

音場 吸音材結合系を考慮した騒音伝播モデルの開発

建設設計研究室 三原田 洋介

指導教官 宮木 康幸

1. はじめに

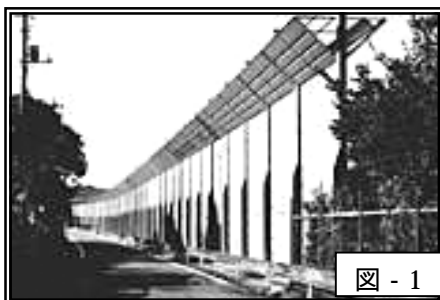
近年、さまざまな環境問題への関心が高まってきている。なかでも騒音問題は日常生活に関係の深い環境問題として、公害に関する苦情件数のうちで最も多くを占めている。

騒音の発生源は多種多様であるが、例年、工場・事業場騒音が最も多く、建設作業騒音、深夜営業騒音がそれに次いでいる。苦情件数の推移を見ると、それらは長期的には減少傾向にあるものの、道路交通騒音については横ばいとなっているのが現状である。

1.1 遮音壁の効果

音源から発せられた騒音は、受音点までの距離によってかなり減音する。また、騒音の伝播経路に障害物がある場合には、音がさえぎられ、音の回折作用による減衰効果によってよりいっそう減音される。この回折作用を利用したものが遮音壁であり、その形状によっては、音の伝播経路に経路差が生じ、減音効果に大きく影響してくる。

図-1に特殊形状のトナカ



イ型遮音壁の例を示す。「トナカイ型遮音壁」は既設の防音壁の上部に設置するもので、防音壁を乗り越える騒音を低減する効果がある。高さ1m（Vの開きは2m）の同遮音壁を上部に取り付けるだけで、従来の遮音壁の高さを3mかさ上げするのと同様効果（3dB以上の低減）が得られる。

1.2 研究目的

過去の研究（田村モデル）の解析においては音源を壁面に持つ比較的簡単な2次元閉空間における騒音伝

播プログラムの開発に成功した。しかし、本来求めたい音場、すなわち自由音場における音圧分布については解析不可能であった。この原因は、閉空間において壁面での反射を無くすることができなかつたためである。そこで本研究は、田村モデルと同様に有限要素法を用いた、自由音場における騒音伝播プログラムの開発を目的とし、その際、プログラム中に新たな境界条件を導入することで、騒音伝播モデルが自由音場へ適応できるか検討した。

2. 音響系

音場問題では、音の反射や散乱を伴うような半無限空間に開いた問題が数多くある。有限要素法は一般にこの種の問題が不得意であって、それを取り扱うには種々の工夫が必要である。そこで本研究は、壁面における境界条件を新たに加えることができる2次元試験関数6接点要素を用いて解析を行った。

2.1 消散系

系にエネルギーの消散（壁面のエネルギー吸収、放射、場の内部摩擦）が伴う場合、そのままではエネルギー関数として汎関数が複素量となり、単純にエネルギー停留の原理が適用できない。この場合、この消散に見合うだけのエネルギー湧出を伴う（すなわち負の摩擦の存在する）随伴系を導入することによって、汎関数を実数の形で構成することが可能である。図-2示すような音響閉空間を考える。

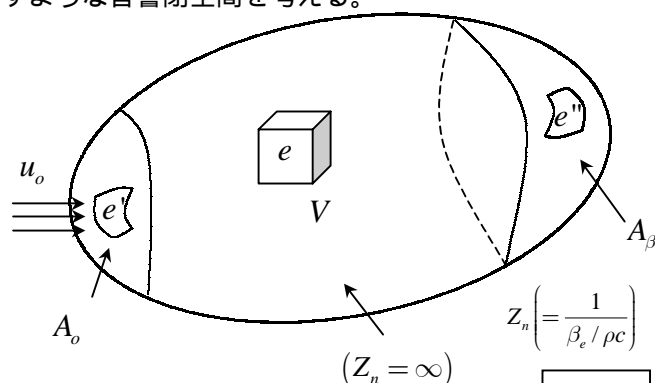


図-2

壁面の一部 A_β は任意の音響インピーダンス Z_n を持つ壁で囲まれ、一部 A_o では粒子速度 u_o で駆動されている系である。このような場の汎関数は、次のようになる。

$$L = V - T - W - J \quad (1)$$

ここで、各エネルギーの項は次のようになる。

$$T = \frac{1}{4\rho\omega^2} \int_V \left(\text{grad } p \cdot \text{grad } \bar{p}^* + \text{grad } \bar{p} \cdot \text{grad } p^* \right) dV \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{4\rho c^2} \int_V (p \bar{p}^* + \bar{p} p^*) dV \quad (3)$$

$$W = \frac{1}{4} \int_{A_o} (u_o \bar{p}^* + \bar{u}_o p^* + u_o^* \bar{p} + \bar{u}_o^* p) dA \quad (4)$$

J は、壁面より吸収されるエネルギーに関する項で、

$$J = \frac{j}{4\rho c \omega} \int_{A_\beta} (\beta p \bar{p}^* - \bar{\beta} \bar{p} p^*) dA \quad (5)$$

要素 e^n については次のような演算が行なわれる。

$$\begin{aligned} J_{e^n} &= \frac{j\beta_{e^n}}{4\rho c \omega} \int_{e^n} p \bar{p} dA_{e^n} \\ &= \frac{j\beta_{e^n}}{4\rho c \omega} \{p\}_{e^n}^T \left(\int_{e^n} \{N\} \{N\}^T dA_{e^n} \right) \{p\}_{e^n} \quad (6) \\ &= \frac{j}{4\rho c \omega} \{p\}_{e^n}^T [G]_{e^n} \{p\}_{e^n} \end{aligned}$$

ここで

$$[G]_{e^n} = \beta_{e^n} \int_{e^n} \{N\} \{N\}^T dA_{e^n} \quad (7)$$

最終的にマトリクス方程式は以下のように表される。

$$([M] - k^2 [K] + jk [G]) \{p\} = j\omega\rho v_o \{W\} \quad (8)$$

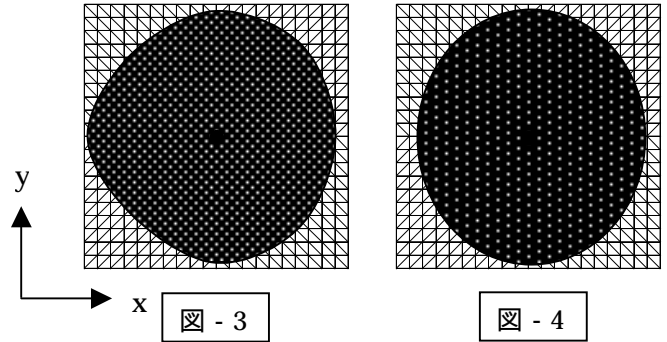
3. 騒音伝播プログラム

3.1 解析モデル

解析は一辺が 20cm の直角三角形を 800 個組み合わせた正方形をモデルとして行った。また、解析時の音圧は 100dB、周波数は 50Hz とし、音源をモデル中心から発信することにした。

3.2 解析結果

図 - 3 に田村モデルの音源をモデル中心に移し解析した結果、図 - 4 に本年度の解析結果を示す。



自由空間を想定した解析を行なう上で、田村モデルが自由音場(点音源)に適用できるかを検討し、また、本年度モデルとの比較も行った。

田村モデルの音圧分布からばらつきが見られるように、音のレベルが音源を中心に X 軸方向で均一ではないことがわかった。一方、本年度の解析においては音源を中心に X 軸、Y 軸方向ともに対象であることが証明された。

4. 結論

本年度の音の伝播モデルの解析においては、2次元音場において点音源から発せられた音圧が円状に伝播されて行くプログラムを開発することができた。

田村プログラムにおいては、点音源から発せられた音圧が均一な広がりを見せないことが判明した。この原因はプログラム作成段階で音の変位が方向を持ち合わせていることに気付かなかったためと考えられる。また、研究段階において音源を要素の中心ではなく、壁面からのみの解析としたために、プログラムが円状の広がりを見せる解析が出来ないことを見落としていたためでもある。

本年度の研究結果は、点音源から発せられた音が円状の広がりを見せるプログラムを開発することにとどまった。したがって、今後の課題は、壁面での反射を消散できるプログラムを開発し、さらなる自由音場の適用ができるプログラムを開発することである。