

グラスウールの吸音特性予測と従来モデルとの比較

小島 真路（機械・材料技術部 機械計測グループ）

岡村 和馬（旭ファイバーグラス株式会社）

1. はじめに

音響材料の吸音特性の評価には一般に音響管による垂直入射吸音率の測定と、残響室法によるランダム入射吸音率の測定がある。残響室法は、実際の使用状態に近い吸音特性が得られるものの、試験体の準備や取り付けに多くの手間がかかる。一方、音響管による方法は、垂直入射に限定しているものの、試験体が小さく利用しやすい。また、音響パラメータ(特性インピーダンスや伝搬定数)などの複素数情報が得られるため音響材料の設計に役立つ。

著者らはこれまでに、グラスウールの垂直入射吸音率を理論予測するプログラムを作成し、良好な予測結果を得たり。しかし、従来から用いられているモデルとの比較は行っていなかった。本研究では、平均繊維径 $3\mu\text{m}$ のグラスウールを対象として、流れ抵抗から音響パラメータを予測する独自モデルを作成し、実測や従来のモデル(Mikiモデル)を用いて得られる垂直入射吸音率と比較し結果を検証する。なお、音響パラメータから垂直入射吸音率の算出には 2×2 伝達マトリックス法を用いる。

2. 嵩密度と流れ抵抗の関係

嵩密度の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。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)。サンプル数は14個で、厚さの範囲は14~23mm、嵩密度の範囲は20.2~70.7(kg/m^3)であった。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。

$$\sigma = 316.97 D^{1.5912} \quad (1)$$

3. 音響パラメータの推定

嵩密度の異なる14個のグラスウールの音響パラメータ

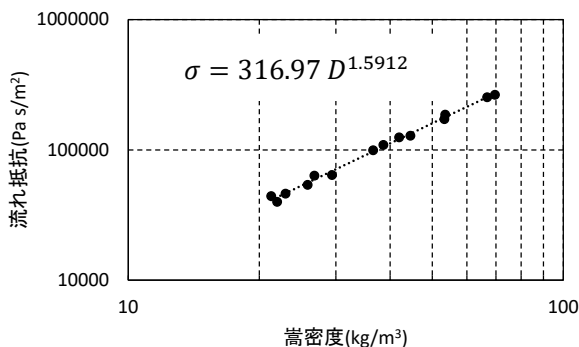
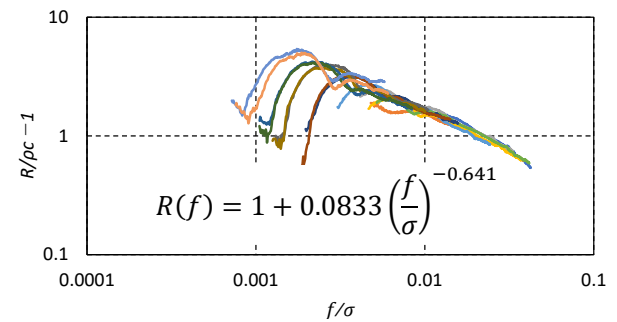
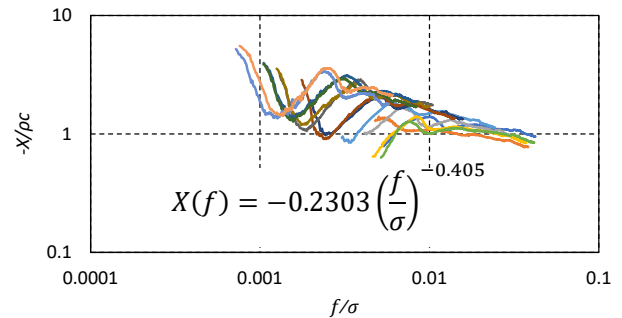


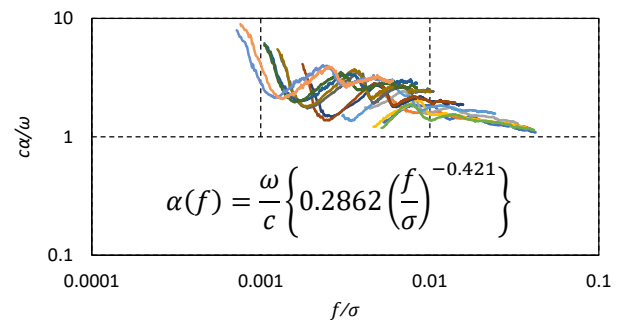
図1 嵩密度と空気流れ抵抗の関係



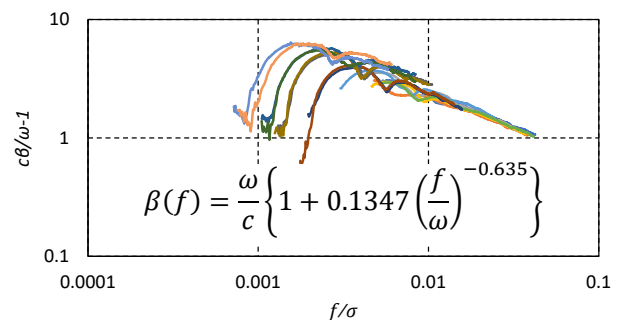
(a) 特性インピーダンス(実数部)



(b) 特性インピーダンス(虚数部)



(c) 伝搬定数(実数部)



(d) 伝搬定数(虚数部)

図2 音響パラメータ

を測定した。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 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。

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²⁾を採用し、流れ抵抗から音響パラメータを予測する独自モデルを作成した。実測値には、主に $f/\sigma < 0.005$ の範囲に落ち込みが見られるため、そ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。

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

$$R(f) = 1 + 0.0833 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.641}$$

$$X(f) = -0.2303 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.405}$$

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

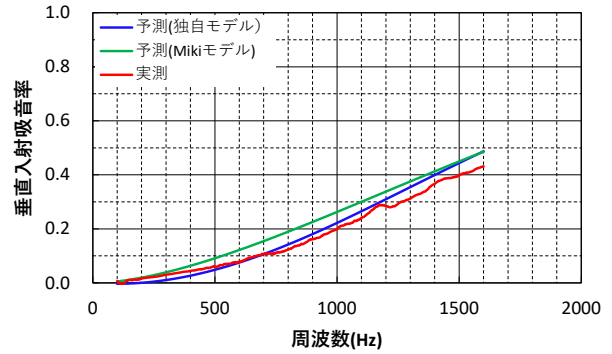
$$\alpha(f) = \frac{\omega}{c} \left\{ 0.2862 \left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.421} \right\}$$

$$\beta(f) = \frac{\omega}{c} \left\{ 1 + 0.1347 \left(\frac{f}{\omega}\right)^{-0.635} \right\}$$

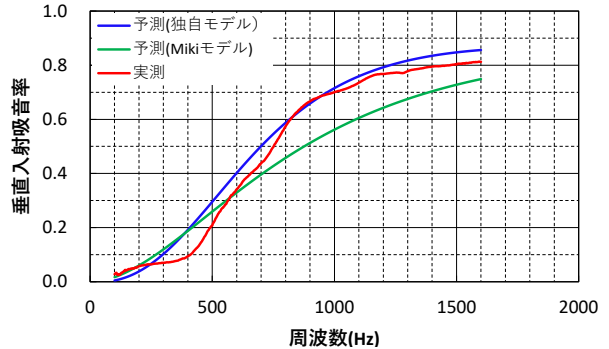
4. 独自モデルの検証

独自モデルを用いて垂直入射吸音率を予測し、Miki モデルでの予測値及び実測値と比較した。図 3(a), (b)は、それぞれ流れ抵抗 37,883.5、101,670.0(Pa・s/m²)、厚さ 15、20mm の結果である。流れ抵抗が大きい、すなわち、嵩密度が大きい場合、実測結果に凹凸が現れ、予測値との誤差が大きくなる。この凹凸は、グラスウールの嵩密度が大きくなることによって、固体伝搬音特性が生じているためと考えられる。本研究で用いている 2×2 伝達マトリクス法は、空気伝搬音特性のみを考慮しており、固体伝搬音特性が無視できることを条件としているので³⁾、これは、避けられない現象である。

実測値と二つのモデルから得られる予測値との最小二乗誤差を 8 個のサンプルで算出した結果を図 4 に示す。流れ抵抗が小さい場合には、独自モデルと Miki モデルで顕著な差は見られないが、流れ抵抗が 100,000(Pa・s/m²)以上になると独自モデルの誤差が Miki モデルに比べ小さく抑えられていることが明らかとなった。



(a) 流れ抵抗 37,883.5 (Pa・s/m²)、厚さ 15(mm)



(b) 流れ抵抗 101,670.0 (Pa・s/m²)、厚さ 20(mm)

図 3 垂直入射吸音率の予測値と実測値の比較

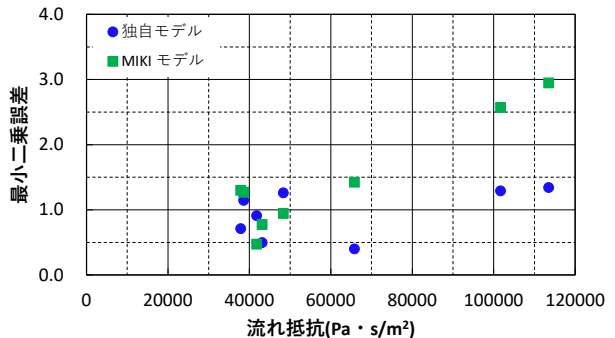


図 4 予測値と実測値の最小二乗誤差

5. まとめ

本研究では、平均繊維径 3 μ m の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した。周波数を流れ抵抗で規準化した値の範囲を限定することで、妥当な音響パラメータのデータのみを用いて、独自モデルを作成した。

その結果、流れ抵抗が小さい場合には顕著な差が現れなかったが、100,000(Pa・s/m²)以上という比較的大きい範囲において、従来の Miki モデルに比べて良好な予測結果が得られた。今後は、音響パラメータの実測値をいかに精度よく求めるかが課題となる。

【参考文献】

1. 小島真路ほか, KISTEC 研究報告, 3-4(2021)
2. M.E.Delany and E.N.Bazley, *Apl.Acost*, 3, 105-116(1970)
3. 加藤大輔, *日本音響学会誌*, 68, 463-468(2012)