

グラスウールの垂直入射吸音率の理論予測

小島 真路 (機械・材料技術部 機械計測グループ)
板谷 透、岡村 和馬 (旭ファイバーグラス株式会社)

1 はじめに

家電や産業機械をはじめ様々な機器に対して、音や振動に係わる要求が従来に増して高まっている。吸音材として多く利用されるグラスウールは、繊維径や嵩密度が複数通りあり、利用者が適切なグラスウールを選定することは容易であるとは言えない。

本研究では、利用者が簡単にグラスウールを選定できることを目指し、嵩密度と材厚から垂直入射吸音率を理論予測するプログラムを作成する。グラスウールの繊維径は 3、4、7 μm の三種類を対象としたが、ここでは 7 μm の結果について述べる。はじめに、嵩密度と流れ抵抗の関係を明らかにし、次に、流れ抵抗から音響パラメータを算出する独自モデルを作成する。最後に、音響パラメータから垂直入射吸音率を算出する。

2 嵩密度と流れ抵抗の関係

嵩密度と空気流れ抵抗の関係には、相関があることが知られている。カトーテック社製の通気性試験機(KES-F8-API)を用いて通気抵抗を測定し、材厚で除算することで流れ抵抗を求めた。表 1 に示すグラスウールの嵩密度 D と流れ抵抗 σ との関係を検証した(図 1)。その結果、強い相関が認められたので累乗近似を行い、グラスウールの嵩密度から流れ抵抗を算出する以下の推定式(1)を得た。

$$\sigma = 16.638 D^{1.193} \quad (1)$$

3 音響パラメータの推定

3.1 音響パラメータの実測

音響パラメータ (特性インピーダンスおよび伝搬定数) の推定にあたり、表 1 に示す嵩密度の異なるグラスウールを用意し、実測値を得た。これらの値は、グラスウールの背後空気層を変えて測定した二つの音響インピーダンスから求めた。図 2(a)、(b)に特性インピーダンス Z_c の実数部 R と虚数部 X を、図 2(c)、(d)に伝搬定数 γ の実数部 α と虚数部 β を示す。横軸は周波数 f を流れ抵抗 σ で規準化した値である。また、縦軸は、特性インピーダンスについては、その実数部 R と虚数部 X をそれぞれ空気の音響抵抗 ρc で規準化し、実数部から 1 を引いた値と虚数部の符号を反転した値で、伝搬定数では、その実数部 α と虚数部 β

表 1 グラスウールのサンプル

材厚(mm)	嵩密度(kg/m ³)	流れ抵抗(Pa·s/m ²)
10	20.4	690.0
10	21.5	660.0
10	22.9	756.7
10	24.8	756.7
15	36.3	1033.3
15	39.1	1188.9
15	50.9	1653.3
15	62.1	2200.0
15	77.3	3040.0
15	77.8	3048.9
15	87.3	3342.2
15	90.5	3648.9
15	95.4	4031.1
15	100.8	4531.1

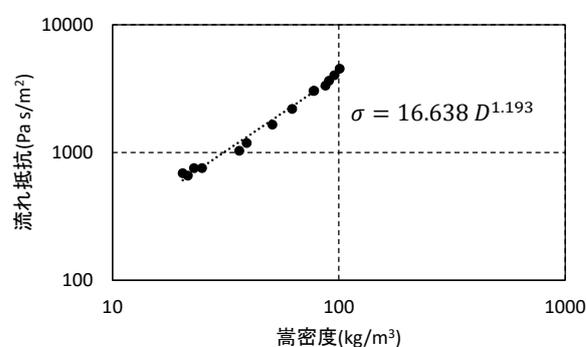


図 1 嵩密度と流れ抵抗の関係

をそれぞれ波数 ω/c で規準化し、虚数部については 1 を引いた値となっている。

3.2 流れ抵抗から音響パラメータを予測する独自モデルの作成

前節で求めた音響パラメータの実測値を用いて独自モデルを作成した。Delany-Bazley モデルや Miki モデルが導かれる過程で用いられている複数の音響パラメータの実測値から近似する手法¹⁾を採用した。実測値には、おそらくは、サンプルサイズの影響だと思われる落ち込みが、主に $f/\sigma < 0.2$ の範囲にみられる。しかしながら、それ以外の部分に着目すると、同じ傾きを持った直線の集まりであることが推察されるので、落ち込みの範囲を除いて累乗近似を

行った。その結果、周波数を流れ抵抗で規準化した f/σ から音響パラメータを求める以下の推定式(2)-(3)を得た。

$$\frac{Z_c}{\rho c} = R(f) + jX(f) \quad (2)$$

$$R(f) = 1 + 0.2834 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.695}$$

$$X(f) = -0.472 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.633}$$

$$\gamma = \alpha(f) + j\beta(f) \quad (3)$$

$$\alpha(f) = \frac{\omega}{c} \left\{ 0.7041 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.586} \right\}$$

$$\beta(f) = \frac{\omega}{c} \left\{ 1 + 0.4336 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.73} \right\}$$

4 垂直入射吸音率の算出と独自モデルの検証

剛壁面に密着した吸音材の垂直入射吸音率は、特性インピーダンスと伝搬定数を用いて求めることができる²⁾。

式(1)-(3)を用いて、嵩密度から任意の材厚の垂直入射吸音率を求めるプログラムを Excel で作成した。例として、材厚 10mm・嵩密度 20.4kg/m³、および材厚 15mm・嵩密度 39.1kg/m³の2つの場合の予測と実測を比較した結果を図3に示す。周波数帯域によって、やや差がみられるものの、良好な結果を示している。

5 まとめ

グラスウールを対象として、嵩密度から垂直入射吸音率を理論予測するプログラムを作成した。最初に、様々な嵩密度のグラスウールの嵩密度と流れ抵抗の関係について検証し、強い相関が認められたので、累乗近似により定式化した。

次に、背後空気層を二通りとして、音響パラメータの測定を行った。ここでは、限られた領域に値の落ち込みが現れた。この落ち込みは、これまでの経験から、サンプルサイズの調整によって対処できると思われるが、今後、検証する必要がある。しかしながら、その領域を除いた部分をみると、同じ傾きを持った直線の集まりであることが推察されたので、累乗近似を行い流れ抵抗と音響パラメータの関係式を求めた。

これらの関係式を組み合わせることで、嵩密度から垂直入射吸音率を求めるプログラムを完成させた。最後に、予測と実測の結果を比較し、良好な結果が得られていることを確認した。

【参考文献】

1. M.E.Delany and E.N.Bazley, *Apl.Acost.*, **3**, 105-116(1970).
2. 加藤大輔, *日本音響学会誌*, **68**, 463-468(2012).

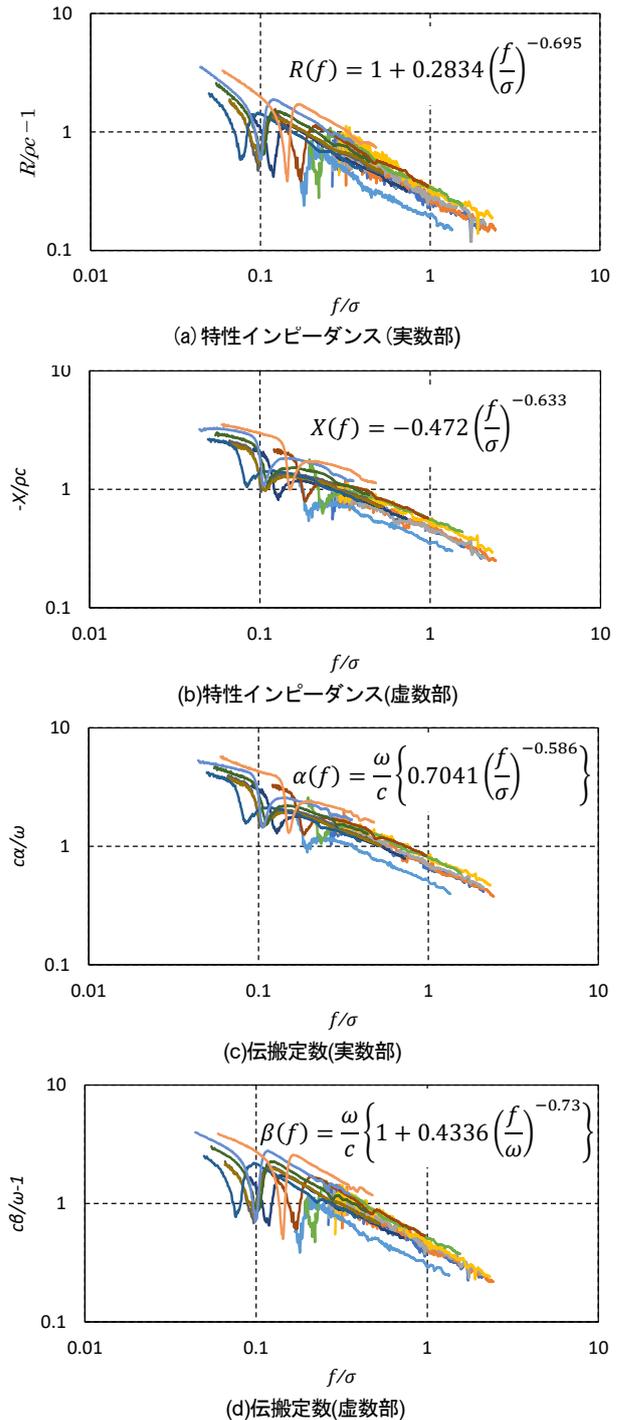


図2 音響パラメータ

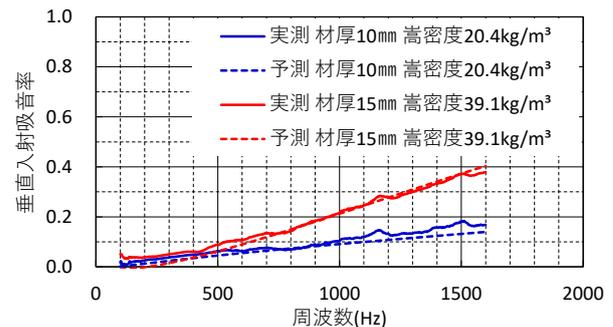


図3 垂直入射吸音率の比較