

温度依存性を考慮した繊維系防音材の音響特性に関する研究 - 空気の温度依存性 -

日大生産工(院) ○森木 俊輔

日大生産工(院) 石井 仁樹
日大生産工 高橋 亜佑美日大生産工(学部) 平野 洗祐
日大生産工 見坐地 一人

1 まえがき

近年の車外騒音規制, 及び燃費基準値の強化に伴い, 自動車は更なる静粛性が求められ, 騒音の低減が重要視されている. 今までは, 防音材の積層構造や, 防音材にフィルムを貼ることによる通気性の調整などにより, 防音材の高性能化を行い, 自動車のフロアやダッシュに使用することで, 静粛性の向上を行ってきた. しかし, 同手法によるこれ以上の静粛性の向上は難しくなっており, 今までと異なる観点からの研究が必要となってきた. そこで我々は, 音の発生源の1つであるエンジンの周辺に耐熱性能の高い無機繊維系材料で囲い, 吸音, 遮音することで, 効率よく音を減らせるのではないかと考えた. また, 繊維系材料は保温性が高く, 一般的にエンジンは保温することで燃費がよくなるため, 車外騒音の低減と燃費向上の両立が可能である. しかし, エンジン周辺は高温になるため, 解析を行う際に音響特性の温度依存性について考慮する必要がある. 防音材が高温などの常温と異なる温度で使用される例は決して少なくない. しかし, 常温以外で吸音率の測定を行った例はほとんど見あたらない. また, 防音材料の物性値の変化はもちろん, 基本的に重要と思われる空気の密度や粘性係数の変化などの影響も詳細が不明のままである.

本論では, 実験とシミュレーションを用いて, 温度依存性を考慮した数理モデル構築を目指す第1段階として, 防音材を囲む空気の温度依存性について考察することを目的とする. ここでは, 無機繊維系材料のグラスウールについて検証を行う.

2 解析手法

2.1 有限要素法

今回行った解析には, 有限要素法を用いた. 有限要素法(FEM)とは, 数値解析手法の1つであり, 複雑な形状や性質をもつ連続体を, 単純な形状や性質を持った要素(メッシュ)に分割して, 1つ1つの要素の特性を数学的な方程式を用いて近似し, 全ての方程式が成立する解を求めることにより連続体の挙動を予測する手法である.

2.2 解析モデル

垂直入射吸音率測定に用いた音響管のFEM解析モデルをMSC Software社のActranを用いて作成した. 解析モデルを図1に示す.

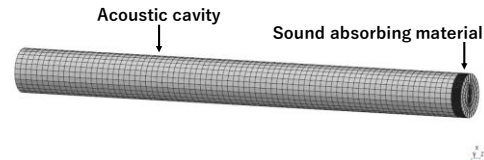


図1 FEMを用いて作成した音響管モデル

3 実験

3.1 試験体

試験体には, 繊維径1.5, 5.0 μm のグラスウールを用いた. 繊維径の評価はSEM(走査型電子顕微鏡, 日本電子製, JSM7600F)で形状観察を行い, 測定した. 繊維状サンプルのデータを表1に示す. 実験に使用したサンプルとSEMによる繊維のイメージを図2に示す.

表1 繊維状サンプルのデータ

No.	繊維径 [μm]	重量 [g]	厚さ [mm]	直径 [mm]	嵩密度 [kg/m^3]
1	1.5	0.158	9.5	40.3	13.0
2	5.0	0.330	9.4	40.0	19.3

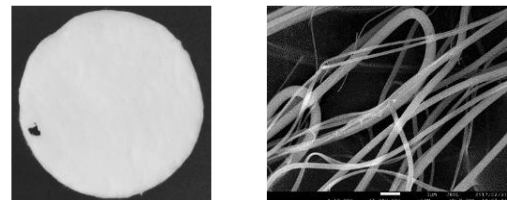


図2 サンプルとSEMによる繊維のイメージ

3.2 実験方法

今回は, 2マイクロホン法を用いて垂直入射吸音率の測定を行った. 音響管内の音場のモデルを図3に示す.

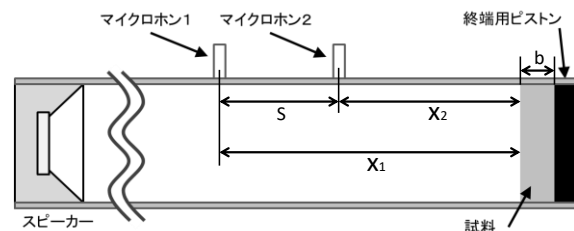


図3 音響管内の音場のモデル

Study on Acoustic Characteristics of Fiber Insulation in Consideration of Temperature Dependence - Temperature Dependence of Air -

Shunsuke MORIKI, Masaki ISHII, Kousuke HIRANO,
Ayumi TAKAHASHI and Kazuhito MISAJI

試料に入射する音波 P_I ，試料からの反射波 P_R は式(1)，式(2)のように表される。

$$P_I = \hat{P}_I e^{jk_0 x} \quad (1)$$

$$P_R = \hat{P}_R e^{-jk_0 x} \quad (2)$$

$\hat{P}_I$ は試料表面($x=0$)における入射波の振幅， $\hat{P}_R$ は試料表面における反射波の振幅， k_0 は複素波数である。また，管内の音場は入射波と反射波の和で表せるため，マイクロホン1での音圧 P_1 ，マイクロホン2での音圧 P_2 は式(3)，式(4)のように表せる。

$$P_1 = \hat{P}_I e^{jk_0 x_1} + \hat{P}_R e^{-jk_0 x_1} \quad (3)$$

$$P_2 = \hat{P}_I e^{jk_0 x_2} + \hat{P}_R e^{-jk_0 x_2} \quad (4)$$

ここで，入射波，反射波のみが存在する場合のマイクロホン2点間の伝達関数は，式(5)，式(6)のように表される。

$$H_I = \frac{P_{2,I}}{P_{1,I}} = e^{-jk_0(x_1-x_2)} = e^{-jk_0 s} \quad (5)$$

$$H_R = \frac{P_{2,R}}{P_{1,R}} = e^{jk_0(x_1-x_2)} = e^{jk_0 s} \quad (6)$$

これより，マイクロホン2点間の伝達関数は，式(7)のように表せる。

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\hat{P}_I e^{jk_0 x_2} + \hat{P}_R e^{-jk_0 x_2}}{\hat{P}_I e^{jk_0 x_1} + \hat{P}_R e^{-jk_0 x_1}} = \frac{e^{jk_0 x_2} + r e^{-jk_0 x_1}}{e^{jk_0 x_1} + r e^{-jk_0 x_1}} \quad (7)$$

式(7)より，複素音圧反射率 r は式(8)のように表せる。

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R - H_{12}} e^{2jk_0 x_1} = r_r + jr_i \quad (8)$$

式(8)より，垂直入射吸音率は式(9)のように算出できる。

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (9)$$

4 解析結果

繊維径が1.5 μm ，5.0 μm のFEMを用いて作成したモデルから算出した垂直入射吸音率と，音響管で測定した実測値との比較を図4に示す。繊維径が1.5 μm ，5.0 μm のFEMを用いて作成したモデルの空気のパラメータ変更時の垂直入射吸音率を図5，6示す。

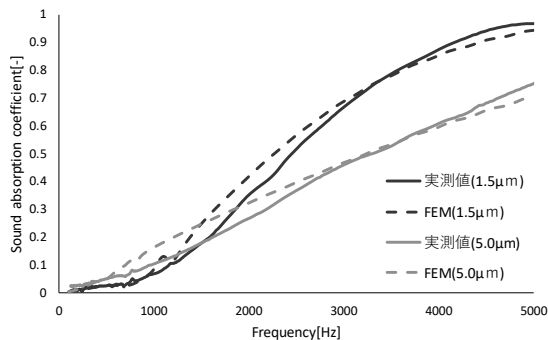


図4 FEMで求めた吸音率と実測値との比較

図4より，グラスウールの繊維径1.5 μm ，5.0 μm のどちらの試験体においても，1000～2500[Hz]で最大0.1程度の差異があった。

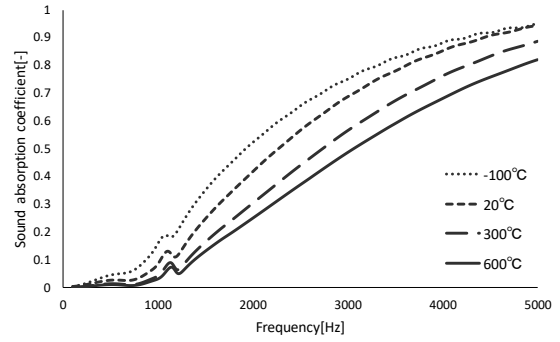


図5 空気のパラメータ変更時の吸音率(1.5 μm)

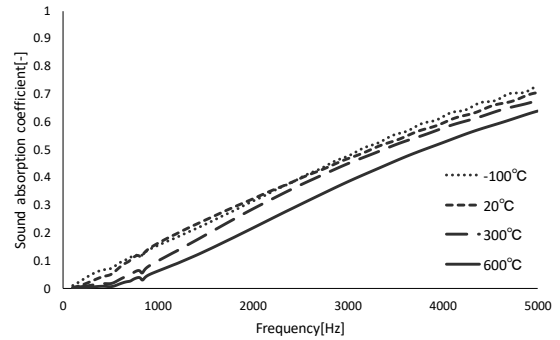


図6 空気のパラメータ変更時の吸音率(5.0 μm)

図5，6より，100～5000[Hz]では，温度が上がるにつれ吸音率が悪化することが分かった。

5 考察・まとめ

グラスウールの繊維径1.5 μm ，5.0 μm のどちらの試験体においても，実測値と解析結果が概ね一致したため，高い精度で音響特性を予測可能であることがわかる(図4)。また，空気のパラメータの温度依存性を考慮した場合，温度が上がるにつれて吸音率のピークが高周波側にずれ，ピークの高さも若干上がることが分かった(図5，6)。吸音特性に影響を与えるパラメータとして，気体の密度と音速が大部分を占めていると考えられるが，その他のパラメータが与える影響についても考えていく必要がある。

今回，空気パラメータ変更時の吸音特性における傾向はおおむね掴むことができた。今後の課題としては，解析モデルにおける感度の高いパラメータの検討を行ってきたい。

「参考文献」

- 1) 鈴木雄祐，見坐地一人：自動車の中高周波騒音予測手法に関する研究，修士論文，平成25年，P15-16
- 2) 日東紡音響エンジニアリング：WinZac(2006/02/24)，P6-8
- 3) 乗用自動車のエネルギー消費性能の向上に関するエネルギー消費機器等製造事業者等の判断の基準等(平成二十五年経済産業省・国土交通省告示第二号)
- 4) 野口，土居，多田，見坐地：次期大衆車軽量防音パッケージの開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.123-05，p.11-15(2005)
- 5) Tada, H., "Establishment of Performance Design Process for Vehicle Sound-Roof Packages Based on SEA Method," SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 8(1):8-15, 2015, doi:10.4271/2015-01-0664.