

要旨

道路周辺の回折音場の音圧分布に対して雨が音場に与える影響を考慮するため、水分を含む空気中の音波伝播を多孔質媒体中の音波伝播理論に置き換えたモデル化を行った。また、このモデルをもとに、障壁のある道路周辺の音圧分布を3次元境界要素法を用いて解析を行い、空気中に含まれる水分が音場に与える影響を調べた。

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。しかし放射音場の予測や、それに対する防音壁の効果、高架などの影響の予測に関する研究はあまり進められていない。本報告では、気象条件について、そのうち降雨時の音波伝播を多孔質媒体中の音波伝播理論に置き換えてモデル化し、障壁のある道路周辺の音場を境界要素法により解析する。

2. 多孔質媒体中の音波の伝播¹⁾

多孔質媒体の概念図を Fig.1 に示す。Pore (空気) はランダムに存在するが等方的で相互連結し、matrix (水) は非圧縮性と仮定する。

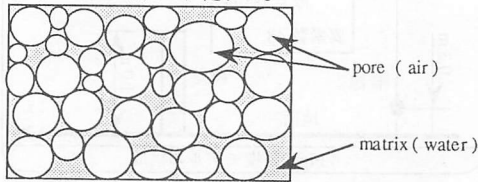


Fig. 1 多孔質媒体

孔中の空気の密度を基準密度 ρ_0 と変化量 $\bar{\rho}$ の和とすると、多孔質媒体中での連続の式は (1) 式である。

$$\alpha \left(\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} \right) + \rho_0 \nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

ここで、 α は多孔率 (porosity) と呼ばれ、単位体積中に空気が占めている割合、 \mathbf{v} は平均粒子速度である。 $\bar{\rho}$ と音圧 p の関係 (2) 式を用いると、(1) 式は (3) 式となる。

$$\bar{\rho} = \kappa_p \rho_0 p \quad (2)$$

$$\kappa_p \alpha \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right) + \nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (3)$$

ここで κ_p は空気の有効圧縮率である。一方、運動方程式は、くびれの中を流体が流れる時、有効な質量が増加するので密度を ρ_p とし、粒子速度に比例する摩擦を考慮すると (4) 式となる。

$$\rho_p \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \sigma \mathbf{v} + \nabla p = 0 \quad (4)$$

ここで σ は通気抵抗 (flow resistance) であり、単位流れが媒質を通る際に生じる圧力差である。

速度ポテンシャル Φ を用いて (3) 式と (4) 式から

\mathbf{v} を消去すると (5) 式となり、音波が角周波数 ω で定常振動している場合は (6) 式となる。

$$\nabla^2 \Phi = \kappa_p \rho_p \alpha \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + \kappa_p \alpha \sigma \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (5)$$

$$\nabla^2 \Phi + \omega^2 \kappa_p \alpha \rho_p \left(1 + j \frac{\sigma}{\omega \rho_p} \right) \Phi = 0 \quad (6)$$

ここで孔の中の音波の伝播速度 c_e を (7) 式で定義すると、多孔質媒体中の音波の伝播は、波数を $k_e = \omega / c_e$ とした (8) 式で表され、基本解 G は (9) 式である。

$$c_e = \left[\kappa_p \alpha \rho_p \left(1 + j \frac{\sigma}{\omega \rho_p} \right) \right]^{-1/2} \quad (7)$$

$$\left(\nabla^2 + k_e^2 \right) \Phi = 0 \quad (8)$$

$$G = \frac{1}{4\pi} \frac{\exp(j k_e r)}{r} + Q \frac{1}{4\pi} \frac{\exp(j k_e r')}{r'} \quad \text{in 3D} \quad (9)$$

ここで r, r' は、それぞれ観測点と音源、鏡像音源との距離、 Q は地面の反射係数であり、本報では音波は地面で完全反射するとして $Q=1$ を用いる。Fig.2 に本報で扱う一般的な音場モデルを示す。

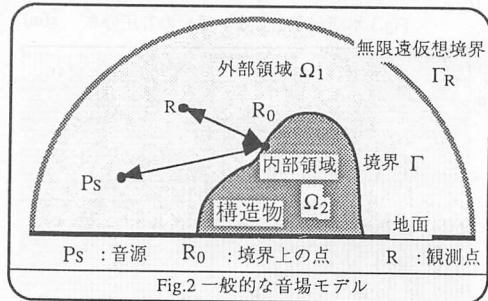


Fig.2 一般的な音場モデル

3. 降水量 (多孔率) の影響について

点音源を高さ 0.3 m に置き、周波数 200 (Hz) で、障壁がない場合に、多孔率をパラメータとして変化させ、空気中の水の量が音場に与える影響について調べた。ただし、水が地面に衝突する際に発生する暗騒音については考慮しない。また $\sigma=0$ とする。Fig.3 に水が存在しない場合、Fig.4 に多孔率 60% の場合の音圧分布を示す。空気中の水が多い場合は、全体的に音圧レベルが上昇していることがわかる。つまり、音波は遠方まで到達することを示している。このことは多孔率が小さくなると音速が速くなることに起因すると思われる。

4. 摩擦 (flow resistance) の影響について

次に、flow resistance σ をパラメータとして変化させ、空気中に存在する水による摩擦が音場に与える影響について調べた。多孔率は 100% とする。音源の種類、位置、周波数は 3. の場合と同様でそれぞれ点音源、高さ 0.3 m、周波数 200 (Hz) である。Fig.5 に $\sigma = 30 (\text{kg m}^{-3} \text{s}^{-1})$ の場合の音圧分布を示す。Fig.3 と比較することにより、全体的に音圧レベルが下がっていることがわかる。

5. 障壁周辺の音場

Fig.6 に障壁モデルの構成を示す。ここでは、多孔率 90%、 $\sigma = 30 (\text{kg m}^{-3} \text{s}^{-1})$ をパラメータとして選択し解析を行う。障壁はコンクリートとし、音波は障壁で完全反射するものとする。

仮想障壁モデルを用いて周波数 200Hz で精度の検

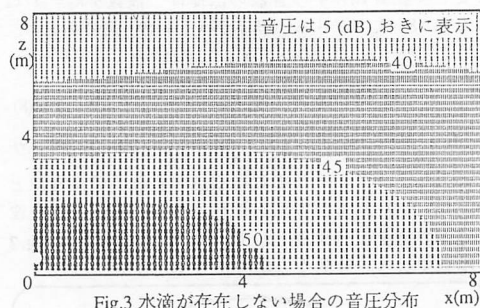


Fig.3 水滴が存在しない場合の音圧分布

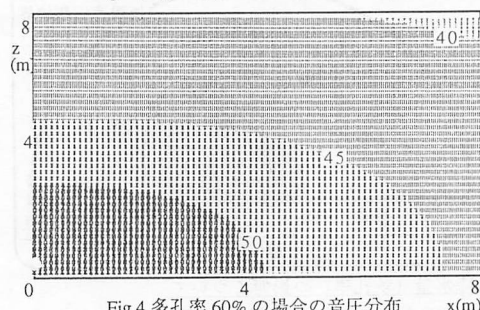


Fig.4 多孔率 60% の場合の音圧分布

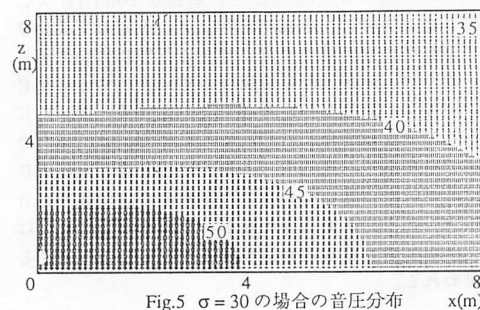


Fig.5 $\sigma = 30$ の場合の音圧分布

討を行った。上記のパラメータでは、境界要素法による誤差³⁾は約1.71%であった。Fig.7 に水滴が存在しない場合、Fig.8 に多孔率 90%、 $\sigma = 30 (\text{kg m}^{-3} \text{s}^{-1})$ の場合の障壁周辺の音圧分布を示す。選択したパラメータでは、 σ の影響が大きく、全体的に音圧レベルが低下している。特に、地面近くよりは遠方上方での減衰が大きく現れている。

6. おわりに

気象条件の影響のうち、降雨時の音波伝播を多孔質媒体中の音波伝播理論に置き換えてモデル化した。二つのパラメータについて音場に与える影響を調べ、障壁のある道路周辺の音圧レベルについて境界要素法解析を行った。

7. 参考文献

- 1) Morse and Ingard: Theoretical Acoustics, McGRAW - Hill, (1968), 252 - 255
- 2) 阿部ほか: 1991年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, (1991) 39 - 40

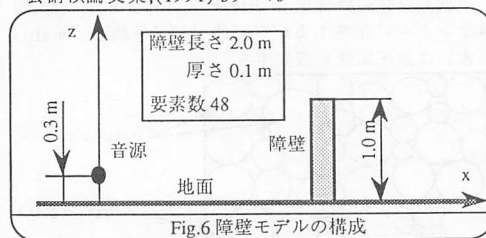


Fig.6 障壁モデルの構成

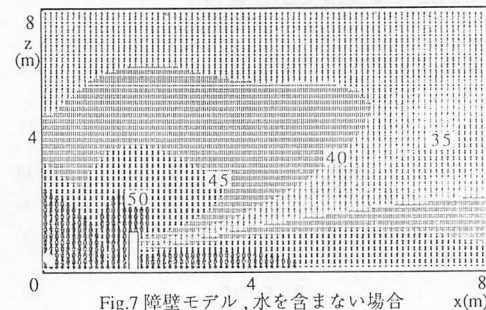


Fig.7 障壁モデル、水を含まない場合

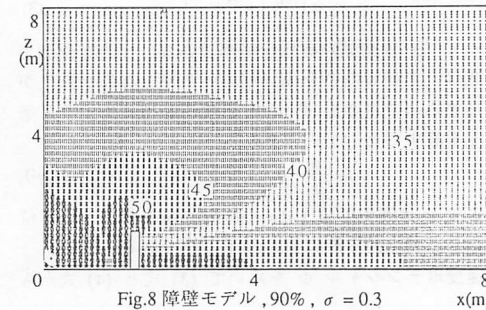


Fig.8 障壁モデル、90%、 $\sigma = 0.3$