背後空気層が吸音材料の吸音特性に及ぼす影響に関する研究

STUDY ON INFLUENCE TO SOUND ABSORBING CHARACTERISTICS OF MATERIALS ACCEPTED BY BACK AIR SPACE

稲留康一 — *1
木村真也 — *2
西岡計成 — *3

飛松幸彦 — *4
木村 翔 — *5

Kouichi INADOME
Shinya KIMURA
Kazunari NISHIOKA

Yukihiko TOBIMATSU
Sho KIMURA

*1

*2

*3

*4

*5

Sound absorbing characteristics of interior materials are important parameter of the acoustic and noise control design of concert hall, conference room and so on. This paper presents the experimental studies on influence of the sound absorbing materials accepted by back air-space. As a result, material density and back air space influence sound absorbing characteristics of porous materials. And the observed sound absorbing characteristics of perforated materials is nearly in agreement with the statistical sound absorption coefficient calculated by Bolt's theory.

キーワード:

残響室法吸音率, 多孔質材料, あなあき材料, 背後空気層

Keywords:

Reverberant sound absorption coefficient, Porous material, Perforated board, Back air space

1 はじめに

コンサートホールや会議室などの音響設計や騒音防止設計を行う場合、室内に用いられる内装材料の吸音特性は重要なパラメータとなる。しかし、内装材料の吸音特性については、これまで多くの測定データが報告されている^{1) 2)}ものの、天井などに用いられる背後空気層を大きく持つ場合の吸音特性に関するデータは少なく、その吸音機構について検討された例も少ない^{3) 4)}。特に天井は、室の全表面積に対して比較的大きい面積を占めることから、この種の吸音特性を把握することは重要である。

このような背景から、本研究では、当社の音響実験施設⁵⁾において、各種の内装材料に背後空気層を持たせて吸音率を測定しデータを蓄積するとともに、その吸音特性について実験的に検討を行ってきた。本報では、これらの結果の中から多孔質材料とあなあき材料の検討結果について報告する。

2 測定装置および測定の概要

測定は、図1、写真1に示すように残響室(224.5 m³)内に設けられた空気層厚可変装置⁵⁾を用いて行った。この空気層厚可変装置は、残響室床面に設けたピット内において、床下2mまで床版を下

図1 試験装置の概要

写真1 試験体(一部)設置状況

*1 奥村組技術研究所環境研究室 研究員・工修
(〒300-26 つくば市大砂387)

*2 奥村組技術研究所環境研究室 研究員

*3 奥村組技術研究所環境研究室 研究員

*4 奥村組技術研究所 次長・工修

*5 日本大学理工学部 教授・工博

*1 Research Eng. OKUMURA Corp., Technical Research Institute, Environmental Eng. Dep., M. Eng.

*2 Research Eng., OKUMURA Corp., Technical Research Institute, Environmental Eng. Dep.

*3 Research Eng., OKUMURA Corp., Technical Research Institute, Environmental Eng. Dep.

*4 Deputy Director, OKUMURA Corp., Technical Research Institute, M. Eng.

*5 Prof., College of Science & Tech., NIHON Univ., Dr. Eng.

げることができるものである。これにより、試験体を設置したまま背後空気層厚を自由に変化させることを可能とした。さらに、試験体と床面を一致させることにより、試験体への音の入射条件を変化させることなく背後空気層の影響のみを抽出できるものである。

試験体は、多孔質材料、あなあき板単体、あなあき板とグラスウールの複合構造とし、空気層厚可変装置上に10.2㎡施工した。なお、測定は残響室法吸音率の測定方法(JIS A 1409)に準拠して行った。

3 測定結果の考察

3.1 多孔質材料

(1) グラスウール

グラスウールの吸音特性測定結果を図2～4に示す。これらを見ると、背後空気層が大きくなるに従い、吸音の山が低音域に移動し、吸音率の高い周波数領域が広範囲に渡るようになる。また、吸音の山と谷ははっきりと現れるようになる。この傾向は、グラスウールの密度が小さいものほど顕著である。

このような傾向は布の垂直入射吸音率でもみられ、背後空気層の厚さに対して音波(定在波)の波長が1/4または3/4波長となるときに布の位置における粒子速度が最大、1/2または1/1波長となるときに最小となることから、吸音の山・谷が形成されることが知られている¹⁾²⁾。そこで、グラスウールの中心から昇降スラブまでの距離に対する音波の波長が1/4、1/2、3/4および1波長となるときの周波数を算出してみると表1に示すようになる。この算出結果と図2～

4を対比してみると、山と谷の位置がよく対応している。しかし、布の垂直入射吸音率のように明確な山・谷は現れていない。これは、音の入射条件がランダムであることやグラスウールに厚みがあるため流れ抵抗が増していることなどが要因であると考えられる。

また、背後空気層厚に対して波長が1波長以上となる周波数領域に着目してみると、いずれの場合も吸音率が0.9程度となっており、背後空気層の違いによる大きな差はみられなくなる。

つぎに、同密度で厚さを増した場合の吸音特性測定例を図5に示す。グラスウールの密度が小さいものほど、吸音の山・谷が明確に現れることを前述したが、厚さが増すことにより面密度も大きくなることから、ここでも同様な結果となっている。

これらの結果より、背後空気層がグラスウールに大きく影響を及ぼす範囲は、背後空気層厚さに対して音波の波長が1波長以内の周波数領域に限定される。そして、吸音の山・谷の位置は、垂直入射吸音率と同様、背後空気層厚さに対する音波の波長より算出することが可能であり、山・谷の明確さは材料の密度(流れ抵抗)に関係することがわかった。

表1 床版からの距離と波長の関係

床版 から距離	1/4 波長	1/2 波長	3/4 波長	1 波長
112.5mm	756Hz	1511Hz	2267Hz	3200Hz
212.5mm	400Hz	800Hz	1200Hz	1600Hz
312.5mm	272Hz	544Hz	816Hz	1088Hz

図2 グラスウール 32kg/m³-25mmの吸音特性

図3 グラスウール 64kg/m³-25mmの吸音特性

図4 グラスウール 96kg/m³-25mmの吸音特性

図5 グラスウール厚さの違いによる吸音特性変化

図6 ロックウール 80kg/m³-40mmの吸音特性

図7 ロックウール 370kg/m³-12mmの吸音特性

(2) ロックウール

ロックウール (80kg/m^3) に布クロスを貼り付けた場合 (ふくろ貼) の吸音特性測定結果を図6に、ロックウール (370kg/m^3) にペンキを塗布した場合の吸音特性測定結果を図7に示す。

図6の結果では、吸音の山・谷の大きさは若干異なるものの、ロックウールと密度が同程度であるグラスウールの測定結果 (図4) と似た特性を示している。しかし、図7の結果では背後空気層の影響と思われる吸音特性の変化は、500Hz 帯域以下の領域で若干みられる程度で、極度に材料密度が大きくなると吸音の山・谷が明確には現れなくなる。

天井にロックウール化粧吸音板を施工する場合、石膏ボードを捨て貼りに用いることがある。そこで石膏ボード9mmを捨て貼りした場合としない場合の吸音特性を比較して図8に示す。1kHz 帯域以下の周波数領域で両者には差がみられる。この傾向は背後空気層が300mm~1000mmの範囲内では同様な結果であった。これらから判断すると、高音域での吸音機構はロックウールのみの吸音によるものと考えられ、低・中音域では、捨て貼りした石膏ボードの板振動などの影響を受けていることが考えられる。また、捨て貼りをした場合には、しない場合に比べ中音域で(500Hz~1kHz 帯域)で吸音率は大きくなり、低音域 (315Hz 帯域以下) では小さくなる傾向にある。

3.2 あなあき材料

(1) あなあき板単体

あなあき板単体の吸音特性測定結果を図9に示す。これをみると、

背後空気層が大きくなると吸音の山が低域に移行していくことがわかる。また、あなあき板の孔径、開口率、背後空気層厚さより、あなあき板の共鳴周波数²⁾を算出してみると、図9中に示したように吸音の山の位置と共鳴周波数はよい対応を示している。

(2) あなあき板とグラスウールの複合構造

あなあき板の下地材としてグラスウールを用いた場合の吸音特性測定結果を図10~13に示す。これらをみると、グラスウールの密度 (流れ抵抗) が大きくなるに従い、吸音率はほとんどの周波数帯域で大きくなり、あなあき板とグラスウールが複合した特性となっている。

まず、第1の山に着目してみると、ピークの存在する周波数はあなあき板 (図9) の山の位置と一致している。しかし、吸音率ピーク値は背後空気層の増加に伴い小さくなっていく。音の入射条件や試験体に変化がないことから、背後空気層の影響により、このような結果になるものと考えられる。

また、高音域ではグラスウールの特性があまり現れておらず、吸音率が小さくなっている。これは、使用したあなあき板の開口率 ($p=4.9\%$) による影響と考えられ、開口率の大きい場合では、高音域でもグラスウールの特性を含むような結果が得られている²⁾³⁾。

(3) 複合構造の吸音特性と統計入射吸音率算出値の比較

複合構造としたときの吸音特性は、統計入射吸音率算出値と比較的よい対応を示すことが報告されている²⁾³⁾。そこで、今回測定に用いた試験体の条件から統計入射吸音率を算出し、実測値との対応性について検討を行った。

図8 施工方法の違いによる吸音特性変化

図9 あなあき板 (5φ-20、 $p=4.9\%$) の吸音特性

図10 あなあき板とグラスウールの複合構造における吸音特性

図11 あなあき板とグラスウールの複合構造における吸音特性

図12 あなあき板とグラスウールの複合構造における吸音特性

図13 あなあき板とグラスウールの複合構造における吸音特性

図14 あなあき板とグラスウール 24kg/m³-25mmの複合構造における統計入射吸音率と実測値の比較 図15 あなあき板とグラスウール 32kg/m³-25mmの複合構造における統計入射吸音率と実測値の比較表2 グラスウールの流れ抵抗 (旧規格)¹⁾

rayls=dyn・s/cm ³			
密度	16kg/m ³	24kg/m ³	36kg/m ³
厚さ	25mm		
単位面積流れ抵抗	6.25~25rayls	10.3~40rayls	6.1~63rayls
平均値	15.6rayls	25.1rayls	38.9rayls

統計入射吸音率と実測値を比較した結果の一例を図14, 15に示す。なお、統計入射吸音率の算出に用いたグラスウールの流れ抵抗は、表2に示すような、旧規格のJIS A 6306に規定されていた範囲の平均値を使用している。

この結果をみると、吸音の山・谷の位置は、実測値と比較的よく対応し、背後空気層が大きくなるに従い、第2の山が計算値を複数個含んだ形となっている。しかし、背後空気層厚さが300mm以上となると、第1の山の吸音率は背後空気層が厚くなるに従い、吸音率が低下していくため、実測値と算出値の差が大きくなる傾向がある。これは、統計入射吸音率を算出するときに、グラスウールの流れ抵抗をJISの規定範囲の平均値としているので断定はできないが、背後空気層の増加により空気層を含む試験体全体の音響インピーダンスが低下することなどが要因と考えられる。

以上の結果より、統計入射吸音率を算出することにより、吸音の山の位置が予測できることがわかった。また、背後空気層厚さが300mm程度までは、第1の山の吸音率ピーク値は計算値とほぼ同程度となっていることから、吸音率の大きさを含めて予測が可能であるといえる。

4 まとめ

本報では、多孔質材料とあなあき材料について、背後空気層が吸音特性に及ぼす影響を実験的に検討し、以下のような結果を得た。

(1) 多孔質材料について

①多孔質材の吸音特性は、背後空気層に対する音波の波長により吸音の山・谷を形成し、1/4および3/4波長となるとときに山、1/2波長のときに谷となる。また、1波長以上となる周波数領域では、

背後空気層の影響をほとんど受けない。

- ②吸音の山・谷は、材料密度の小さいものほど明確に現れる。また、極度に密度が大きくなると、吸音の山・谷はほとんど現れない。
- ③多孔質材料に石膏ボードを捨て貼りした場合、高音域では、捨て貼りしたボード材の影響を受けないものの、低・中音域では、その影響を受ける。

(2) あなあき材料

- ①下地材(グラスウール)の密度が大きくなると、ほとんどの周波数帯域で吸音率が大きくなり、吸音の山の位置は、あなあき板の共鳴周波数算出値と一致する。
- ②背後空気層が厚くなるに従い、第1の山の吸音率が低下する傾向がある。
- ③背後空気層厚さ300mm程度までは、統計入射吸音率を算出することで吸音率の大きさを含めて予測が可能である。

5 あとがき

本研究により、多孔質材料とあなあき材料における背後空気層の影響を把握することができた。今後は、他の内装材料についても背後空気層の吸音特性に及ぼす影響について検討を行っていきたいと考えている。なお、本報は日本建築学会大会(東海)⁴⁾で発表した内容に修正・加筆したものである。

参考文献

- 1) 日本音響材料協会編：騒音・振動対策ハンドブック，技報堂出版，1981
- 2) 木村翔：建築音響と騒音防止計画，彰国社，1986
- 3) 木村翔：穿孔板の背後に大気層を有する吸音構造体の吸音特性，日本建築学会論文報告集，第106号，1964.12
- 4) 稲留康一，木村真也，他：孔あき板とグラスウールの複合構造の吸音特性について，日本建築学会大会講演梗概集，4843，1994.9
- 5) 西岡計成，飛松幸彦，木村真也：音響実験棟の特徴施設について，日本建築学会大会講演梗概集，4174，1993.9

[1996年6月27日原稿受理 1996年9月10日採用決定]