多孔質材料の含水率による音響特性変化に関する研究 (試料厚さ変化に伴う音響特性変化)

Study for Acoustic Characteristics Variation of Granular Material by Water Content (Acoustic Characteristics of Sample Thickness Change)

正 坂本 秀一(新潟大), O学 堤 雄二(新潟大), 正 柳本 憲作(鶴岡高専),
正 渡部 誠二(鶴岡高専)

Shuichi SAKAMOTO, Niigata University 8050 Ikarasi-2-no-cho, Nishi-ku, Niigata-city, Niigata pref.
Yuji TSUTSUMI, Niigata University
Kensaku YANAGIMOTO, Tsuruoka National College of Technology
Seiji WATANABE, Tsuruoka National College of Technology

Key Words : Sound and Acoustic, Noise Control, Porous Media, Material Design, Absorption Coefficient, Granular Mater, Water Content, Tortuosity, Biot Parameter, Impedance Measurement Tube

1. 緒 言

連続した気孔を持つ多孔質材料は、吸音する特徴を持ち、様々なところで利用されている。これらの中には、湿式フィルタのように水などの液体を用い多孔質材料を湿らせた状態で使用するもの、接着剤を用い粒状材料を固めたものがある。多孔質材料を湿らせたものは、含水率および多孔質材料の厚さにより吸音特性が変化する。そのため、減音しようとする周波数において吸音するには条件の最適な制御が必要になる。そこで本研究では、粒状材料を積み重ねた多孔質材料において、含水率の変化および水を含んだ状態での厚さ変化における音響特性について研究を行った。

2. 試料作成および吸音率の測定方法

2・1 試料の作成 測定に用いた試料は、粒径 1.0mm、密度 2.5g/cm^3 の中実ガラスビーズを使用した。水はガラスに対するぬれ性が良好であるため、表面に均一な水膜を形成し易い利点がある。

試料の作製は、ガラスビーズをインピーダンス管に入れ、そこへ式(1)により求めた量の水を滴下してガラスビーズを攪拌した後、スピーカ側試料面を平らにすることで行った。

$$\theta = V_W / V \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

V_W : Volume of water in gap

V : Total volume

θ : Water content by volume

2・2 吸音率の測定方法 測定は、Brüel & Kjaer社製の2マイクロホンインピーダンス管を使用した。管端には前節で述べた試料を被測定物として封入した。FFTアナライザ内蔵の信号発生器によりマルチサイン信号を出力し、スピーカにより管内に音波が放射される。そして、インピーダンス管に取り付けられた2本のマイクロホンにより測定された音圧信号間の伝達関数をFFTアナライザにより測定する。測定された伝達関数を用いパーソナルコンピュータにより垂直入射吸音率を算出した。

3. 体積含水率変化による吸音ピーク周波数の挙動

図1に試料厚さ 20mmにおける吸音率のピーク周波数と含水率の関係を示す。図1より、体積含水率 0~5.0%においては、体積含水率の増加に伴い、ピーク周波数が低周波数側へ移動する傾向が判る。しかし、体積含水率 5.0~10.0%においては、体積含水率の増加につれてピーク周波数は、再び高周波数側へ移動している。

この現象について、図2に模式図を示す。上から順に、体積含水率 0% (乾燥状態)、試料が含んでいる水をガラスビーズ表面が捕水している状態、体積含水率の増加によりガラスビーズ表面が捕水の限界を超え試料底部が水没した状態、をそれぞれ示す。

図2(下)のように、ガラスビーズ表面が捕水の限界を超えると、試料底部に水没した層ができる。水没した層は、音響的に多孔質にならず、空気固有音響インピーダンスと比較して剛壁とみなせる。したがって、試料は水没した厚さだけ実効的に薄くなる。

水没した分の試料厚さが実効的に薄くなるに従い、吸音ピーク周波数は高くなる。これは、多孔質吸音材料を剛壁に取り付けた場合と同様の現象であり、吸音ピーク周波数における音波の 1/4 波長が、試料厚さに対応するためである。

上述の現象を、吸音率の測定結果により確認するため、図3に3通りの測定結果を示した。試料厚さ 20mm、体積含水率 10.0%について考えると、幾何学により、試料底部の約 3mm が水没した層となり、試料上部の約 17mm には体積含水率 5.0%(捕水の限界)の層が存在すると考えられる。水没した層は音響的に剛壁となるため、「試料厚さ 20mm、体積含水率 10.0%」の試料は音響的に「試料厚さ 17mm、体積含水率 5.0%」にほぼ相当すると予想される。

図3には、体積含水率 5.0%、試料厚さ 15, 20mm の測定結果を比較のため示してある。「試料厚さ 20mm、体積含水率 10.0%」におけるピーク周波数は、「体積含水率 5.0%、試料厚さ 15, 20mm」におけるピーク周波数の中間に位置しており、先の予想と一致していると言える。

以上のことより、体積含水率の増加に伴い、吸音ピーク周波数が低周波数側へ移動する状態から、高周波数側へ移動する状態に、傾向が切り替わる含水率近傍において、捕水の限界を超えることが判った。

Fig.1 Water content by volume vs. peak frequency
(thickness 20mm)

Fig. 2 Schematic diagram for dry, trapping water and partially submersion

Fig. 3 Behavior of partially submersion (20mm, 10.0%) works like as intermediate thickness between 20 and 15mm of 5.0%

4. 超音波を用いた測定

4・1 測定機器 測定では、信号発生器から正弦波(37kHz)をバースト発振し、直接オシロスコープへ入力された時間波形と試料を透過させた超音波の時間波形を測定し、時間差を求めた。試料は、粒径 1mm のガラスビーズを用い、積み重ねることにより多孔質材料とした。

測定では、まず体積含水率を 5.0%の状態にし、乾燥させながら重量を監視し、0.2%毎に所望の体積含水率になった時に超音波による測定を行った。この測定方法では、試料に水を加えて攪拌する作業が最初の体積含水率 5.0%の試料を作成するとき 1 回となる。そのため、作り替えによる試料のばらつきが少なくなる利点もあった。

4・2 迷路度(Tortuosity)の算出 本研究では迷路度を超音波パルスを伝播速度から求める方法⁽²⁾⁽³⁾を用いた。測定において発振された超音波は、多孔質材料の空隙を通りマイクにより受信される。この過程において試料内部を通過する超音波は、ガラスビーズの空隙を通るが、空隙は直線的に形成されておらず、曲折しながら伝播する。迷路度は、その曲折の度合いを表すパラメータである。

$$\alpha_{\infty} = \left(\frac{C_0}{C} \right)^2 \cdot (1 - 2\varphi) \quad (2)$$

α_{∞} : 迷路度 (Tortuosity) φ : 複素波定数の位相 [rad]

C : 試料中の見かけの音速 [m/s] C_0 : 空気中の音速 [m/s]
ここで φ は、 $\varphi \ll 1$ であるため無視することができる。そのため空気中の音速 C_0 および材料中の見かけの音速 C を求めることにより迷路度が求められる。

試料厚さ 20, 40mm における体積含水率 0~5.0%まで 0.2%毎に求められた迷路度を図 4 に示す。いずれの試料厚さの場合も、体積含水率の増加に伴い迷路度が増加している。この理由は、体積含水率の増加に伴いガラスビーズ界面の水膜の厚さが厚くなることにより、音波の伝播経路が長くなるた

Fig. 4 Variation of waveform for each water content (thickness 20mm)

めと考えられる。そして、試料厚さ 20, 40mm の迷路度の値は互いに近接しており、定義通りに試料厚さの影響を受けずに求められていることが判る。また、いずれの試料厚さにおいても体積含水率が 4%程度を超えると、迷路度の増加が緩やかになっている。この原因は、体積含水率が 4%を超えると、水の偏在が起こり始めるため、水分量に比して試料全体として見た迷路度は変化しにくいと考えられる。

5. 結 論

- (1) 水がガラスビーズ界面で捕水できる範囲では、体積含水率の増加により吸音率のピーク周波数は低周波数側へ移動する。
- (2) ガラスビーズ表面が捕水できる限界を超えると水が偏在し、それらが次第に下方に集まるため試料底部が水没する。水没した層は音響的に剛壁となり、試料厚さの減少と等価になる。
- (3) 粒径 1mm の中実ガラスビーズにおいて、試料厚さ 20~30mm の場合に、吸音率は最も大きな値となる。
- (4) 体積含水率の増加に伴い、超音波の伝播時間は長くなり、迷路度 (Tortuosity) が増加する。また、音波が透過する際の減衰が大きくなる。
- (5) 体積含水率と迷路度の関係は、試料厚さが異なる場合でも、おおむね良く一致した。

文 献

- (1) Sakamoto, S. Sakuma, Y. Yanagimoto, K. Watanabe, S. Basic study for the acoustic characteristics of granular material (Normal incidence absorption coefficient for multilayer with different grain diameters), *Transactions of the Japan society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 74, No.745 (2008), pp. 2240-2245.
- (2) Henry, M. Lafarge, D. Castagnede, B. Ultrasonic measurement of tortuosity on acoustic porous material, *Proceedings of Internoise94*, (1994-8), pp. 1935-1938.
- (3) J. F. Allard, B. Castagnede, Henry, M. Evaluation of tortuosity in acoustic porous materials saturated by air, *American Institute of Physics, Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 65, No.3 (1994), pp. 754-755.
- (4) Kimura, M. Satoh, T. Ohi, K. Validation for sound absorption properties using Biot's parameter. *Proceedings of VS Tech 2003 symposium on new technology of vibration and sound*, (2003-6), pp.119-122.
- (5) Kimura, M. Satoh, T. Ohi, K. Validation for sound absorption properties using Biot's parameter. *Proceedings of VS Tech 2003 symposium on new technology of vibration and sound*, (2003-6), pp.119-122.