

# 薄型音響チャンバーを用いた斜入射吸音率測定法の開発 —測定システムの実験的検証—

03-142005 西川 宏作

## 1. 背景と目的

吸音率は一般に材料への入射角によって変化し、また入射条件の違いにより垂直入射吸音率、ランダム入射吸音率、斜入射吸音率の3つが知られている。この内、垂直入射吸音率とランダム入射吸音率の測定法については JIS, ISO 規格が存在する。一方、斜入射吸音率の測定法はいくつか提案されているが、大掛かりな測定機構や測定精度の問題から普及に至っているものではなく、データの整備もされていない。

また、建築空間の音響設計では指標として主に用いられるランダム入射吸音率の測定は、試料端での回折や残響室の形状により計測値が大きくばらつくことが問題として知られている。一方、ランダム入射吸音率は斜入射吸音率から算出することも可能である。

よって、高精度の斜入射吸音率の測定が可能であれば、斜入射吸音率のデータ整備や高精度のランダム入射吸音率の推定による室内音響設計への貢献が可能である。また、斜入射吸音率のデータ整備がされれば、斜入射時の吸音メカニズムの解明や音響材料開発への貢献も期待できる。

本研究では、寺尾らの矩形の二次元音場内におけるモード解析に基づく計測手法<sup>[1]</sup>をもとに試作された小規模測定システムで斜入射吸音率の測定実験を行い、装置や測定手法の問題点を明らかにすることを目的とする。

## 2. 測定原理

矩形の二次元音場において、 $x$ 方向の2つの境界が剛で、 $y$ 方向の1辺に試料があるとき、音圧は Helmholtz 方程式の平面波一般解として、 $x$ 方向に関する固有モードの重ね合わせで表される。このとき、試料への $n$ 次モードの入射角 $\theta_n$ での斜入射吸音率 $\alpha_{\theta_n}$ は、入射及び反射平面波の振幅 $a_n, b_n$ を用いて以下のように表せる。ただし、 $k_x^n = n\pi/W$ 、 $k$ は波数、 $c_0$ は音速、 $W$ は矩形二次元音場の $x$ 方向幅、 $f$ は周波数である。

$$\alpha_{\theta_n} = 1 - \left| \frac{b_n}{a_n} \right|^2 \quad (1)$$

$$\theta_n = \sin^{-1} \left( \frac{k_x^n}{k} \right) = \sin^{-1} \left( \frac{nc_0}{2Wf} \right) \quad (2)$$

また、この $a_n, b_n$ は、固有関数の直交性より、異なる2つの $y$ 座標での音圧分布を用いることで求められる。

## 3. 測定システム

試作された測定システムの仕様・寸法を図1に示す。マイク設置箇所は異なる2つの測定断面を得るために1列につき64箇所が2列となっていて、正確性と効率性のため1ユニットにつきマイク4本のマイクユニットとダミーユニットを入れ替えながら計測する。スピーカーは設置位置を10箇所から選べ、チャンバー内に励起されるモードの強さを変化させることができる。後壁は100mmの可動式になっていて、異なる試料厚や背後空気層の有無に対応可能である。

測定可能範囲について、この装置では上限周波数約3.4kHzと、進行波・後退波が分離不可能になる特異周波数がある。また、約130Hz以下では0次モードのみが励起し、垂直入射吸音率のみが測定可能である。

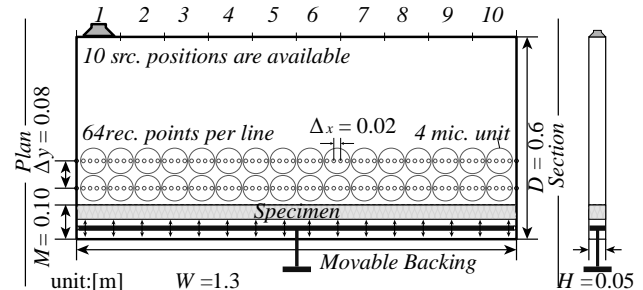


図1 測定システムの仕様・寸法

## 4. 実験

試料は一般的な吸音材であるグラスウール(以下, GW)を、種類と寸法を変えて表1に示す9体を用意する。測定信号は Log-SS (次数16, 同期加算回数8回)、測定条件は後壁密着、音源位置は1番端を基本とする。試料、信号処理、測定条件を変えて測定し、表2に示す項目について測定への影響を検討する。

表1 試料データ

GW	厚さ [mm]	高さ [mm]		
32K	25	49	50	51
	50	49	50	51
96K	25	49	50	51

表2 検討項目

信号処理に関して	境界音圧の外挿法
	信号長, 同期加算回数
測定条件に関して	試料設置位置
	スピーカー位置
	試料切り出し精度
計測法全般に関して	背後空気層
	再現性

## 5. 結果と考察

GW32K厚さ25mm, 50mm, 96K厚さ25mmいずれも高さ50mmの測定結果から算出した斜入射吸音率を, Katoモデルによる理論値とともに図2に示す。また96K25mmについては Biot 理論による弾性骨格の場合の理論値と併記した図も示す。32K25mm, 50mmについては1600Hz, 2000Hzに大きく理論値から外れる値があるが、それ以外は理論値とよく対応しており、測定原理及びシステムが妥当であると考えられる。96Kについては32Kの2つと比べて Katoモデルによる理論値とはずれが大きく、Biot理論による理論値とよく対応した。これは、96Kは32Kより密度が大きく分硬いことと、96K厚さ25mm高さ50mmの試料の幅が

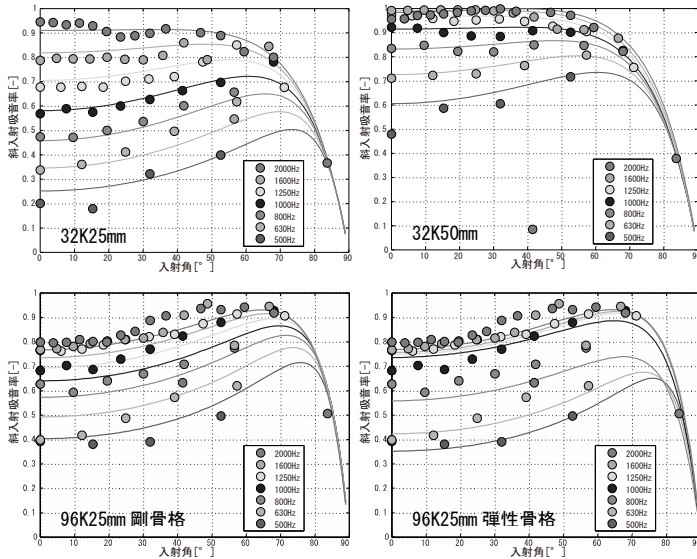


図 2 測定による斜入射吸音率と理論値

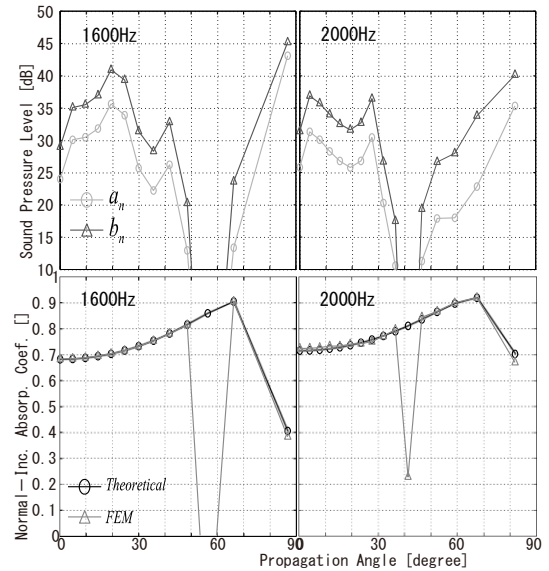


図 3 数値解析による斜入射吸音率と理論値

チャンパー内寸よりも若干大きく切りだされたものだったので、骨格振動の影響を受けていると考えられる。また、1600Hz, 2000Hz に大きく理論値から外れる値が 32K の 2 つと同様に見られた。これらの大きく理論値から外れる値は全ての試料の測定結果で、どちらの周波数でも 10 次モードの値であった。なお、10 次モードはこの 2 つより下の周波数では励起されない。

32K 厚さ 25mm 高さ 50mm について、数値解析により求めた各モードの入射及び反射平面波の振幅と斜入射吸音率を図 3 に示す。これより、どちらの周波数でも 10 モードの斜入射吸音率が精度よく測れていない原因として、モードが十分に励起されないために SN 比が小さくなっていることが考えられる。

モードの励起状態を変えるために 32K 厚さ 25mm 高さ 50mm の試料でスピーカー位置を 1 番端以外に図 1 の設置位置 2 から 5 に変更して計測するといずれのスピーカー位置でも同様に 10 次モードの値が大きく理論値から外れていた。これは、図 4 に示すように、10 次モードは腹と腹の間隔とスピーカーのサイズが共にチャンパー横幅の 1/10 で一致するため、スピーカーは逆位相となる領域を常に同位相で加振することになり、スピーカー位置がどこであってもモードが励起されにくいと考えられる

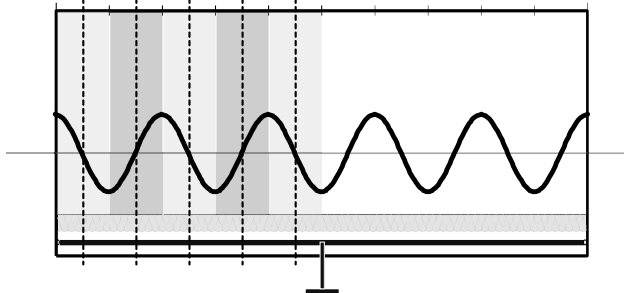


図 1 10 次モードと音源位置・寸法の関係

また、スピーカー位置 3 では 10 次モード以外に 2 次, 6 次, 14 次モードも同様に励起されにくい関係になっている。これらのモードの斜入射吸音率はスピーカー位置 3 でのみ大きなずれが確認できた。

この他の検討項目について、測定精度への影響を以下に簡単にまとめる。

- 境界音圧の外挿法——外挿により精度が向上することが確認できる。
- 信号長, 同期加算回数——変化させても低音域の暴れは改善せず, また全音域にわたり違いはほとんど見られなかった。
- 試料設置位置——前方に配置しても結果は殆ど変わらずエヴァネッセント波の影響は見られなかった。
- 背後空気層——背後空気層の厚さに応じて吸音率の変化が確認できる。
- 試料切り出し精度——背後空気層があり小さい場合に影響を与える。大きい場合は骨格振動の影響を受ける他に試料設置位置に入らないこともある。
- 再現性——うまく測定できない特定のモードを除くと、相対誤差は数%程度である。

## 6. まとめ

この試作された測定システムでは、周波数に対しても角度に対しても概ね精度よく斜入射吸音率を測定できると考えられる。ただし、スピーカーの位置・寸法とモード次数の関係により測れない吸音率が存在する。よって改良点としてスピーカー設置位置は不等間隔に、無理数比を利用し設計することが考えられる。また、試料に寸法誤差があると隙間や固定支持の影響を受ける場合があるので、材料の切り出し精度が結果に大きく影響する。

今後の課題として、GW の切り出し位置による試料自体の性能差をどのように扱うか、GW の寸法誤差の補正方法の考案、設置時の変形を少なくするための設置方法の改善、低音域での測定値の暴れの原因の特定と補正方法の考案、限られた数の角度に対する吸音率からランダム入射吸音率をどのように算出するかが考えられる。

## 参考文献

- [1]寺尾他, 音講論 (春), 765-766, 2001.