音響管を用いた新しい伝搬定数計測法の実用化に関する研究

—多孔質材料の試料共振の抑制方法と応用計測を中心として—

STUDY ON PRACTICAL IMPROVING OF NEW SOUND TUBE MEASURING METHOD
FOR SOUND PROPAGATION CONSTANT—Reducing technique of resonant vibration of test porous material
and application measurements—

岩瀬 昭雄*, 斉藤 元雅**, 川端 亮達***

Teruo IWASE, Motomasa SAITO and Ryotatsu KAWABATA

Some improvements were tested about a new and simple measuring method using a sound tube for the propagation constant. At first, this new system consists of four parts so that the backed wall can be removed. It makes it easy to set and take off a test material. Moreover, in order to reduce the resonant vibration of the test material which caused to large measuring errors, the material was fixed to the backed wall by several nails. As a result, the smooth frequency characteristics in which the error deep dip is eliminated can be observed. In addition, using this system, measurements on granular material such as sand and small ballast could be performed, which could not be done by the ordinary method.

Keywords : Sound tube, Sound propagation constant, Acoustic impedance, Porous material, Laser vibrometer, Digital signal processing

音響管、音響伝搬定数、音響インピーダンス、多孔質材料、レーザー振動計、デジタル信号処理

1. はじめに

グラスウールやロックウールなどの多孔質材料の音響伝搬定数を音響管法で求める方法としては、試料を剛壁に密着させた条件と、試料と剛壁の間に一定の空気層を確保した条件、あるいは厚さを变化させた条件の2回のインピーダンス計測から求める方法¹⁾が良く知られている。しかし、これらの方法は、柔らかい試料の形を崩さずに2つの条件を設定しなければならないなど、高度な計測環境と技術を必要とするものである。これに対して著者らは、試料前後の音圧の伝達関数分析から、簡単に伝搬定数を得る方法²⁾を考案した。この方法は試料の設置に特別なテクニックを必要とせず、計測作業が極めて容易である。また、試料の背後に空気層を必要としないため、粉体などの形態自己保持能力の低い材料についても、伝搬定数の計測が可能である。

一方で、この手法の検証のため実施した多孔質材試料の伝搬定数の計測では、試料の共振現象によって計測精度が著しく低下する現象が生じることを明らかにしている。これが、試料が音響管の管壁に拘束されることに起因する現象であることも明らかにし、音響管計測法に共通して存在する問題であると認識するに至っている。

また、以上の基礎研究の過程では、この手法の高い有用性が確認されると同時に、解決すべき問題点も明らかとなった。

そこで、本論文では、この伝搬定数計測手法をより実用的なものとするために伝搬定数計測装置の構成を検討し、その応用として行った吸音率、音響インピーダンス比、特性インピーダンスの計測結果等について報告する。さらに、計測精度の向上を目的とした、多孔質材試料の共振振動を抑制する方法についても報告する。

2. 伝搬定数計測装置の実用化

著者等が提案した新しい伝搬定数計測法の検証のため、試験的に使用してきた音響管装置の設置例をFig. 1に示す。この装置でも背後空気層を設置する方法よりも簡単に伝搬定数の計測を行えるが、実用化の面からみると改良すべき様々な点が挙げられる。すなわち、音響管、スピーカー、マイクを単純に置き並べるものであるために、計測のたびに設置状態が異なること、音響管底部が分解不可能に一体化されているため、試料の着脱、設置後の調整が困難であることなどであった。とくに、試料の着脱の際にその形を崩してしまうことで、計測の再現性は不安定となりがちであり、この改善も強く望まれた。そこで、これらの問題点の改良として新しい機構を組み込み、より実用性の高い計測装置を開発した。

2.1 新しい計測装置の構成

新たな伝搬定数計測装置の構成をFig. 2に示す。本計測装置は、背

* 新潟大学工学部建設学科 教授・工博
** YKK アーキテクチュラルプロダクツ㈱ 工修
*** 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata Univ., Dr. Eng.
YKK Architectural Products, M. Eng.
Graduate Student, Division of Science and Technology, Graduate School, Niigata Univ.

Fig.1 A basic block diagram for measurement of propagation constant in test process

後剛壁+マイク部 (A)、試料設置部 (B)、試料音源側移動マイク部 (C)、スピーカー部 (D) の4つの部分から構成されている。管部には内径48mmの透明アクリル管を使用して、試料の設置状態や音響管内部の様子を明確に把握できるようになっている。また、A-B-C間は簡単に分解、接続できる機構としており、分解によって試料設置部の前後両方が解放され、試料の着脱、調節が容易となった。また、音響管外部のつまみを回して試料音源側のマイクロホン移動機構 (M) を導入することで、マイクロホンは常に管の中心軸に沿って移動し、位置の調節も細かく行うことを可能とした。

2.2 計測装置の改良効果

(1) 試料着脱の容易化による効用

本計測装置による計測の再現性を確認するため、試料の音響管からの着脱を含む一連の計測作業を、同一の試料を用いて10回繰り返して行う方法で伝搬定数の計測を試みた。また、従来の計測装置でも同様の計測を行い、結果を比較した。

グラスウール32K (25mm厚) を試料としたときの10回分の計測結果を重ねてFig. 3に表示する。数値は工学的理解の容易さから1cm当たりのdBやRadianで図示した。いずれも周波数が高くなるほど減衰定数、位相定数とも増加する傾向を示しており、計測装置の違いによる大きな差は認められない。また、新しい装置の結果でも、スピーカーの一体化による振動の発生、接続部における気密不良によるデータの大きなばらつきなど、機構の改変による不都合は生じていない。計測の再現性について比較すると、音響管の分解が不可能な従来の計測装置による結果 (A) では、計測の繰り返しで、とくにディップ周波数付近でのばらつきが大きいことがわかる。これに対して新しい計測装置による計測結果 (B) の再現性の良いことが明らかである。これは、音響管を分解可能とすることで、試料を意図通りに配置し、傷めずに着脱可能とした効果が現れたものと思われる。

以上のことから、本計測装置に新たに付加した機構を原因とする不都合は生じず、かつ、試料の着脱と設置後の調整を容易にしたことで計測の安定性が向上し、同一試料による計測が可能となった。とくに、試料の共振が生じているディップ周波数付近での再現性にも優れており、後述する試料振動の影響について細かく観察する上で、好都合といえる効果をもたらした。

(2) マイクロホン中心軸移動機構の効用

本計測装置では、試料の音源側マイクロホンが常に管の中心軸に維持しながら移動する機構を導入した。これに対して、2マイクロ

Fig.2 A new improved sound tube system and a setup for measurement

Fig.3 Comparisons of measured propagation constants between with the basic old system and with the improved system

ホン法によるインピーダンスの計測¹⁾では、2つのマイクロホンを音響管壁に固定するのが一般的である。そこで、計測時のマイクロホンの位置が計測結果に及ぼす影響について、比較検討を行った。計測は、試料の音源側マイクロホンを音響管の中心軸に置いた場合と、音響管の周壁部に置いた場合の2条件で行った。なお、本計測装置の内径は48mmであり、管径と波長の平面波成立条件の上限周波数は常温で4180Hzとなる。

Fig. 4は、上限周波数より高い10kHzまで比較表示したものである。マイクロホンを管壁に固定した場合 (A) では、理論上の上限周波数である4kHz付近まで、ほぼ安定した計測結果が得られているが、それ以上の周波数では計測結果の乱れが見受けられる。マイクロホンを管の中心軸に固定した場合 (B) では、減衰定数では6kHz程度、位相定数では9kHz程度まで、その傾向を推定することが可能なほど安定した計測結果が得られている。

Fig.4 Comparisons of measured propagation constants between with microphones on center axis and those at circumference in the sound tube

以上の比較実験から、マイクロホンが管の中心軸に維持できる本計測装置の構成方法の効用が判明した。

3. 諸音響物性値計測への適用

本計測装置では、試料の音源側マイクロホンを自由に移動することができるが、このマイクロホンを複数点に移動したときの伝達関数分析値を利用することで、平面波入射条件におけるインピーダンスの計測^{3) 4)}にも適用できる。以下にその原理と計測例を示す。

3.1 計測の原理

本計測装置によるインピーダンスの計測では、音響管内に等感度の2つのマイクロホンを設置する、いわゆる2マイクロホン法¹⁾の原理を利用する。この計測手法のモデルをFig. 5に示す。試料側マイクロホンA、音源側Bで観測される計測周波数での音圧をそれぞれ P_A 、 P_B とすると、以下の式から複素音圧反射係数 r が得られる。

$$r = P_r / P_i = -\{1 - (P_A / P_B) \exp(jkd)\} / \{1 - (P_A / P_B) \exp(-jkd)\} \quad (1)$$

ただし、 P_i : 入射音圧 P_r : 反射音圧 k : 波長定数
 j : 虚数単位 d : マイクロホンA-Bの間隔

ここで、 P_A / P_B は、マイクロホンA-B間の伝達関数(周波数応答関数)分析値 T_{AB} として計測が可能である。また、音響インピーダンス比 Z 、および吸音率 α は以下の式から求められる。

$$Z = (1+r) / (1-r) \quad (2)$$

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (3)$$

本計測装置で以上の原理を利用する場合、等感度の2つのマイクロホンで伝達関数分析値 T_{AB} を得る代わりに、試料の音源側マイクロホンを移動し、2点でそれぞれの伝達関数分析を行うことで対応する。

この計測手法のモデルをFig. 6に示す。本手法では、試料背後のマイクロホン位置Cにおける音圧 P_C を基準として、位置A、位置B

Fig.5 Modeling of a measuring method for acoustic impedance and absorption coefficients with fixed two microphones at circumference

Fig.6 A new basic setup with a movable microphone for same measurement as shown in Fig.5

のそれぞれで得られる伝達関数 T_{CA} 、 T_{CB} を個々に計測する。ここで、位置A、Bで観測される音圧を、それぞれ P_A 、 P_B とすると、以下の関係が成り立ち、個々に得られている2つの伝達関数分析値から、間接的に位置A-B間の伝達関数分析値 T_{AB} が得られる。

$$T_{CA} = P_C / P_A \quad (4)$$

$$T_{CB} = P_C / P_B \quad (5)$$

$$P_A / P_B = T_{CB} / T_{CA} = T_{AB} \quad (6)$$

この手法では、2マイクロホン法でやっかいな等感度マイクロホンペアの確保は必要なく、感度校正作業もマイクロホンCを基準とすることで代替され不要となる。

さらに、(2)式で得られる音響インピーダンス比と、計測の一環として得られる音響伝搬定数からは、以下の式より特性インピーダンス Z_c が算出される。

$$Z_c = Z_1 \tanh(\gamma l) \quad (7)$$

ただし、 Z_1 : 剛壁に密着した条件での音響インピーダンス

γ : 音響伝搬定数 l : 試料厚さ

なお、伝搬定数の算出には試料前後の音圧の伝達関数分析値が必要であるが、これはマイクロホンA-C間における伝達関数分析値 T_{CA} を共通に利用できる。したがって、計測の対象とする試料が剛壁に密着した条件であれば、2つのマイクロホンの感度校正を含む3回の伝達関数分析により、伝搬定数、音響インピーダンス、吸音率、特性インピーダンスの計測が可能となる。

3.2 マイクロホン位置の間隔

本計測装置では、試料の音源側でマイクロホンを移動して計測を行うため、2マイクロホン法では固定されている2つのマイクロホンの間隔を、自由に設定することができる。そこで、このマイクロホン位置の間隔 d を10mm、30mm、50mmの3段階に変化させて吸音率

Fig.7 Comparisons of measured sound absorption coefficients obtained by each spacing length between two positions of the movable microphone

の計測を行い比較した。

グラスウール32K (25mm厚) の計測結果をFig. 7に示す。図中には、グラスウールの垂直入射吸音率の一般的な値⁵⁾ (単位面積流れ抵抗を $1.0 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{s/m}^4$ と設定) を黒丸で示した。いずれも高音域ほど吸音率が大きくなる傾向を示しており、良く対応している。

ここで、マイクロホンの間隔 d との関係について観察してみると、 $d=10\text{mm}$ (A) の場合は中高域で良好な値が得られるが、低域においては $d=30\text{mm}$ (B)、 50mm (C) の場合と幾分異なる結果が得られ、データのばらつきもやや大きい。マイクロホン位置の間隔 d が大きくなると、より低音域までデータの乱れが少なくなり、安定した結果が得られやすくなるのがわかる。ただし、 $d=50\text{mm}$ の場合 (C) には、この間隔がちょうど $1/2$ 波長となる 3.4kHz 付近で、本手法では計測値の解が不定となるため、大きなディップが生じている。

以上のことから、計測する周波数領域に応じてマイクの間隔を自由に設定できることが、本計測装置の有利な点として確認できる。また、計測の対象として低音域から 5kHz までの周波数領域を一度に計測しようとする場合、 $d=30\text{mm}$ の場合にほぼ満足し得る計測結果が得られると判断できる。以後に示すこの手法により得た計測結果は、 $d=30\text{mm}$ とした計測に基づくものとした。

3.3 伝搬減衰の大きな試料の計測

本手法では、試料背後のマイクロホンでの音圧を基準として伝達関数分析を行っている。このため、伝搬減衰の大きな試料では、試料背後への音圧が弱まってSN比が相対的に低下し、計測精度の低下の可能性がないわけではない。そこで、インピーダンスあるいは吸音率計測での、このような影響を軽減する方法を試みた。式 (1)、式 (4) ~ (6) に示す通り、音圧 P_c は相対的な計測基準であり、インピーダンスや吸音率の計測結果に直接反映されるわけではない。即ち、本来の試料背後の基準マイクロホンの代わりに、計測に合理的と判

Fig.8 Comparisons of measured sound absorption coefficients obtained by each reference microphone at back and surface of a test material

断される任意の位置のマイクロホンで代替可能と言える。

この具体的な例として、ロックウール200K (25mm厚) の吸音率の計測結果をFig. 8 (A) に示すが、この試料の減衰定数は 4kHz で 6dB/cm 程度、厚さ 25mm では約 15dB の減衰であり、伝搬減衰の大きい高音域で、ばらつきが大きくなる傾向が認められる。これに対し、試料表面側すなわち音源側で減衰が少ない位置 (Fig. 6, C') の音圧を基準とした結果をFig. 8 (B) に示すが、ばらつきが軽減されよりスムーズな結果が得られることがわかる。

この比較例のように、試料背後のマイクロホンを基準とすると、伝搬減衰の大きな試料の計測で不利となる場合もあるが、試料の表面側に基準マイクロホンを代置すれば、より良好な改善結果が得られる。なお、これらの結果には 1kHz 付近に大きな不規則な変化が生じているが、後述する試料の共振振動の影響によるものである。

4. 試料の共振現象の抑制方法

音響管中に多孔質材料を設置して吸音率や伝搬定数を計測すると、ある周波数でディップやヒップが生じ、著しく計測の精度が低下することが知られるようになってきた。この現象に関して著者らは、管壁に拘束された多孔質材料の重さがマス、繊維がスティフネスとして働く、一種の共振現象によるものであることを明らかにした²⁾。また、この解決策として著者ら、山口らは、試料を管径より幾分小さめに切り出して拘束を弱める方法^{6) 7)}、寺尾らは、管壁から多数の針を試料に刺し入れる方法⁸⁾ による方法を提案している。

一方、著者らは本研究と併行して、多孔質材料の振動姿態を詳細に観察して、この現象の把握に努めてきた⁹⁾。その応用として、振幅の大きな部分の振動を固定拘束する方法を新たに試みた。

4.1 試料の振動と伝搬定数の関係

音響管中の試料の振動を効果的に抑制するためには、試料の振動状態や計測結果との関係について把握する必要があると考えられた。そこで、振動を細かく観察できるよう、内径を 96mm と大きくした音響管を使用し、レーザードップラー振動速度計で試料表面49点の振動速度を計測した。同時に伝搬定数の計測も行い、試料振動と計測結果への影響の関係を調べた。

Fig.9 An example of relations between a measured propagation constant and a caused vibration on a surface of a test material

Fig.10 An example of caused vibration shapes on a glass wool

グラスウール32K (25mm厚)を対象とした伝搬定数と試料中央の振動速度の計測結果をFig. 9に示す。伝搬定数の計測結果では250Hz付近に大きなディップが生じているが、これは振動速度の計測結果に現れている1次共振周波数と一致しており、計測結果に現れるディップと試料振動との関係は明瞭である。さらに、49点の振動速度の計測結果から、250Hzにおける試料中央の振動に対する振幅比、位相差を算出して得られた振動状態の観測例をFig. 10に示すが、試料中央付近の振幅が大きい振動状態であることを示している。

4.2 試料振動の抑制手法

試料の振動状態の観測結果から、振幅の大きな試料中央付近、あるいは振動の腹になりやすい位置を、何らかの方法で振動方向に動きにくく拘束することが効果的と判断された。そこで、本計測装置で試料背後に接する剛壁の不動性に着目して、その剛壁部に8本の細い釘 (直径1mm) を垂直に固定し、これに突き刺すように試料を設置する方法 (Fig. 11) を検討した。すなわち、試料繊維と釘の接触摩擦により、試料の面外振動を抑制しようとするものである。

この手法を適用した時の振動状態の観測例をFig. 12に示す。試料振動の振幅は、Fig. 10の結果に比べ明らかに減少しており、この手法が試料振動の抑制に効果的であることが確認できた。

続いて、この手法を内径48mmの本計測装置にも適用した。適用前後の試料表面中央付近の振動速度の計測結果をFig. 13に示す。グラスウール32K (25mm厚)、ロックウール200K (25mm厚)のいずれについても、本手法を適用しない場合 (A) では700~800Hz付近に振動速度

Fig.11 A fixing method by nails for reducing resonant vibrations of a test porous material in a sound tube

Fig.12 An example of vibration shapes on a glass wool fixed to the backed wall by nails

Fig.13 Comparisons of measured surface vibrations of porous materials between with and without the new vibration reducing method

のピークが観測されており、Fig. 3やFig. 8の計測結果に現れていたディップの周波数とほぼ対応している。一方、本手法を適用した場合の結果 (B) では、この周波数における振動速度は、ほとんど確認できない。また、高域で振幅が1/4程になった振動が観測されるが、多くの計測例からも顕著なディップを生じさせるには至らないものと判断される。

4.3 計測結果における改善効果の確認

本抑制手法の実際の改善効果を確認するため、グラスウール32K、ロックウール200K (いずれも25mm厚) を対象として伝搬定数の計測を行った。得られた計測結果をFig. 14に示す。

いずれの試料とも、本手法を適用しない場合には500~700Hzで深いディップが生じているが、本手法を適用した場合には、ディップと判別できるものはほぼ完全に除去されており、試料振動の影響を回避可能ことが確認できた。また、ディップ周波数から十分離れた周波数域では計測値に大きな差は認められないので、本手法が試料中の音響伝搬を大きく乱すことはないと判断される。ちなみに、釘8本分の断面積は試料面積の約1.4%を占める程度である。

4.4 インピーダンス、吸音率の計測への適用

Fig.14 Comparisons of measured propagation constants of porous materials between with and without the vibration reducing method

Fig.15 Comparisons of normalized acoustic impedance between with and without the vibration reducing method

次に、グラスウール32K、ロックウール200K（いずれも25mm厚）を対象とした吸音率、音響インピーダンス比、特性インピーダンスの計測にも本抑制手法を適用し、その効果を確認した。

音響インピーダンス比、吸音率の計測結果を、それぞれFig. 15、Fig. 16に示す。これらの計測結果には、試料振動の影響が現れにくい傾向にあり、とくにグラスウール32Kの計測結果 (A) では、本手法

Fig.16 Comparisons of sound absorption coefficients between with and without the vibration reducing method

の適用前後の結果に大きな差は生じない。ロックウール200Kの計測結果 (B) では、本手法を適用しない場合は600～1.5kHzでデータが不自然な変化を示すが、本手法を適用した結果では滑らかで、このような現象は観測されない。グラスウール32Kの吸音率については、ディップ周波数付近での吸音率が小さいために試料振動の影響が現れにくいものと考え、50mm厚の試料についての結果もFig. 16 (A) に重ねて表示した。この結果では、700Hz付近に小さなディップが観測されたが、ロックウールほど顕著ではないが、本手法の適用によって改善されている。また、厚さ50mmで計測した伝搬定数と特性インピーダンスから、式 (7)、(2)、(3) を用いて、より厚い場合のグラスウール32Kの吸音率を推定計算した。結果をFig. 16 (C) に示すが、700Hz付近のディップを始め試料共振の影響が現れやすく、本手法の適用で不都合が解消されると推測できる。

Fig. 17に示した特性インピーダンスの計測結果は、試料振動の影響が現れやすい伝搬定数の影響を反映して、いずれの試料についてもディップやヒップが観測されやすい傾向である。グラスウール32Kの結果 (A) では、本手法を適用しない場合、500Hz付近に試料振動の影響が大きく現れており、一部だけ虚数部が正となる不自然な部分もみられるが、本手法を適用した場合 (B) には、このような現象は解消された。ロックウール200Kについては、本手法を適用した場合でも、1.5～2kHzにかけ試料振動の影響がわずかに残っている。

さらに、共振周波数付近を詳細に観測するため、上限周波数を1k Hzとした再計測を行った。なお、ここでは、低音域まで安定したデータを得るため、マイクロホンの間隔を75mmに設定した。特性インピーダンスの計測結果をFig. 18に示す。この比較例では、実数部では共振周波数も含めた低い周波数側で、虚数部では高い周波数側で、本手法の適用前後の計測値に差が生じていることがわかる。とくに虚数部では、計測の上限とした1kHzでも計測値に差がみられ、ピー

Fig.17 Comparisons of normalized characteristic acoustic impedance between with and without the vibration reducing method

Fig.18 Detail comparisons of normalized characteristic acoustic impedance between with and without the vibration reducing method in lower frequency range

クやディップがどの周波数域まで及ぶのかを特定するのは困難である。したがって、試料振動の影響が残るデータから内挿等をしても結果を正しく推定することも容易ではないと思われる。その意味からも本抑制手法は大変有効と判断される。

また、コンピュータによる数値解析が盛んであるが、境界条件を付与するのに必要な正確な音響材料データの蓄積にも有効であろう。

5. 特殊な材料を対象とした応用計測

本計測装置では、試料の背後に空気層を必要としないため、剛壁

Fig.19 Examples of measured propagation constants of sand and small ballast. These data could not be obtained by the ordinary method taking a backed space

Fig.20 Examples of measured normalized characteristic acoustic impedance of sand and small ballast

に密着した条件で試料を設置することができる。前項では、この剛壁が試料の共振振動の軽減に役立つ例を示したが、前報²⁾で述べたように、背後空気層を確保することが不可能な材料の伝搬定数、特性インピーダンスの計測が可能である。そこで、この種の材料の代表として、砂（比重1.5、25mm厚）、粒径1～3mmほどの細かい砂利（比重1.6、25mm厚）を試料として計測を行った。

伝搬定数の計測結果をFig. 19に示す。砂の伝搬定数 (A) は、周波数

が高くなるほど減衰定数、位相定数とも大きくなる傾向であり、グラスウールなどと同様の特性を示す。ただし、減衰定数をグラスウール32Kと比較すると、500Hz付近では3dB/cm程度、1kHzより高い周波数域では4dB/cm以上も大きく、伝搬減衰の大きい材料である。これに対して砂利(B)は、グラスウール32Kと比較すると、減衰定数が0.5~0.7dB/cm程度小さめで、位相定数は同程度である。

特性インピーダンスの計測結果をFig. 20に示す。砂の特性インピーダンスは、高音域ほど空気のインピーダンス特性に近づいていく傾向はグラスウールなどと同様であるが、全体的にはグラスウール32Kの3倍以上の値であり、音響的に固い材料であることを示している。砂利(B)については、実数部が4、虚数部がほぼ0と一定であり、繊維状多孔質材料のインピーダンス特性とは異なっている。

同時に得られた吸音率の計測結果をFig. 21に示す。砂の吸音率(A)は、高い周波数ほど大きくなる傾向であるが、4kHzでも0.5程度で、グラスウールよりもかなり小さい。砂利の計測結果(B)は、2.5kHzに吸音のピークが観測されており、このときの吸音率は1に近い。

ここで、厚さ25mmで計測した砂利の伝搬定数と特性インピーダンスから、式(7)、(2)、(3)を用いて、厚さ50mmの吸音率を推定計算した結果をFig. 22(A)に示す。実測結果(B)も示すが、ともに吸音のピークが1kHz、3.5kHzに現れているなど良く対応しており、種々の条件での吸音率の推定に、伝搬定数と特性インピーダンスをともに計測しておくことの効用が示された。

6. まとめ

本論文では、新しい伝搬定数計測法の実用化を目的として開発した音響管計測装置の構成を紹介し、その応用例として音響物性値の計測結果も報告した。特に、音響管計測法において計測精度低下の原因とされている試料の共振振動を抑制する手法の有効性を示した。これらの結果は以下のようにまとめられる。

- ・本計測装置では、音響管の剛壁部を分離可能としたため、試料の設置が容易となり、グラスウール程度の柔らかな材料でも、同一の試料の着脱を含め、高い計測再現性が得られる。
- ・本計測装置を応用することで、音響インピーダンス比、吸音率、特性インピーダンスの計測が可能である。
- ・本計測装置では、音源側マイクロホンの間隔を固定せず、対象周波数に応じて自由に設定できる効用が示された。
- ・伝搬減衰の大きい試料のインピーダンス計測では、試料の表面側に基準マイクロホンを設けることで、計測精度が改善される。
- ・音響管の剛壁部に固定した釘で試料を拘束する手法は、共振振動を抑制し、計測精度低下を軽減するのに有効で、背後空気層を必要としない伝搬定数計測法でたやすく導入できる。
- ・本計測装置を用いた砂の音響物性値の計測からも、粉体のような材料の音響特性の解明に本装置が有効である。

謝辞

本研究を行うにあたり、(財)小林理学研究所の金沢純一氏、(株)ブリヂストンの山口道征氏から、材料のご提供や計測装置の試作など、様々なご協力を賜りました。また、新潟大学の大学院生、卒業研究生から、多大なご協力を得ました。ここに記して、皆様に心から感謝の意を表します。

Fig.21 Examples of measured sound absorption coefficient of sand and small ballast

Fig.22 Comparisons of calculated and measured sound absorption coefficient of small ballast

参考文献

- 1) 例えば、H. Utsuno, T. Tanaka, T. Fujikawa, and A. F. Seybert, "Transfer function method for measuring characteristic impedance and propagation constant of porous materials," J. Acoust. Soc. Am., 86 (2), 637-643, 1989. 8
- 2) 岩瀬昭雄、伊和康彦「音響管を用いた新しい音響伝搬定数の計測法—試料背後の空気層を必要としない計測法—」日本音響学会誌 52 巻 6 号、pp. 411-419、1996. 8
- 3) ISO/CD 10534-2, "Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method," 1994. 10
- 4) J. Y. Chung and D. A. Blaser, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties," J. Acoust. Soc. Am., 68 (3), 907-913, 913-921, 1980. 9
- 5) 日本音響材料協会 編 (子安 勝)「建築音響シリーズ 吸音材料」技報堂出版、1976
- 6) 岩瀬昭雄「多孔質材料の伝搬定数測定への試料振動の影響—振動回避の試み—」日本音響学会講演論文集、pp. 827-828、1993. 5
- 7) 山口道征、小川智達、尾原由子、中川博、大橋心耳「各種多孔質材料の音響特性(第7報)—管内法における試料の支持について—」日本音響学会講演論文集、pp. 893-894、1994. 10
- 8) 寺尾道仁、関根秀久「繊維質材料チューブ内音響特性測定試料の針固定」日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 49-50、1995. 8
- 9) 岩瀬昭雄、佐藤肇明「周辺を拘束された多孔質材料の共振現象について」日本音響学会建築音響研究会資料 AA95- 20、1995. 7

(1997年5月10日原稿受理、1997年8月20日採用決定)