

音響管を用いた垂直入射吸音率 測定方法の比較検討

関西大学 環境都市工学部 建築学科

建築環境工学第 I 研究室

建 18-0045 田原 明日斗

指導教官 豊田 政弘 教授

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	既往研究	2
1.3	研究目的	3
第2章	測定方法	4
2.1	音響管法の概要	4
2.1.1	定在波比法	4
2.1.2	伝達関数法	6
2.2	測定装置	8
2.3	使用音源	8
2.3.1	フルバンド TSP 信号	8
2.3.2	バンドパス TSP 信号	9
2.3.3	ホワイトノイズ	9
2.3.4	ピンクノイズ	10
2.4	測定方法	10
2.4.1	1 マイクロホン法	10
2.4.2	2 マイクロホン法 (系統置換法)	10
2.4.3	2 マイクロホン法 (補正係数法)	11
2.5	処理方法	12
2.5.1	全時間応答を用いた方法	12
2.5.2	短時間分割応答を用いた方法 (ノイズのみ)	13
第3章	評価方法	14
第4章	研究結果	15
4.1	1 マイクロホン法	16
4.2	2 マイクロホン法 (系統置換法)	18
4.3	2 マイクロホン法 (補正係数法)	21
第5章	考察	23
第6章	おわりに	24

第1章 はじめに

1.1 研究背景

音響設計において壁面や床面などの吸音率は、音響環境を決定する要素の中で最も重要である。そのため、より精緻な吸音率の測定は音響設計に必要な不可欠な課題と言える。

吸音率の測定方法は音波の入射方向によって音響管法と残響室法に分けられ、垂直入射成分のみを評価する音響管法には現在使用されている方法として定在波比法と伝達関数法がある。また、伝達関数法にも複数の手法が提案されているが、吸音率を測定する際に最適な手法は明らかになっていない。

また、使用する音源に関してはホワイトノイズを使用することが基本とされているが、その他の音源についての比較検討はなされていない。

1.2 既往研究

伝達関数法は Chung ら[1, 2]によって提案された音響管を用いた垂直入射吸音率の測定法のひとつである。これに基づいた具体的な測定手法として、1 マイクロホン法、2 マイクロホン法（系統置換法）、2 マイクロホン法（補正係数法）が挙げられる。この3つの手法は JIS A 1405-2[3]において測定手法が規定されている。この規定では2個のマイクロホンを使用する系統置換法、補正係数法について、マイクロホンの個体差を補正するための方法についても定められている。

1.3 研究目的

JIS A 1405-2[3]には1マイクロホン法、2マイクロホン法(系統置換法)、2マイクロホン法(補正係数法)の3種の手法が定められているものの、測定精度についての情報は掲載されておらず、最適な手法が明らかではない。また、測定に使用する音源についても同様である。従って、本研究では3種の手法、ならびに、使用する音源の違いによる結果の比較検討を行う。測定データの処理方法についても、全時間応答を用いた方法とノイズを用いた短時間分割応答を用いた方法を比較検討する。これらの検討から最適な測定精度が得られる組み合わせを見出すことを本研究の目的とする。

第2章 測定方法

吸音性能の評価には吸音率が使用される。吸音率は音波の入射方向によって分けられ、垂直入射成分の吸音率を測定する方法として音響管法、すべての方向から同じ確率で入射する音波の成分を対象とする吸音率を測定する方法として残響室法が存在する。測定方法の系統図を図1に示す。一方で、材料にある角度 θ から平面波が入射した場合の斜め入射吸音率を測定する方法に関しては、いくつか測定方法や結果についての報告があるものの、JIS に規定されるような一般化した方法はまだ存在しない。

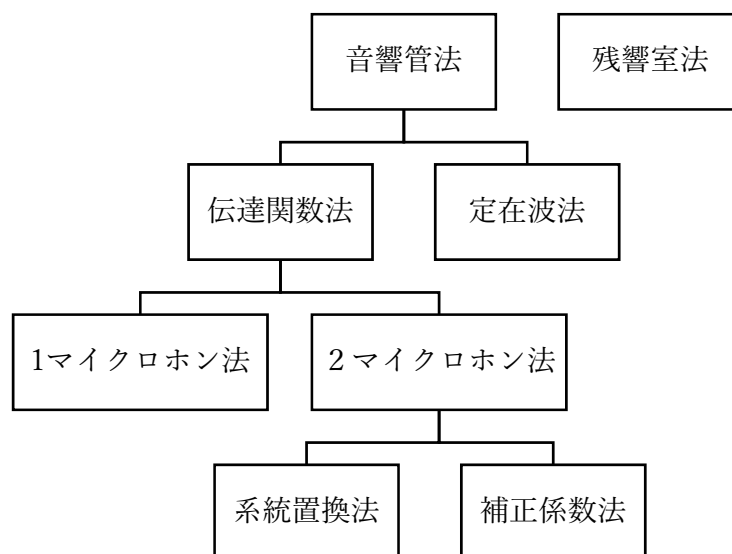


図1 吸音率測定方法系統図

2.1 音響管法の概要

音波の波長に対して十分に小さい断面を持ち、側壁が剛とみなせるような硬い材料で作成された管を音響管と呼ぶ。音響管内の片側に試験体を設置し、他端に設置されたスピーカから発生した音波を管内、もしくは、管壁に設置したマイクロホンで計測することにより吸音率を算出する。この管内では軸方向に平面波が伝搬すると仮定することができ、吸音材への垂直入射条件を実現するものである。管内を伝搬する音波を平面波に保つために必要な管の断面は、JIS A 1405 に規定されている音響管法のうちの定在波比法と伝達関数法の2種類の方法それぞれについて異なる定義で規定されている。

2.1.1 定在波比法

音響管の片側に設置したスピーカから発生した入射平面正弦音波 p_i と、他端に設置した試験体からの反射波 p_r との重ね合わせ $p = p_i + p_r$ は管内に定在波を生じる。吸音率を測定するために必要となるデータは、音圧が極小となる位置における音圧振幅 $|p(x_{min})|$ 及び音圧が極大となる位置における音圧振幅 $|p(x_{max})|$ の測定値である。また、音響反射率 r 、及び、インピーダンス Z 又はアドミタンス G も他の測定値を算出することによってこの手法で算出することが可能である。

管内で定在波分布を測定する定在波比法において、管軸に平行以外に伝搬する音波が存在すると、それらの音波同士の干渉が起こり、正確な定在波分布の測定が困難になるため、管軸に平行に伝搬する平面入射波及び反射波だけが存在しなければならない。そのため、JIS A 1405-1[4]では試験体の前面とスピーカとの間の長さ l 、適用周波数範囲の下限周波数 f_l 、上限周波数 f_u 及び管の内径 d が規定されている。

平面入射波及び平面反射波によって管内に生成された定在波の音圧極小となる位置及び極大極小位置での音圧振幅を測定するためには可動式のマイクロホンが必要である。マイクロホン自体を管内に直接設置して移動させることで計測する方法と、十分な壁厚を持った金属製のプローブ管にマイクロホンを接続し、音響管の外部で移動させながらプローブ管を通して計測する方法がある。音響管の設置図を図2に示す。

使用音源は適用周波数範囲の純音を用いる。そのため定在波比法では単一周波数ごとに計測を行わなければならない、計測に膨大な時間を要するほか、細かいピークディップも伝達関数法に比べて観測しづらい特徴を持つ。

音響管の軸に沿った方向に試験体からスピーカに向かう方向を正とする座標 x とし、試験体の表面が平面である場合、基準面 ($x = 0$) は試験体表面である。入射波 p_i は任意の振幅 A [Pa]、波数 k [1/m] を用いて、

$$p_i = A e^{ikx} \quad (2.1)$$

とおける。ここで、 k は角周波数 ω [rad/s]、周波数 f [Hz]、音速 c [m/s] を用いて、

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{c} \quad (2.2)$$

$$c = 343.3 \sqrt{\frac{T}{293}} \quad (2.3)$$

とする。ここで、 T [K] は絶対温度である。試験体の音圧反射係数を $|r|$ [-]、位相差を Δ ($-\pi < \Delta \leq \pi$) [rad] とおくと、試験体からスピーカに向かう反射波は

$$p_r = A|r|e^{i\Delta}e^{-ikx} \quad (2.4)$$

と表せる。このときの管内の音圧の絶対値は

$$\begin{aligned} |p| &= |p_i + p_r| \\ &= A|e^{ikx} + |r|e^{i\Delta}e^{-ikx}| \\ &= A\sqrt{(e^{ikx} + |r|e^{i\Delta}e^{-ikx})(e^{ikx} + |r|e^{i\Delta}e^{-ikx})^*} \\ &= A\sqrt{(e^{ikx} + |r|e^{i\Delta}e^{-ikx})(e^{-ikx} + |r|e^{-i\Delta}e^{ikx})} \\ &= A\sqrt{1 + |r|\{e^{i(2kx-\Delta)} + e^{-i(2kx-\Delta)}\} + |r|^2} \\ &= A\sqrt{1 + 2|r|\cos(2kx - \Delta) + |r|^2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

となる。したがって $|p|$ の最大値は $|p|_{max} = A(1 + |r|)$ 、最小値は $|p|_{min} = A(1 - |r|)$ となり、これらの比 γ [-] は

$$\gamma = \frac{|p|_{max}}{|p|_{min}} = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \quad (2.6)$$

と表される。この γ を定在波比と呼ぶ。また、この式を変形することにより

$$|r| = \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}$$

が導かれる。したがって、垂直入射吸音率 α_n は

$$\alpha_n = 1 - |r|^2 = 1 - \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}\right)^2 \quad (2.7)$$

となり、垂直入射吸音率が求まる。

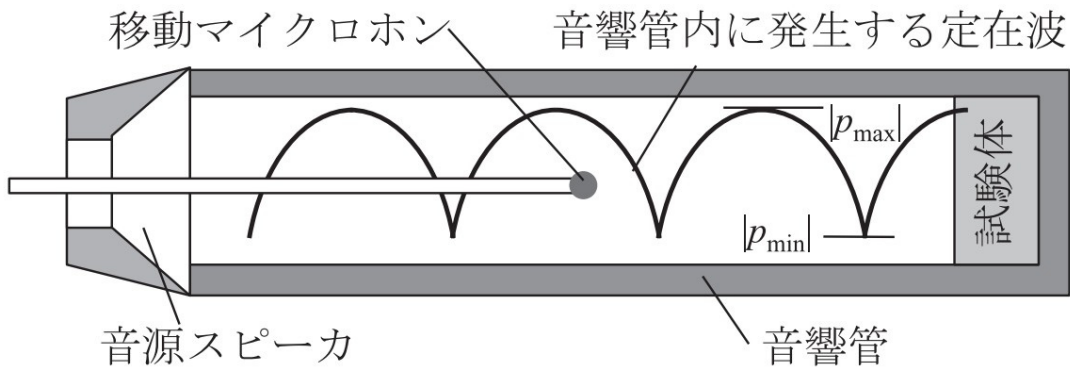


図2 定在波比法音響管設置図

2.1.2 伝達関数法

音響管法のうち、比較的新しい方法、かつ、現在最も広く使用されている方法として、伝達関数法がある。音響管内部の片側にスピーカを設置し、他端に試験体を設置する点では定在波比法と同じだが、マイクロホンを音響管の側壁の2点にマイクロホンを固定してそれぞれの音圧を測定するという点で定在波比法と異なる。伝達関数法ではマイクロホンによって固定位置間の複素音圧伝達関数の測定を行い、入射波成分と反射波成分を分け、FFT分析器を用いることで垂直入射吸音率及び吸音材の比音響インピーダンスが計算される。音響管の設置図を図3に示す。

それぞれの位置に用いるマイクロホンは同じ型式のものでなければならない。マイクロホンの直径は上限周波数 f_u における波長 $\lambda_u = c/f_u$ よりも小さいものを用いる。2つの同じ型式のマイクロホンを使用した場合でも、各マイクロホン間の音響特性の不一致であるマイクロホン mismatch によって、伝達関数値の誤差が生じるため、2つのマイクロホンを使用する方法（2マイクロホン法）では補正を行わなければならない。1つのマイクロホンのみを使用し逐次的に測定する方法（1マイクロホン法）の場合はダミーマイクロホン栓を使うことで測定基準を満たすことができ、補正を行う必要はない。

マイクロホン1位置での複素音圧反射係数 R_1 は以下のような式で定義される。

$$R_1(f) = \frac{H_{12}(f) - H_i(f)}{H_r(f) - H_{12}(f)} \quad (2.8)$$

ここで、 H_{12} は入射波及び反射波からなる音場のマイクロホン1に対するマイクロホン2の伝達関数、 H_i は入射波についてのマイクロホン1に対するマイクロホン2の伝達関数、 H_r は反射波に

ついでマイクロホン1に対するマイクロホン2の伝達関数である。マイクロホン間の距離を s とすると

$$H_i(f) = e^{iks} \quad (2.9)$$

$$H_r(f) = e^{-iks} \quad (2.10)$$

と表すことができる。ここで、入射波についてのマイクロホン1に対する試験体表面の伝達関数を H'_i 、反射波についてのマイクロホン1に対する試験体表面の伝達関数を H'_r について、マイクロホン1から試験体表面までの距離を l として

$$H'_i(f) = e^{ikl} \quad (2.11)$$

$$H'_r(f) = e^{-ikl} \quad (2.12)$$

とおくと、マイクロホン1位置の複素音圧反射係数 R_1 と吸音材表面の複素音圧反射係数 R との関係から

$$\frac{R_1(f)}{R(f)} = \frac{H'_i(f)}{H'_r(f)} \quad (2.13)$$

$$\leftrightarrow R(f) = R_1(f) \frac{H'_r(f)}{H'_i(f)} = R_1(f) e^{-i2kl}$$

であり、したがって、

$$R(f) = \frac{H_{12}(f) - e^{iks}}{e^{-iks} - H_{12}(f)} e^{-i2kl} \quad (2.14)$$

となり、 H_{12} を算出することにより吸音率が求められる。

$$\alpha_n(f) = 1 - |R(f)|^2 \quad (2.15)$$

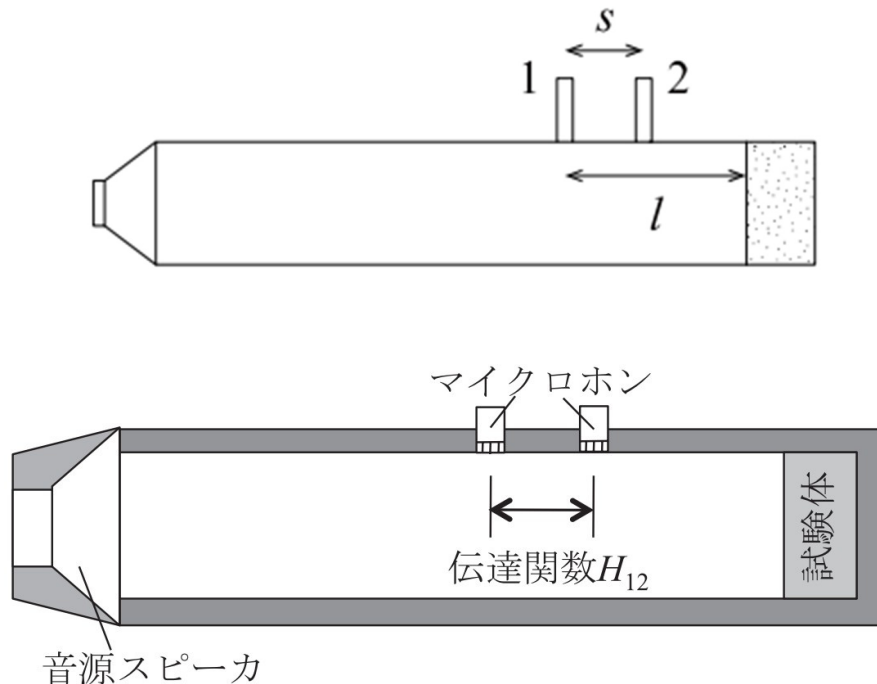
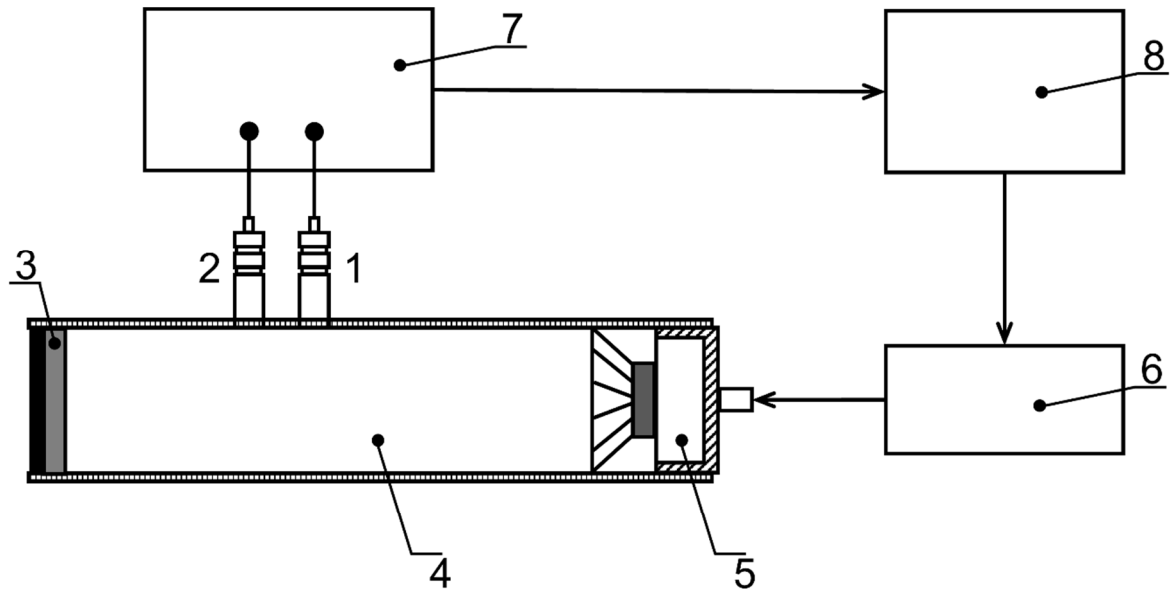


図3 伝達関数法音響管設置図

2.2 測定装置

音響管を含めた測定装置全体を図4に示す。



- 1 マイクロホン1 2 マイクロホン2 3 試験体
4 音響管 5 スピーカ 6 増幅器 (アンプ)
7 オーディオインターフェース 8 PC

図4 測定装置全体図

2.3 使用音源

2.3.1 フルバンド TSP 信号

TSP(Time Stretched Pulse)信号はインパルスを時間的に引き延ばしたスイープ信号である。本研究ではサンプリング周波数を 48000 Hz とし、0~24000 Hz の成分を含むものとした。信号作成のための数式は次式である。

$$TSP(k) = \begin{cases} \exp\left\{-i2\pi J\left(\frac{k}{N}\right)^2\right\} & \left(k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}\right) \\ TSP(N-k)^* & \left(k = \frac{N}{2} + 1, \dots, N-1\right) \end{cases} \quad (2.16)$$

2.3.2 バンドパス TSP 信号[5]

特定の周波数帯域のみを通過させ、それ以外の周波数帯域は減衰させるフィルタをバンドパスフィルタといい、特定の周波数以外の信号を除去するときに使用する。本研究ではサンプリング周波数は 48000 Hz とし、62.5~2000 Hz の成分を含むものとした。信号作成のための数式は次式である。

$$\begin{cases} S(k) = A(k) \cdot G(k) & \left(k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}\right) \\ S(k) = S(N-k)^* & \left(k = \frac{N}{2} + 1, \dots, N-1\right) \end{cases} \quad (2.17)$$

ただし、

$$A(k) = \exp\left\{\varepsilon \left(\frac{k - N_c}{N_2 - N_c}\right)^{12}\right\} \quad \left(k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}\right) \quad (2.18)$$

$$G(k) \exp(-i\alpha k^2) \quad \left(k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}\right) \quad (2.19)$$

$$N_1 = \frac{f_1}{f_s} \cdot N \quad (2.20)$$

$$N_2 = \frac{f_2}{f_s} \cdot N \quad (2.21)$$

$$N_c = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (2.22)$$

$$f_1 = 62.5 \text{ [Hz]} \quad (2.23)$$

$$f_2 = 2,000 \text{ [Hz]} \quad (2.24)$$

$$f_s = 48,000 \text{ [Hz]} \quad (2.25)$$

$$N = 2^{26} = 67,108,864 \quad (2.26)$$

$$\varepsilon = \ln(0.95) \quad (2.27)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{N} \quad (2.28)$$

とする。

2.3.3 ホワイトノイズ

パワースペクトルにおいて、広い範囲で同程度の強度となっているノイズをホワイトノイズという。ホワイトノイズは自己相関関数がデルタ関数となる性質を持つ。定義としては以下の式を満たすような $w(t)$ である。

$$\mu = E[w(t)] = 0 \quad (2.29)$$

$$R(t_1, t_2) = E[w(t_1)w(t_2)] = \sigma^2 \delta(t_1 - t_2) \quad (2.30)$$

ただし、 σ^2 は w の分散で、 δ はディラックのデルタ関数である。1つ目の式は平均ゼロを表している。また、2つ目の式において自己相関は σ^2 であり相互相関がゼロであることを表している。

2.3.4 ピンクノイズ

ピンクノイズとはホワイトノイズに -3dB/oct の低域通過フィルタを通したもので、周波数を横軸にエネルギーを縦軸にとってピンクノイズをグラフ化すると、ピンクノイズは高い周波数帯域に行くにつれて右下がりのグラフになる。オクターブバンドパスフィルタで測定するとどのオクターブでみてもエネルギーが平均でフラットな特性になる。

2.4 測定方法

伝達関数法で試験体の吸音率などの音響特性を測定する場合、マイクロホンの使用本数及びマイクロホン mismatches の補正方法により、以下の方法に分類される。

2.4.1 1 マイクロホン法

1 つのマイクロホンを使用して 2 カ所の測定を交互に繰り返し測定する手法を一般に 1 マイクロホン法という。1 つのマイクロホンのみを使用するため、マイクロホン mismatches による伝達関数測定値の誤差は考慮する必要はない。しかし、マイクロホン位置を交互に入れ替えなければならないため、2 マイクロホン法よりも多くの時間を要するほか、マイクロホンを取り付け位置の誤差が発生しやすくなり、精度を落とす原因になる。

ここで、 H_{12} はマイクロホン 1 及びマイクロホン 2 での音圧を Fourier 変換したものを P_1, P_2 とすれば

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.31)$$

と表される。

2.4.2 2 マイクロホン法 (系統置換法)

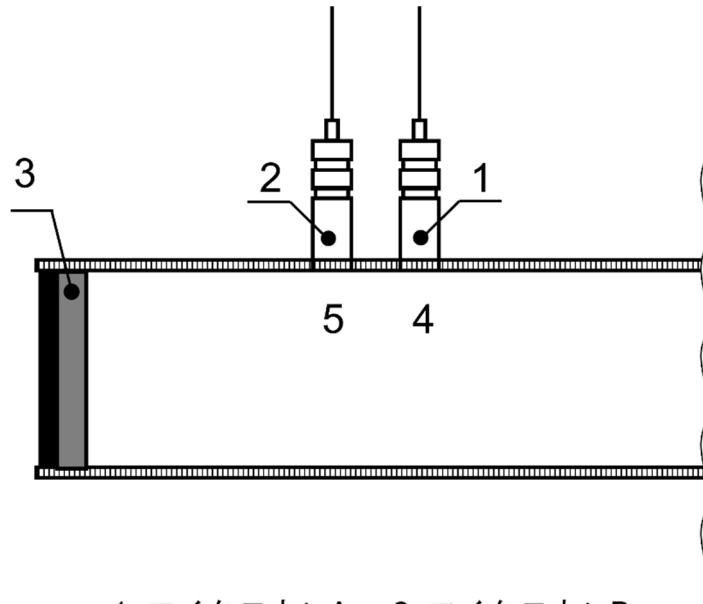
マイクロホン mismatches に対する補正方法として、1 つの試験体ごとにマイクロホン位置を入れ替えることによって補正する方法がある。この方法を一般に系統置換法と呼ぶ。1 マイクロホン法と同様に試験体ごとにマイクロホン位置を変更するため、限られた数の試験体の試験に適している。伝達関数法の測定手法に従って、次に規定するような伝達関数 H_{12}^I 及び H_{12}^{II} を測定する。

まず、マイクロホン配置を配置 I (図 5) とし、その場合の伝達関数 H_{12}^I を、式(2.31)を用いて測定し保存する。

次に、2 つのマイクロホン A 及びマイクロホン B の位置を配置 II (図 6) のように交換し、配置 I と同様に式(2.31)を用いて伝達関数を測定し保存する。これを H_{12}^{II} とする。ここで、マイクロホンの接続先である信号取得装置とは配置を交換しないことに注意が必要である。

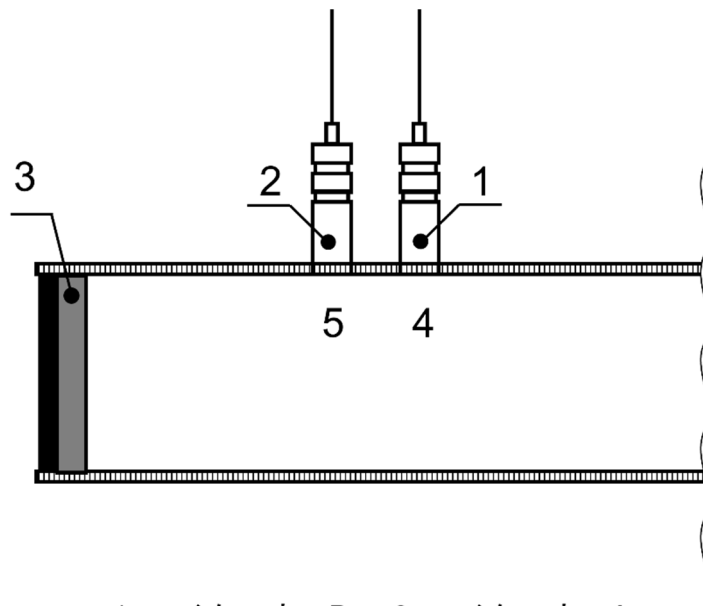
この H_{12}^I 、 H_{12}^{II} を使用して次式により補正した伝達関数 H_{12} を得る。

$$H_{12} = \left(H_{12}^I \cdot H_{12}^{II} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.32)$$



1 マイクロホンA 2 マイクロホンB
3 試験体 4 位置1 5 位置2

図5 標準配置（配置I）



1 マイクロホンB 2 マイクロホンA
3 試験体 4 位置1 5 位置2

図6 入れ替えたマイクロホンによる配置（配置II）

2.4.3 2 マイクロホン法（補正係数法）

校正用の試験体を使用することで補正を行う方法を補正係数法と呼ぶ。校正用の試験体とは、吸音特性のなだらかなもので、一連の測定のすべてに有効な補正係数を求めるためのものである。

次に規定するような伝達関数 H_{12}^I 及び H_{12}^{II} を測定する。

まず、音響管に校正用の試験体を取り付け、配置 I (図 5) のようにマイクロホンを設置し、式(2.31)を用いて伝達関数 H_{12}^I を測定する。

次に、2つのマイクロホン A 及びマイクロホン B の位置を配置 II (図 6) のように交換し、配置 I と同様に式(2.31)を用いて伝達関数を測定し保存する。ここで、マイクロホンの接続先である信号取得装置とは配置を交換しないことに注意が必要である。

ここで、補正係数 H_c を計算する。

$$H_c = \left(\frac{H_{12}^I}{H_{12}^{II}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.33)$$

その後、試験体、マイクロホンを配置 I (図 5) のように設置し、伝達関数 \hat{H}_{12} を計算する。以上より、補正された伝達係数 H_{12} を得る。

$$H_{12} = \frac{\hat{H}_{12}}{H_c} \quad (2.34)$$

2.5 処理方法

測定した音源の処理は MATLAB 上で 1 マイクロホン法、系統置換法及び補正係数法によって算出される吸音率を求めるプログラムを作成し、計測した音源データを入力することによって行う。ここで 4つの使用音源における、マイクロホン位置 1 から位置 2 への伝達関数 H_{12} を求める処理について、すべての音源に使用する全時間応答を用いた方法と、ランダムノイズであるホワイトノイズ、ピンクノイズについてのみ使用する短時間分割応答を用いた方法について述べる。

2.5.1 全時間応答を用いた方法

伝達関数 H_{12} は 2 点間のマイクロホンで測定した複素音圧 p_1 、 p_2 それぞれを高速フーリエ変換 (FFT 変換) することで求められる。音源の要素数を N 、サンプリング周波数 $f_s = 48000$ [Hz] とすると、各周波数の間隔 df は

$$df = \frac{f_s}{N} \quad (2.35)$$

とおける。求めた周波数ごとに式(2.2)に代入することにより、 k が求まる。この k と式(2.31), (2.32), (2.34) のそれぞれで求めた伝達関数 H_{12} を式(2.14)に代入することにより吸音材表面の複素音圧反射係数 R が求まり、式(2.15)より吸音率を算出する。

2.5.2 短時間分割応答を用いた方法 (ノイズのみ)

ホワイトノイズ及びピンクノイズについて、これらの音源は全区間でランダムな信号が出力されているため、任意の区間を切り取っても適応周波数範囲の伝達関数を測定することができる。そこで、1つの音源の様々な区間から 2 秒間のデータを抽出し、それぞれのデータについて吸音

率を算出し、平均値を求めることで誤差を減らすことができると考えた。ここでのデータの長さが2秒間であるのは、算出される吸音率の周波数間隔を 0.5 [Hz] ごとにするためである。模式図を図7に示す。

まず、録音した音源について、

$$dt = \frac{1}{n \cdot df} \quad (2.36)$$

とおける。分割することによってできる2秒ごとのデータの個数を s とすると

$$s = n + 1 - \left\lceil \frac{2}{dt} \right\rceil \quad (2.37)$$

となる。ここで、 $[x]$ は x についての天井関数を表す。始点から2秒間の抽出したデータを p_{s1} 、始点から dt [s] の地点から2秒間のデータを p_{s2} のようにデータを s 個に分割する。

また、音源からデータを抽出する場合、始点及び終点での誤差によって伝達関数に影響を与える可能性があるため、抽出したそれぞれのデータとハニング窓との積を使用して伝達関数を求める。ハニング窓 $y(t)$ は以下の式で表される窓関数である。

$$y(t) = 0.5 - 0.5 \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \quad (0 \leq t \leq T) \quad (2.38)$$

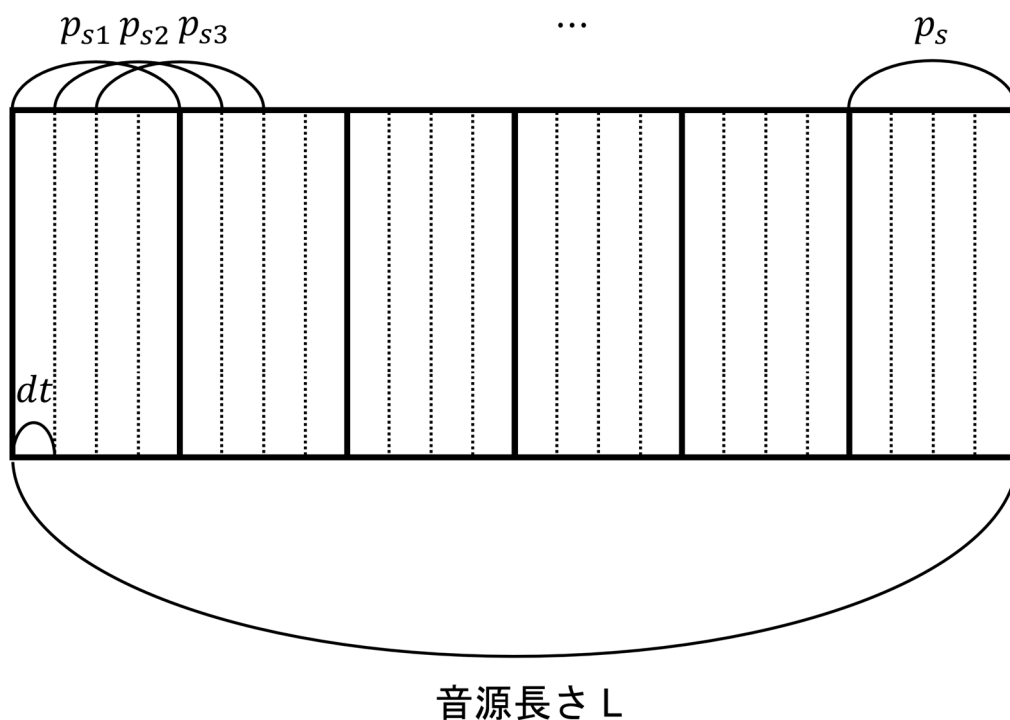


図7 短時間分割応答を用いた方法の模式図

第3章 評価方法

日本建築学会音響数値解析小委員会が公開している吸音率データ[6]と比較して評価を行う。このデータベースで公開されている実測データは理論データとの比較もなされており、十分に確からしいと考えられるため、これを真値として問題ないとする。評価値 X は以下の式で定義する。

$$X = \frac{\sum(a_1 - a_2)^2}{N} \quad (2.39)$$

ここで、 a_1 は測定した吸音率、 a_2 はデータベース上の吸音率、 N は周波数ビン数を表している。測定した吸音率 a_1 とデータベース上の吸音率 a_2 の差の和だけで評価してしまうと、周波数離散化幅が異なると要素数が増え、その分誤差が大きくなるため、ビン数で割ることで評価値を算出する。

第4章 研究結果

本研究では試験体として密度 32 kg/m^3 、厚さ 25 mm のガラスウールを使用する。これはデータベース[6]上の A-G-2 と同じ種類のものである。測定値の比較結果を図 8～21 に示す。

4.1 1マイクロホン法

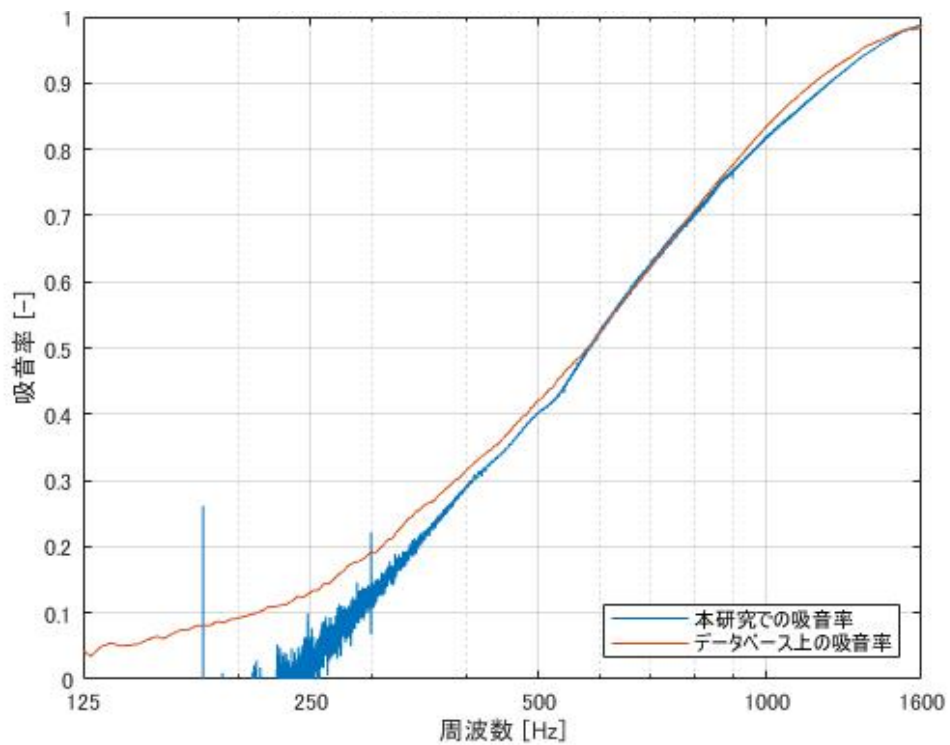


図8 1マイクロホン法・フルバンド TSP を用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.011194$

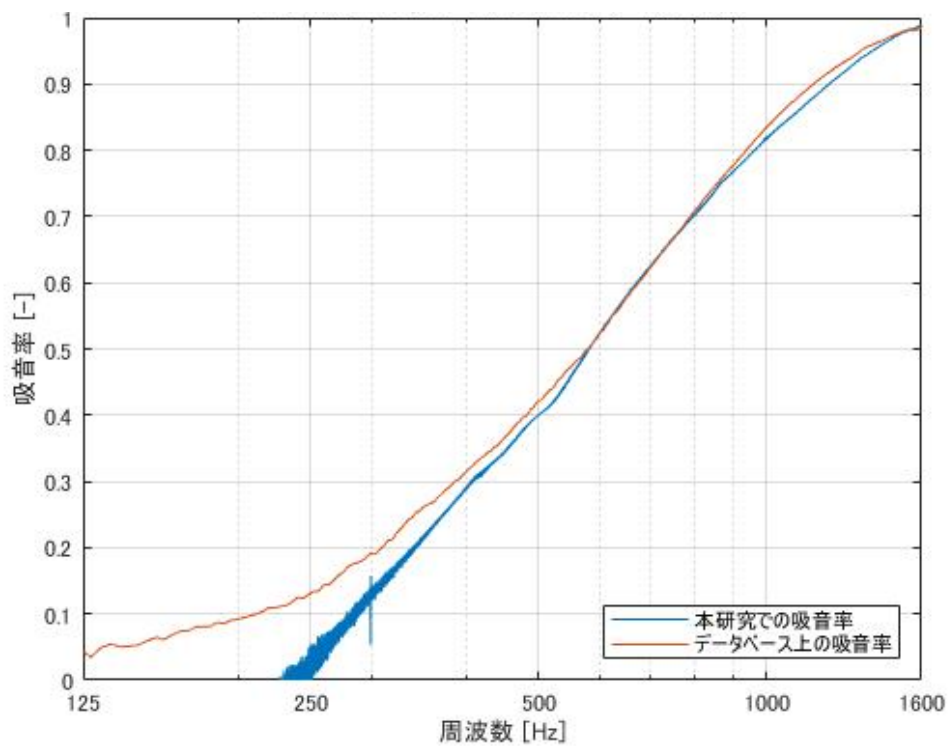


図9 1マイクロホン法・バンドパス TSP を用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.0098634$

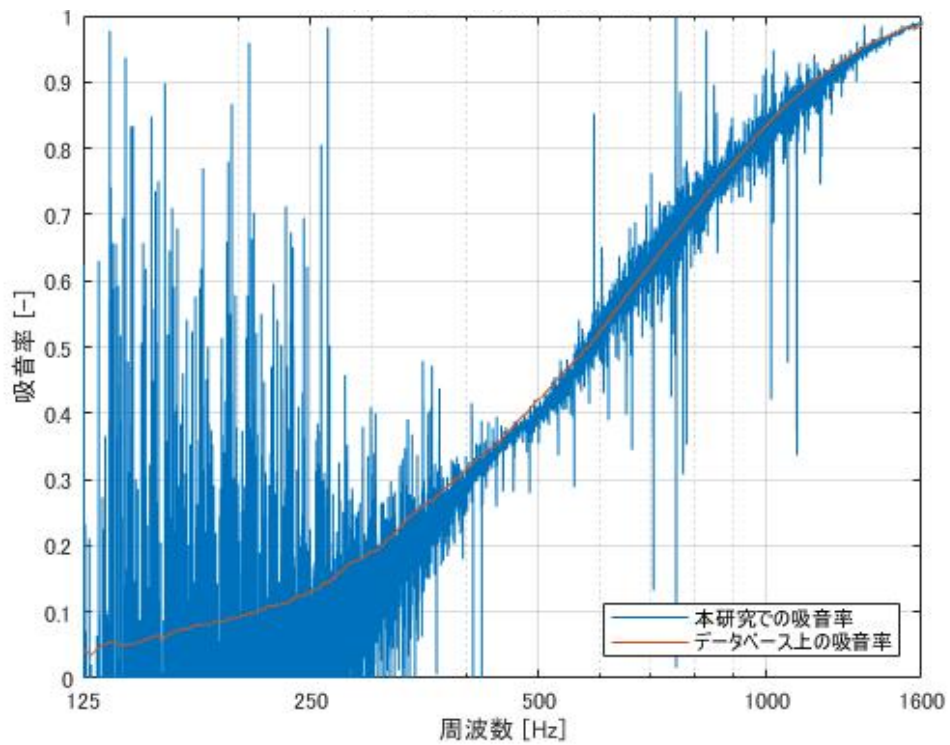


図10 1マイクロホン法・ホワイトノイズを用いた場合の吸音率
評価値 $X = 67.0704$

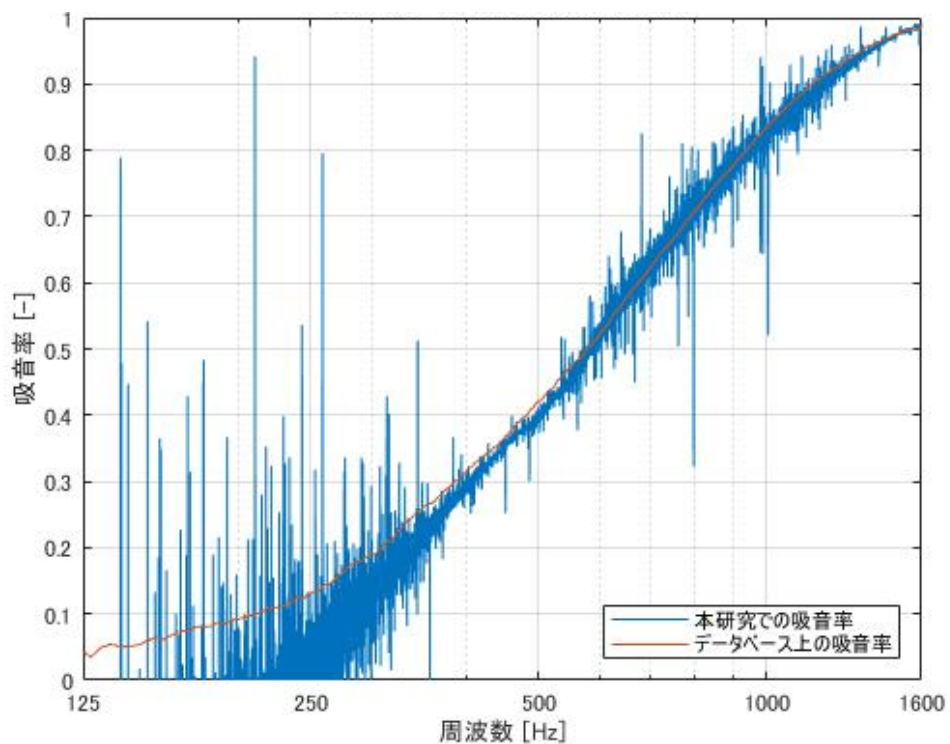


図11 1マイクロホン法・ピンクノイズを用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.017165$

4.2 2 マイクロホン法 (系統置換法)

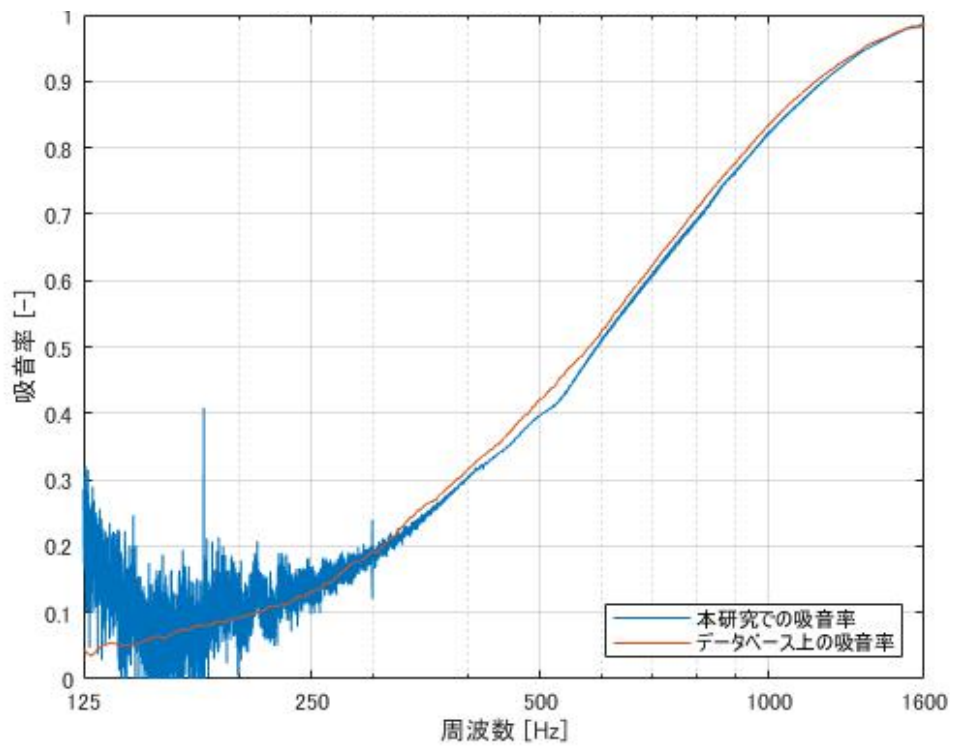


図 1 2 系統置換法・フルバンド TSP を用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.00046545$

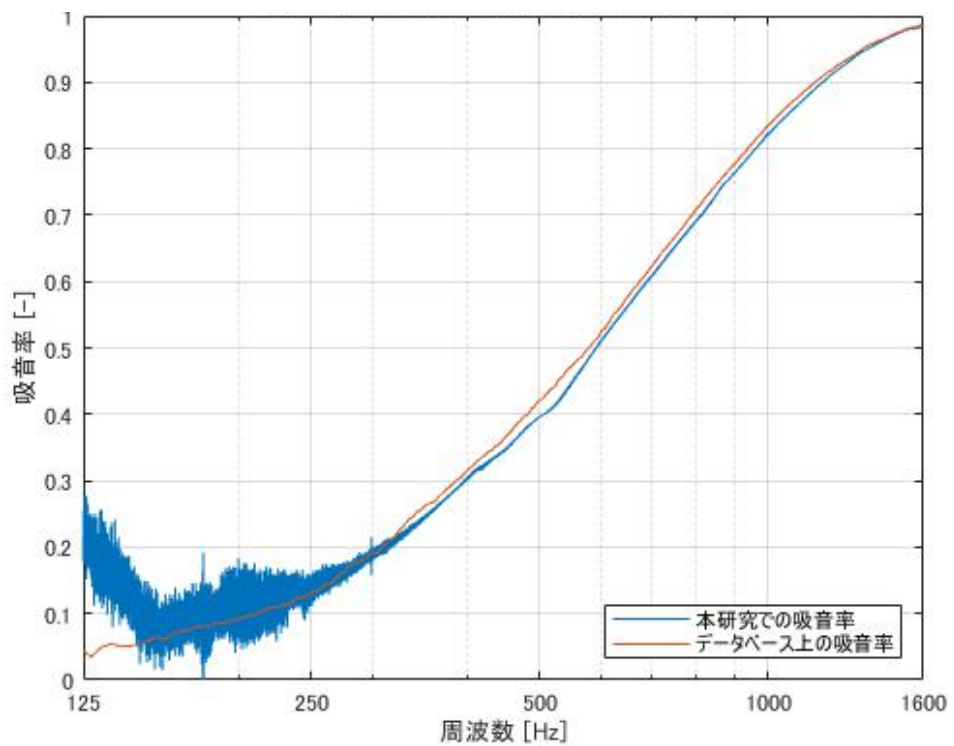


図 1 3 系統置換法・バンドパス TSP を用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.00042421$

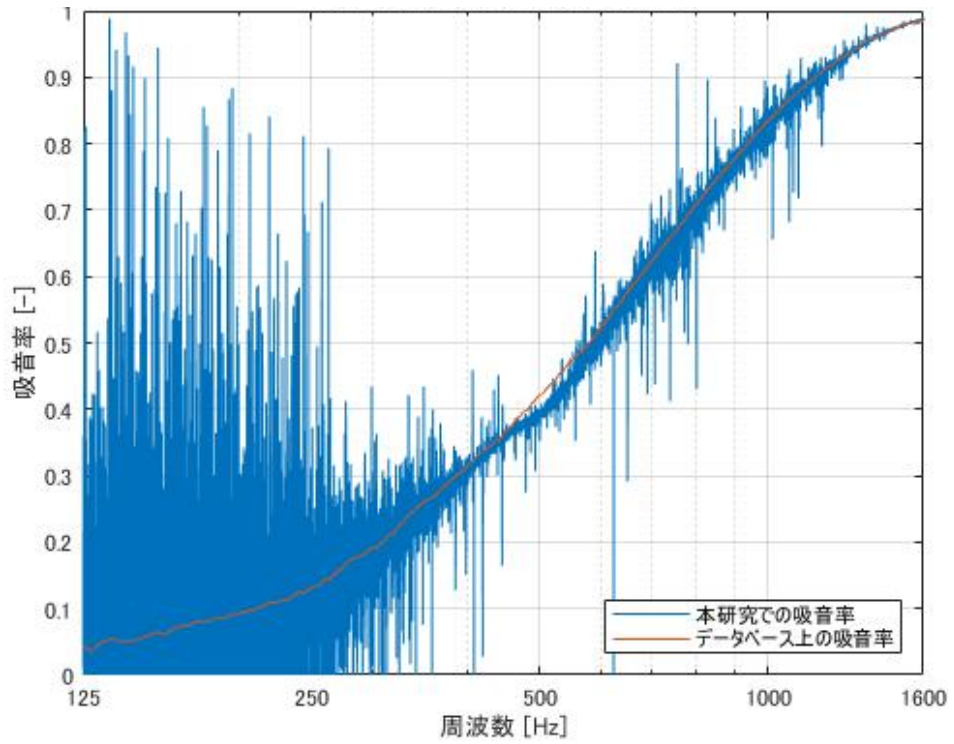


図14 系統置換法・ホワイトノイズを用いた場合の吸音率
 評価値 $X = 0.062452$

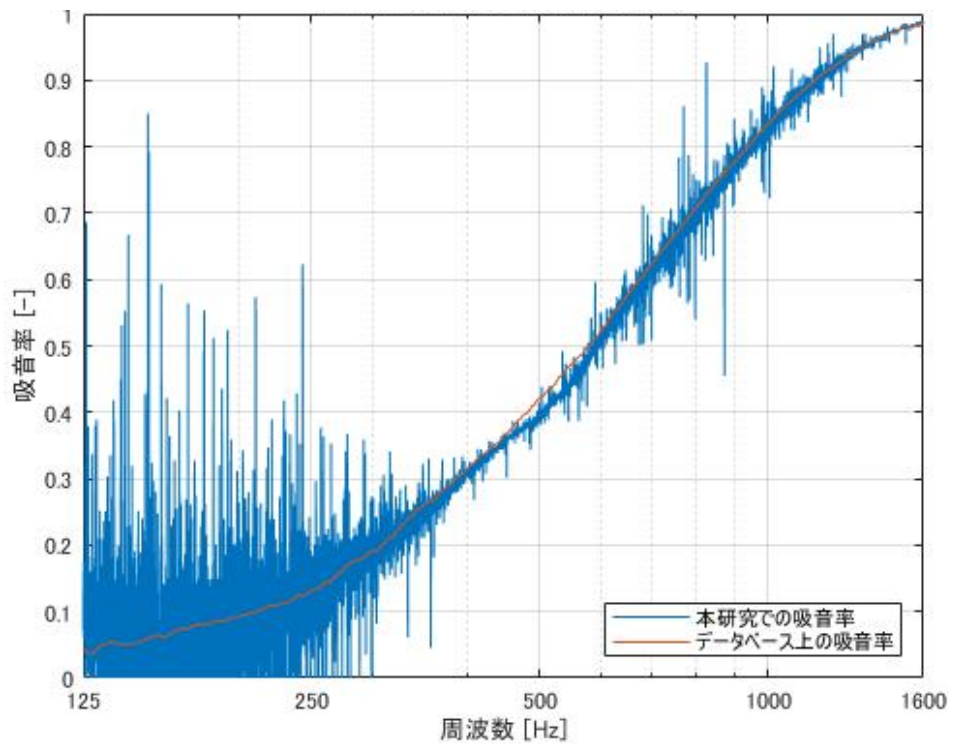


図15 系統置換法・ピンクノイズを用いた場合の吸音率
 評価値 $X = 0.0010234$

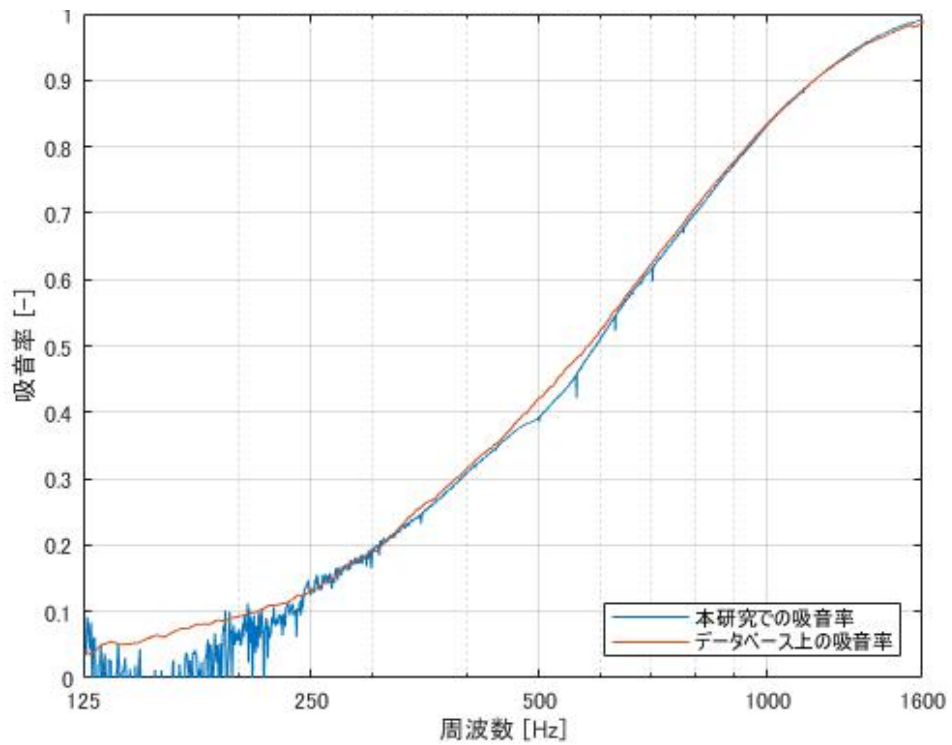


図 1 6 短時間分割応答・ホワイトノイズを用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.0075497$

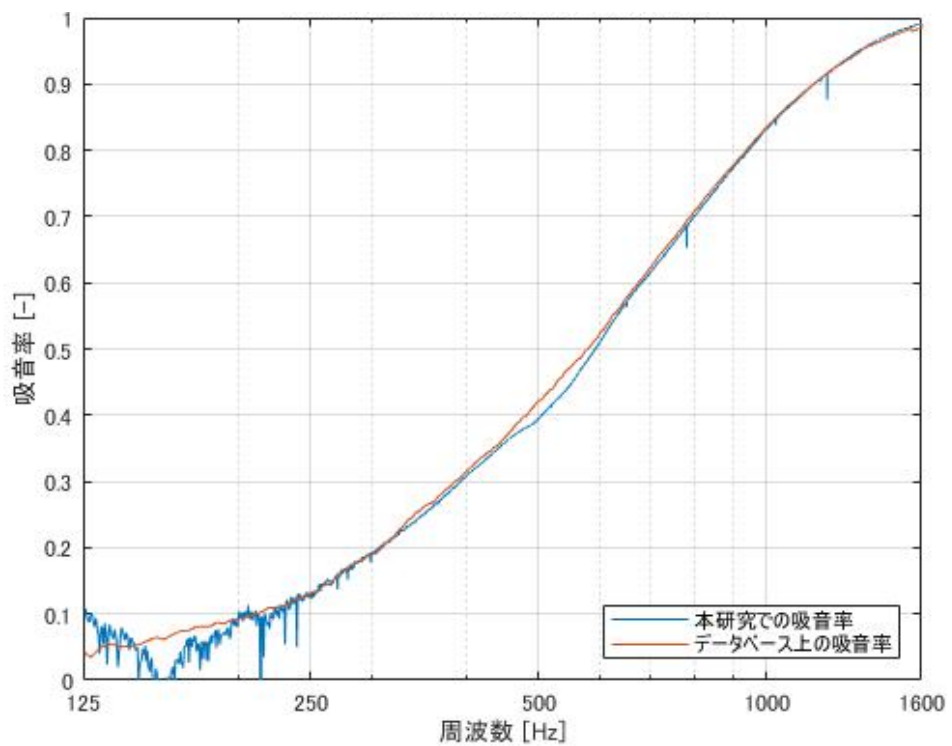


図 1 7 短時間分割応答・ピンクノイズを用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.00028075$

4.3 2 マイクロホン法 (補正係数法)

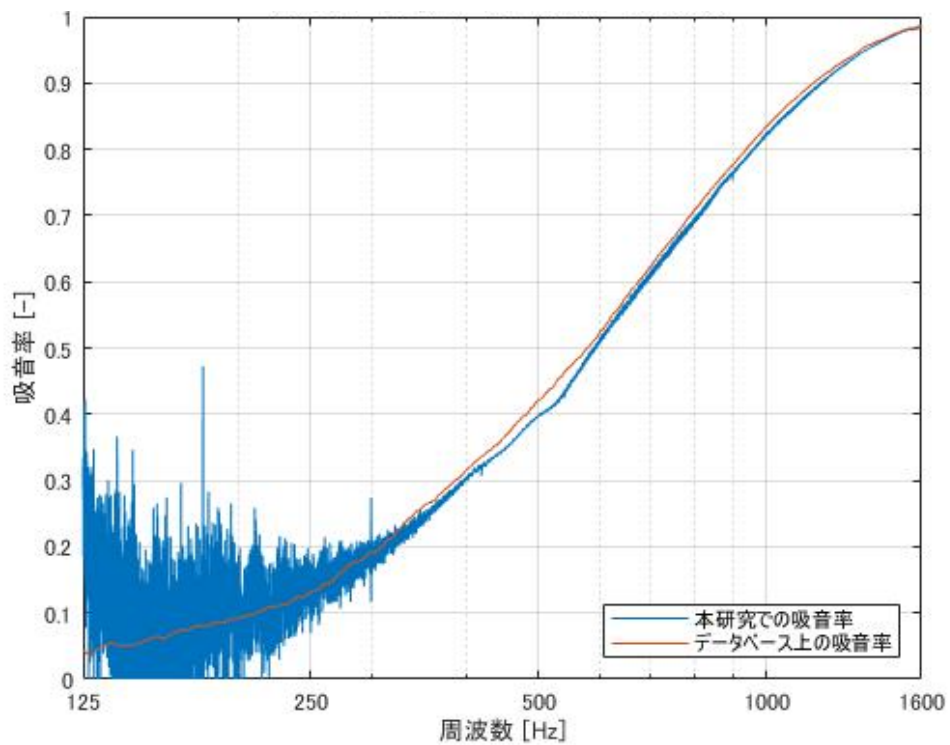


図 1 8 補正係数法・フルバンド TSP を用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.0006982$

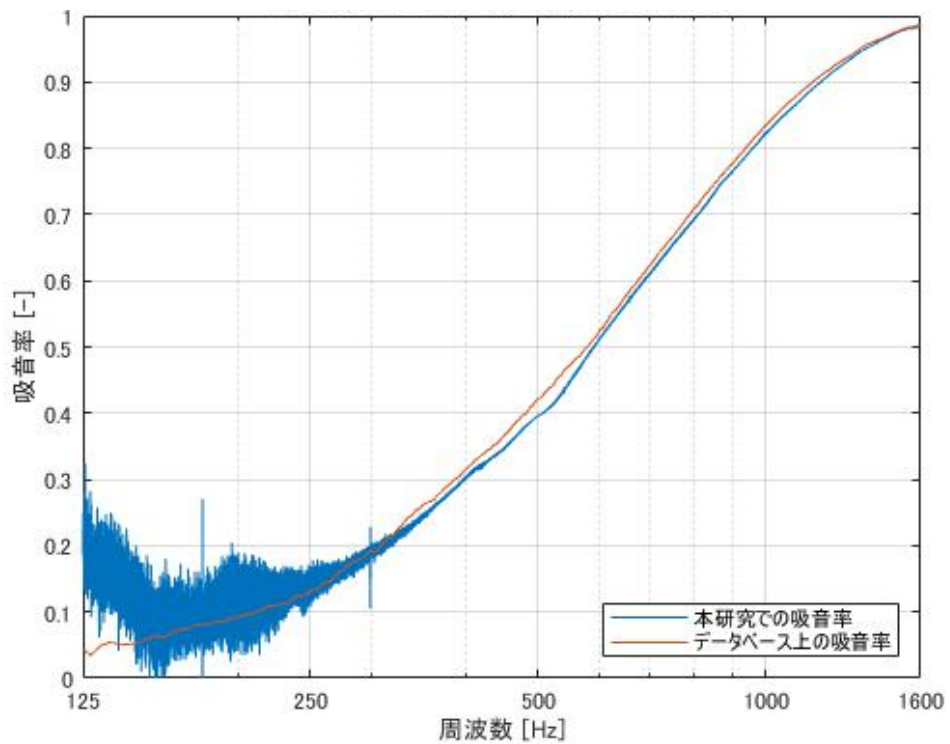


図 1 9 補正係数法・バンドパス TSP を用いた場合の吸音率
評価値 $X = 0.0004312$

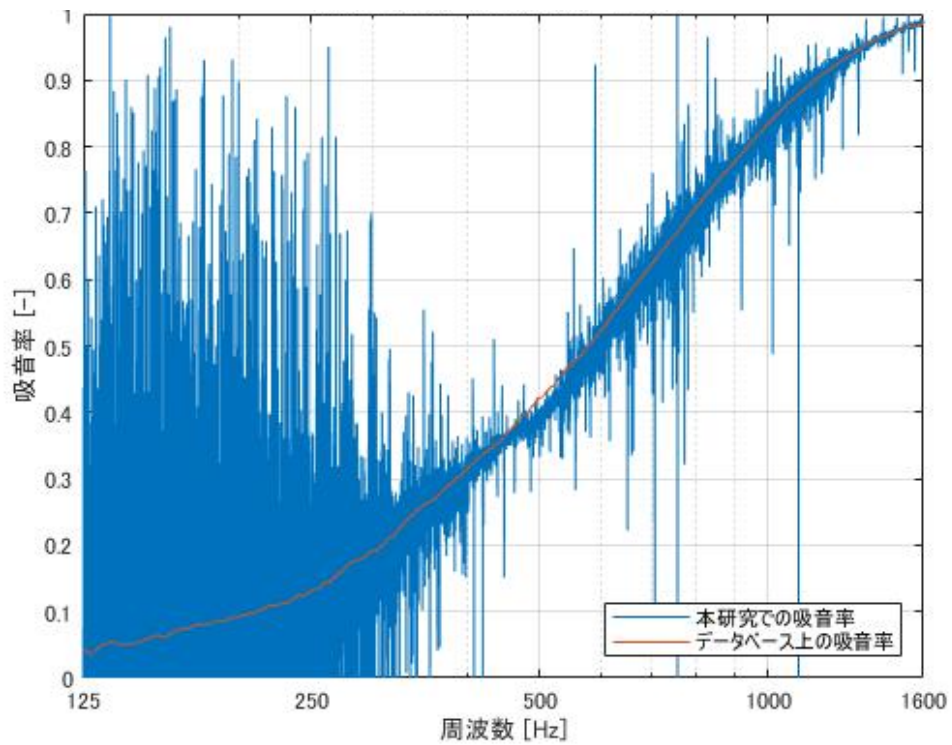


図 2 0 補正係数法・ホワイトノイズを用いた場合の吸音率
 評価値 $X = 0.33897$

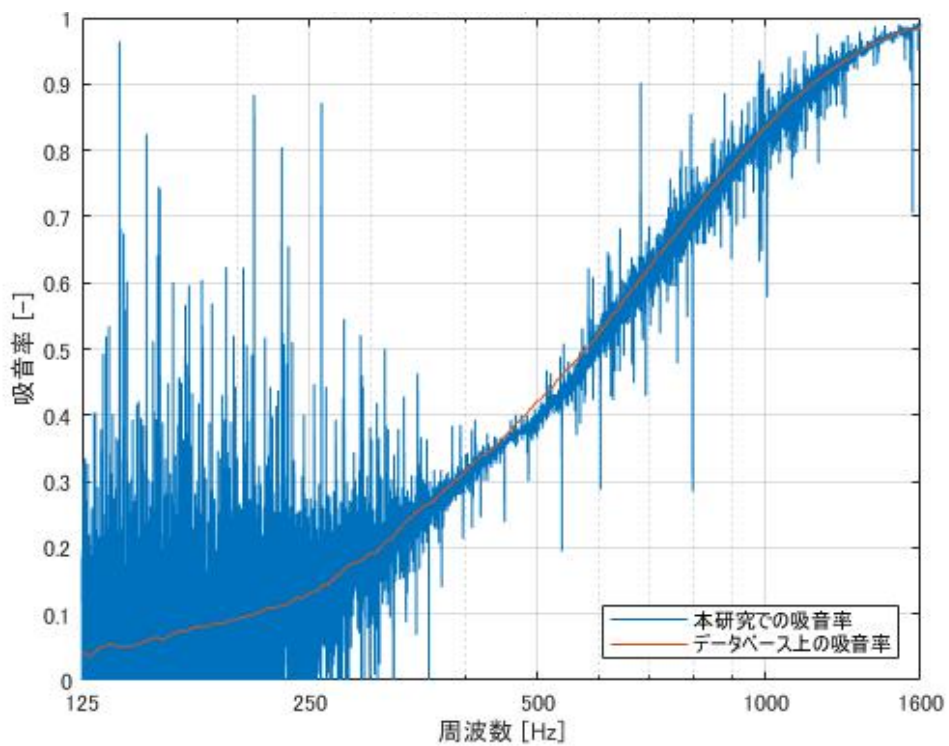


図 2 1 補正係数法・ピンクノイズを用いた場合の吸音率
 評価値 $X = 0.0047843$

第5章 考察

ホワイトノイズ及びピンクノイズについて、全時間応答を用いて音源処理を行った結果では評価値が大きくなってしまい、目視でも確認できるほどの大きな差異が全域でみられたため吸音率の測定結果として使用することには適さない。これは1セットの計測のみで判断したためであり、課題の解決のためには同様の操作を複数回行い、それらの平均値を得ることで理論値に近づけることができると予想される。一方で、短時間分割応答を用いての処理では300 Hz以下での誤差が減少し、比較的良い結果が得られた。しかし500~1600 Hzでは吸音率が0.03~0.04程度減少するディップが確認できた。フルバンド TSP 信号及びバンドパス TSP 信号ではこの現象がみられなかったことから、使用音源にノイズが含まれていたことが原因である可能性がある。

フルバンド・バンドパス TSP 信号については、全体を通して400~1600 Hzでデータベース上の吸音率に近い値が出たため、評価値は小さくなったが、1マイクロホン法における400 Hz以下でのデータベース上の吸音率よりも明らかに吸音率が小さくなる現象や、短時間分割応答に比べて誤差が生じやすいことが確認できた。

第6章 おわりに

音響管による吸音率測定方法の1つである伝達関数法において、測定誤差が生じる原因は現在でも多くあり、より良い測定環境のために3つの手法（1 マイクロホン法、系統置換法、補正係数法）と使用音源（フルバンド TSP 信号、バンドパス TSP 信号、ホワイトノイズ、ピンクノイズ）について、最も優れた組み合わせを数値化することで明確にすることを目的とした。

その結果、ピンクノイズを短時間分割応答による測定手法を用いることによって最も理論値に近い吸音率が測定できることが明らかになり、より精密な測定が可能になった。しかし、本研究では処理方法と音源に関する評価しか行っていないため、音響管の試験体ホルダーが試験体を拘束することによる測定誤差などを補正することが今後の課題として挙げられる。

参考文献

- [1] J. Y. Chung, D. A. Blaser, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory", J. Acoust. Soc. Am. 68(3), 907-913, 1980.
- [2] J. Y. Chung, D. A. Blaser, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. II. Experiment", J. Acoust. Soc. Am. 68(3), 914-921, 1980.
- [3] JIS A 1405-2, “音響管による吸音率及びインピーダンスの測定—第 2 部：伝達関数法”
- [4] JIS A 1405-1, “音響管による吸音率及びインピーダンスの測定—第 1 部：定在波比法”
- [5] 橘秀樹, 日高新人, “実物及び模型ホールのインパルス応答の測定”, 日本音響学会誌 48(4), 244-249, 1992.
- [6] 日本建築学会 音響数値解析小委員会, "吸音材料の音響特性計測に関するベンチマーク", http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s26/AIJ-Benchmark/index_j.html, 2023.2.2.