

有限要素法を用いた繊維系防音材の音響特性予測技術に関する研究

日大生産工(学部) ○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 見坐地 一人
ニチアス(株)浜松研究所 三木 達郎 ニチアス(株)浜松研究所 藤澤 生磨 ニチアス(株)浜松研究所 安藤 大介

1 まえがき

近年,CAE解析は設計を行う上で欠かせない技術となってきた。CAEとは,製品開発の初期段階から,コンピュータを用いた仮想試作・仮想試験を十分に行い,できるだけ少ない試作回数で,素性のよい,高品質な製品開発を行うためのコンピュータを活用した設計技術である。CAEを有効に使うためには精度検証が必要である。そのため,防音材の音響特性を高い精度で予測するには,同様に精度の高い実測値が必要である。しかし,測定方法によっては実験装置の影響を受けてしまうことが考えられる。そこで,精度の高い測定を行う際に実験のばらつきが測定結果に与える影響について知見を得ることは大変有意義であると考えられる。

本論では,有限要素法を用いてモデルを作成し,測定装置のさまざまな条件が測定値に与える影響と対策を考察することを目的とする。

2 有限要素法

有限要素法とは,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。

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。SEMによる繊維の画像を図1に示す。繊維状サンプルのデータを表1に示す。

No.	繊維径 [μm]	重量 [g]	厚さ [mm]	直径 [mm]	高密度 [kg/m ³]
1	1.5	0.158	9.5	40.3	13.0
2	5.0	0.317	13.1	39.9	19.3

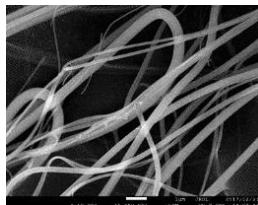


図1 SEMによる繊維の画像

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。吸音管内の音場のモデルを図2に示す。

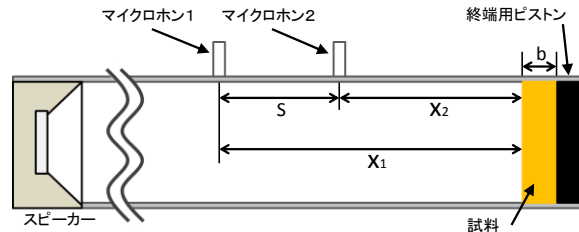


図2 吸音管内の音場のモデル

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)のように表される。

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

$s = x_1 - x_2$ であるため, s は2つのマイクロホン間の距離を表している。同様に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(6)のように表される。

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

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。

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

Study on acoustic characteristics prediction technology of fiber sound insulation materials using finite element method

Shunsuke MORIKI, Masaki ISHII, Ikuma FUJISAWA, Ikuma FUJISAWA,
Daisuke ANDO, Ayumi TAKAHASHI and Kazuhito MISAJI

式(7)より,複素音圧反射率 $\mathbf{r}$ は式(8)のように表せる。

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

式(8)より,垂直入射吸音率は式(9)のように算出できる。

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

α の値が大きいくほど,吸音率が高いことを表している。

4 解析モデル

今回の解析モデルとして,FEMを用いて作成したモデルを図3に示す.モデル作成及び解析にはMSC Software社のActranを用いた.円の直径は40[mm],空気層の長さは0.43[m],吸音層の厚さは繊維径によって異なり,1.5[μm]と5.0[μm]のとき,それぞれ9.5[mm]と13.1[mm]で作成した.そして垂直入射吸音はmodal duct面での,1-(放射パワー)/(入射パワー)で算出した.この時の,解析周波数は100~2000[Hz]とした.

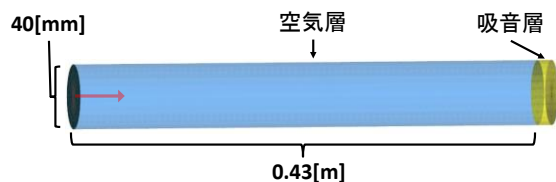


図3 吸音管のFEMを用いて作成したモデル

5 解析結果

繊維径が1.5 μm ,5.0 μm 時の,Limp Porous Model,FEMを用いて作成したモデルのそれぞれから算出した吸音率と,吸音管で測定した実測値との比較を図4, 5, Limp Porous ModelとFEMを用いて作成したモデルの背後空気層変更時の吸音率を図6, 7示す。

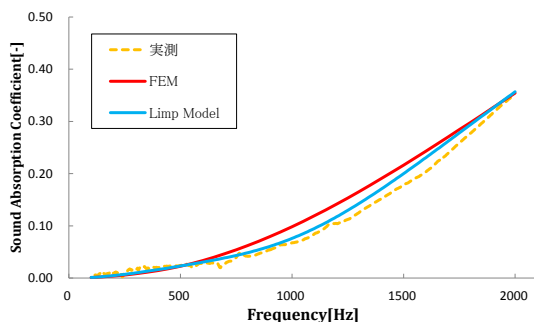


図4 実測値との比較(繊維径:1.5 μm)

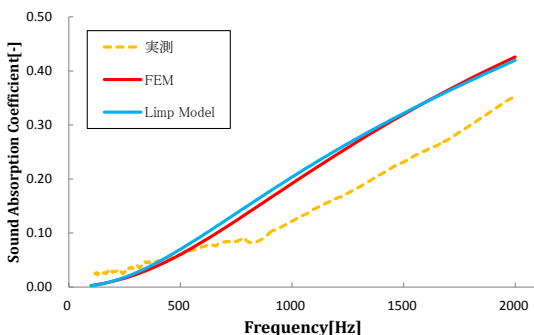


図5 実測値との比較(繊維径:5.0 μm)

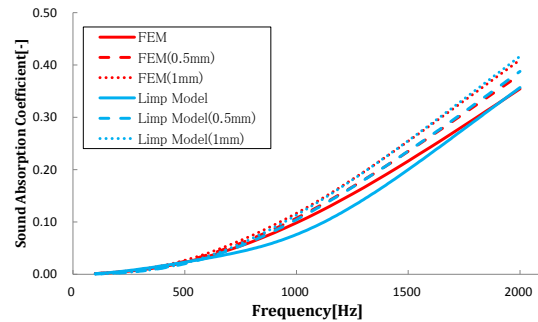


図6 背後空気層変更時の吸音率(繊維径:1.5 μm)

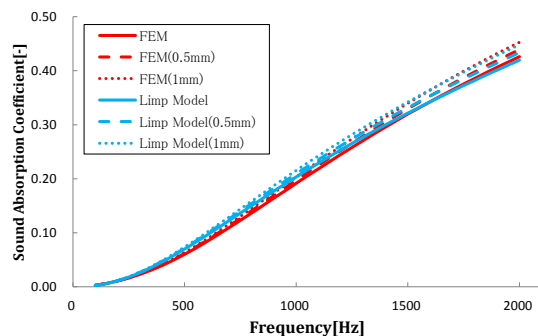


図7 背後空気層変更時の吸音率(繊維径:5.0 μm)

6 考察・まとめ

繊維径が1.5 μm の試験体では,CAEの解析結果と実測値に近い値になったため,高い精度で音響特性を予測可能であることを確認することができた(図4). 繊維径が5.0 μm の試験体では, 試料中の密度ムラが大きくなり,局部的に密度の低い部分が生じたため,実測値が若干低めになったと考えられる(図5). すなわち試験体の品質の問題であると考えられる. Limp Porous ModelとFEMを用いて作成した2つのモデルの600~1500Hz間で誤差が出てしまったのは,それぞれの解析手法の違いが原因であると考えられる. また, 繊維径が1.5 μm ,5.0 μm どちらの場合においても,背後空気層を大きくすると吸音率がよくなることが確認できた(図6,7).

今回は,背後空気層が吸音率に与える影響を確認することができた. しかし,吸音管を用いて吸音率の測定を行う際,背後空気層の影響以外に様々な影響があると考えられる. 今後は,吸音材が吸音管内部側面で固定されてしまった場合や,吸音材の径が小さく,側面に隙間ができてしまっている場合などの様々な境界条件においてシミュレーションと実験を行い,実験のばらつきが測定結果に与える影響とその対策を考えていきたい。

「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) 見坐地一人,石井仁樹,高橋亜佑美,三木達郎,藤澤生磨,安藤大介: 繊維体吸音材料のBiot パラメータの推定,自動車技術会