【報告】

多孔質材料の吸音率予測モデルの研究

― 圧縮したメラミンフォームの音響特性と物性パラメータ ―

電子科　　木野直樹

Study on prediction models for absorption coefficient of porous media

－Acoustical properties and physical parameters of compressed melamine foams－

Naoki Kino

A series of careful non-acoustical parameters measurements using melamine foam samples have been made. Flow resistivity, tortuosity, porosity, viscous characteristic length and thermal characteristic length of compressed melamine foam materials have been investigated. Normal incidence absorption coefficient and normal incidence transmission loss have been predicted based on the single parameter model and the Johnson-Allard model. It has been found that a relationship between the acoustical properties and compression rate.

１．はじめに

多孔質吸音材の音響特性の代表的なものは、吸音性能を表す吸音率と遮音性能を表す音響透過損失である。材料に求められる吸音性能と遮音性能は、材料を適用する場の音環境によって様々である。音環境に応じて、様々な種類の材料を選択することも出来るが、同じ材料を圧縮して異なる音響特性を作り出したものを利用することも可能である。

メラミンフォーム[1)]は、自動車の騒音対策に使われている発泡材料である。圧縮して異なる音響特性を作り出したものが利用されている場合もある。

多孔質吸音材は、圧縮することでかさ密度を制御することが可能である。それによって、非音響の物性パラメータと音響特性を様々に変化させることが可能である。本報告では、圧縮によって変化するメラミンフォームの物性パラメータを用いて予測した音響特性等を紹介する。

２．実験方法

熱プレス加工を施して圧縮したメラミンフォームの音響特性は、ISO10534-2規格に基づき、音響管[2)]で計測を行った。Flow resistivity[2)]は、ISO9053規格に基づき、直流の空気を流して試料前後の微差圧の計測を行った。Tortuosity とCharacteristic lengthsは、試料を透過する超音波の音速を計測することで導出した[3、4)]。Johnson-Allard modelの改良モデル[5)]とFlow resistivity によるSingle parameter models[6－8)]を使用して、圧縮することによって様々に変化するメラミンフォームの音響特性の予測を行った。

３．結果

３．１　音響特性の計測

音響管を用いた伝達関数法による垂直入射吸音率の計測は、ISO10534-2規格に定められている。そこには、２つのマイクロフォンの間隔と管の直径と周波数範囲に関する条件等の測定原理が記載されている。しかし、重要な試料の寸法と音響管の内径の関係は記載されていない。規格にある記述から、試料が過度に圧縮されないように注意することは読み取れるが、どのような試料の時にどれくらいの寸法の試料を準備すべきなのかが不明である。また、試料の寸法の違いによって、吸音率の計測値にどの程度の影響が出るのかも不明である。2007年に新たにJIS規格にも制定されたが、その解説の中で数値を用いた明確な表現はされていない。

依頼試験で送付されてくる試料の多くが、音響管の内径よりも２～３mm大きかったり、小さかったりした。そこで、試料寸法の効果を明確にするために実験を行った。グラスウールとフェルトに関する

調査結果は、論文[9)]で示した。

本報では、メラミンフォームの試料寸法と骨格共振効果について説明する。写真1に示すように、試料の直径は、音響管の内径寸法40mmと同じもの（Sample 5）と0.75mm小さい39.25mm（Sample 6）である。直径39.25mmの試料（Sample 6）にガムテープを1周巻いて直径約40mmとしたもの（Sample 6'）も計測した。

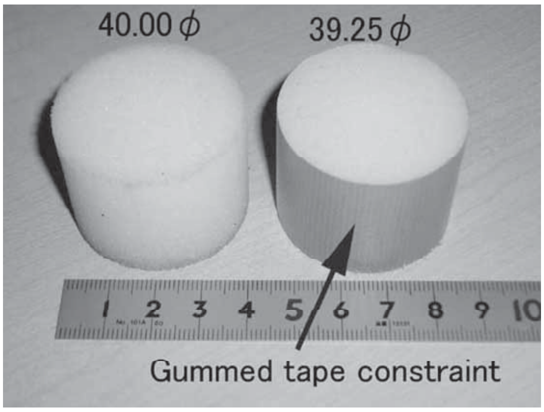

写真1　直径の異なるメラミンフォーム

図1に示すように、音響管内径と同じ直径40mmの試料について、垂直入射吸音率の骨格共振効果がはっきりと確認出来る。音響管内径と同じ直径の試料は、1.8kHzで吸音率が0.18急降下している。直径39.25mmの試料にガムテープを巻いた試料の吸音率が直径40.00mmの試料の吸音率と重なった。実験に使用したメラミンフォームの非音響の物性パラメータの計測値[10)]を表1に示す。表1に示すように、2つの試料の嵩密度と流れ抵抗値は、ほぼ同じであるからである。

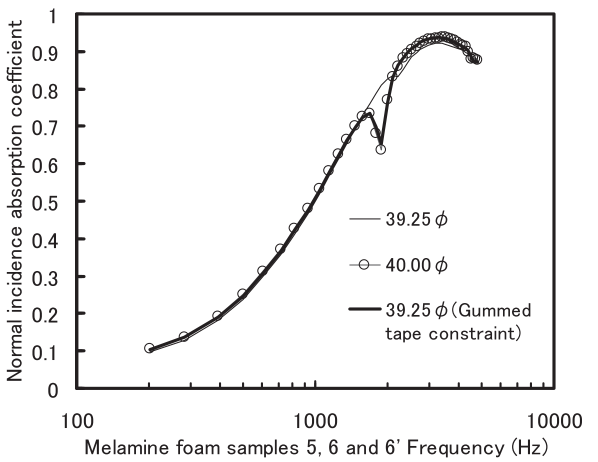

図1　垂直入射吸音率におけるメラミンフォームの骨格共振効果

図2に示す音速の計測結果にも骨格共振効果を確認出来る。音響管内径と同じ直径の試料は、1.8kHzで音速が60ms^{-1}急上昇している。また、音響管内径との隙間が1.0mmよりも大きくなるようにした試料では、空気漏えい効果を減衰定数の低下で確認した。音響管を使ったメラミンフォームの計測を行うためには、音響管内径よりも0.5から1.0mm小さな直径の試料を準備することが必要である。

表1　Sample 5と6の物性の計測値

Sample number	Sample 5	Sample 6
Bulk density (kg m^{-3})	8.93	8.70
Diameter (mm)	40.00	39.25
Thickness (mm)	31.50	31.50
Flow resistivity (Pa s m^{-2})	10,340	10,290

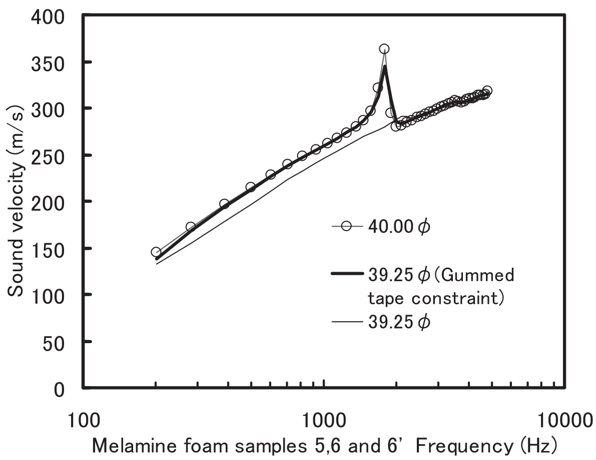

図2　音速におけるメラミンフォームの骨格共振効果

3．2　音響特性の予測

3種類の予測モデルを使用して垂直入射吸音率を予測した結果を計測結果と共に図3に示す。使用した予測モデルは、Single parameter model（the Delany and Bazley model）、Johnson-Allard modelとJohnson-Allardの改良モデルである。ここで採り上げる試料は、実験した複数の中のSample 53で、圧縮率n＝1.9669のメラミンフォームである。Sample 53の計測した物性パラメータを表2に示す。波長定数の減衰定数の予測値と計測値を図4に示す。空気の特性インピーダンスで基準化した試料の特性インピーダンスの虚数部を図5に示す。図3～5に示すように、吸音率予測をした結果、Johnson-Allardの改良モデル[5)]が最も計測結果に近く有効であった。

【報告】

表２　メラミンフォームSample 53の物性の計測値

Parameters	Measurements
Bulk density（kg m^{-3}）	20.99
Thickness	11.48
Flow resistivity（Pa s m^{-2}）	28,582
Porosity（mm）	0.9866
Tortuosity	1.0146
Viscous characteristic length（μm）	120
Thermal characteristic length（μm）	266

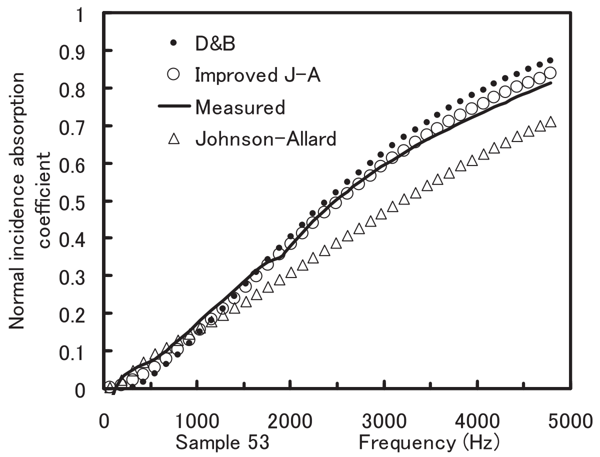

図３　垂直入射吸音率の予測値と計測値の比較

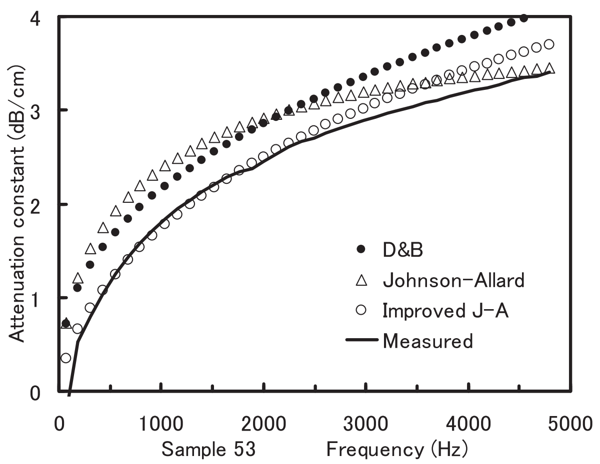

図４　減衰定数の予測値と計測値の比較

The Delany and Bazley modelを使った減衰定数と特性インピーダンスは、計測値との食い違いを生じた。しかし、吸音率の計測との食い違いが小さかった。Flow resistivity によるSingle parameter modelsは簡便に使うことが出来る。そこで、計測したFlow resistivityを使って、Miki model[7]で予測した厚さ22.58mmのメラミンフォームの垂直入射音響透過損失と垂直入射吸音率を図６と７に示す。図中のnは、圧縮率を表す。圧縮率nは、圧縮前の試料の厚さ$b_{(1)}$と圧縮後の試料$b_{(n)}$の厚さによって式１で表す。

$$n = b_{(1)}/b_{(n)} \quad (1)$$

垂直入射音響透過損失は、圧縮率の増加に従い増加する。垂直入射吸音率は、圧縮率が２付近までは増加するが、大きな圧縮率になると低下することが解った。吸音性能と遮音性能のどちらを重視した仕

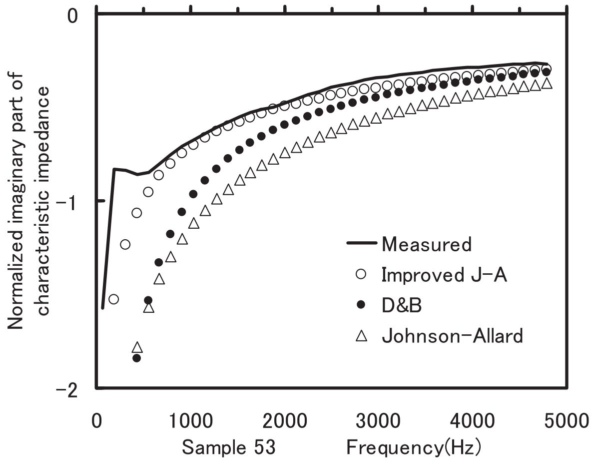

図５　特性インピーダンスの虚数部の予測値と計測値の比較

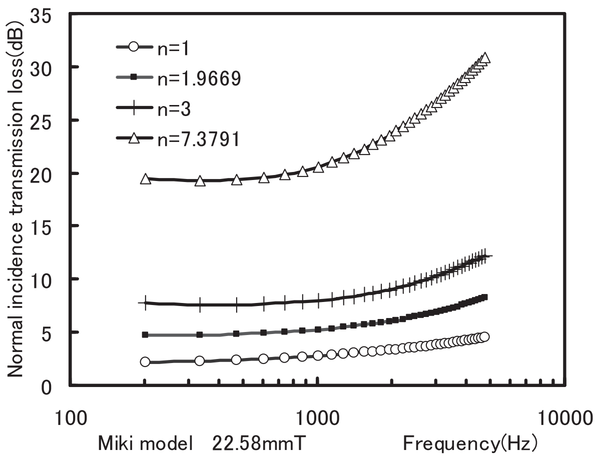

図６　垂直入射音響透過損失の予測値の比較

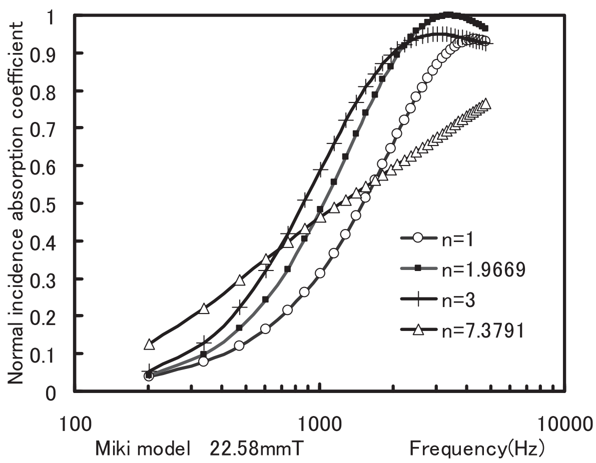

図７　垂直入射吸音率の予測値の比較

様にしたいのかを考えるときに考慮したいメラミンフォームの圧縮率と音響特性の関係があることが解った。

4．おわりに

音響管を用いて材料の音響特性の計測を行う場合に、試料の直径の寸法に配慮した慎重な準備が必要であることを示した。また、圧縮したメラミンフォームの圧縮率と垂直入射吸音率の関係は、圧縮率と垂直入射音響透過損失の関係と異なることを示した。垂直入射音響透過損失は、圧縮率が大きくなるにつれて増加したが、垂直入射吸音率は、圧縮率が大きくなると高周波数帯で減少に転じる境界（周波数）が存在することがわかった。本報で示したケースでは、その周波数は2,200Hz付近だった。

次は、Biot-Allard modelを用いて研究している弾性が大きく関わるウレタンフォームを紹介したい。偉大なるBiotの論文[11、12]は、1956年に出版された。今から54年前のことである。1980年に、Biesの論文[13]が出版された。今は、彼らの時代と違って高速なコンピュータや高精度なセンサの科学技術の恩恵を容易に受けることが可能な時代である。そこで、吸音率予測モデルを研究する我々の使命は、丁寧な測定を重ねた精度の良い計測データを用いることによって、彼らの偉業に応えて進展させることではないかと考えている。

謝辞

本研究のために、材料を提供していただいた㈱イノアックコーポレーションの鈴木靖宏氏に感謝致します。

参考文献

1）Kino N, Ueno T. Comparisons between characteristic lengths and fibre equivalent diameters in glass fibre and melamine foam materials of similar flow resistivity. Appl Acoust 2008.

2）Kino N, Ueno T. Experimental determination of the micro- and macrostructural parameters influencing the acoustical performance of fibrous media. Appl Acoust 2007.

3）Kino N. Ultrasonic measurements of the two characteristic lengths in fibrous materials. Appl Acoust 2007.

4）木野直樹，多孔質材料の吸音率予測モデルの研究－非音響パラメータと音響管の計測精度を重視した取り組み－，日本音響学会建築音響研究会，2011.

5）Kino N, Ueno T. Improvements to the Johnson-Allard model for rigid-framed fibrous materials. Appl Acoust 2007.

6）Delany ME, Bazley EN. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. Appl Acoust 1970.

7）Miki Y. Acoustical properties of porous materials -Modifications of Delany-Bazley models-. J Acoust Soc Jpn 1990.

8）Komatsu T. Improvement of the Delany-Bazley and Miki models for fibrous sound-absorbing materials. Acoust.Sci. & Tech. 2008.

9）Kino N, Ueno T. Investigation sample size effects in impedance tube measurements. Appl Acoust 2007.

10）Kino N, Ueno T, Suzuki Y and Makino H. Investigation of non-acoustical parameters of compressed melamine foam materials. Appl Acoust 2009.

11）Biot MA. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. Ⅰ. low-frequency range. J Acoust Soc Am 1956.

12）Biot MA. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. Ⅱ. higher frequency range. J Acoust Soc Am 1956.

13）Bies D A., Hansen C H. Flow resistance information for acoustical design. Appl Acoust 1980.