

株式会社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	足立義雄
京都大学 工学部	正員	高木興一

1. はしがり 野外での音の伝搬を考えるとき、幾何学的な拡散減衰だけでなくそれ以外に過剰減衰と呼ばれる種々の要因による付随的な伝搬減衰も考慮しなければならない。本報告では、平坦道路および盛土道路上の点音源からの伝搬に関して、地表面反射の影響と障害物などによる回折の影響を考慮した伝搬減衰モデルを提案し、数値計算により過剰減衰の特性を調べた。

2. 平坦道路からの伝搬 平坦道路においては、音源がハードな路面上、受音点が比較的ソフトな地表面上という位置関係にあるため、異種地表面境界上の騒音伝搬として考える必要がある。この問題に対して井清¹⁾は地表面上に高さ0の仮想障壁があるとみなしたときの音場で表現しており、全音場 ϕ_t を次のように表わすことができる(図-1参照)。

$$\phi_t = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \phi_{ij} = \phi_{11} \left\{ 1 - (1 - Q_I \cdot Q_{II}) D_{B11} \right\} + \phi_{21} \times \begin{cases} \{ Q_I - (Q_I - Q_{II}) D_{B21} \} & \text{for } x < x_B \\ \{ Q_{II} - (Q_{II} - Q_I) D_{B21} \} & \text{for } x \geq x_B \end{cases} \quad (1)$$

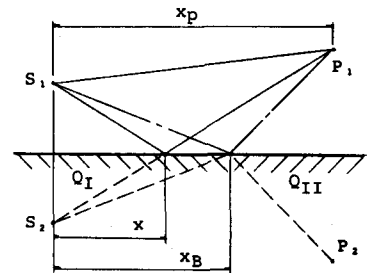


図-1 異種地表面境界上の伝搬

ただし、 ϕ_{ij} は音源 S_i から受音点 P_j への音波を表し、 ϕ_{ij}^0 は幾何学的音波、 Q_I および Q_{II} は音源側と受音点側地表面での音圧反射率である。また D_{Bij} は回折経路 $S_i - B - P_j$ において B が影の領域にあるときの回折係数を表す。

地表面が均質である場合、上式には点 B による回折波項 $-\phi_{11} \times (1 - Q_I Q_{II}) D_{B11}$ が誤差として残る。一方、de Jong²⁾が提案した計算モデルではこのような誤差が解消されるが、その適用範囲は $|Q_I| \geq |Q_{II}|$ のときと考えられる。ここでは、二つの地表面の比音響インピーダンス z_I, z_{II} の比較により、de Jongのモデル式を次のように拡張した。

$$\phi_t = \phi_{11}^0 \times \begin{cases} \{ 1 - (Q_I - Q_{II}) D_{B11} \} & \text{for } |z_I| \geq |z_{II}| \\ \{ 1 - (Q_{II} - Q_I) D_{B11} \} & \text{for } |z_I| < |z_{II}| \end{cases} + \phi_{21}^0 \times \begin{cases} \{ Q_I - (Q_I - Q_{II}) D_{B21} \} & \text{for } x \leq x_B \\ \{ Q_{II} - (Q_{II} - Q_I) D_{B21} \} & \text{for } x > x_B \end{cases} \quad (2)$$

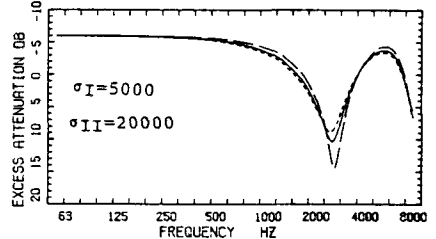
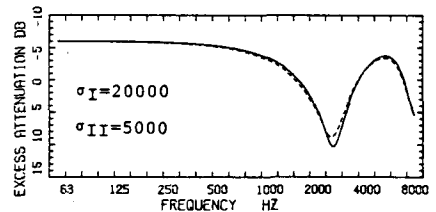


図-2 異種地表面上の過剰減衰

なおde Jongのモデルは(2)式で常に $|z_I| \geq |z_{II}|$ とした場合に相当する。ここで、音圧反射率の計算に川井の近似式を用い、回折係数の計算にはBowmanらの近似式を用いることにして、上記の三つのモデルによる過剰減衰を計算すると図-2のようになる。ただし、比音響インピーダンスは、流れ抵抗 R をパラメータとするDelanyらの実験式で与えた。三つのモデル式は、 $|z_I| \gg |z_{II}|$ のときにはほぼ一致するが、井清のモデルでは $|z_I| \approx |z_{II}|$ のときに誤差が生じ、de Jongのモデルでは $|z_I| < |z_{II}|$ のときに差が生じている。

3. 盛土道路からの伝搬 盛土道路を対象とした音の伝搬予測のため、図-3に示される断面形状および音源受音点の配置による伝搬モデルを考える。ここで点Aは盛土上面の路面と保護路肩との境界、点Bは法肩、点C

は法面を示し、地表面のインピーダンスはこの3点により4つの領域 ($\sigma_I \sim \sigma_W$) に区分されるものとする。また、受音点としては、実受音点 P_1 と平坦地表面での反射イメージによる P_2 の他に盛土法面の吸音性を考慮するための反射イメージ P_3 を考える。したがって、全音場は、6つの伝搬経路による音波の和として次式で与えられる。

$$\phi_T = \sum_{i=1}^6 \phi_{ij}$$

ただし、 ϕ_{ij} は不連続点 A, B, C による回折を考慮して次のように近似する。(図-4 参照)

$$\begin{aligned} \phi_{11} &= \phi_{11}^0 \times \begin{cases} (1 - D_{B11} - D_{BC11}) & ; \theta_1 \leq \pi + \theta_S \\ (D_{B11} - D_{BC11}) & ; \theta_1 > \pi + \theta_S \end{cases} \\ \phi_{21} &= \phi_{21}^0 \times \begin{cases} Q_{II} D_{B21} - (Q_{II} - Q_I) D_{AB21} & ; \theta_1 > \pi - \theta_S \\ Q_{II} - (Q_{II} - Q_I) D_{A21} - Q_{II} D_{B21} & ; \theta_S \leq \alpha_S < \alpha_A \\ Q_I - (Q_I - Q_{II}) D_{A21} - Q_{II} D_{B21} & ; \alpha_S \geq \alpha_A \end{cases} \\ \phi_{12} &= \phi_{12}^0 Q_{IV} \times \begin{cases} (1 - D_{B21} + D_{BC21}) & ; \theta_2 \leq \pi + \theta_S \\ (D_{B21} - D_{BC21}) & ; \pi + \theta_S < \theta_2 \leq \theta_C \\ D_{BC21} & ; \theta_2 > \theta_C \end{cases} \\ \phi_{22} &= \phi_{22}^0 Q_{22} \cdot Q_{IV} \times \begin{cases} (D_{B22} - D_{BC22}) & ; \theta_2 \leq \theta_C \\ D_{BC22} & ; \theta_2 > \theta_C \end{cases} \\ \phi_{13} &= \phi_{13}^0 (Q_{III} - 1) (D_{B13} - D_{BC13}) \\ \phi_{23} &= \phi_{23}^0 Q_{23} (Q_{III} - 1) (D_{B23} - D_{BC23}) \end{aligned}$$

ここで、 $Q_{2j} = Q_{II} - (Q_{II} - Q_I) (D_{AB2j} / D_{B2j})$ であり、 D_{BCij} は2重回折経路 $S_i - B - C - P_j$ において P_j が影の領域にあるとしたときの回折係数を表す。ここでは簡単にするため、2重回折の経路長 L_{BCij} と単回折の経路長 L_{Bij} との経路差で定まる補正係数

$$D_{cor, cij} = (e^{-i\pi/4} / \pi) F \{ \sqrt{k} (L_{BCij} - L_{Bij}) \}$$

を導入して $D_{BCij} = D_{Bij} \cdot D_{cor, cij}$ とした。ただし、 $F\{\}$ は複素フレネル積分であり、この補正係数は Kirchhoff の近似回折理論による回折係数と同一であり、また、 D_{Bij} の計算には Kouyoumjian⁶⁾ らのウェッジ障壁における回折計算式を用いている。なお、 ϕ_{11} の回折係数の内には法面が剛 ($Q_{III}=1$) としたときの ϕ_{13} も含まれていると考えられるので、上式の ϕ_{13} にはその寄与を除いている。さらに、 D_{B13} の計算では Kouyoumjian 式の適用限界により Bowman の近似式を用いることにした。

図-5, 6 は、盛土高さ 5 m、法勾配 1:2 の法面上 1.2 m の受音点における過剰減衰を示しており、法面の吸音性の影響が顕著に見られる。

以上の計算モデルの道路交通騒音予測への具体的な適用は次の報告で行う。

参考文献 1) 井清他、音響学会講演集、P65、(1981.5) 2) de Jong 他、J. Sound & Vib., 86, P23 (1983) 3) 川井、日本音響学会誌、39, P374 (1983) 4) Bowman 他、(North Holland 1969) 5) Delany 他、Applied Acoustics, 3, P105 (1970) 6) Kouyoumjian 他、Proc. IEEE, 62, P1448 (1974)

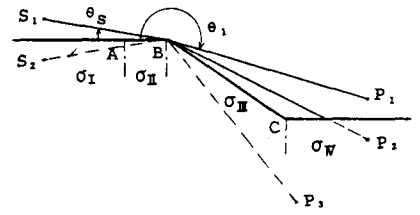


図-3 盛土道路における伝搬

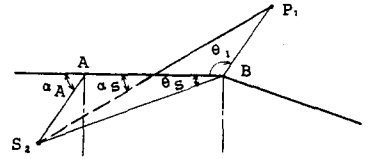


図-4 路面反射

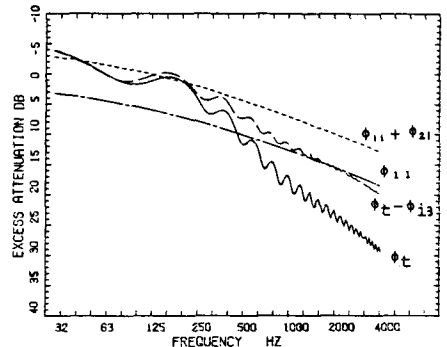


図-5 盛土道路における過剰減衰

$$\begin{aligned} (h_S = 0.3 \text{ m}, h_P = 1.2 \text{ m}, X_A = 4.5 \text{ m}, X_B = 5.0 \text{ m}) \\ (X_P = 10.0 \text{ m}, \sigma_I = 20000, \sigma_{II} = \sigma_{III} = \sigma_W = 300) \end{aligned}$$

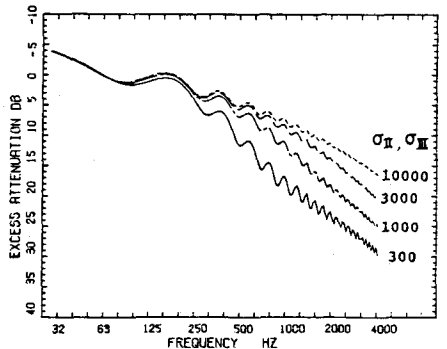


図-6 法面インピーダンスの影響

$$(\sigma_I = 20000, \sigma_W = 300)$$