



多孔質吸音材の吸音特性に対する表面保護フィルムの影響

阪上, 公博
西尾, 純子
森本, 政之

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 13:211-218

(Issue Date)

2009-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81001967>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81001967>



多孔質吸音材の吸音特性に対する 表面保護フィルムの影響

Effect of impervious films on the absorption characteristics
of porous absorbent materials

阪上 公博¹⁾

Kimihiko SAKAGAMI

西尾 純子²⁾

Junko NISHIO

森本 政之³⁾

Masayuki MORIMOTO

概要：屋外において、反射音の制御等、騒音制御の目的で多孔質吸音材が使われる場合、耐久性に乏しいため、多くの場合表面を保護するためのフィルムが用いられる。吸音特性に対する表面保護フィルムの影響についてはいくつかの実験的研究があるが、そのメカニズムの理論的解釈や予測法については明らかでない点が多い。本研究では単純なモデル解析によって、被覆を有する多孔質吸音材の吸音機構の解釈を試みた。グラスウールの場合、フィルムの影響によって、多孔質型吸音特性が膜振動型吸音特性へと変化していくことを示した。また、ウレタンフォームの場合、表面保護フィルムの影響によって材料自体の音響特性が変化している様子がみられることを示した。

キーワード：多孔質吸音材, 表面保護フィルム, 吸音特性

1. はじめに

音環境の調整において、吸音処理は単なる快適な環境を作るだけでなく、音声伝達の性能確保に重要な役割を果たし、安全性にも関連する重要な技術である。吸音処理に利用される吸音材としては、一般的にグラスウールやウレタンフォームなどの多孔質吸音材が広く用いられている。近年は、屋外においても、反射音の制御等、騒音制御の目的で多孔質吸音材

が使われているが、耐久性に乏しいため多くの場合表面を保護するためのフィルムが用いられる。多孔質材料に非通気性の被覆材を施した吸音構造については、古くから実験を中心として考察されており、被覆によって吸音性能が改善される場合があることが報告されている^{1,2)}。近年においても、防音塀に使用するグラスウールの劣化を防ぐためにフィルムで被覆したものについて検討した例³⁾、ウレタンフォームにフィルムを被覆した例⁴⁾が報告されている。多孔質材を厳しい環境条件のもとで利用するには、有効な方法であり、古くから利用されているが、理論的に検討された例は少なく、現象的に解明されていない点も多い。あた、その吸音特性の予測手法は十分に確立されているとは言い難い。本研究では、単純な膜振動型モデルを適用し、非通気性フィルム被覆を有する多孔質材の吸音特性の形成メカニズムがどの程度解釈できるか試みる。また、吸音特性の予測にむけて基礎的な知見を得るための検討を試みる。なお、本研究では多孔質材として、グラスウールおよびウレタンフォームを検討対象とする。

2. 解析

解析モデルを Fig. 1 に示す。多孔質材は剛壁密着とし、その表面を非通気性フィルム（面密度 m ）で被覆する。フィルム、剛壁、多孔質材は無有限大、フィルムの張力は無視、フィルムの表面には吸音性はないものとする。平面波垂直入射（入射波の音圧振幅は 1）として解析した。フィルムは音波によって振動するものとし、音場との連成を考慮して解く。（以下 ω : 角周波数, W : 振動変位）

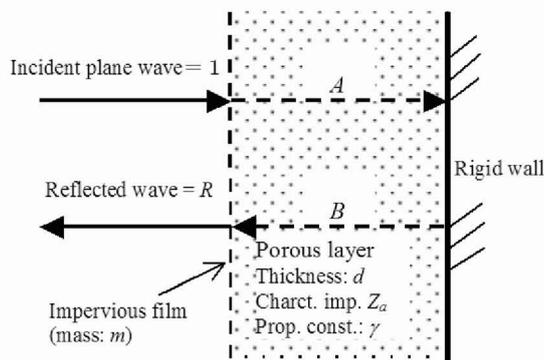


Fig. 1. Model for analysis. A plane wave of unit pressure amplitude is incident on the film, which is backed by a porous layer of thickness d , characteristic impedance Z_a and propagation constant γ .

フィルムの運動方程式は、反射波の音圧振幅を R 、吸音層内を右向きに進行する波の音圧振幅を A 、左向きに進行する波の音圧振幅を B とすると、

$$(1 + R) - (A + B) = -\omega^2 m W \quad (1)$$

となる、式 (1) および境界面での連続条件と、剛壁表面の境界条件、

$$1 - R = -i\omega p c W \quad (\text{film 入射側}) \quad (2)$$

$$A - B = -i\omega Z_a W \quad (\text{film 透過側}) \quad (3)$$

$$Ae^{-\gamma d} - Be^{\gamma d} = 0 \quad (\text{剛壁表面}) \quad (4)$$

を解き反射音圧 R を求めると、吸音率は $\alpha = 1 - |R|^2$ として簡単に求められる。なお、以後の計算においては、多孔質吸音材の固有インピーダンス Z_a および伝搬定数 γ は、Miki の式⁵⁾による予測値、もしくは実測値⁴⁾を用いた。

3. 計算結果と考察 (1): グラスウールの場合

杉江ら³⁾は、フィルムの音響抵抗を実測値から推測し、これを用いてフィルム付きグラスウールのインピーダンスおよび吸音率を予測し、実測と良い一致を得ている。ただし、この方法ではフィルムの音響抵抗を実測によって求める必要がある。ここでは、本理論によって文献3)に示されたフィルムを有するグラスウールの吸音特性予測を試み、実測値と比較する。文献3)の測定では、フィルムの前に有孔板があるが、開孔率が大きく(45%)、フィルムが有孔板で拘束されていない試料の測定値を用いた。なお、フィルムは自重でグラスウールと接触している状態で測定されている。フィルムはPVF(密度 1550 kg/m^3 、厚さ $8.5, 12, 21, 25, 38, 50 \mu\text{m}$ の6種)、グラスウールの厚さは 50 mm 、密度は 32 kg/m^3 である。解析は各パラメータを実測条件に合わせて行ったが、グラスウールの固有インピーダンス、伝搬定数についてはMikiの式⁵⁾を用いて推定した。

フィルム厚が $8.5 \mu\text{m}$ の場合の結果を Fig. 2 に示す。参考として、グラスウールのみ吸音率を、吸音層の表面のインピーダンスを用いて計算した結果を併せて示してある。この周波数範囲ではフィルムの有無による差はわずかで、フィルムの影響が小さい事がわかる。解析と実測の一致も良く、本理論が適用可能と考えられる。次に、フィルム厚が $50 \mu\text{m}$ の場合の結果を Fig. 3 に示す。Fig. 2 と同様に、グラスウールのみ吸音率を併せて示した。この場合も、 $8.5 \mu\text{m}$ の場合と同様の結果であり、本理論が適用可能であることが分かる。しかし、吸音特性自体は $8.5 \mu\text{m}$ の場合と大きく異なり、この場合は中高域でフィルムの影響が明確になり、ピークを持つ膜振動型吸音特性が現れている。

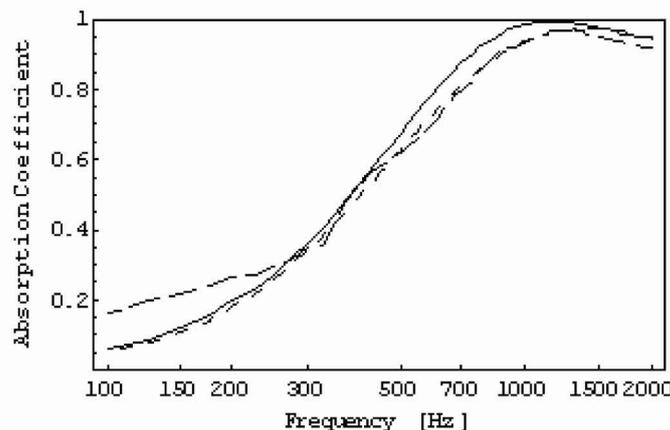


Fig. 2 Comparison of the theory (solid line) and measurement (dashed line) for normal absorption coefficient of a film ($8.5 \mu\text{m}$) with a fiberglass layer (50 mm). Calculated values for the fiberglass without the film are shown in dotted line for reference.

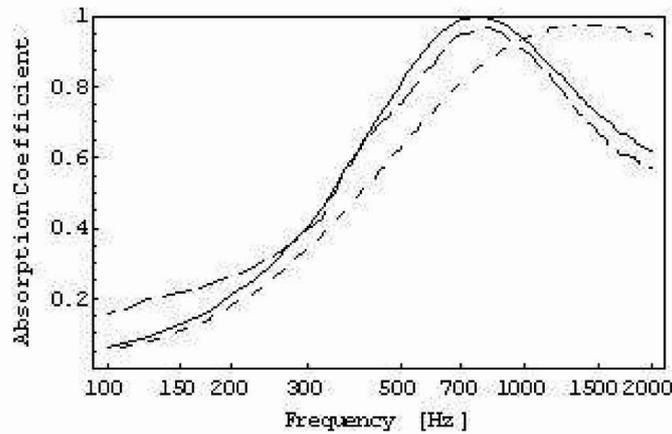


Fig. 3 Comparison of the theory (solid line) and measurement (dashed line) for normal absorption coefficient of a film (50 μm) with a fiberglass layer (50mm). Calculated values for the fiberglass without the film are shown in dotted line for reference.

フィルム厚による吸音特性の変化を、計算によって検討した (Fig. 4)。フィルム厚が大きいほどピークが明瞭になり、膜振動型吸音の特徴が顕著に現れている。もっとも、フィルムが薄い場合にも 2kHz 以上にピーク特性を持っているのであるが、ピークがなだらかなため周波数選択性は弱い。この周波数範囲においてみれば、上記の条件下では 25 μm 程度までのフィルムであれば、多孔質的な特性を保つことができると言えよう。

以上の考察においては、グラスウールの流れ抵抗を 20 kPa s/m²とした。結果は省略するが、流れ抵抗が小さい場合はピークが明確に表れるが、大きくなるとブロードになる傾向が見られた。

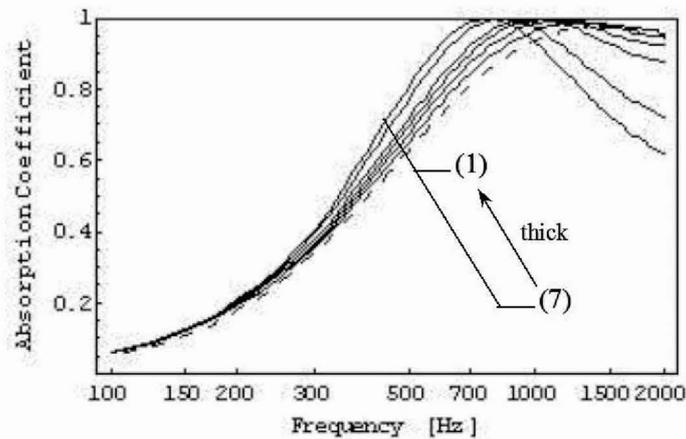


Fig. 4 Effect of film thickness on the absorptivity (calculated value): (1)50, (2)38, (3)25, (4)21, (5)12, (6)8.5 μm , (7) none. Flow resistivity of fiberglass assumed to be 20 kPa s/m².

4. 計算結果と考察 (2) : ウレタンフォームの場合

ここでは本理論の計算結果を、文献4)の実測値と比較する。フィルムはウレタンフィルム (密度 1000 kg/m³, 厚さ 15, 30, 120 μm の3種), ウレタンフォーム(UF)の厚さは30mmであり、フィルムはUFに熱融着されている。解析では、UFの固有インピーダンスと伝搬定数には実測値4)を用いた。

15 μm の場合の結果を Fig. 5 に示す. 実測は, 多孔質型に似て高域で高くなる広帯域の吸音特性を示すが, 解析では大きく異なる. なお, この周波数範囲において, フィルムなしよりもフィルム付きの方が, 吸音率が大きくなっている. 結果は省略するが, 30 μm の場合も類似の傾向を示した. しかし, 30 μm の場合は解析, 実測ともにピークが目立ちはじめ, 膜振動型吸音特性に近い傾向が見られている.

120 μm の場合の結果を Fig. 6 に示す. 2つの場合に比べると, 解析と実測に明瞭なピークが見られ, 膜振動型吸音の特徴が顕著に表れている. また, 解析と実測が比較的よい一致を示しており, 膜振動型吸音メカニズムである程度説明できると考えられる.

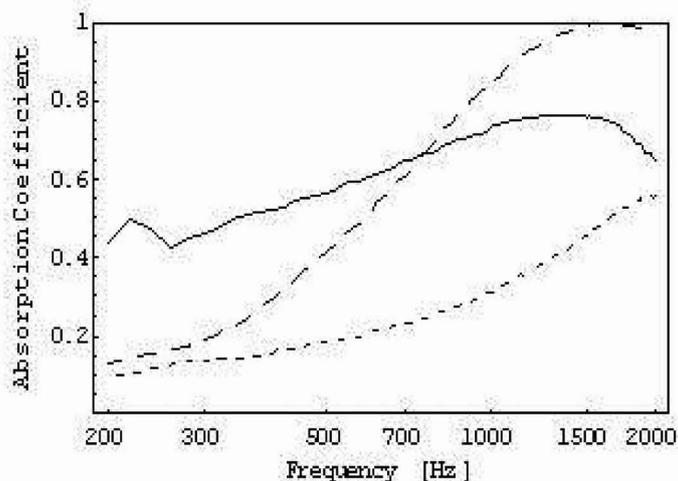


Fig. 5 Comparison of the theory (solid line) and measurement (dashed line) for coated polyurethane foam. Film thickness: 15 μm . Dotted line shows measured value of the foam alone (uncoated).

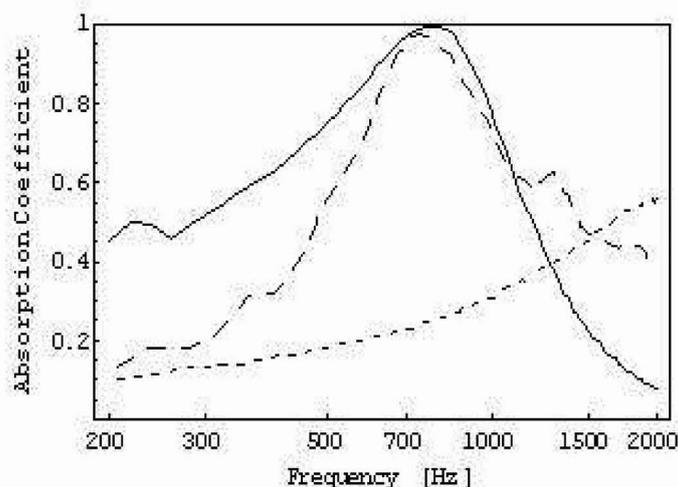


Fig. 6 Comparison of the theory (solid line) and measurement (dashed line) for coated polyurethane foam. Film thickness: 120 μm . Dotted line shows measured value of the foam alone (uncoated).

全ての例を通して共通に見られる顕著な特徴は, フィルムの付加によって吸音率が広範囲において著しく上昇していることである. 同様の現象については, UF を扱った Schwartz ら²⁾ も指摘している. Schwartz らは, その原因について, 表

面インピーダンスの実測値を示し、フィルムの付加によって吸音増加帯域で (1) 実数部が 2 倍近く増加して pc に近づき、(2) 同虚数部がゼロとなるとし、(1) についてはフィルム付着によるフレームと空気の連成強化による結果と推論している。Fig. 7 にフィルム付き UF の表面インピーダンス計算値を示す。参考として文献 2) の実測値のうち比較的物理特性の似た材料のデータを、フィルム有・無併せて示してある。15, 30 μm では UF のみとほとんど変化はないが、虚数部がゼロとなる周波数は吸音率計算値、実測値のピーク周波数と近似している。実数部はほとんど変化せず、本計算結果には Schwartz の結果に見られる増加は現れていない。山口ら⁴⁾ はフィルム付き UF の見かけの減衰定数、固有インピーダンスを測定し、材料内部の減衰性が見かけ上増えていることを指摘しているが、対応する傾向は本計算結果には見られない。本理論では、こうした材料内部の変化については扱っていないためである。したがって、フィルムと UF の合成インピーダンスの挙動のみによってこの現象を合理的に説明するのは不可能であり、フィルムの付加によって UF 自体の音響特性が変化している可能性を考慮する必要があると考えられる。

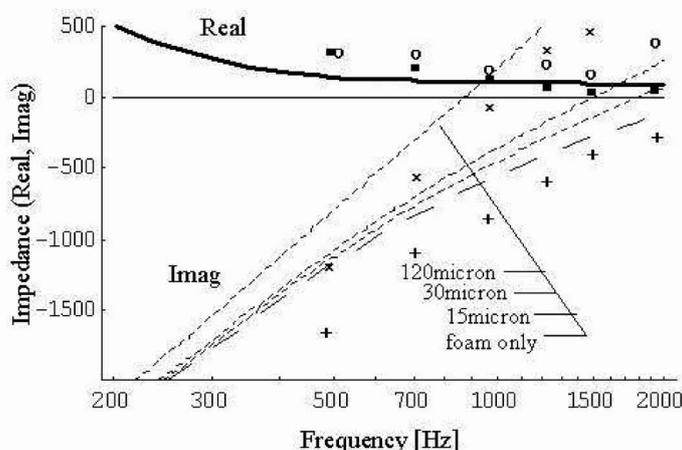


Fig. 7 Calculated impedance of coated polyurethane foam in comparison with that of uncoated foam. Measured results after Schwartz and Buehner²⁾ for a similar material are also plotted for uncoated foam (○: real, +: imaginary) and foam coated with 0.11kg/m² film (○: real, ×: imaginary).

5. おわりに

本研究では、多孔質吸音材料に表面保護のための薄いフィルムを被覆した場合の、吸音特性に対する影響を考察した。検討にあたっては、単純な膜振動型吸音モデルを用い、平面波垂直入射に対して理論計算を行い、実測データとの比較を行った。その結果、被覆が吸音材料に接着されていないグラスウールの場合には、比較的実測値と理論計算結果の一致はよく、吸音特性の傾向を把握することが可能であった。フィルムが薄い場合は膜振動型のピーク吸音特性を示すものの、そのピークは非常にブロードであり、高音域まで高い吸音率を示す多孔質吸音材本来の特性に比較的近い特徴がみられたが、フィルムが厚い場合にはピーク吸音特性が明確になり、高周波数域での吸音率の低下が著しくなる。したがって、高音域での高い吸音率を要し、広帯域での吸音性能を保持したい場合は薄いフィルムを用いるべきであり、厚いフィルムを用いた場合は膜振動型となり中音域中心の吸音特性となることがわかった。

一方、ウレタンフォームについても、おおよそグラスウールの場合と同様の傾向がみられたが、フィルムが熱融着されているため、その振る舞いは単純ではなく、特にフィルムが薄い場合には理論計算値と明確に一致しない結果となった。ウレタンフォームの場合には、フィルムの付加によって吸音率が全周波数にわたって上昇がみられたが、今回の検討に用

いた膜振動型吸音理論では説明のできない現象である。これについては、フィルムの付加によってウレタンフォーム自体の固有インピーダンスに変化が生じているとみられる。これは、過去の文献でも指摘されていた現象であるが、その理由やメカニズムについては、ウレタンフォームの材料自体の特性について今後さらに詳細な検討が必要である。

謝辞：貴重なデータをご提供いただいた小林理学研究所の杉江聡氏，吉村純一氏，および(株)ブリヂストンの山口道征氏に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kosten, C.W.: Absorption of sound by coated porous rubber wallcovering layers, *J. Acoust. Soc. Am.* Vol.18, No. 2, pp.457-471, 1946..
- 2) Schwartz, M., Buehner, W. L.: Effects of light coatings on impedance and absorption of open-celled foams, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 35, No. 10, pp. 1507-1510, 1963.
- 3) 杉江聡，吉村純一，小川博正：表面保護をした多孔質繊維材の吸音特性，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集 2-3-15, pp.317-320, 1995
- 4) 山口道征，吉田哲夫：各種多孔質材料の音響特性（第 23 報）フィルム付き軟質ウレタンフォームの吸音について，日本音響学会講演論文集 1-8-2, pp. 801-802, 2001.3.
- 5) Miki, Y.: Acoustical properties of porous materials – Modification of Delany-Bazley models-, *J. Acoust. Soc. Jpn(E)*., Vol. 11, No.1, pp. 19-24. 1990.

筆者：1) 阪上公博，工学研究科建築学専攻，准教授；2) 西尾純子，積水ハウス（株）（当時，工学部建設学科建築系，学生）；3) 森本政之，工学研究科建築学専攻，教授。

EFFECT OF IMPERVIOUS FILMS ON THE ABSORPTION CHARACTERISTICS OF POROUS ABSORBENT MATERIALS

Kimihiro SAKAGAMI

Junko NISHIO

Masayuki MORIMOTO

Abstract

Porous absorbent materials are widely used for controlling acoustical environment in built environments. Porous absorbent materials are often used outdoors for noise controlling purpose, however, they need to be covered by an impervious film for protection in outdoor environment. The effect of the coating film on the sound absorption characteristics has been experimentally studied by some authors; however, the absorption mechanism still needs to be clarified. Besides, a theory for prediction of absorption characteristics of coated porous materials has not yet been established. In this study a simple membrane-type absorption model is applied to analyse the acoustical properties of film-coated porous materials. Results show that the absorption characteristics of fiberglass covered by a film change from porous-type to membrane-type due to the effect of the film. Regarding urethane foams, the effect of the coating film is considered to change the acoustical properties of the urethane foam itself.