

## 音響メタマテリアルにフェルトとゴム層を積層した防音材の遮音解析

○岩井 大地  
(帝京大)黒沢 良夫  
(帝京大)福井 一貴  
(寿屋フロンテ)原山 和也  
(寿屋フロンテ)荏原 裕典  
(寿屋フロンテ)

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

Daichi Iwai

Yoshio Kurosawa

Kazuki Fukui

Kazuya Harayama

Ebara Hironori

(Teikyo Univ.)(Teikyo Univ.)(Kotobukiya Fronte Co.,Ltd.)(Kotobukiya Fronte Co.,Ltd.)(Kotobukiya Fronte Co.,Ltd.)

PPをハニカム構造に加工したものの上下にフィルムを貼り、膜振動による吸音効果を持つ音響メタマテリアルを作成した。さらにフィルム部分に小さな穴を開け、ヘルムホルツ共鳴による吸音効果を追加した。自動車トリムへの適用を考慮し、本構造にフェルトとゴム層を積層した。本構造を有限要素法でモデル化し、透過損失の計測結果・計算結果について報告する。

Key words: Acoustic, Sound insulation, CAE, FEM, Metamaterial

## 1. 緒言

近年、自動車の快適性が重視され、車内騒音の低減(車内静粛性の向上)がすすんでいる。環境問題への対応から、電気自動車やハイブリッド車の割合が増えてきている。これらの自動車では、エンジン騒音が減った分、風切り音やタイヤ騒音が目立つ結果となり、対策が必要となってきた。ドアミラー、ピラー形状、車両外観等の風切り音の音源対策やタイヤ単体での騒音対策にも限界があり、コスト・重量も考慮すると車体側での対策が重要である。また、日本では国連の車外騒音規制への対応もあり設計構想段階から低騒音化が求められている。新たな車外騒音規制では、従来と走行条件が異なり、車外騒音に対するタイヤのパターンノイズの寄与が大きくなっている。そのため、これらの騒音を音響メタマテリアルを用いて低減することを考えた。

メタマテリアルとは人工的に作られた物質という意味であるが、音響で用いる場合は、膜振動や共鳴を持つ小型の微細構造を周期的に配置するものが多い。本研究では1枚のPP(ポリプロピレン)のシートを折りたたみ、六角形の断面形状のハニカムの繰り返し構造を作る。そこにPPやPE(ポリエチレン)からなる薄いフィルムを接着することにより、フィルムの面外振動により音響エネルギーを吸音する音響メタマテリアルを用いた<sup>(1)</sup>。本論文では、フィルムに穴を開けることでヘルムホルツ共鳴による吸音効果を付与した構造<sup>(2)</sup>のテスト

ピースについて、自動車トリムへの適用を考慮し、本構造にフェルトを積層したテストピースを作成した。テストピースの最上部にゴム、音響メタマテリアルの上面、下面、両面にフェルトを積層した場合、それぞれ穴なし、上面穴あり、下面穴あり、両面穴ありの場合に遮音性能にどのように影響があるか計測結果を比較した。また、有限要素法を用いてモデルを作成し、遮音性能の解析を行った。計測結果との比較等を報告する。

## 2. テストピースの計測結果と計測結果

## 2・1 計算手法

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(3)。

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。

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

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

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