

多層型吸音材における吸音特性の最適設計

下山 力生・真田 明

Rikio SHIMOYAMA, Akira SANADA

キーワード 吸音材料／多層／最適設計

KEY WORDS Sound absorbing material / Multilayer / Optimum design

1. はじめに

自動車、医療機器産業などでは、低騒音化が求められており、軽量かつ薄い材料によって、高い防音効果を目指す研究開発が盛んに行われている。その中で、異なる吸音材料を積層することによって、吸音性能を向上させる動きがある。しかし、現状では、吸音材料の積層設計は、積層する多くの組み合わせパターンについて、実測による試行錯誤を繰り返しながら最適なパターンを見つけなければならない。そこで、軽量、小型で高性能な音響材料の開発を目指す中で、積層する材料個々の音響特性の測定値から、積層体全体の最適な積層条件を計算にて決定する手法について検討した。

2. 吸音性能の最適設計

2.1 材料定数の測定

図1に示す音響特性測定装置(BK製:Type 4206)にて材料定数を求める。材料定数とは、材料の音響特性を示す材料固有の複素定数であり、特性インピーダンス Z_c と伝搬定数 γ からなる。材料定数の測定方法は、試料背後の空気層厚さが異なる2種類の条件にて行い、それぞれの入射波及び反射波から求める。

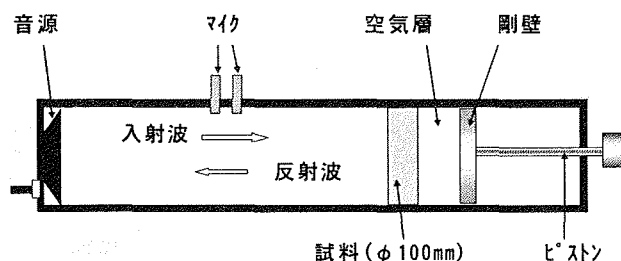


図1 音響測定装置詳細

2.2 積層体の吸音率の計算方法

積層吸音材の吸音率は、測定された個々の材料の材料定数から伝達マトリクス法¹⁾にて算出する。伝達マトリクス法とは、各層の材料定数及び材料厚さを因子とした伝達関数から吸音率を計算する方法である。

通気性のある材料の吸音率は、

$$\alpha = 1 - |(Z_m - Z_0)/(Z_m + Z_0)|^2 \quad (1)$$

ただし、

$$Z_m = (T_{m,0}^{(1,1)} \cdot Z_0 + T_{m,0}^{(1,2)}) / (T_{m,0}^{(2,1)} \cdot Z_0 + T_{m,0}^{(2,2)}) \quad (2)$$

$$T_{m,0} = T_{m,m-1} \cdot T_{m-1,m-2} \cdot T_{n+1,n} \cdot T_{n,n-1} \cdots T_{2,1} \cdot T_{1,0} \quad (3)$$

$$T_{n,n-1} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_n l_n) & Z_n \sinh(\gamma_n l_n) \\ 1/Z_n \sinh(\gamma_n l_n) & \cosh(\gamma_n l_n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここで、 α :吸音率、 Z_n :積層体の表面での音響インピーダンス、 $T_{m,0}$:積層体全体の伝達行列、 Z_n : n 層を伝播する音波の特性インピーダンス、 γ_n : n 層を伝播する音波の伝搬定数、 l_n : n 層の厚み、 Z_0 :空気特性インピーダンスである。

2.3 最適設計計算

最適設計計算では、材料定数及び開発した計算プログラムを用いて、設定した全ての積層条件の中から、目標周波数帯域の平均吸音率が最も高い積層条件を自動的に求める。つまり、積層する材料個々の材料定数を測定すれば、吸音性能が最も高い材料厚み及び積層順序が算出できることになる。なお、設定できる積層条件は、図2に示すように、積層全体厚み、背後空気層厚み、各材料の厚み、材料の積層順序であり、それぞれ固定又は可変の設定が可能である(積層は4層まで、設定条件は3万通りまで)。

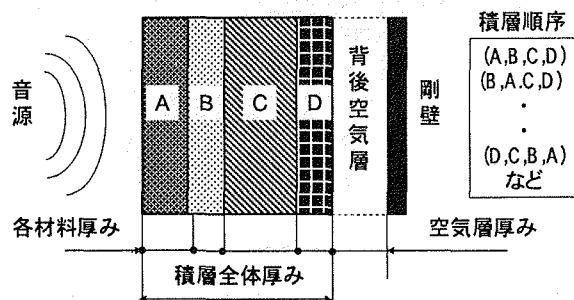


図2 積層条件

2.4 最適設計計算例

3つの材料(A:不織布, B:PET 繊維, C:PP 系繊維)を積層する場合について最適設計を試みた。計算設定条件は、目標中心周波数を 1kHz, 積層全体厚みを 30mm, 各層の厚み変化量を 5mm, 背後空気層を 0mm とした。

計算結果を表 1 に示す。表 1 において、平均吸音率は、最大値が積層条件 Case1 の 0.917 で、最小値が Case3 の 0.470 となった。積層条件によって、吸音率に大きな違いが生じる結果が得られた。また、計算結果の妥当性を検証するため、表 1 と同じ条件について吸音率の測定を行った。結果を図 3 に示す。計算結果が実験結果とほぼ一致したことから、計算精度は充分であり、提案した手法は実際の設計に有用と考える。

2.5 積層する材料の選択

積層する材料の選択方法を把握して、より効果的に最適設計を行うため、材料定数の各パラメータによる吸音率への影響を検討した。結果として、吸音率は、材料定数の全てのパラメータについて、音源から、より近い層の方が影響を受けた。また、材料定数の各パラメータの中で、特性インピーダンス Z_c (実数部) 及び 伝搬定数 γ (虚数部) の影響が大きく、 γ (実数部) 及び Z_c (虚数部) が比較的小さかった。さらに、 Z_c (実数部)、 γ (実数部)、 γ (虚数部) 及び材料厚みが増加、又は Z_c (虚数部) が減少すると、吸音曲線は、低周波数側へ移行する傾向が見られた。

ここで、積層する材料の選択によって、吸音性能が変わる一例を図 4 に示す。図 4 は、1 層目の Z_c (実数部) のみが変化した場合の吸音曲線である。 Z_c (実数部) の増加とともに、吸音曲線が低周波数側へ推移している。よって、より低い周波数の吸音性能を求める場合には、 Z_c (実数部) が大きい材料を第 1 層目に選択すれば良いことが理解できる。

3. まとめ

多層型吸音材料の高性能化、吸音材料の積層設計における効率化が図れるようになった。今後は、多層型の吸音メカニズムを解明することによって、目標とする周波数帯域で吸音性能が高くなる材料の選択方法及び積層条件について、さらに検討を進める。また、通気性のない材料を含む多層型吸音材についても、最適設計手法の確立を目指す。

参考文献

- 1) 山口誉夫：遮音における抵抗要素の役割, 制振工学研究会, 会報 29 号 (No.16, No.1), pp. 2-13, 2004/01

表 1 最適設計計算結果

	順序 1	順序 2	順序 3	平均吸音率
Case1	A (5mm)	C (5mm)	B (20mm)	0.917
Case2	C (5mm)	B (20mm)	A (5mm)	0.751
Case3	C (20mm)	B (5mm)	A (5mm)	0.470

※全 60 パターンから抜粋して表記

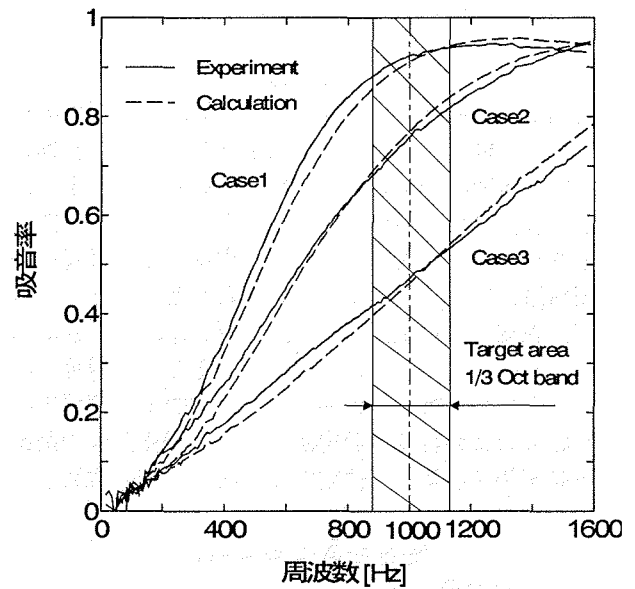


図 3 実験値と計算値との比較

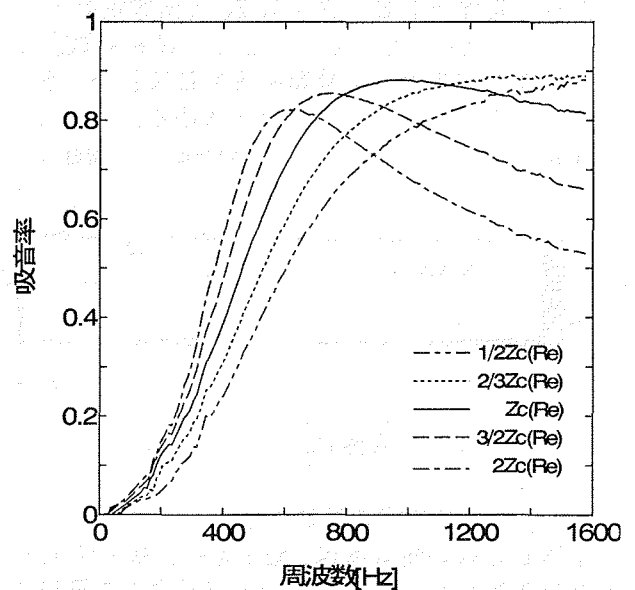


図 4 Z_c (実数部) と吸音曲線の関係