

# 残響室法と垂直入射吸音率の対応について

## 繊維質材料の場合

小林理学研究所 子 安 勝

音響材料の吸音特性を示すのに、吸音率が使われることはよく知られている通りである。音響材料を生産する立場からも、またそれを使用する立場からも、吸音率がどのような条件で測定されたものであり、どんな意味を持っているかを知るのには重要なことである。

吸音率として普通に使われているのは、残響室法と垂直入射吸音率の二つである。(簡単のため、本文ではそれぞれ  $\alpha_{rev}$  と  $\alpha_0$  と記すことにする。)この二つの吸音率は、直接には材料面に対する音の入射条件のちがひによって特徴づけられるものである。そして一般には、同一材料であっても  $\alpha_{rev}$  と  $\alpha_0$  は一致しないのが普通である。

$\alpha_{rev}$  と  $\alpha_0$  は、本来それぞれ独自の目的をもって使われている。すなわち、室内の残響調節や騒音制御に音響材料を使うとき、その設計資料として設計者が要求するデータ、製造者が一般に発表するデータなどは、いずれも残響室法吸音率  $\alpha_{rev}$  である。

これに対して、垂直入射吸音率  $\alpha_0$  はおもに材料の特性の基礎的な研究に使われ、実用面では特殊な二三の場合を除いてはほとんど取上げられていない。しかし、今後材料の音響特性の規格化が進み、その製品の品質管理に音響的な手段が必要な段階になれば、 $\alpha_0$  は実用的な新しい意味をもってくると考えられる。

このように、 $\alpha_{rev}$  と  $\alpha_0$  をそれぞれの適用範囲内で、お互いに独立に使っているかぎり、これは二つの全く別の問題といってもよいくらいである。

しかし、実際には各種の材料について  $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  との関係がわかっていると便利なことが多い。

二種類の材料の  $\alpha_0$  を測定したとき、 $\alpha_{rev}$  として二つの差がどうなるかは、すぐ考えたいくなる問題である。例えば、試作品と在来品のものについて、残響室での結果を予測しながら  $\alpha_0$  の測定値を比較するときには、それぞれの  $\alpha_{rev}$  が  $\alpha_0$  とどんな関係になるかを知った上でないと、本当の意味での比較にならない。そればかりでなく時には大きな間違いをおこすことにもなる。

こうして、 $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  の関係は、吸音率という概念が生まれ、その測定が始められてから現在に至るまで、多くの人々がこれに注目し、研究を続けてきた問題である。

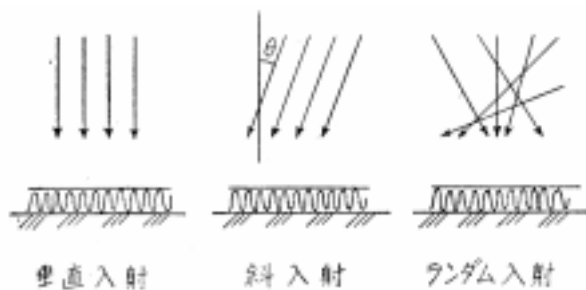
ここでは、いままでの研究の経過をふりかえるとともに、あわせて最近われわれが行っている研究の一部をのべ、現在の段階でわれわれが  $\alpha_0$  のデータを手にしたとき、これを  $\alpha_{rev}$  に移して考えるためにはどんな操作が必要であるか、それにはまたどんな制限が伴うかを明らかにしよう。

### 吸音率

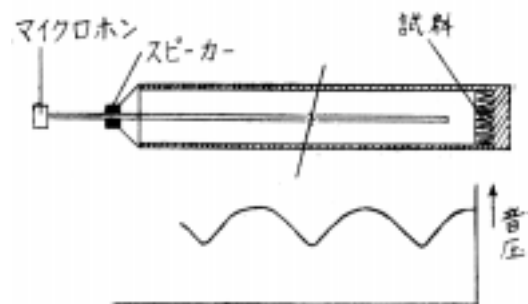
はじめに、簡単に吸音率について整理しておく。一般に材料面にあたる音のエネルギーを  $E_i$ 、そのうち反射するエネルギーを  $E_r$  とすると、吸音率は次式で定義される。

$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} \quad (1.1)$$

このとき、材料面に対する音の入射方向によって吸音率がちがうのが普通である。入射条件を整理してみると、第1図に示す三つに分けて考えられる。



第1図 材料面に対する音の入射条件



第2図 定常波法による垂直入射吸音率測定の原理

垂直入射吸音率  $\alpha_0$  材料に音が垂直にあたる時の吸音率を示すものである。このような音の入射条件をうるために、その測定には、普通長い管を使った、いわゆる tube method が使われている。

第2図に示すように、断面寸法が数 cm ~ 数 10cm の円形または角形の長い管の一端に、材料面が軸に垂直になるように取付ける。他の端から音を入れると、入射波と反射波との干渉によって、図のように管の軸にそった音圧の変化ができる(これを定常波音場という)。このときの音圧変化の程度は、入射波と反射波の比(いいかえれば試料の吸音率)によってきまってくるので、その測定から吸音率を求めることができる。

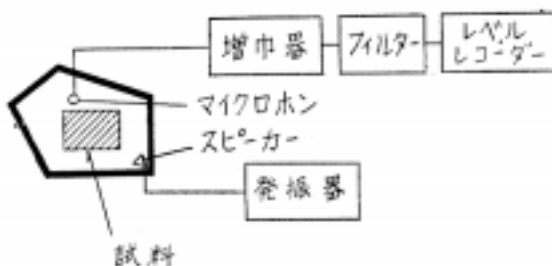
測定法の詳細は省略して、測定に関連した特徴をまとめてみると

- (1) 試料が少量ですむこと
- (2) 試料の作成や取付に十分注意すれば、再現性を含めた精度のよい測定ができること
- (3) 測定装置が残響室ほど大規模にならないこと
- (4) 音の入射条件が物理的に明確な意味を持っていることなどがあげられる。しかし、音の入射条件や、試料面積が小さいために測定できる構造に制限があることなどによって、この  $\alpha_0$  の測定データがそのまま実用的な意味で設計資料に使えないことは始めにものべた通りである。

斜入射吸音率  $\alpha_\theta$  第1図に示すように、材料面の法線に対してある角度  $\theta$  で音があたるときの吸音率である。

この測定は、古くから多くの人によって試みられてきたが、試料に対する音の入射角を規定する方法、入射波と反射波の比を測定する方法などにいろいろ困難な点があるために、現在まで一般的な測定法として確立されていない。

ランダム入射吸音率  $\alpha_{stat}$  材料面に対して、すべての方向から等しい確立で音が入射するときの吸音率である。



第3図 残響室法吸音率の測定

実際の室内では、必ずしもいつもこのように音が材料にあたるには限らない。しかし、各周波数について一つの値で代表させようとするときには、さきの  $\alpha_0, d_0$  よりも一般性があり、また十分大きな室については、ほぼこの条件に近い状態が実現されると考えられる。そこで実用的な設計資料としては、このランダム入射吸音率を使うのが普通になっている。

実験的に  $\alpha_{stat}$  直接求める方法として考えられているのは、よく知られている残響室を使う方法である。この残響室法吸音率  $\alpha_{rev}$  には、あとでのべるようにいくつかの問題があり、無条件に  $\alpha_{rev} = \alpha_{stat}$  とおくことはできない。そこで、ここではこの二つを一応区別して考えておくことにする。

残響室法吸音率  $\alpha_{rev}$  第3図に示すように、残響室の中で音を出しておいて急に止めると、室内の音はすぐにはなくなり、第4図の例のように減衰する。このとき室の残響時間  $T$  は、周知のセイピンや合リングの名で呼ばれる残響室で与えられる。

$$\text{セイピンの式} \quad T = \frac{0.16V}{\alpha S} \quad (1.2)$$

$$\text{アイリングの式} \quad T = \frac{0.16V}{-2.3S \log(1-\bar{\alpha})} \quad (1.3)$$

ここで  $V$  は室の容積 ( $m^3$ )、 $S$  は全表面積 ( $m^2$ ) で、また  $\bar{\alpha}$  は室内面の平均吸音率である。

試料を入れないとき(空室)には

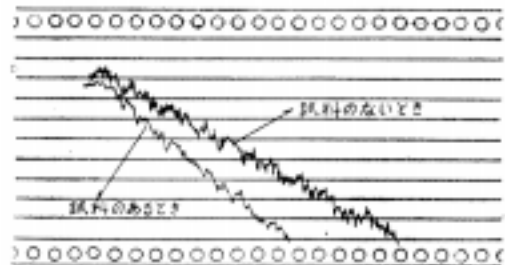
$$\bar{\alpha} = \alpha_B \quad (= \text{室内壁の吸音率})$$

となる。つぎに、室内の一部の壁面に吸音率  $\alpha_x$ 、面積  $S_x$  の材料をとりつけると

$$\bar{\alpha} = [\alpha_x S_x + \alpha_B (S - S_x)] / S$$

で与えられる。そして空室のときとくらべて、吸収の増加にしたがって残響時間が短くなる。

そこで第4図のように、空室と試料を入れたときとの二つの条件で残響時間を測定すれば、これから試料の吸音率を算出することができる。こうして求められるのが、残響室法吸音率である。



第4図 残響室内での音の減衰の例

このように書いてくると、 $\alpha_{rev}$  の算出過程ははなはだ明解に見えるが、実はそれ程簡単なことではない。というのは、さきにあげた残響式(1.2),(1.3)は、いずれも拡散音場という大きな過程を前提として考えられているものだからである。

拡散音場の意味を簡単にまとめると

- (1) 音のエネルギーが室内一様に分布すること
- (2) 室内どの場所でも、音のエネルギーの移動がすべての方向に等しい確立で行われること

の二つの条件が成立つ音場ということになる。

よく知られているように、残響室を不整形にしたり、内面の壁に凹凸をつけたり、また回転翼を使ったりすることなどは、いずれもこの拡散音場を実現するために行われている手段であり、 $\alpha_{rev}$  を測定するときのもっとも重要な問題である。

ところが、残響室でさえあれば簡単に拡散音場が期待できるというのではなく、測定された  $\alpha_{rev}$  を無条件にランダム入射吸音率  $\alpha_{stat}$  におきかえて考えられない場合がある。

本文の主題である  $\alpha_{rev}$  と  $\alpha_0$  の関係を考えるときにも、 $\alpha_{rev}$  の測定値にこの条件を忘れてはならないことに、とくに注意しておきたい。

#### ・ 残響室法と垂直入射吸音率の関係 その発展

$\alpha_{rev}$  と  $\alpha_0$  の対応ということは、実際の問題について考えると、 $\alpha_0$  の実測値からどのような方法で  $\alpha_{rev}$  の値を算出するかという問題に帰着する。すなわち、垂直入射の資料からランダム入射の条件に相当する吸音率を求めるための統計理論の問題ということになる。

こうして、古くからいくつかの統計式が提案され、またそれにともなって実験と理論との比較考察が行われてきた。

ここではまず、それらのうちの代表的なものを年代を追って紹介し、その発展のあとをたどってゆくことによって、その適用限界や今後に残された問題の所在などをしてゆくことにする。

#### 2.1. Paris の統計理論

吸音率の角度依存性と、それにともなう  $\alpha_{stat}$  の問題

\* 材料の垂直音響インピーダンス  $Z$  は、材料表面での音圧  $p$  と粒子速度の垂直成分  $u$  との比で与えられる。 $Z = p/u_0$  その詳細はここでは略するが、吸音率と同様に、材料に音があったときの反射の状態を示す量である。 $Z$  が与えられれば、反射のときの振巾の変化の

を最初に系統的にとりあげたのは、1927年のParisの理論である。

Parisはまず材料面に音が $\theta$ 方向から入射するときの、斜入射音率  $\alpha_\theta$  として次式を導いた。

$$\alpha_\theta = 1 - \left| \frac{(Z/\rho c)\cos\theta - 1}{(Z/\rho c)\cos\theta + 1} \right|^2 \quad (2.1)$$

ここで  $Z$  は材料の垂直音響インピーダンス\*、 $\rho c$  は空気の音響抵抗である。いま

$$Z/\rho c = z = r + ix \quad (2.2)$$

とおいて、(2.1)式を実数の量  $r, x$  を使ってあらわすと

$$\alpha_\theta = \frac{4r\cos\theta}{(r\cos\theta + 1)^2 + x^2\cos^2\theta} \quad (2.3)$$

となる。ここで  $\theta = 0^\circ$  とすると、垂直入射吸音率  $\alpha_0$  が

$$\alpha_0 = \frac{4r}{(r+1)^2 + x^2} \quad (2.4)$$

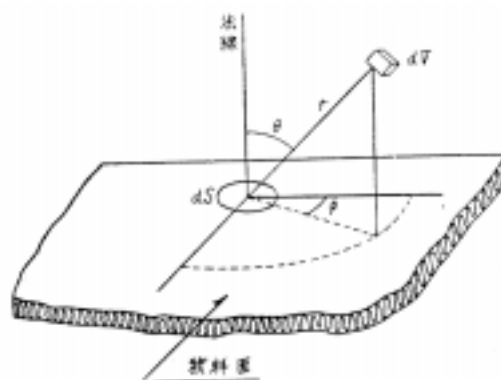
で与えられる。

(2.1)式を基礎にして、Parisはつづいてランダム入射吸音率  $\alpha_{stat}$  として次式を導いた。<sup>2) \*\*</sup>

$$\alpha_{stat} = 2 \int_0^{\pi/2} \alpha_\theta \cos\theta \sin\theta \, d\theta \quad (2.5)$$

ここで(2.5)式の意味を考えておこう。

第5図に示すように、材料表面の面積素を  $dS$ 、面の法線と角  $\theta$  をなす方向に  $dS$  から距離  $r$  の体積素を  $dV$  とする。また室内一様に分布した音のエネルギー密度(単位面積あたりのエネルギー)を  $\varepsilon$  とする。



第5図

ほかに位相の変化も示される。一般に複素数である。

\*\* はじめParisは  $Z$  の逆数(アドミッタンス)を使っているが、ここでは現在の慣用にしたがって、すべて  $Z$  を使うことにする。

音のエネルギーの移動がすべての方向に均等に行われるときには、 $dV$ に含まれるエネルギー  $\epsilon dV$ のうちで、 $dS$ に到達するのは  $dV$  から  $dS$  をみた立体角の中に含まれるエネルギー、すなわち

$$(\epsilon dV \cdot dS \cos\theta) / 4\pi r^2 \quad (2.6)$$

である。こうして、1秒間に  $dS$  に入射する全エネルギー  $E_i$  は、 $dS$  を中心にした半径  $c$  の半球面にわたって(2.6)式を積分してえられる ( $c$  は音速)。ここで第5図のように座標系をとると、 $dV = r^2 \sin\theta dr d\theta d\phi$  であ

$$\begin{aligned} E_i &= \frac{\epsilon dS}{4\pi} \int_0^c dr \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} \sin\theta \cos\theta d\theta \\ &= \frac{\epsilon c dS}{4} \end{aligned} \quad (2.7)$$

となる。

つぎに、 $dV$  から  $dS$  に入射するエネルギー(2.6)のうちで材料面で吸収されるのは、さきの斜入射吸音率  $\alpha_\theta$  を使えば

$$\alpha_\theta (\epsilon dV dS \cos\theta) / 4\pi r^2 \quad (2.8)$$

である。そこでさきと同様に、 $dS$  で吸収される全エネルギー  $E_a$  は

$$\begin{aligned} E_a &= \frac{\epsilon dS}{4\pi} \int_0^c dr \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} \alpha_\theta \sin\theta \cos\theta d\theta \\ &= \frac{\epsilon dS}{2} \int_0^{\pi/2} \alpha_\theta \sin\theta \cos\theta d\theta \end{aligned} \quad (2.9)$$

で与えられる。こうして、ランダム入射吸音率  $\alpha_{\text{ランダム}}$  として、 $E_a / E_i$  をとればさきの(2.5)式が導かれる。

このようにして、Parisの理論によれば、材料の垂直音響インピーダンスがわかれば、(2.4)式で  $\alpha_0$  が、また(2.1)、(2.5)式で  $\alpha_{\text{ランダム}}$  が計算されることになる。

ただ一般には、材料の垂直音響インピーダンス  $z$  (あるいは  $r$  と  $x$ ) は音の入射角  $\theta$  によって変るものである。このときは、(2.5)式で  $\alpha_{\text{ランダム}}$  を計算するのに非常な労力を必要とし、実用的ではない。

特別な場合として、 $z$  が入射角  $\theta$  に関係しないとき(このような性質をもった材料を“局所作用的な材料”\*\*\* という)には、計算はいくらか簡単になり、 $r$  と  $x$  を使った実用的な計算式として

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{ランダム}} &= \frac{8r}{r^2 + x^2} \left\{ 1 + \frac{r^2 - x^2}{x(r^2 + x^2)} \tan^{-1} \left( \frac{x}{1+r} \right) \right. \\ &\quad \left. - \frac{r}{r^2 + x^2} \ln[(1+r)^2 + x^2] \right\} \end{aligned} \quad (2.10)$$

\*\*\* 局所作用的な性質をもった材料の具体的な例としては、Rayleighが吸音材料の模型として考えた毛細管を表面に垂直に並べた構造や、穴あき板構造で背面空気層が表面からみて波長以下の区かくに仕切られている

を使うことができる。

### 2.2. Davisの整理

Parisの理論が発表されたのに引続いて、Davisはその著書のなかで  $\alpha_{\text{ランダム}}$  と  $\alpha_0$  の関係を論じている。

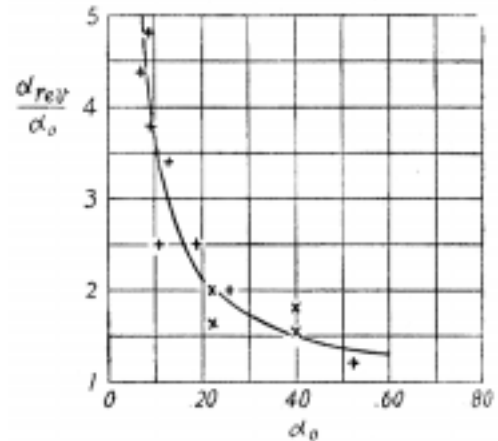
そこに示されているのは、500サイクルに対する  $\alpha_{\text{ランダム}}$  と  $\alpha_0$  の実験データを整理した図で、第6図がそれである。図の縦軸は  $\alpha_{\text{ランダム}}$  と  $\alpha_0$  の比で示してあるが、吸音率が小さくなるほど、二つの吸音率の値のちがいが大きくなっている。

この図は現在でもしばしば引用されているが、ここでとくに注意しておきたいのは、図の  $\alpha_0$  の値はDavis自身の測定によるものであるのに対して、 $\alpha_{\text{ランダム}}$  は同種の材料について、異った時期にいくつかの測定所でえられた結果を集めたものということである。その意味で、この図に示された  $\alpha_{\text{ランダム}}$  の資料が、すべて同じような音場の条件でえられた測定値であると保証することはできない。

このような理由で、各種の材料や周波数についての  $\alpha_0$  のデータがあるとき、これから第6図を使ってその  $\alpha_{\text{ランダム}}$  を推定した結果が、いつも正確なものであるとばかりは期待できない。

### 2.3. Morse, Bolt, Brownの理論

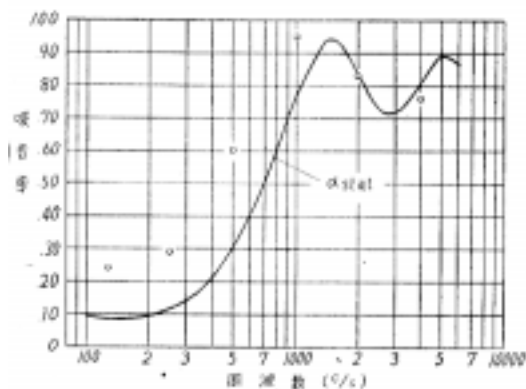
1940年頃になると、音響インピーダンスの信頼できる



第6図 Davisの整理した  $\alpha_{\text{ランダム}}$  と  $\alpha_0$  の関係 (Davis<sup>3)</sup>)

ものなどがあげられる。実際の繊維質材料(ロックウール、グラスウールなど)には、厳密にいてこの局所作用的な性質を仮定することはほとんどできないと考えられる(後出)。

データがえられるようになり、Morse, Bolt, Brown は、これを使って Paris の理論による  $\alpha_{stat}$  (2.5) 式を計算し、 $\alpha_{rev}$  との比較を行った。<sup>4)</sup> ここで  $\alpha_{rev}$  の測定値としては A.M.A. (Acoustic Materials Association) で発表されている米国での標準の値が使われた。



第7図 垂直音響インピーダンスの測定値から Paris の統計式で計算した  $\alpha_{stat}$  と  $\alpha_{rev}$  との比較の一例 (Morse, Bolt, Brown )

結果の一例を第7図に示した。いくつかの材料についての結果を総合した彼等の結論をまとめると

(1) 2000サイクル以上では、 $\alpha_{stat}$  の計算は  $\alpha_{rev}$  とよく一致する。

(2) 500サイクル以下では、一般に  $\alpha_{rev}$  は Paris の理論値とは一致せず、むしろ次式で示される  $\alpha$  (これを彼等は *normal absorption coefficient* とよんでいる) 近似される。

$$\alpha_n \cong 8r / (r^2 + x^2) \quad (2.10)$$

こうして彼等は、この  $\alpha_{rev}$  が測定された残響室では、低音で Paris の理論に必要な拡散音場の条件が成立っていないことが、理論と実験の不一致の原因であると結論している。そして低音では、残響曲線が折れ曲がっているであろうと推論している。(これに対してはあとで反論として、National Bureau of Standards の残響室では標準の測定条件で 125 サイクルまでの減衰曲線は、ほぼ指数函数的な減衰を示していることが London によつてのべられている。)

#### 2.4. London の統計式

1950 年になって、London はさきの Morse などの結果を統計理論の妥当性という面から見直し、新しい統計式を発表した。<sup>5)</sup>

London の統計式も、Paris の理論とほぼ同様な考え

方によつて導かれたものであるが、修正された点は

(1) 垂直入射吸音率  $\alpha_0$  とつぎの関係にある実数の実効インピーダンス  $z_e$  を考える

$$\alpha_0 = 1 - \left( \frac{z_e - 1}{z_e + 1} \right)^2 \quad (2.11)$$

(2)  $z_e$  を使って、ランダム入射吸音率  $\alpha_{stat}$  を次式で定義する

$$\alpha_{stat} = \int_0^{\pi/2} \left\{ 1 - \left( \frac{z_e \cos \theta - 1}{z_e \cos \theta + 1} \right)^2 \right\} \sin \theta d\theta \quad (2.12)$$

の二点である。

このうち(1)の実効インピーダンスの導入は、理論的な根拠というよりはむしろ便宜的なもので、これによつて  $\alpha_0$  測定値だけからも  $\alpha_{stat}$  の計算ができ、またそれで  $\alpha_{rev}$  の実験値と一致させることがある種の材料について可能になるというにすぎない。これに対して、(2)の取扱いは統計の方法の差としてかなり本質的な問題である。すなわち、Paris の理論では各方向から材料面に対するエネルギーの流れを考えたのに対し、London は入射方向に無関係な“音圧の自乗”を吸音率と結びつけて考えた。

この問題に対する議論は省略して、(2.12) 式の積分を行えば

$$\alpha_{stat} = \frac{4}{z_e} \left[ \ln(1 + z_e) - \frac{z_e}{1 + z_e} \right] \quad (2.13)$$

によつて  $\alpha_{stat}$  が求められる。あるいは(2.11)の関係を使えば  $\alpha_0$  を直接  $\alpha_{stat}$  に対応させることができる。これを図にしたのが第8図である。

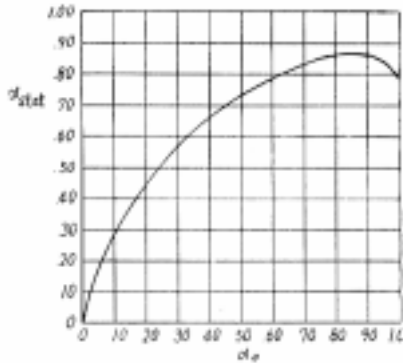
London はこの統計式を使うことによつて、多くの材料について、Paris の理論よりもよく  $\alpha_{rev}$  の実験値と一致させることができるといっている。

しかし獣毛フェルトのような材料では(2.5)、(2.12) いずれの統計を使つても、実験との一致はあまりよくない。これに対して、London はこの種の材料がさきののべた局所作用的な性質(垂直音響インピーダンスが音の入射角に無関係であること)をもっていないことを指摘している。

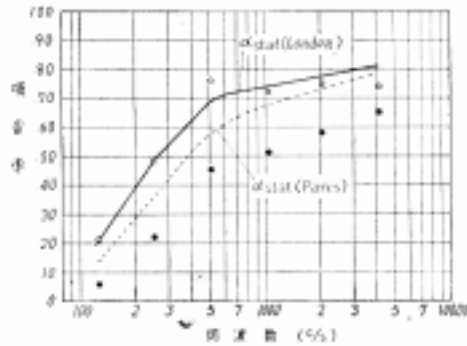
London の論文に示されている、実験と理論を比較した例を第9、10図にあげておく。

#### 最近の研究

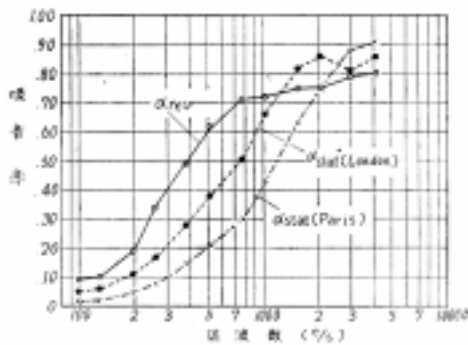
前章で紹介したように、 $\alpha_0$  (あるいは  $Z$ ) など垂直入射の条件でえられたデータからランダム入射吸音率を求めるときに、現在一般的に使われているのは Paris あるいは London の統計式(2.5、2.12)である。とくに後者を使うことにすれば、 $\alpha_0$  からすぐに第8図によつて



第8図 Londonの統計理論による $\alpha_0$ と $\alpha_{stat}$ の関係 (London<sup>5)</sup>)



第9図 垂直音響インピーダンスの測定値から Paris, Londonの統計式で計算した $\alpha_{stat}$ と残響室での測定値 $\alpha_{rev}$ ( $\circ$ 印)との比較の一例。(・)は $\alpha_0$ (London<sup>5)</sup>)



第10図 獣毛フェルトについて、垂直入射の測定値から Paris, Londonの統計式で計算したランダム入射吸音率 $\alpha_{stat}$ と残響室での測定値 $\alpha_{rev}$ との比較 (London<sup>5)</sup>)

$\alpha_{stat}$ を求める事ができるわけで、はなはだ簡単である。

しかし実際には、この統計式のいずれもすべての材料について $\alpha_{rev}$ の測定値に代るデータを与えるものという事はできない。この意味で最終的にはすべて今後の研究課題といってよい。

$\alpha_0$ と $\alpha_{rev}$ とを関係づける統計式を考えるときに当面する大きな問題としては

- (1) 統計理論から求められた値と対照される $\alpha_{rev}$ が、理論の前提となっているような音場で測定されたものであるかどうかとうこと
- (2) 材料の性質が“局所作用的”と考えられないときに、その入射角度との関係についての、とくに実験的資料をうることのむずかしさ

などがあげられる。

とくに第二の点については、われわれが実際に取扱う繊維質材料などではほとんど全部が、厳密にいうと局所作用的でないために重要な問題になる。

このようにいくつかの困難な問題を含んではいるが、この関係は音響材料の吸音特性を考えるときには欠くことのできない課題の一つである。こうして、われわれは数年前から各種の材料について $\alpha_0$ と $\alpha_{rev}$ の関係についての研究を続けているが、<sup>6)</sup>ここではとくに問題の対象になる機会の多い繊維質材料をとりあげて、その研究結果の一部を紹介することにする。

われわれのこの問題に対する方針としては、まず多くの種類の材料についての実験データを集積して、これから $\alpha_0$ と $\alpha_{rev}$ との実験的な関係を見出すことを第一段階とした。また垂直音響インピーダンス $Z$ の測定も進めているが、まえにものべたように、ここで考える材料については $Z$ の入射角度による変化までが、その統計的处理に必要なと考えられるので、本文では普通われわれが入手できる $\alpha_0$ と $\alpha_{rev}$ との直接的な対応に問題を限った。

### 3.1. 実験方法

まず実験設備と方法を簡単に説明しておく。

残響室法吸音率 $\alpha_{rev}$ の測定には、われわれの研究所の第1残響室を使った。その緒言は

容 積	513m <sup>3</sup> (不整形)
表 面 積	382m <sup>2</sup>
空室残響時間	20 ~ 26 秒 (500c/s)

で、その床のほぼ中央に面積約10m<sup>2</sup>の試料を所定の条件で取付け、残響時間の測定値からセイビンの式で吸音率 $\alpha_{rev}$ を算出した。

この残響室については、いままでもいろいろの機会にのべているが、上記の測定条件では室内の音場はほぼ拡散状態にあると考えてよく、 $\alpha_0$  との対応関係を研究する上には音場の意味が明確に規定されたものということができる。

垂直入射吸音率  $\alpha_0$  の測定には、主として直径 10cm の円形定常波管を使い、必要に応じて直径 4cm 管も併用した。試料は  $\alpha_{rev}$  の測定に使ったのと同じの試料の中から適当にサンプリングした。繊維質材料の  $\alpha_0$  の測定では、試料の作成取付がとくにその精度に関係する。われわれは第 11 図に示すようなカッターで試料を作っており、再現性のよい結果を考えている。

### 3.2. 材料の種類

研究の対象にしたのは、主として市販のグラスウール、ロックウールなど繊維質材料で、線度、かさ密度、厚さ、繊維配列方向、接着剤の察など各種のものが含まれている。材料の種類は総数は 60 種以上にもなるので、その細目のデータは省略するが、厚さは 13 ~ 50mm、かさ密度はグラスウールで  $8 \sim 50\text{kg/m}^3$  ( $100 \sim 150\text{kg/m}^3$  のものも少数含まれる)、ロックウールでは  $50 \sim 250\text{kg/m}^3$  の範囲である。

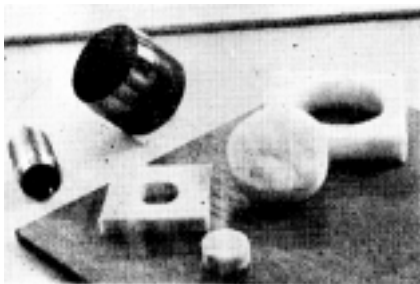
グラスウールは全部太さ数ミクロンの短繊維を樹脂加工したものであるが、ロックウールのなかにはフェルト状のものやブランケットのほかに、保温帯や保温板といわれているものが含まれている。

また材料背面の条件は 空気層をおかないで直接剛へ器面に接する場合をまずまとめた。

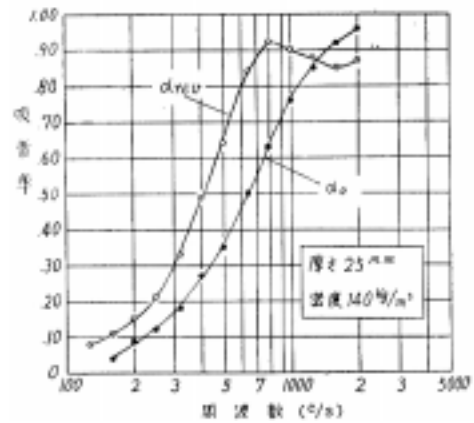
### 3.3. 実験結果とその整理

実験結果のうちから、 $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  の関係についての代表的な傾向を示すいくつかの実例を第 12 図 ~ 第 17 図に示した。

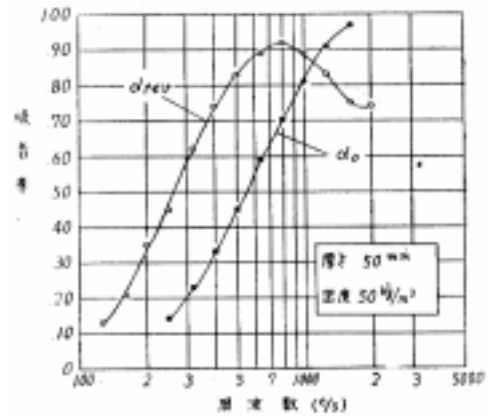
これらの図を一見してすぐわかるように、同じような繊維質材料であってもかさ密度などがちがうと、 $\alpha_0$  と



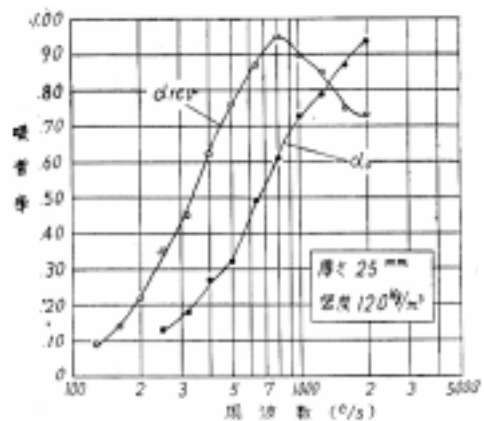
第 11 図



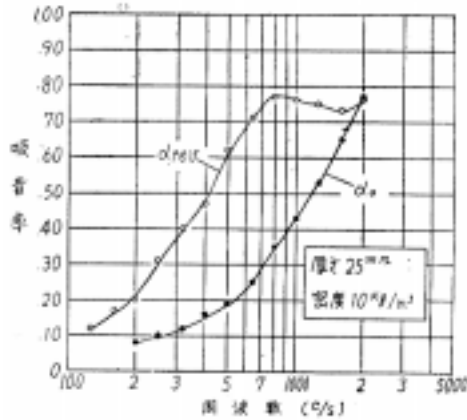
第 12 図



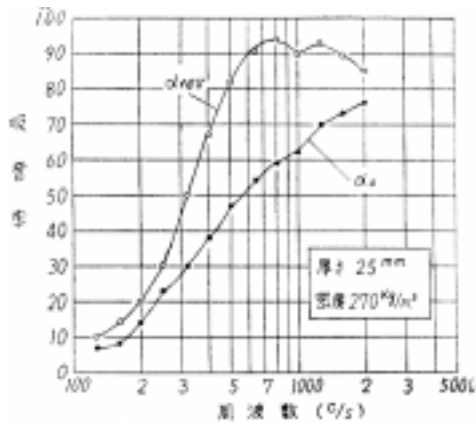
第 13 図



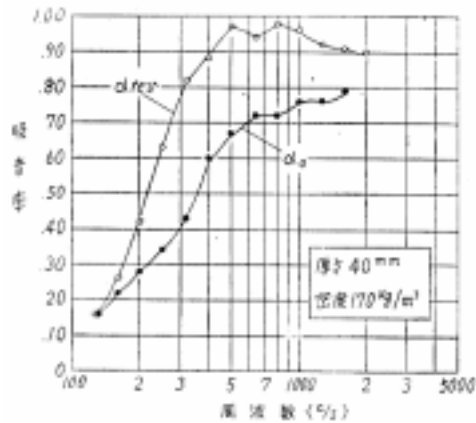
第 14 図



第15図



第16図

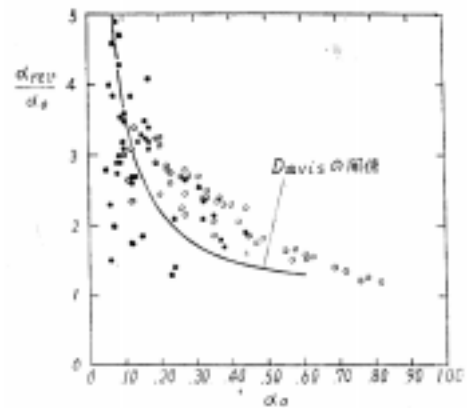


第17図

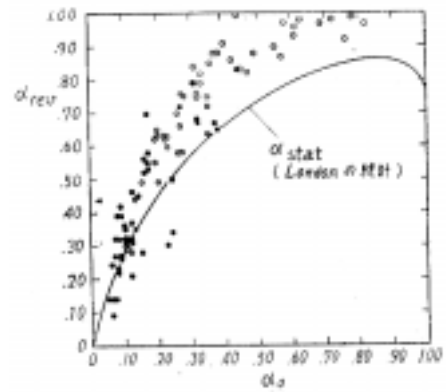
$\alpha_{rev}$  の関係にはかなりのちがいがみられる。

いまこころみに、全部の資料のうちから 250c/s と 500 c/s のデータをとって、Davis の著書や London の論文に示されている  $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  の関係の表示と同じ方法で整理し、彼等の結果 (第 6, 8 図) と比較したのが第 18, 19 図である。この結果からも、ここにまとめた繊維質材料だけに限って考えてみても、 $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  の関係が簡単でないことがわかるであろう。

そこで見方を変えて、第12図～第17図に示したような実験結果を、その周波数特性の關係に注目して整理してみると、全体的な傾向からこれを第20図( ), ( ) の二つに大別できることがわかる。

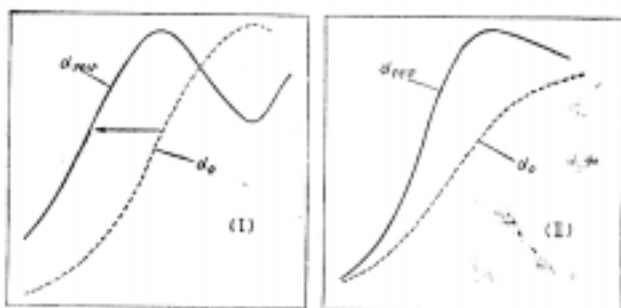


第18図 繊維質材料の  $\alpha_{rev}/\alpha_0 \sim \alpha_0$  の関係と Davis の整理した結果 (500c/s) との比較。○ 500c/s ・ 250c/s



第19図 繊維質材料の  $\alpha_{rev} \sim \alpha_0$  の関係と London の統計理論との比較。○ 50c/s ・ 250c/s





第20図 繊維質材料の  $\alpha_0 \sim \alpha_{rev}$  の代表的傾向

( )のグループに属するのは  
 グラスウールの大部分  
 ロックウールでかさ密度がほぼ  $150\text{kg/m}^3$  以下の  
 のもので、この場合には  $\alpha_{rev}$  の特性は  $\alpha_0$  の測定結果  
 を矢印で示すように低温に平行移動したのになっている。

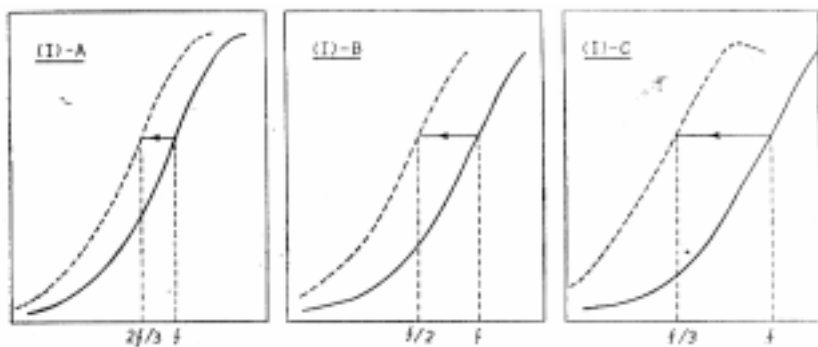
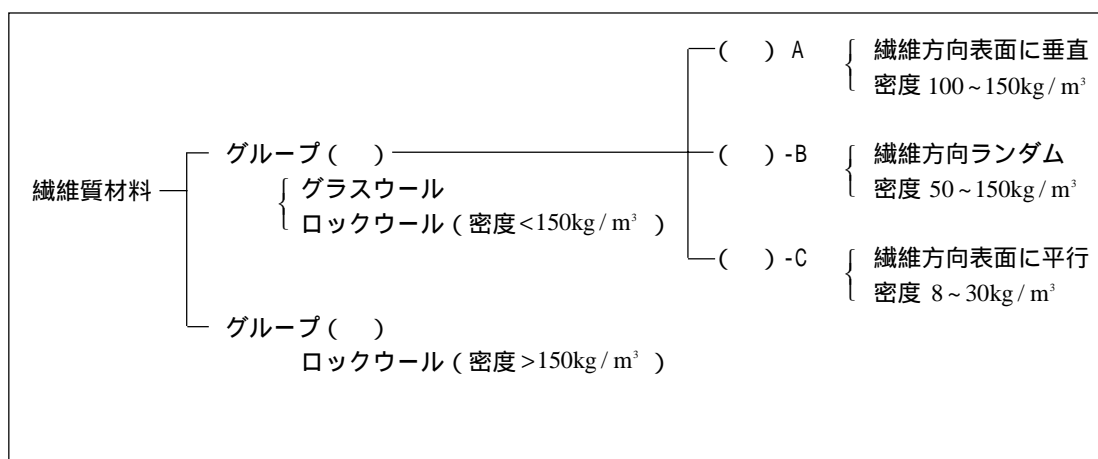
( )のグループに属するのは  
 ロックウールでかさ密度が  $150\text{kg/m}^3$  以上

のものである。この場合には、二つの周波数特性は異った形になっており、低音では  $\alpha_{rev}$  は  $\alpha_0$  とほぼ同じ値を示すのに対して、中音部になると二つの値に差ができています。

このようにして、われわれは繊維質材料で( )のグループに属するものについては、 $\alpha_0$  の測定値が与えられたとき、上の実験データを根拠にして  $\alpha_{rev}$  の値を導くことができると考える。

たださきに簡単に  $\alpha_0$  の特性を低音に平行移動するといったが、実はグループ( )のデータをさらに詳しくしらべてみると、その平行移動の程度によっていくつかに細分されることがわかる。これには密度や繊維のおもな配列方向などが関係しているが、詳細な点は現在研究中の段階である。

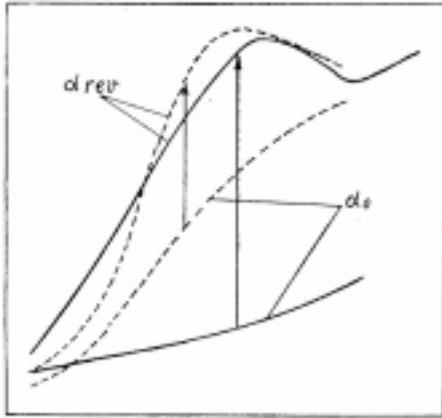
以上われわれの現在までの実験結果を  $\alpha_{rev}$  と  $\alpha_0$  の関係から整理すると次表のようになる。



第21図 繊維質材料グループ( )で  $\alpha_0$  から  $\alpha_{rev}$  を推定する方法。各周波数  $f$  での測定値(実線)を、それぞれ矢印で示すように移してえられる特性(点線)が  $\alpha_{rev}$  の推定値になる。

そして、グループ( )の場合に の測定値からを推定するときの方法を第21図に示した。

またグループ( )に属する材料については、一応定性的な  $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  の関係として第20図( )に示すようになることをのべた。しかし実際には材料の種類がちがうと、定性的な傾向が一致するだけで、個々の対応には相当の差がある。その極端な例が第22図である。



第22図 繊維質材料グループ( )で、 $\alpha_0 \sim \alpha_{rev}$  の関係が極端にちがう場合の例。

$\alpha_0$  での大きな差が  $\alpha_{rev}$  としてはとくにみとめられない。

このようにして、グループ( )に対しては、第21図のような簡単な関係で  $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  とを直接結びつけることはむずかしく、別の取扱いが必要になる。

すなわち、 $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  とを直接関係づけようとするときには、繊維質材料だけに問題を限っても、その材料が上表のどのグループに属するものであるかを知ることが必要である。またはじめにものべたように、 $\alpha_{rev}$  のデータを予測しながら  $\alpha_0$  の測定値を比較するときには、上表に細分した同一グループの範囲内での比較にとどめるようにしなければならない。

さらに、ここでは全くふれなかったが、板材料など

では吸音の機構もちがうために、本文でのべてきた関係とは全くちがったものになるはずである。

． おわりに

本文の主題とした残響室法と垂直入射吸音率の対応については、結局その統一的な取扱いはすべて今後の研究にまたなければならない。従来のような統計理論を使うにしても、すべての材料について  $\alpha_0$  の測定値から  $\alpha_{rev}$  に代るものをうることができない。この意味から  $\alpha_{rev}$  の直接の測定ということ(それにとまなう残響室の重要性)は、現在でもなお音響材料を取扱うときのもっとも重要な問題の一つである。

ここでは、 $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  の関係についてのいままでの発展の経過を解説するとともに、われわれが行っている研究の一部を紹介し、現在の段階で  $\alpha_0$  と  $\alpha_{rev}$  とを対応させることができる材料の範囲と、その方法についてのべた。現在の可能な範囲内で  $\alpha_0$  の測定値を  $\alpha_{rev}$  に対応させるためには、そこに含まれる制限についての慎重な取扱いが必要であることをとくに注意して、稿を終ることにする。

#### 文 献

- 1) E.T.Paris Proc.Roy.Soc. 115 407 (1927)
- 2) E.T.Paris Phill.Mag. 5 489 (1928)
- 3) A.H.Davis *Modern Acoustics* (G.Bell and Sons, London, 1934) p.216
- 4) P.M.Morse, R.H.Bolt and R.L.Brown J. Acoust.Soc.Am. 12 217 (1940)
- 5) A.London J. Acoust.Soc.Am. 22 263 (1950)
- 6) われわれの研究結果の一部は  
日本音響学会研究発表会講演論文集(昭和33年10月, 昭和34年4月)  
J. Acoust.Soc.Am. 30 1163 (1958)  
小林理学研究所報告 9 57 (1959)  
に発表した。