

# 有限要素法を用いた騒音伝播モデルの開発

前田製管株式会社 正会員 田村 有  
 長岡技術科学大学 正会員 宮木康幸  
 長岡技術科学大学 正会員 鳥居邦夫

## 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最も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。

このような状況の中、道路交通騒音の対策として、車両騒音の低減、低騒音舗装、騒音伝播低減などハード面の対策技術と交通規制、流通システム、交通網整備面からのアプローチなどのソフト面の対策技術など多岐にわたる研究開発が進められている。

交通騒音の伝播低減とは、遮音壁などの防音施設によるものである。音源から発せられた騒音は、受信点までの距離によってかなり減音する。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一層減音される。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、また材質によっても低減が期待できる。

近年、様々な形状や材質の遮音壁が開発され、実用化されてきているが、このような遮音壁の効果を確認するには音源から騒音が伝播してゆく様子を時々刻々追跡するような手法が必要である。このような手法には有限要素法を利用することが一般的であり、市販のプログラムも存在するが、特殊な形状・材質の場合には、有限要素法の要素マトリックスを変更する必要があるが、市販のプログラムではそのような作業が困難になることが多い。

そこで、本研究では、遮音壁の形状や材質による音圧軽減効果を解析可能な騒音伝播プログラムの開発を最終目的とした。このようなプログラムを短時間に開発することは困難であるため、本年度はまず、有限要素法を用いて比較的簡単な閉空間における騒音伝播モデルを作成し、自由音場へ適用できるか検討した。自由音場への適用には、そのモデルの境界条件として無限縁で音圧 = 0 とすることを考えた。

## 2. 系方程式の導出 <sup>1)</sup>

### 2-1 要素と試験関数

図 2 に 2 次元問題における三角要素を示す。本研究では図 2 示す 1 次試験関数 3 節点要素を用いてプログラムを作成した。

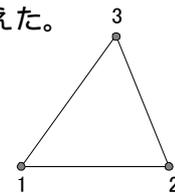


図 1. 2 次元問題の三角要素

### 2-2. 要素マトリックス方程式

音場の運動エネルギー  $T_e$ 、ひずみエネルギー  $V_e$ 、外部よりなされる仕事  $W_e$  は、要素  $e$  に関して次のように与えられる。

表 1 解析条件

$$T_e = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\rho \omega^2} \right) \iint_e (p_{,x}^2 + p_{,y}^2) dx dy \quad (1)$$

$$V_e = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\rho c^2} \right) \iint_e p^2 dx dy \quad (2)$$

$$W_e = \int_{\Gamma_e} u_n p dl_e \quad (3)$$

	条件 1	条件 2
モデルの大きさ	40m × 40m	
要素の大きさ	2m × 2m	
要素数	806	
節点数	446	
駆動節点番号	11,12,13	1 ~ 23
音圧	100dB	
周波数	50Hz 100Hz	500Hz 1000Hz

キーワード：特殊形状の遮音壁、室内音響理論式、自由音場

連絡先：〒998-8611 山形県酒田市上本町 6 番 7 号 TEL 0234-23-5111

$\partial L = \partial(V_e - T_e - W_e) = 0$  より、要素に関する  
マトリクス方程式は最終的に次のようになる。

$$([M]_e - \omega^2 [K]_e) \{p\}_e = -\rho \omega^2 \{u\}_e \quad (5)$$

ここで、 $\{p\}_e$  : 節点音圧ベクトル

$\{u\}_e$  : 節点変位ベクトル

また要素剛性マトリクス  $[M]_e$ 、要素質量  
マトリクス  $[K]_e$  のそれぞれの成分  $M_{ij}, K_{ij}$  は

$$M_{ij} = \iint_e \left( \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) dx dy \quad (8)$$

$$K_{ij} = \frac{1}{c^2} \iint_e (N_i N_j) dx dy \quad (9)$$

で表わされる。

### 2-3 要素の接合

(1) 要素間の共通節点では音圧は等しい (2) 節点の体積変位は連続である

上記の適合条件により要素の接合を行うと系方程式は  $[F]\{\phi\} = \{q\}$  となり、この式を用いて伝播プログラムを作成する。

### 3. 伝播プログラムの適用

図2に条件1、周波数  $f=50\text{Hz}$  の解析結果を示す。これは解析結果をモデル上に分布させ、等音圧(90dB、100dB)を結んだものである。矢印は等音圧線から考えられる音の流れを示したものである。

本モデルは閉空間における音圧分布を求めるものなので、室内音響理論式との比較を行った。室内音響理論の式<sup>2)</sup>はオーバーオール値の音圧レベル分布を求めるものであり、本モデルは各周波数ごとに求めるものなので、色々な周波数での音圧分布を求め、それを加算することでオーバーオール値の音圧分布を求めると、室内音響理論の結果に近づいていくことがわかった。したがって、本モデルは閉空間における各周波数の定常状態での音圧レベル分布を求めることができるといえる。500Hz、1000Hzのような高い周波数の場合、各節点間の音圧を一次関数と仮定しているため、うまく解析できなかった。そこで、モデルの大きさを1/10にして解析した結果、音圧レベル分布を把握することができた。したがって周波数の波長より小さい要素で解析を行わないとよい結果が得られないことがわかった。境界条件を無限縁で音圧=0として自由音場に適用できるか確認したところ、適用できないことがわかった。

### 4. 結論

本モデルにおいては、閉空間での各周波数における音圧分布を求めることができた。

本モデルを使用する際には、以下のような条件を満たさなければならない。

- ・要素の節点番号は反時計回りで入力する
- ・各要素の大きさは波長の範囲内の大きさに設定する

また、境界要素の音圧を0において、自由空間で適用できるか確認したが、自由空間での適用はできなかった。本研究では、最終的には特殊な形状の遮音壁の解析を目的としているため、今後は自由音場における伝播プログラムを直接開発することが必要である。

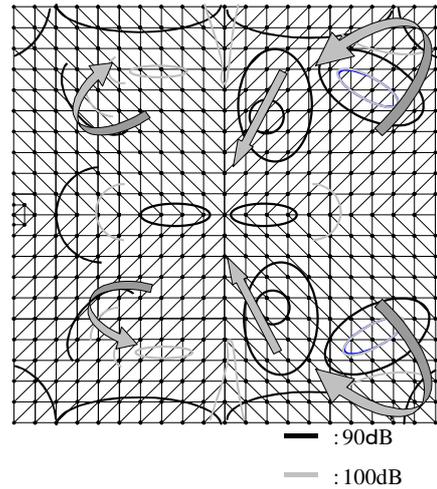


図2. 条件1  $f=50\text{Hz}$  の等音圧分布

- 参考文献：1) 加川 幸雄：振動・音響工学 / 基礎と応用 培風館  
2) 守田 栄：新版 騒音と騒音防止 オーム社