

# マルチスケールモデリングによる多孔質吸音材料の音響挙動の不確実性分析 手法の比較

○小松 洋輔      山本 崇史  
(工学院大学大学院) (工学院大学)

Comparison of methods for uncertainty analysis of  
acoustic behavior of porous sound-absorbing materials using multiscale modeling

Yosuke KOMATSU      Takashi YAMAMOTO  
(Kogakuin University) (Kogakuin University)

微視構造のばらつきを考慮した多孔質吸音材の音響特性を解析するため、マルチスケール解析と確率論的手法による不確実性分析手法が提案されている。確率論的手法では必要な計算資源と予測精度が相反する関係にあり、これを解決するために摂動計算、代理モデルおよび機械学習を用いた方法が提案されている。本講演ではこれらの手法を比較し、それぞれの特徴を説明する。

Key words : 吸音率, 感度解析, FEM, 防音材

## 1 はじめに

自動車や建築など多くの産業の騒音対策として多孔質型吸音材が用いられている。多孔質型吸音材は数 $\mu\text{m}$ から数百 $\mu\text{m}$ 程度の微小な流路と固体相から構成される。音波が多孔質材料に入射すると、粘性や伝熱でエネルギー散逸が生じ音響エネルギーが減少する。このような吸音現象を予測するため、これまでに様々な数値計算モデルが提案されている。Biotのモデル<sup>(1)(2)</sup>は固体相と流体相の両方の影響が考慮されており、広く用いられている。多孔質材料の微視構造から吸音率を予測するマルチスケール解析の手法としては、山本らが漸近展開法に基づく均質化法による手法を報告している<sup>(3)</sup>。マルチスケール解析では多孔質材料の微視構造が代表的な単位構造の繰返しで構成されていると仮定し、ミクロスケールの支配方程式に均質化法を適用して多孔質吸音材モデルを導出している。そのため、多孔質材料の微視構造から直接的に吸音率を計算でき、吸音材の設計で実用的な数値計算手法となる。しかし、マルチスケール解析で仮定された周期境界条件では、現実の材料に存在する微視構造や材料特性のばらつきを考慮することは困難である。微視構造のばらつきにより吸音特性が変化することを Trinhら<sup>(4)</sup>などが報告しており、これ

らを考慮した材料設計は製品のロバスト性を高める上で重要である。そこで、本研究では多孔質型吸音材を対象として、微視構造の不確実性を考慮したマルチスケール解析の手法を説明し、各手法の特徴についてまとめる。

## 2 多孔質吸音材の均質化

均質化法にもとづく多孔質吸音材の均質化法について説明する。詳細は山本ら<sup>(3)</sup>の文献を参照いただきたい。

3次元的に周期的な単位構造(ユニットセル)を有する多孔質吸音材を考えた時の固体相の支配方程式は線形弾性体の平衡式・構成式・変位ひずみ関係式とし、流体相では微小振幅の調和振動を仮定した線形化 Navier-Stokes 方程式とする。また流体層の温度場は熱力学第一法則とし、固体相の比熱が十分に大きいことから流体相にのみ適用する。固体相と流体層の境界では速度、垂直応力および温度が連続であるという境界条件を課している。求めた均質化特性を用いてマクロスケールの支配方程式を音響管を模擬したモデルで有限要素法により計算し、垂直入射吸音率を求めた。