

1. はじめに

近年、交通機関の発達にともない騒音低減のために多大の努力が払われているが、放射音場の予測やそれに対する防音壁、高架等の効果の予測に関する研究は余り多くない。本研究では、道路等の防音壁として用いられている障壁を比較的簡単なモデルで表し、3次元及び2次元の境界要素法を用いた解析を行う。3次元解析では、有限長の障壁で無限長の障壁を近似し、2次元解析による結果との比較を行う。

2. 境界要素法(B.E.M)¹⁾ (Fig.1参照)

音場を支配する方程式はhelmholtz方程式(1)である。

$$(\nabla^2 + k^2)\Phi = 0 \tag{1}$$

ここで $k = \omega/c$ (波数)、 ω は角振動数、 c は媒質中の音速を表す。また Φ は速度ポテンシャルであり音圧 P との関係は(2)式で与えられる。

$$P = -j\omega\rho\Phi, \quad V_n = -\frac{\partial\Phi}{\partial n} \tag{2}$$

j は虚数単位、 ρ は媒質の密度、 V_n は境界上での粒子速度の法線方向成分を表す。

地面の影響とSommerfeldの放射条件を考慮し、(1)式にGreenの公式を適用すると、(3)式が導かれる。

$$c_0 \cdot \Phi = \iint_{\Gamma} \left(\Phi \frac{\partial G}{\partial n} - \frac{\partial \Phi}{\partial n} G \right) d\Gamma \tag{3}$$

$$c_0 = \begin{cases} 1 & \text{in } \Omega_1 \\ 1/2 & \text{on } \Gamma \\ 0 & \text{in } \Omega_2 \end{cases}, \quad c_1 = \begin{cases} 0 & \text{in } \Omega_1 \\ -1/2 & \text{on } \Gamma \\ -1 & \text{in } \Omega_2 \end{cases}$$

$\partial/\partial n$ は外向き法線方向微分、観測点 i が外部領域に存在する場合は c_0 、内部領域に存在する場合は c_1 である。また、 G は(1)式を満足する基本解であり、2次元では(4)式、3次元では(5)式で与えられる。

$$G = \frac{1}{4j} H_0^{(2)}(kr) + Q \frac{1}{4j} H_0^{(2)}(kr') \tag{4}$$

$$G = \frac{1}{4\pi} \frac{e^{jk_r}}{r} + Q \frac{1}{4\pi} \frac{e^{jk_r'}}{r'} \tag{5}$$

ここで、 $H_0^{(2)}(kr)$ は0次の第2種Hankel関数、 Q は地面の反射係数、 r は点 i と点 j との距離、 r' は、地面に対して点 j と対称な点から点 i までの距離である。一般に(3)式を解析的に解くことは困難であるので、境界を N 個の要素に分割し数値的に解く。各要素上では Φ と $\partial\Phi/\partial n$ は一定とする。観測点 i が境界上にある場合、(3)式の離散方程式は

$$[A_{ij}][\Phi_j] = [B_{ij}][\partial\Phi_j/\partial n] \tag{6}$$

$$A_{ij} = 1/2 \delta_{ij} - \int_{\Omega} \frac{\partial G}{\partial n} d\Gamma_j, \quad B_{ij} = - \int_{\Omega} G d\Gamma_j$$

ここで、 δ_{ij} はクロネッカーの δ である。 A_{ij}, B_{ij} は数値積分により求める。(6)式に境界条件を与えることにより、境界上での $\Phi_j, \partial\Phi_j/\partial n$ を得る。これらを(7)式に代入することで領域内の解を求める。 \sim は既知量を表す。

$$c_0 \cdot \Phi_i = [A_{ij}][\Phi_j] - [B_{ij}][\partial\Phi_j/\partial n] \tag{7}$$

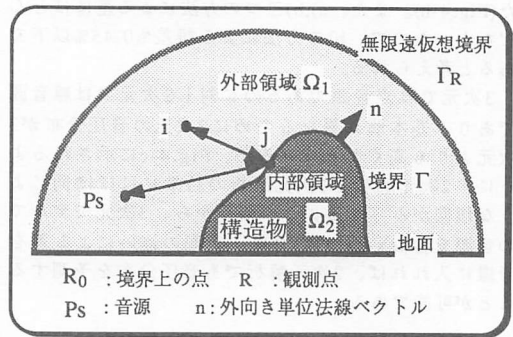


Fig.1 本研究で扱う一般的な音場モデル

3. 3次元モデルでの無限長障壁近似

周波数は200Hz、障壁はコンクリート、地面は平坦で無限に広いものとする。観測点の高さは1.6mとし、 $0 < x < 8.0$ (m)を80等分して音圧を表示する。境界条件として以下の2通りを与えて計算を行った。

- a) 障壁内部の音波伝播と外部の伝播を境界での Φ と $\partial\Phi/\partial n$ の連続性を用いて連立する。
- b) 障壁の音響インピーダンスを ∞ とする。

3.1 解析精度の検討

内部領域を空気とし、a)の方法で求めた解を基本解(5)式と比較することにより求めた誤差は3.42%以下であり、a),b)2つの方法による差はほとんどなかったもので、b)の方法での誤差も3.42%以下と考えられる。b)の方法では、未知数が Φ のみであるため a)の方法よりも計算時間が短いので、以下の解析はb)の方法で行った。

3.2 無限長障壁近似

障壁の長さ L を変化させ、両端からの回折の影響を調べた。一般に、障壁の長さが高さの5倍以上あれば両端からの回折の影響を無視することができる²⁾とさ

れているが、Fig.4-a)に示す結果からも同じことがいえる。この結果から、障壁の高さ $h=1\text{m}$ に対して、長さ L を 10m として、無限長の障壁を近似する。

4. 2次元解析結果との比較

Fig.2の3次元モデルにおいて、音源を含む x - z 平面内では障壁両端からの回折の影響が無視できるために、2次元で考えてもよいと思われる。そこで、3.で無限長障壁を近似した解析結果と、Fig.3の2次元モデルでの解析結果との比較を行った。周波数は 200Hz 、障壁はコンクリートとする。観測点は3.と同じである。

3次元の場合と同様に解析精度の検討を行った。内部領域を空気とし、a)の方法で求めた解を基本解(4)式と比較する、要素分割による誤差は 0.45% 以下であった(Fig.4-b)。また、a),b)二つの方法による差はほとんどなかったため、b)の方法による誤差も 0.45% 以下であると考えられる。

3次元では点音源であるのに対し2次元では線音源であり、基本解が異なるために2次元の音圧分布が3次元よりも高くなっているが、Fig.4-c)に示されるように、2次元解析と3次元解析の結果にはほぼ同じような傾向がみられる。この結果から、3次元モデルでの音源を含む x - z 平面内では、音源の違いによる差を考慮に入れば、2次元解析でも音圧分布を予測することが可能である。

5. おわりに

点音源による放射音場に対して地面及び障壁の反射を考慮に入れた3次元解析を行い、障壁はある程度の長さがあれば両端からの回折の影響を無視することができ、無限長の障壁を近似できることが確かめられた。また、音源を含む x - z 平面内では、音源を線音源とする2次元解析でも予測可能であることが確かめられた。

参考文献

- 1) 榎園正人:境界要素解析,培風館
- 2) 福田基一:騒音防止工学,日刊工業新聞社,p129

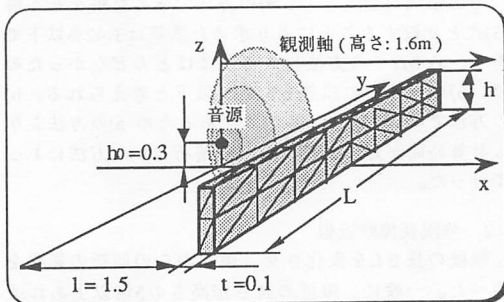


Fig.2 3次元障壁モデルの構成

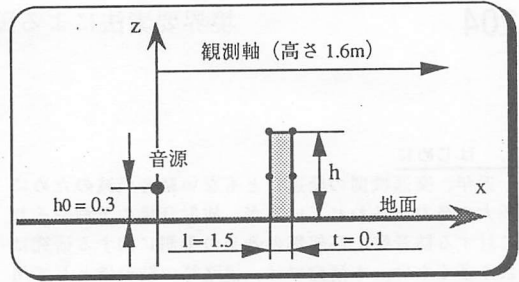


Fig.3 2次元障壁モデルの構成

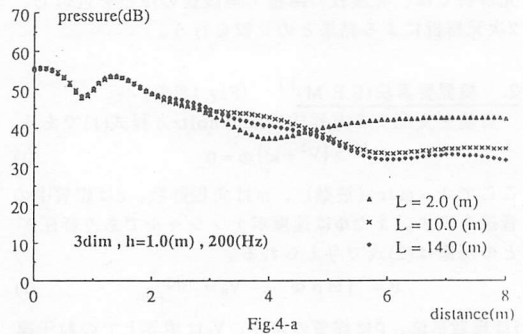


Fig.4-a

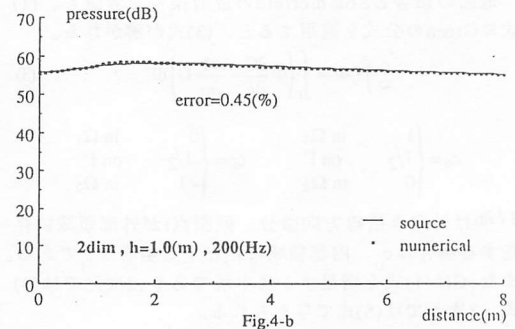


Fig.4-b

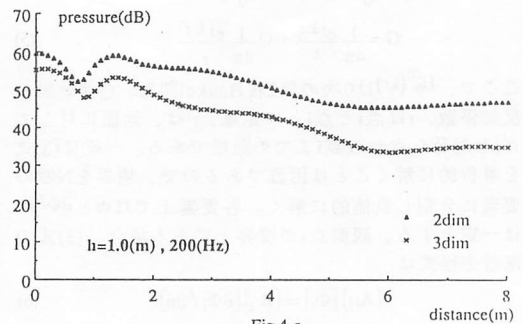


Fig.4-c