

Kelvin セルを用いたウレタンフォームの吸音解析

○黒沢 良夫
(帝京大)北村 武輝
(帝京大)森江 奏尊
(帝京大)石橋 圭太
(東ソー)伊東 浩幸
(東ソー)鈴木 啓介
(東ソー)

Sound insulation analysis of soundproofing materials made by laminating felt and rubber layers on acoustic metamaterials

Yoshio Kurosawa Ibuki Kitamura Kanata Morie Keita Ishibashi Hiroyuki Itou Keisuke Suzuki
(Teikyo Univ.) (Teikyo Univ.) (Teikyo Univ.) (Tosoh Co.,Ltd.) (Tosoh Co.,Ltd.) (Tosoh Co.,Ltd.)

吸音用のウレタンフォームは骨格と空洞からなり、空洞同士は骨格が破れた穴でつながっているが、構造が非常に複雑である。吸音特性を予測計算できる Biot-Allard モデルでは、計算に必要な Biot パラメータの取得が困難で、実際の材料開発に結び付きにくい。本研究では、発泡系吸音材の吸音特性について簡易化された微視構造モデル (Kelvin セル) を用いて吸音特性の予測計算を行った。空洞部分を有限要素でモデル化し、音響解析を実施した結果について報告する。

Key words: Acoustic, Sound absorption, CAE, FEM

1. はじめに

自動車や住宅や家電等の騒音低減のため、吸音用の発泡ウレタンフォームが用いられている。これらは骨格 (膜) と空洞からなり、空洞同士はつながっていて構造が非常に複雑である。一般的にウレタンフォームの吸音率を計算する場合、Biot-Allard モデル⁽¹⁾ が用いられる。計算で用いられる Biot パラメータは専用の計測機で計測して求めるが、Biot パラメータと実際の材料開発時の諸元 (セル径、骨格 (膜) の破れ具合、穴径など) とは結び付きにくい。本研究では発泡系吸音材の吸音特性について簡易化された微視構造モデル (Kelvin セル)⁽²⁾⁽³⁾ を用いて吸音特性の予測計算を行った。Kelvin セルとは、セルの表面積を最小にし最も効率よく空間を充填できる構造で、正六角形 8 面、正方形 6 面からなる 14 面体である。ウレタンフォームの 1 つのセルを Kelvin セルとみなし、空洞部分 (空気) を有限要素でモデル化し、音響解析を実施した。音響管による垂直入射吸音率 (以後吸音率はすべて垂直入射吸音率) 計測結果と FE モデルの計算結果の比較、各種パラメータスタディを行った結果について報告する。

については以下のモデルを用いた。穴音の波長に対して極端に狭い空間では、空気の有する粘性により壁面境界近傍において粘性減衰が生じる。また、音の伝播過程において膨張・圧縮により発生した熱は、空気の熱容量に比して大きい壁面材料に伝達し散逸する。そのため、微小な空間を伝播する音波については、微小振幅を仮定して線形化した Navier-Stokes 方程式、熱伝導方程式、質量保存則および状態方程式の 4 つの式を基本支配方程式として考えるのが一般的である⁽⁶⁾。

変位・圧力・密度・温度の変動を微小として方程式を線形化すると式 (1) ~ 式 (3) を得る。

$$\rho_0 j\omega \mathbf{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \frac{1}{3} \mu \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v}) \quad (1)$$

$$\kappa \nabla^2 \tau = j\omega \rho_0 C_p \tau - j\omega p \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} + j\omega \left(\frac{\delta}{\rho_0} - \frac{\tau}{T_0} \right) = 0 \quad (3)$$

ρ_0 : 空気の密度, j : 虚数単位, ω : 角周波数, p : 音圧変動, μ : 空気の粘性係数, \mathbf{v} : 速度変動, κ : 空気の熱伝導率, τ : 温度変動, C_p : 定圧比熱, δ : 密度変動である。今回は計算負荷を考慮し、管などの断面内で音圧が一定と仮定し、断面内において平均化し音圧のみを未知数にする計算手法⁽⁷⁾⁽⁸⁾を用いると計算負荷が低減できる。

2. 計算手法と有限要素モデル

2・1 計算手法

音響空間の計算は一般的な Helmholtz 方程式⁽¹⁾を用いた。セルとセルの空間がつながっている穴