

遮音・吸音材料の性能評価に関する基礎的研究

－多層壁の遮音性能予測－

吉田勇太* 新谷隆二*

薄く、軽量で高い遮音性能を得るためには、遮音材料と吸音材料を組み合わせた多層構造が有効であるが、最適な材料の組み合わせを求めるためには試作・評価を繰り返す試行錯誤が必要となる。そのため、開発期間や開発コストが増加する問題が生じている。本研究では、多層壁における遮音・吸音性能を予測する技術について検討し、多層壁の遮音性能は弾性特性、吸音性能はBiotパラメータを用いることで実測値と一致する結果が得られた。

キーワード：遮音性能，吸音性能，Biotパラメータ

Basic study on Evaluation Method of Sound Insulation and Absorption Materials

- Prediction on sound reduction of multilayer wall -

Yuta YOSHIDA and Ryuji SHINTANI

The multi-layer structure that put sound insulation materials and acoustic absorption materials together to get high sound insulation performance at light weight thinly is effective, but trial and error to demand the combination of most suitable materials is necessary. In this study, we evaluated a prediction technology of sound insulation and acoustic absorption performance in the multilayered wall. The sound insulation performance of the multilayered wall agreed with an actual value to use an elastic characteristic. And the acoustic absorption performance of the multilayered wall agreed with an actual value to use Biot parameter. Thus, sound insulation performance and the acoustic absorption performance of the multilayered wall are predictable using each property characteristics.

Keywords : sound insulation, sound absorption, Biot parameter

1. 緒 言

工場の設備機械等から発生する騒音を防ぐためには、遮音壁や吸音パネルにより外部に音を出さないようにする対策が一般的である。遮音壁の遮音性能は壁を厚くすることで向上するが、コストの増加や重量増加による施工性の悪化が問題となるため、薄く、軽量で高い遮音性能を持つ材料が求められる。このためには、遮音材料と吸音材料を組み合わせた多層構造とすることが有効である。しかし、最適な材料の組み合わせを求めるには試作と評価を繰り返す試行錯誤が必要となるため、長い開発期間と開発コストの増加が問題となっている。

本報告では、最適な多層壁の構成を短時間かつ容易に求める手法を開発するため、多層壁の遮音・吸音性能の予測値と実測値との比較を行い、予測手法の妥当性を検証した。

2. 遮音・吸音性能の予測

2. 1 遮音性能と吸音性能の定義

図1に、壁に入射した音は反射、透過と吸収の3つの音の成分に分かれることを示す。材料の遮音性能は、入射音のエネルギー E_i に対して壁を透過する音のエネルギー E_t がどれだけ小さくなったかを示し、式(1)により求まる¹⁾ 音響透過損失 R で表される。

$$R = 10 \log_{10}(E_i/E_t) \quad (1)$$

ここで R が大きいほど遮音性能が高いことを示すことになる。

一方、材料の吸音性能は、入射音エネルギー E_i に対する反射音以外のエネルギー $(E_i - E_r)$ の割合を示し、式(2)により求まる¹⁾ 吸音率 α で表される。 E_a は材料に吸収される音のエネルギーを表す。

$$\alpha = (E_i - E_r)/E_i = (E_a + E_t)/E_i \quad (0 < \alpha < 1) \quad (2)$$

ここで α が1に近いほど高い吸音性能であることを表し、吸音材料は音の反射を抑えたい場合に用いられる。

*機械金属部

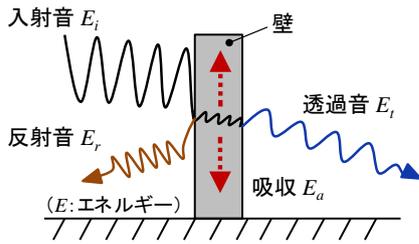


図1 遮音，吸音の定義¹⁾

2. 2 予測に使用する材料特性値

遮音性能は、壁を伝わる固体伝播音や壁の振動の影響を受けることから、密度、ヤング率、ポアソン比、減衰係数といった材料の弾性特性値から算出することができる²⁾。

また吸音性能は、材料内部で音が熱に変換される熱交換損失や材料内部の空気による粘性損失などの影響を受けている。したがって遮音性能で用いる弾性特性値に加えて、多孔度、流れ抵抗、迷路度、粘性特性長、熱的特性長といった流体特性値から算出することができる。これは多孔質音響材料の吸音特性を予測するBiot理論³⁾に基づくもので、この4つの弾性特性値と5つの流体特性値を合わせてBiotパラメータという。予測に必要な特性値は表1に示すとおりである。

鉄やアルミニウムなど一般的な遮音材料についての4つの弾性特性値は文献などから知ることができる。しかし、吸音材料の流体特性値では、粘性特性長や熱的特性長など測定が困難な特性値を含んでいる。

2. 3 流体特性値の取得

Biot理論より吸音率は、流体特性を示す5つの特性値を用いた理論式で表される³⁾ことから、吸音率のデ

表1 予測に使用する材料特性値

特性値		遮音材料	吸音材料
弾性特性	密度 [kg/m ³]	使用	使用
	ヤング率 [Pa]	使用	使用
	ポアソン比	使用	使用
	減衰係数 [Ns/m]	使用	使用
流体特性	多孔度	不使用	使用
	流れ抵抗 [Ns/m ⁴]	不使用	使用
	迷路度	不使用	使用
	粘性特性長 [μm]	不使用	使用
	熱的特性長 [μm]	不使用	使用

ータから流体特性値を逆推定できる。逆推定では、音響管を用いて計測した垂直入射吸音率を使用した。吸音率が、図2に示すピークに達する前(I)，ピークの前後(II)，ピークの後(III)の3つの周波数範囲から3個の特性値を最小2乗法により推定した。各特性値に対する推定精度を高めるため、材料の厚みと背後空気層の体積を変化させることで3つの周波数範囲を含む吸音率を多数取得した。図3にグラスウールの厚みと背後空気層の体積を変化させて取得した吸音率曲線を示す。これらのデータから、逆推定にBiotパラメータ逆推定ソフトウェア(ESI社製Form-X)を使用し、5つの流体特性値を取得した。

3. 多層壁の遮音・吸音性能予測の検証

遮音・吸音性能の予測手法を実際に利用するため、予測結果と実測した多層壁の遮音・吸音性能と一致するかの確認を行った。多層構造における遮音・吸音性能の予測では、遮音・吸音材料の厚みや積層方法、弾性特性、流体特性を用いて有限要素伝達マトリクス法により数値計算した。なお、有限要素伝達マトリクス法は、一般的な伝達マトリクス法に試料面積の影響についての補正を加えた計算手法であり⁴⁾、予測に用いた各吸音材料の流体特性値は前述の逆推定によ

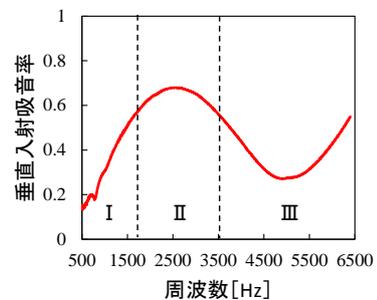


図2 特性値の推定に必要な吸音率

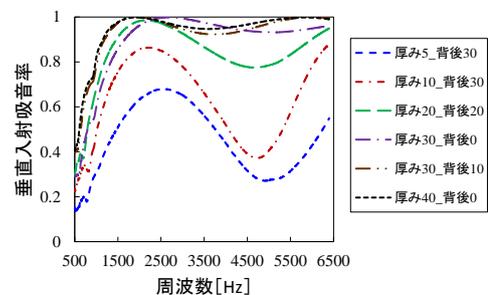


図3 厚み，背後空気層を変化させて取得した吸音率 (材料：グラスウール)

り取得した。

3. 1 遮音性能予測の検証

遮音性能予測の検証では、表2に示すアルミニウム板(表面処理無し)とウレタンフォーム(㈱東洋クオリティワン社製 グリーンライトNK)の2層壁(試料1)と、炭素繊維強化複合材料(茨木工業㈱社製 CFRP積層板 [3K平織])の2重壁の間にグラスウール(パラマウント硝子工業㈱社製 フェザーグラス[密度32kg/m³])を挿入、または空気層とした3層壁(試料2, 3)について、予測値と実測値の比較を行った。なお、材料同士は接着せず、隙間を生じないように重ねて設置した。

3. 1. 1 音響透過損失の測定方法

音響透過損失の測定では、JIS A 1441-1⁵⁾に準拠して、図4に示すように音源室には残響室、受音室には半無響室を使用し、両室の間に試料を設置して行った。音源室では12面体スピーカ(ブリュエル・ケアー社製 Type 4292-L)を4個設置し、音圧をマイクロホン(ブリュエル・ケアー社製 Type 4942)5本の平均値により調整した。受音室ではトラバース装置に取り付けたインテンシティマイクロホン(ブリュエル・ケアー社製 Type 3595)により、測定エリアの音響インテンシティレベルを測定した。対象とする周波数範囲は100 - 5000 Hzとした。試料は1m×1mの設置枠(木枠)に取り付け、隙間は粘土を使用して埋めた。

3. 1. 2 実測値との比較

試料1について、遮音性能予測値と実測した結果を図5に示す。両者はほぼ一致したが、低周波数域において一致しなかった。これは、試料取付け時の支持剛性の影響によるものと考えられる。また、吸音材料であるウレタンフォームを重ねることによって、アルミ

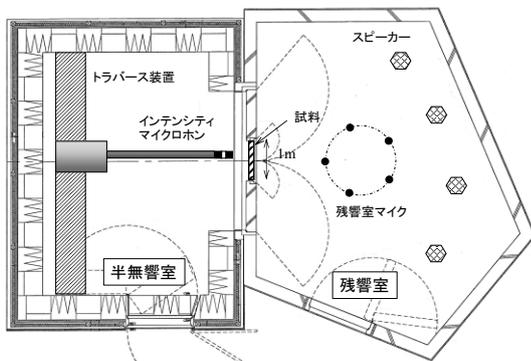


図4 残響・無響室

単体よりも高周波域の遮音性能が向上している。なお、遮音材料と吸音材料の積層順番を変えても遮音性能は同じ値を示した。

試料2, 3における遮音性能予測値と実測値との比較を図6に示す。両試料ともに、2重壁特有の共鳴現象による落ち込み(500 Hz付近)が現れ、良く一致する結果

表2 遮音性能の検証に用いた多層壁

試料名	材料	厚み [mm]
試料1	アルミニウム	2
	ウレタンフォーム	25
試料2	CFRP	2
	グラスウール	5
試料3	CFRP	2
	空気層	5
	CFRP	2

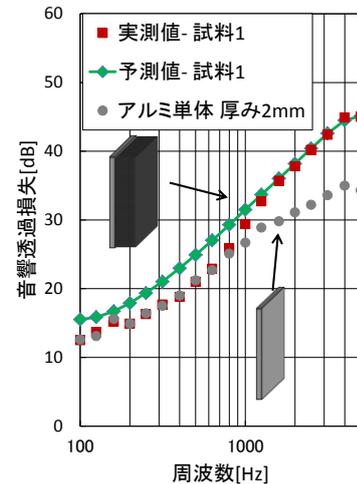


図5 試料1の遮音性能予測値と実測値

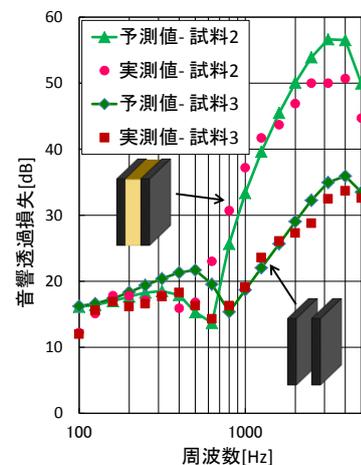


図6 試料2,3の遮音性能予測値と実測値

表3 吸音性能の検証に用いた多層壁

試料名	材料	厚み [mm]
試料4	グラスウール	25
	フェルト	10
	ウレタンフォーム	25
試料5	ウレタンフォーム	25
	グラスウール	25
	フェルト	10

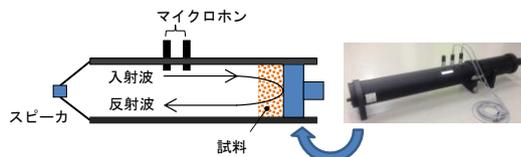


図7 音響管

であった。なお、試料2における50 dB以上での不一致は、音響試験室の性能上、50 dB以上の測定ができないために、実測値が低く測定されたためと考えられる。また、試料2と試料3の比較から、2重壁の間にグラスウールを挿入することにより、1kHz以上の周波数域の遮音性能が10dB以上高くなった。

3. 2 吸音性能予測の検証

吸音性能の予測を検証するため、表3に示すグラスウール、フェルト(エーモン工業(株)製 吸音材2177)、ウレタンフォームの順番に積層した3層壁(試料4)とウレタンフォーム、グラスウール、フェルトの順番に積層した3層壁(試料5)に対する予測値と実測値の比較を行った。なお、材料同士は接着せず、隙間を生じないように重ねて設置した。

3. 2. 1 吸音率の測定方法

吸音率の測定では、JIS A 1405-2⁶⁾に準拠して、図7

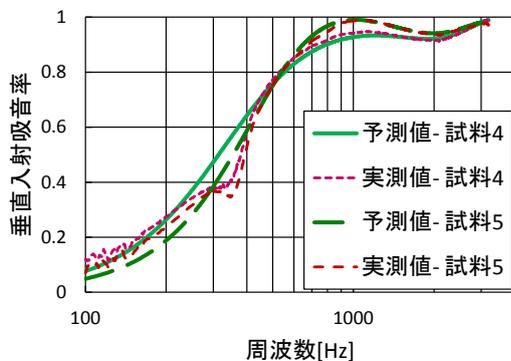


図8 試料4, 5の吸音性能予測値と実測値

に示すような円筒状の音響管を使用して行った。この測定方法では、2本のマイクロホン間の音圧の伝達関数を求めて、吸音率を算出している。音源に垂直入射音を使用することから、吸音率は垂直入射吸音率と呼ばれる。

3. 2. 2 実測値との比較

試料4, 5の結果を図8に示す。予測値と実測値がほぼ一致した。また、材料の積層順序により吸音性能は変化した。

4. 結 言

本研究では、有限要素マトリックス法による多層壁の遮音・吸音性能の予測技術について評価を行い、以下の結果を得た。

- (1) 遮音材料の単層や2重壁と吸音材料で構成した多層壁の遮音性能の予測値は、弾性特性及びBiotパラメータを用いることで、実測値と一致することを示した。
- (2) 吸音材料のみで構成した多層壁の吸音性能は、材料の積層順序により変化した。

参考文献

- 1) 前川純一, 森本政之, 阪上公博. 建築・環境音響学, 共立出版, 2011, p. 8, 109 - 112.
- 2) S. Ghinet and N. Atalla, VIBRO- ACOUSTIC BEHAVIORS OF FLAT SANDWICH COMPOSITE PANELS. CSME/ SCGM. 2006, Vol.30, No.4, p. 473-493.
- 3) J. F.Allard and N. Atalla, Propagation of Sound in Porous Media, WILEY, 2009, 358 p
- 4) N. Atalla and F. Sgard, C. Amedin, On the modeling of sound radiation from poroelastic materials, J. Acoust. Soc. Am., 2006, Vol. 120, No. 4, p. 1990-1995.
- 5) JIS A 1441-1:2007. 音響-音響インテンシティ法による建築物及び建築部材の空気音遮断性能の測定方法-第1部: 実験室における測定.
- 6) JIS A 1405-2:2007. 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