

(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 足立義雄, 石田 稔

1. まえがき 点音源からの騒音伝搬を考える場合、幾何音響学に従った拡散減衰(倍距離6dBの減衰)が基本となるが、伝搬中の種々の要因による過剰減衰も考慮する必要がある。特に、伝搬経路が地表面に近いときには、地表面による音の吸収が騒音伝搬への大きな影響要因となることが知られている。本報告では、地表面に起因する過剰減衰および遮音壁の設置による挿入損失(遮音壁の減音効果)の近似計算法を用いて自動車騒音の伝搬問題へ適用した結果を示す。

2. 地表面による過剰減衰 図-1に示されるような均質で平坦な地表面上の点音源から受信点に伝搬する球面波の速度ポテンシャル ϕ_g は、次の近似解によって求められる¹⁾。

$$\phi_g = e^{ikr_1}/r_1 + Q \cdot e^{ikr_2}/r_2 \quad (1)$$

ただし

$$Q = P(\theta) + \{1 - P(\theta)\} \frac{2\{1 + (Z_1/Z_2)\cos\theta\}a}{(\cos\theta + Z_1/Z_2)^2} F(\sqrt{ik}r_2 a) \quad (2)$$

$$P(\theta) = (\cos\theta - Z_1/Z_2) / (\cos\theta + Z_1/Z_2) \quad (3)$$

$$a = 1 + (Z_1/Z_2)\cos\theta - \sqrt{1 - (Z_1/Z_2)^2} \sin\theta \quad (4)$$

$$F(w) = 1 + i\sqrt{\pi} w e^{-w^2} \operatorname{erfc}(-iw) \quad (5)$$

ここで k は空気中での波長定数であり、 Z_1, Z_2 は空気と地面の音響インピーダンスである。また、 $P(\theta)$ は入射角 θ の平面波の複素反射率、 Q は球面波の複素反射率である。

地表面による過剰減衰 ATT_g は、直接波 $\phi_i = e^{ikr_1}/r_1$ を基準にして

$$ATT_g = -20 \log_{10} |\phi_g / \phi_i| \quad (6)$$

で与えられる。

騒音伝搬を考える上で地表面の音響インピーダンス Z_2 が重要な値となるが、これを直接計測する方法は信頼性が薄いとされている。一方、パラメータを含む周波数 f の関数により Z_2 を表わすモデル式を与え、 ATT_g の実測値と理論値が最も適合するようにパラメータを推定する間接的な方法がある。その代表的なモデル式が多孔材を対象としたDelanyらの実験式²⁾である。

$$Z_2/Z_1 = 1 + 9.08(\sigma/f)^{0.75} + i11.9(\sigma/f)^{0.73} \quad (7)$$

ただし、パラメータ σ は単位厚さ当りの流れ抵抗(cgs単位)である。

数値計算例として、種々の σ 値に対応する ATT_g の周波数性状を図-2に示した。音響的にハードな地表面($\sigma \rightarrow \infty$)では、音の反射時の位相変化が殆んど生じないため、直接波と反射波の経路差が半波長の奇数倍となる周波数で干渉が極大となる。地表面がソフトになると反射時の位相変化が大きくなり($\arg(Q) \rightarrow 180^\circ$)、図に見られるように σ が小さくなるにつれて干渉周波数も遷移している。

3. 遮音壁の挿入損失 騒音対策の代表的なものとして遮音壁による対策があるが、その騒音予測では、自

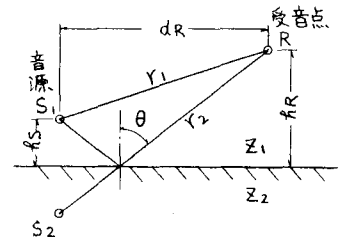


図-1 音源と受信点の配置

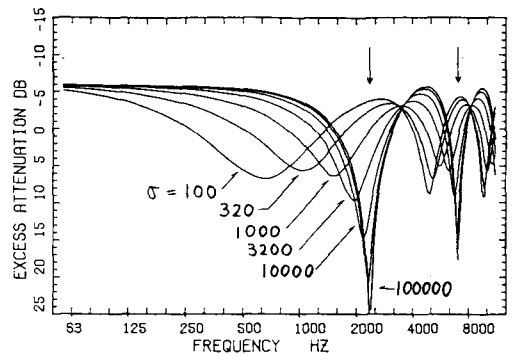


図-2 流れ抵抗 σ に対応する ATT_g
($h_S = 0.3\text{m}$, $h_R = 1.2\text{m}$, $d_R = 10\text{m}$)

由空間中での半無限障壁による回折減衰 ΔL_d をそのまま用い、地表面反射の影響は無視されることが多い。遮音壁の減音効果をより厳密に予測するためには、地表面と遮音壁の複合的な効果を考えねばならない。Jonasson³⁾は、図-3に示された地表面反射の虚像により4つの伝搬経路を考え、これらの音の重ね合わせによって受音点での速度ポテンシャル ϕ_c を次のように表わした。

$$\phi_c = \phi_{d11} + Q_S \phi_{d21} + Q_R \phi_{d12} + Q_S Q_R \phi_{d22} \quad (8)$$

ここで、 ϕ_{di} は自由空間における点音源 S_i から受音点 R_j への回折音場での速度ポテンシャルであり、 Q_S と Q_R はそれぞれ音源側と受音側での複素反射率〔式(2)〕である。

遮音壁の設置による挿入損失ILは、設置前後のレベル差として次式で与えられる。

$$IL = -20 \log_{10} |\phi_c / \phi_0| \quad (9)$$

なお、2で示された伝搬モデルは地表面が均質であることを条件としているが、直路騒音の伝搬問題では、音源はハードな路面上にあり受音点は草地などのソフトな地表面上にあるという状況が多い。このような異なった地表面上での騒音伝搬は、2種の地表面が接する境界線に高さ0の障壁があるものと想定し、形式的に式(8)を適用して求めるとよい。

4. 自動車騒音の伝搬 自動車騒音を模した点音源を路面($\sigma_s=20000$; アスファルト面に相当)上0.3mの高さに置き、これより5m離れて遮音壁を設置したときの騒音伝搬を推計した。ただし、点音源の周波数特性として定常走行中の自動車騒音の平均的なパワースペクトルを与えている。

図-4は、点音源から30m離れた芝地($\sigma_R=300$)上1.2mの受音点での1/3 OCTスペクトルである。図中の Δ 印は半自由空間中の逆2乗則に従った拡散減衰による値であり、 $\square$ 印および $\circ$ 印はそれぞれ高さ $h_B=3m$ の遮音壁の設置前と後の推計値である。A.P値で見ると挿入損失ILは回折減衰 ΔL_d よりも約4dB小さくなっている。

図-5は、遮音壁背後の騒音レベルの距離減衰を受音側の地表面性状別にしたものである。 $h_B=0m$ の場合はソフトな地表面での過剰減衰が顕著に表われているが、 $h_B=3m$ とした場合は地表面の違いによるレベル差が少なくなっている。したがって、ソフトな地表面での遮音壁は、ハードな地表面で得られる程の減音効果が挙らないことがわかる。

参考文献 1)川井孝雄; 日本音響学会誌, 39(6), 1983

2)M.E.Delany & E.N.Bazley; Applied Acoustics, 3, 1970

3)H.G.Jonasson; J. Sound Vib., 22(1), 1972, 4)J.J.Bowman & T.B.A.Senior; North Holland, Amsterdam, 1969

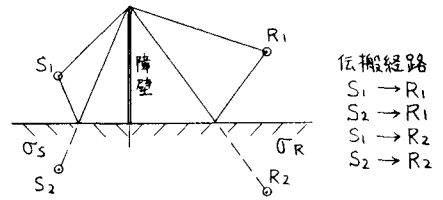


図-3 地表面上の障壁と騒音伝搬

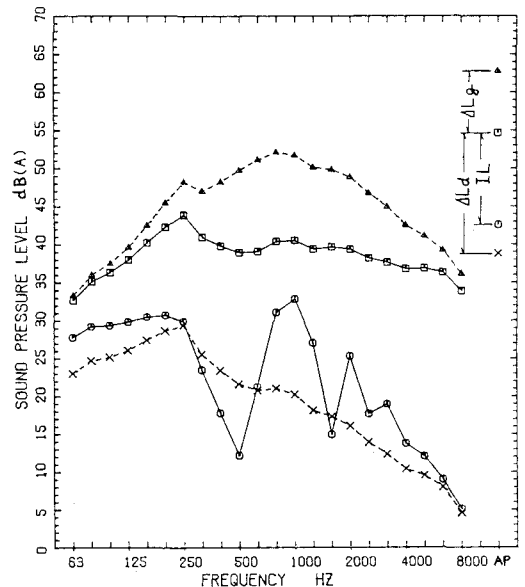


図-4 自動車騒音のA特性 1/3 OCT スペクトル

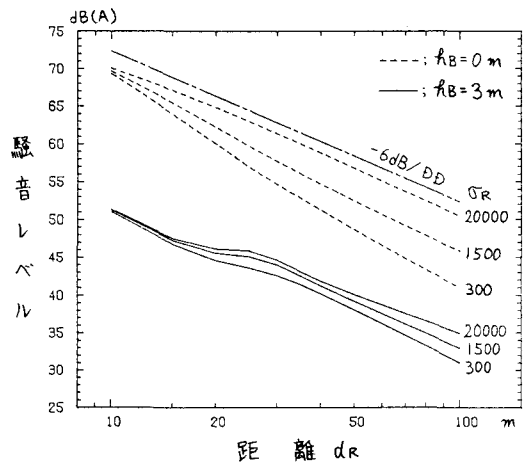


図-5 自動車騒音の距離減衰