

無響室用薄型吸音構造に関する研究

増田 潔^{*1}・三宅 清市^{*2}

Keywords : anechoic room, sound-absorbing material, low frequency, hemi-anechoic room

無響室, 吸音材, 低周波, 半無響室

1. はじめに

無響室は、壁・天井・床全てを吸音材で仕上げることで、反射波の影響を受けることなく音源の音響特性のみを計測できる実験室である。音響学に関する基礎研究やオーディオ製品の開発や試験を目的にした実験施設というイメージが強いが、家電製品、自動車、建築設備などの工業製品の開発段階においても、それらの発する騒音の計測や音質の評価に使用されている(ただし、重量の大きい製品の試験では、床を剛構造として壁・天井を吸音仕上げとする半無響室が採用されることが多い)。したがって、工業製品の開発競争が激化する環境下では、無響室の需要は改修も含め高くなる傾向にある。

無響室に取り付けられる従来の吸音構造としては、グラスウールなどの多孔質吸音材料を楔形に加工したものや、平面状に積層したものが多いが、それらの厚さは、その内部を伝わる音波の1/4波長程度になる。そのため、低い周波数、すなわち波長の長い音まで測定できる無響室を施工しようとする、吸音構造の厚みはその分厚くなる。吸音構造が厚くなれば、測定に使用できる有効寸法を

圧迫することになるため、空間の有効利用の観点からより薄い吸音構造へのニーズは高かった。そこで、従来の半分程度の厚さで同等の性能を得ることができる吸音構造の開発に着手した。

本報では、開発が完了した200Hz以上の計測を目的とした無響室用の薄型吸音構造の概要と吸音性能について説明する。さらに、開発した吸音構造を用いて実際に施工した半無響室の空間性能を計測した結果についても報告する。

2. 薄型吸音構造の概要

200Hz以上の計測を目的とした無響室用薄型吸音構造の開発にあたり、その性能目標として、200Hz以上の垂直音圧反射率を0.3程度かそれ以下、残響室法吸音率で1.0程度かそれ以上とし、厚さに関しては、従来の積層形吸音層の厚さがおおよそ300mmであるため、その半分の150mmとした。

薄型化を図る為に、低い周波数の音に対し、薄くても高い吸音率が得られる特殊被膜付吸音材(図-1)をベースとして、開発を進めた。特殊被膜付吸音材は、25mm厚さのグラスウール(密度 32kg/m^3)の片面に特殊被膜を形成させたもの¹⁾である。この材料の単体での残響室法吸音率と背後に25mm厚さのグラスウール(密度 32kg/m^3)を追加して50mm厚とした時の残響室法吸音率を図-2に示す。膜の質量とグラスウールのバネによる共振によって、厚さの割には低い周波数で高い吸音率を示している。

この特殊被膜付吸音材の吸音率は、低い周波数におけるピークでは高いものの、それ以上の周波数では低下してしまう。そこで、音が入射する特殊被膜の表面側にグラスウールを積層して、高い周波数の音を吸音させることとした。具体的には、図-2で250Hzにピークを持っている50mm厚の特殊被膜付吸音材をベースとして、その上に 24kg/m^3 と 16kg/m^3 のグラスウールを50mmずつ積層して



図-1 特殊被膜付吸音材
Fig.1 Sound-absorbing Material with Film

* 1 技術センター建築技術研究所環境研究室

* 2 昭和電線デバイステクノロジー(株)

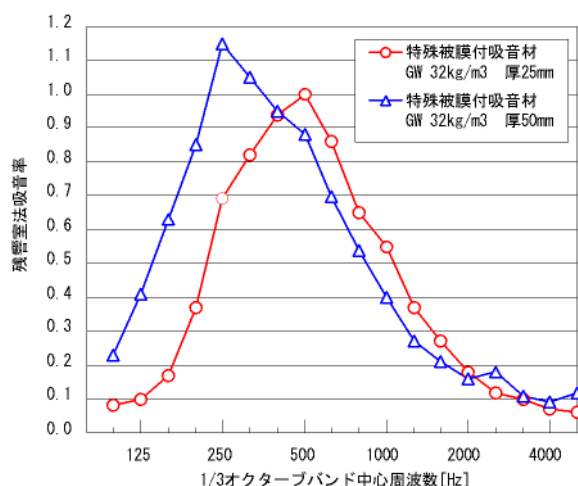


図-2 特殊被膜付吸音材の残響室法吸音率

Fig.2 Sound Absorption Coefficient of Sound-absorbing Material with Film, Measured by Reverberation Room Method

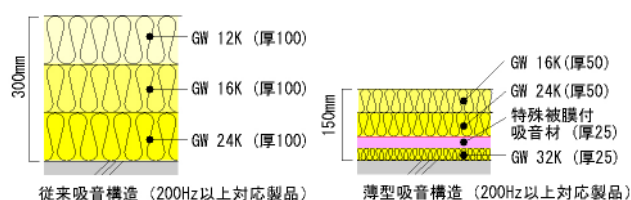


図-3 従来吸音構造と薄型吸音構造の比較

Fig.3 Comparison between Conventional Sound-absorbing Structure and Thin Sound-absorbing Structure

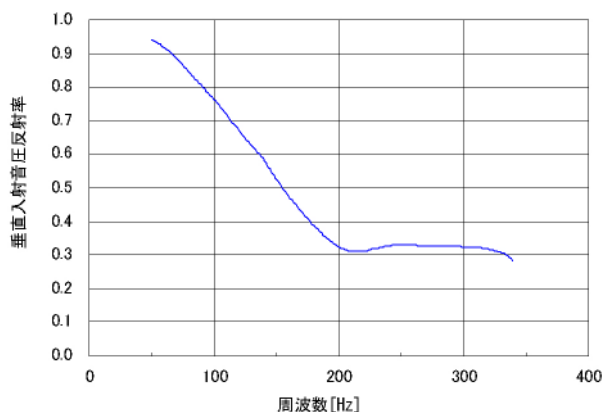


図-4 薄型吸音構造の垂直入射吸音率

Fig.4 Normal Incident Sound Absorption Coefficient of Thin Sound-absorbing Structure

総厚を 150mm とした。この薄型吸音構造の断面図を従来の積層型吸音構造と合わせて図-3に示す。

この薄型吸音構造の垂直入射音圧反射率を図-4に、残響室法吸音率を図-5に示す。垂直入射吸音率は九州大学の 500mm 角の音響管²⁾で 2 マイクロホン法にて (ISO 10534-2 に準拠) 測定した。また、残響室法吸音率は、(財) 小林理学研究所の残響室で測定した (JIS A 1409 に準拠)。

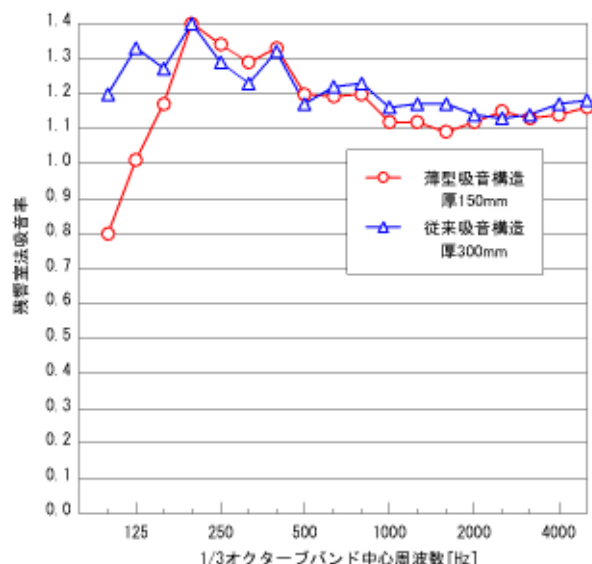


図-5 従来吸音構造と薄型吸音構造の残響室法吸音率

Fig.5 Sound Absorption Coefficient Comparison between Conventional Sound-absorbing Structure and Thin Sound-absorbing Structure, Measured by Reverberation Room Method

垂直入射吸音率については目標値ぎりぎりではあるが、残響室法吸音率は目標である 200Hz よりも低い 125Hz から吸音率が 1.0 以上となっている。また、同じ条件で測定した従来吸音構造(厚さ 300mm)と比較しても目標である 200Hz 以上でほぼ同等の性能を有していることが分かる。また、特殊被膜付吸音材単体では吸音のピークが 250Hz であるのに対し(図-2)、開発した吸音構造では、表面に配した積層グラスウールの作用により 200Hz にピークがシフトしている。

3. 半無響室への適用実験

開発した吸音構造を用いて半無響室を実際に施工し、JIS Z 8732 : 2000 附属書 A (規定) に準拠して逆二乗則からの偏差に関する試験を実施した。

3.1 半無響室の概要

図-6に示すように、矩形残響室の受音室において、拡散用反射板を全て取り外し、音響透過損失測定用の開口を石膏ボード 12.5mm × 3 で塞いで、完全な直方体形状の室としてから、その壁面および天井に薄型吸音構造を施工することで半無響室とした。

薄型吸音構造の固定方法は壁および天井に長ボルトを 600 ~ 1,200mm 間隔で取り付け、まず最下層の低周波吸音材までをボルト貫通後に平ナットで押さえてから、さらにその上層のグラスウールをボルトに突き刺すように施工した。尚、平ナットが樹脂膜を拘束しないように、平

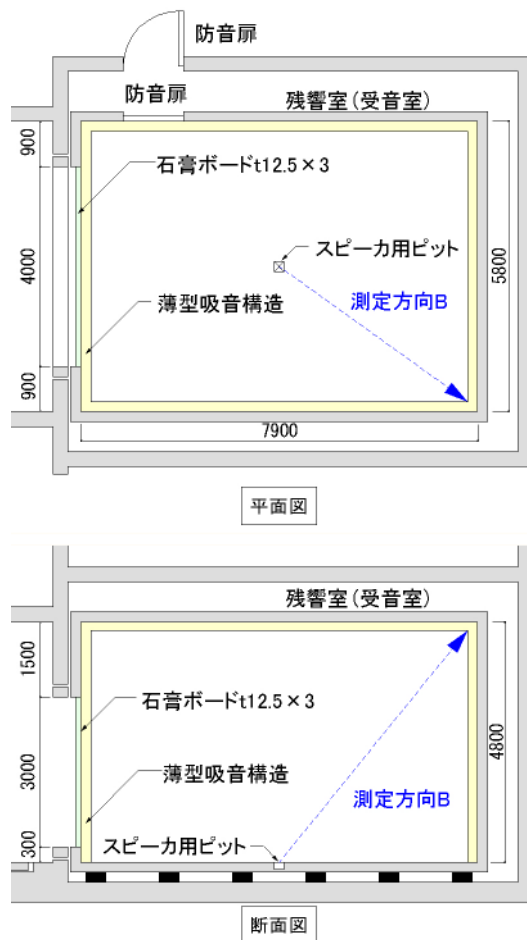


図 -6 半無響室の概要
Fig.6 Hemi-anechoic Room

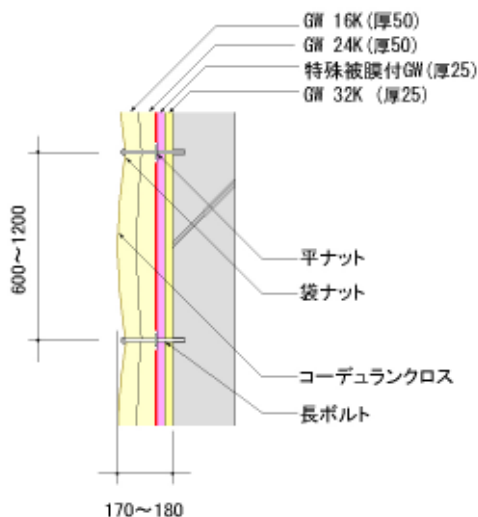


図 -7 薄型吸音構造固定方法概要
Fig.7 Installation of Thin Sound-absorbing Structure

ナット部分の樹脂膜は切り取った。最後にコーデュランクロス張って全体を押さえてからボルト先端を袋ナットで固定した。コーデュランクロスで押さえているため、ボルトで囲まれた部分は若干膨らんでおり、最も膨らん



図 -8 測定状況
Fig.8 Measurement Condition

だ部分の吸音構造の総厚は170～180mmとなった。以上のように施工された吸音構造の断面を図-7に示す。

半無響室床の中央には、逆二乗則からの偏差を測定するためのスピーカを埋め込むために、200mm×200mmの範囲で、150mmの深さのピットを設けた。

3.2 逆二乗則からの偏差の測定

測定は、床ピットに取り付けられたスピーカから4方向について行ったが、ここでは図-6に示す測定方向B上の結果について報告する。測定点の間隔は、今回、200Hz帯域前後を主に測定対象とするために、音源から500～2,000mmまでは100mm間隔で、2,000～3,000mmまでは200mm間隔で、3,000mm以上では、200～300mm間隔とした。

4. 簡易予測による検討

虚像法を応用した簡易計算により、逆二乗則からの偏差を検討した。音源、およびその虚像からの複素音圧の距離減衰と複素音圧反射率のデータを用いて、3回反射まで計算した。複素音圧反射率の測定離散周波数毎に測定点での音圧レベルを求め、最終的に1/3オクターブバンド毎にエネルギー加算し、JIS Z 8732の方法で逆二乗則からの偏差を求めた。測定方向Bの計算結果を図-9に示す。160Hzでは音源から3m程度で、許容偏差を超えてしまうが、200Hzでは壁面まで許容偏差内(630Hz以下は±2.5dB)になるという結果となった。

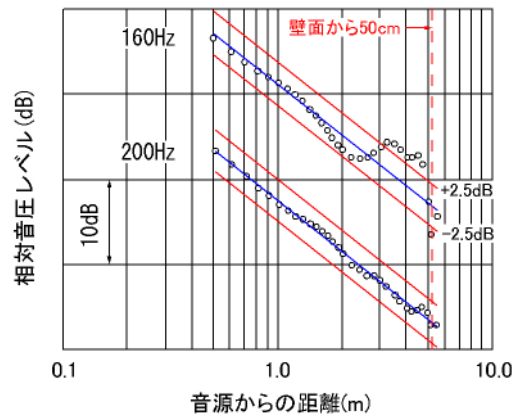


図-9 逆二乗則からの偏差の予測結果
Fig.9 Predicted Deviaton from Inverse Square Law

5. 測定結果

測定結果を図-10に示す。200Hz以上の周波数帯域では壁際500mm(200Hzの波長の30%)程度までは偏差の許容値に入っていた。また、160Hzでも広い範囲で偏差が許容値を下回った。予測結果と比較すると、偏差の傾向は似ているものの、160Hzでは予測の方が、200Hzでは実測の方が全体に偏差が大きかった。

6. まとめ

従来の半分程度の厚さの無響室用薄型吸音構造を開発し、その性能を確認した。今後、より低い周波数帯域まで適用できる薄型吸音構造を開発すると共に、適用時の空間性能の予測精度向上にも取り組む予定である。

参考文献

- 1) 石川 他：低周波数用吸音材の開発 昭和電線レビュー Vol.53, No1(P41-P44)
- 2) 藤原 他：新設垂直入射吸音率測定装置の基本音響特性と低周波域吸音体の音響特性 日本音響学会講演論文集 平成3年 10月 P809-810

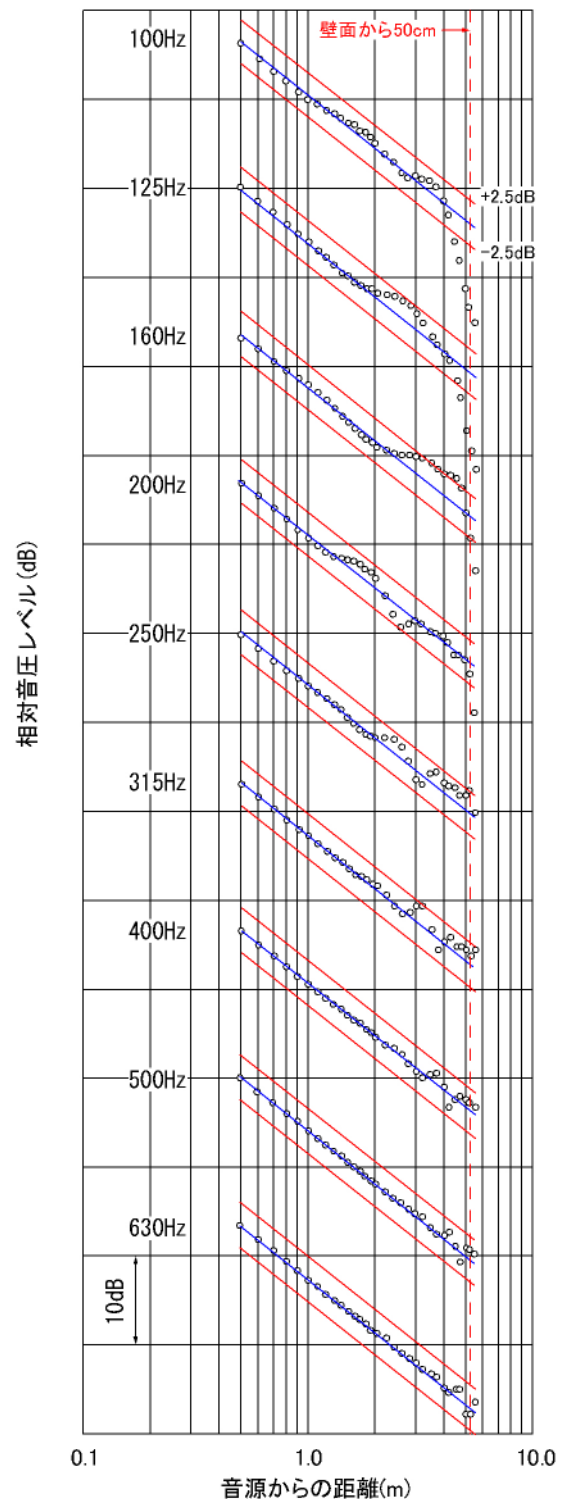


図-10 逆二乗則からの偏差の測定結果
Fig.10 Measured Deviaton from Inverse Square Law