

# 吸音性媒質を挿入した閉空間の減衰特性 (拡散音場が成立しない場合の有限要素解析)

○山口誉夫 黒沢良夫 松村修二  
(群馬大) (富士重工業(株)) (富士重工業(株))

Damping behaviors of Closed Sound Field Having Sound Absorbing Materials  
Takao YAMAGUCHI Yoshio KUROSAWA Shuuji Matsumura  
(Gunma Univ.) (Fuji Heavy Industries Co.Ltd.)

拡散音場が成立しない条件(低次モード)における閉空間の音響減衰特性を有限要素法で解析した。吸音性媒質を空間内部の任意の領域に任意の形態で配置した場合を取り扱った。解析法の有効性を検証するとともに、吸音性媒質の最適配置を試みた。

Key Words:吸音材, 有限要素法, 閉空間, 最適配置, モード減衰

## 1. 緒言

自動車では、路面の凹凸に起因する振動が、足回り系を經由して車体に伝搬し、パネル部から音が放射される。これはロードノイズと呼ばれ、30Hz～8kHzにわたる現象である<sup>(1)</sup>。このうち、低周波数領域では、車室空間は音の波長に比べて充分広いとみなせない。このような拡散音場とみなせない条件で、車室内騒音の吸音特性解明に数値計算を援用する場合、定在波を考慮できる手法が必要となる。これについて境界要素法や有限要素法などの解析手法が提案されてきている<sup>(2)~(12)</sup>。しかし、従来の報告では、多孔質材の閉空間への配置は、数値実験による試行錯誤を経て最適化されている。

本報告では、モード減衰に対する材料の充填位置の寄与率を計算し、その分布をもとに多孔質材を閉空間に最適に配置する手法を提案した。数値計算例として音響管および室空間をとりあげ配置最適化法の有効性を検証した。

## 2. 多孔質材の配置の最適化方法

### 2.1 多孔質材を有する音場の離散化

多孔質材を含む二次元閉空間を有限要素で離散化する。周期的に加振される非粘性圧縮性完全流体の運動方程式は<sup>(9) (8) (3)</sup>、微小振幅の条件のもとでは次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} &= -\rho \omega^2 u_x, \\ -\frac{\partial p}{\partial y} &= -\rho \omega^2 u_y, \end{aligned} \quad (1)$$

連続の式は次のようになる。

$$p = -E \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) \quad (2)$$

ここで、 $u_x$ と $u_y$ はそれぞれ粒子変位のx方向成分およびy方向成分である。 $p$ は圧力、 $E$ と $\rho$ はそれぞれ体積弾性率と実効密度である。また、 $\omega$ は角周波数である。

要素内の音圧 $p$ と節点の音圧 $\{p_e\}$ との関係を適当な内挿関数 $N_i$  ( $i=1,2,\dots$ )を用いて次式のように近似する。

$$p = [N]^t \{p_e\}, \quad [N]^t = [N_1, N_2, N_3, \dots] \quad (3)$$

式(1)から式(3)より2次元問題の運動エネルギー $\tilde{T}$ 、歪みエネルギー $\tilde{U}$ 、ポテンシャルエネルギー $\tilde{V}$ を求める。エネルギー最小原理 $\delta(\tilde{U} - \tilde{T} - \tilde{V}) = 0$ を用いると次式を得る。

$$([K]_e - \omega^2 [M]_e) \{p_e\} = \omega^2 \{u_e\} \quad (4)$$

$\rho_e$ と $E_e$ はそれぞれ要素内部に充填された媒質の実効密度と体積弾性率である。 $\{u_e\}$ は要素の節点粒子変位ベクトルである。マトリックス $[K]_e$ および $[M]_e$ の*i*行*j*列成分はそれぞれ式(5)の $K_{eij}$ と式(6)の $M_{eij}$ となる。

$$K_{eij} = \frac{1}{\rho_e} \iint_e \left( \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) dx dy \quad (5)$$

$$M_{eij} = \frac{1}{E_e} \iint_e (N_i N_j) dx dy \quad (6)$$

式(4)は線形の圧縮性完全流体の要素の運動方程式となる。以降、式(4)中の $[K]_e$ を要素剛性マトリックス、 $[M]_e$ を要素質量マトリックスと呼ぶ。

多孔質材の内部の音場を表すモデルの1つに、密度と音速あるいは体積弾性率とを複素数とするモデルが提案されており、有効性が検証されている<sup>(9) (10) (11)</sup>。すなわち、次式を得る。