で移動させながら逐次、上式によって音圧レベルを求めれば得られる。道路交通騒音の各種統計量は、単独走行車によるレベル分布を交通流に即して合成することにより求められる。

3. 計算結果 2車線の平面道路と4車線の登土道路においてLegによる1/3 octaveバンドスペクトルの実測値と計算値の比較を行った。なお、本計算では、地表面の音響インピーダンスの算定に流れ抵抗 σ をパラメータとするDelanyらの実験式を用いた。

図-4は、平坦地面（草地）の流れ抵抗 σ_p を変化させた計算値と実測値との対比例であり、図-5は、受音点距離によるスペクトルの変化を示している。なお、計算では3車種分類としてPWLのスペクトルを回帰式により与えたが、現地でのPWL特性を反映させるため、道路端の実測値と計算値が一致するよう補正した。

図-7は、保護路肩（裸地）と平坦地面（畑地）の流れ抵抗 σ_p や音源高さ h_s を変化させた時の計算値を対比したものであり、約500 Hz以上の中高周波帯域に与える影響が大きい。図-8は、 $h_s = 0.6$ mとした計算値によるスペクトルと実測値を比較したものであり、よく対応している。

4. おわりに 本予測手法は、適切なパラメータを使用すれば道路交通騒音のスペクトルを精度よく予測できることが確認できた。本予測手法の適用に当っては、地表面の音響特性（流れ抵抗）の他に、自動車音源自身の特性（車種別PWLの周波数特性、音響中心の位置等）の把握が重要である。

参考文献

- 1) 三宅他、土木学会講演概要集（1985.9）、2) Kouyoumjian 他、Proc. IEEE、62、P1448（1974）、3) 川井、日本音響学会誌、39、P374（1983）、4) Delany 他、Applied Acoustics、3、P105（1970）

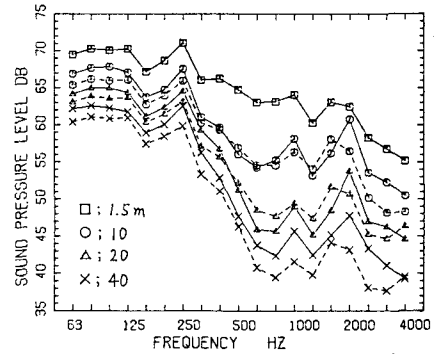


図-5 騒音スペクトルの距離変化（地上1.2m）
（——実測値、-----計算値、 $\sigma_s = 20000$, $\sigma_p = 400$ ）

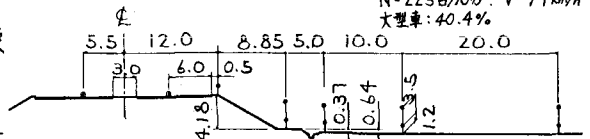


図-6 登土道路断面

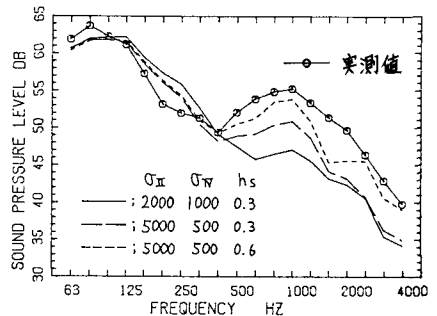


図-7 騒音スペクトルと地表面特性
（地上1.2m、登土道路端より44m）

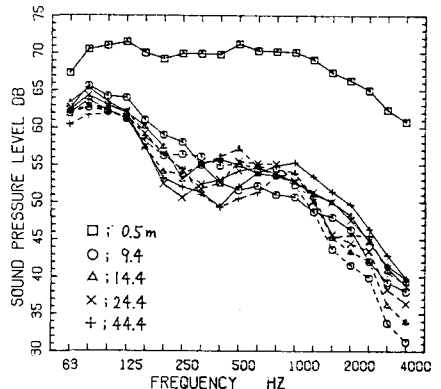


図-8 騒音スペクトルの距離変化（地上1.2m）
（——実測値、-----計算値、 $\sigma_r = 20000$, $\sigma_p = 5000$, $\sigma_m = 300$, $\sigma_w = 500$, $h_s = 0.6$ m）