



Title	新設本学部簡易無響室について
Author(s)	児玉, 信之; Kodama, Nobuyuki; 武田, 行弘 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 49, 109-125
Issue Date	1968-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40890
Type	departmental bulletin paper
File Information	49_109-126.pdf



新設本学部簡易無響室について

児玉 信之*

武田 行弘*

仲丸 由正*

(昭和43年5月4日受理)

An Inexpensive Anechoic Room

Nobuyuki KODAMA

Yukihiro TAKEDA

Yoshimasa NAKAMARU

Department of Electronic Engineering
Faculty of Engineering, Hokkaido University

(Received May 4, 1968)

Abstract

An inexpensive anechoic room for acoustical experiments was designed and constructed in the department of electronic engineering. The acoustical properties of the room were determined and were found satisfactory for free-field measurements of electroacoustic devices.

Free-field measurements are normally made in an anechoic room conventionally equipped with sound absorbing wedges of glass wool, but the capital cost of such a chamber is very high. The room described here was designed to use glass wool mats as sound absorbing wall-materials, in an attempt to construct it at a much lower cost and to utilize larger effective space than the conventional type.

目 次

1. ま え が き	110
2. 無響室の構造	110
3. 吸音マット	112
4. 音場特性	114
4.1 測定方法	114
4.2 測定結果	115
5. 遮音特性	122
5.1 測定方法	122
5.2 測定結果	122
6. 結 び	123

* 電子工学科 電子機器工学講座

1. ま え が き

音響機器の測定や校正さらに一般の音響実験にあたって、防音無響室は欠くことのできない重要な設備である。すなわち、このような音響測定に際しては、室外からの防音音と構造物を伝わる振動を遮断し、また室内の壁、天井、床面からの反射音を吸収し、定在波の影響を除くことが必要だからである。

当電子工学教室においても久しい間防音無響室を待望してきたが、これにはかなりの費用を要し、予算上実現困難であった。そこで今般、簡易吸音構造を採用した防振構造を省略するなど、経費を節約すると共になるべく性能低下を避けるよう計画し、この程ようやく完成をみるに至った。

通常採用されている無響構造は、底面 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 、長さ $80 \sim 100 \text{ cm}$ 程度のグラスウールで作ったくさび形の吸音体を吸音壁面一ぱいに植え込んだものであるが、ここにいう簡易吸音構造とは、吸音くさびの代わりにグラスウール・マットで充填密度が異なるものを数層重ねて壁に張りつけたものである。この構造の簡単化の利点は、材料費工事費を廉価にしかつ吸音層の厚みの減少から室内の利用空間が大きくとれることである。ただし波長が長い低い周波数で音場特性が悪くなることが欠点となる。

完成したこのような新設無響室についてその音響特性を測定した結果、ほぼ所期の性能が得られたので、ここに本無響室の構造および音場特性、遮音特性等について報告し、利用者の便宜を計ると共に簡易無響室の設計資料として記録する次第である。

2. 無響室の構造

無響室の構造は図-1 (a), (b) に示すとうり幅 6.24 m 、奥行 6.6 m 、高さ 4.3 m のコンクリート造りの中に内部コンクリート面より 10 cm 程度離して厚さ 9 mm の石膏ボードを取りつけ、その上に厚さ 5 cm のロックウールを張りさらに密度 25 kg/m^3 、厚さ 5 cm のグラスウール・マットを張って内部吸音層が構成されている。表面吸音層は密度 24 kg/m^3 、厚さ 10 cm と密度 12 kg/m^3 、厚さ 10 cm 、合計 20 cm のグラスウール・マットを表面が密度 12 kg/m^3 のグラスウール・マットになるように張りつけてある。その結果、内部の有効空間は幅 4.8 m 、奥行 5.2 m 、高さ 3.35 m となっている。ここでコンクリートと吸音層との空間約 10 cm (一般に背気層と呼ばれている) は、吸音層のグラスウールの節約と、低周波域での不必要な定在波の打消しのために設けられたものである。

室内の床格子は床面吸音層より 70 cm 高くし、間隔 5 cm で細い鉄のスノ子を敷き、その端は扉の部分以外四面の吸音層より 72.5 cm 離してある。またスノ子はすべて着脱可能であり、吸音層の表面はすべて銅アミで覆われている。

扉は幅 1.5 m 、高さ 1.8 m 、厚さ 10 cm の遮音扉と、幅 1.5 m 、高さ 1.8 m 、厚さ 35 cm の

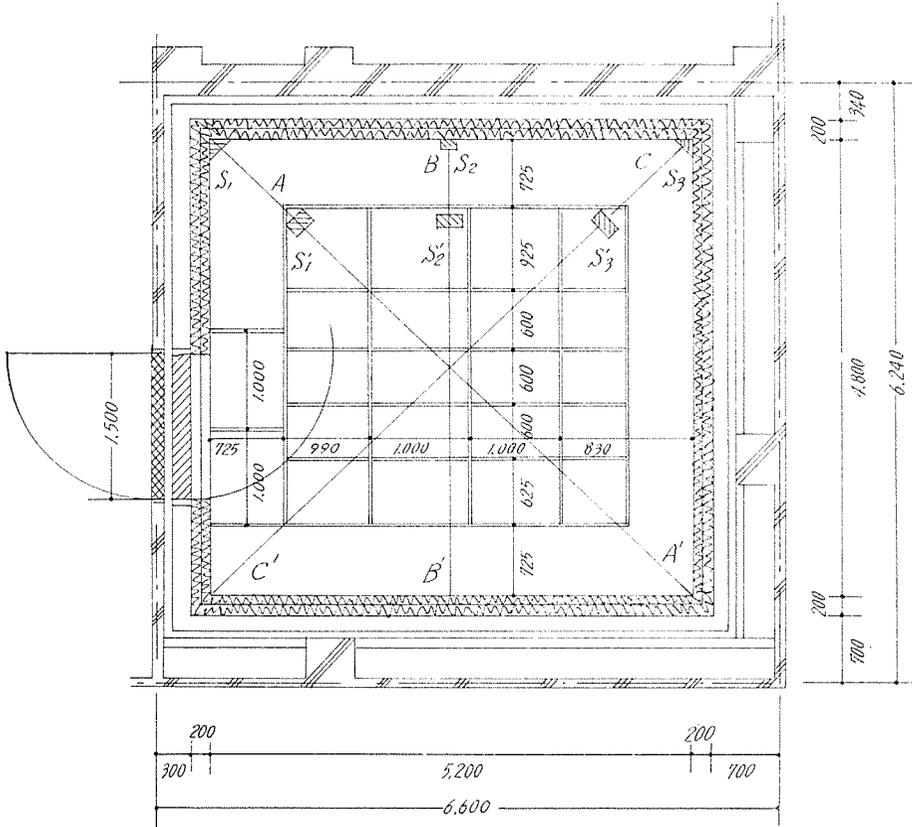


図-1(a) 平面図

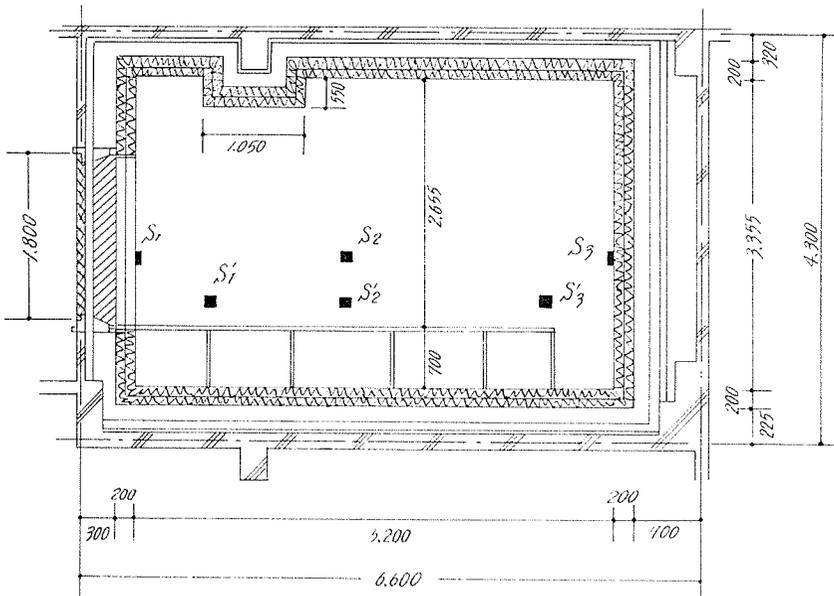


図-2(b) 断面図

吸音扉とから成り立っており、扉の取付けは経済性からヒンジ方式としてある。吸音扉の吸音層は厚さ 15 cm のロックウールの上に、吸音壁と同じグラスウール・マットの組合わせで構成されており、表面を銅アミで覆いその上からパンチングメタルで押えてある。遮音扉と吸音扉との間は 10 cm の空気層になっており、遮音扉は厚さ 1.6 mm の鉄板の間にロックウールを充填し、戸当りの部分はゴムで覆われている。

吸音層の構造と扉の構造をそれぞれ 図-2、図-3 (a), (b) に示す。また、無響室と測定室との配線連絡は 3 P×10 個、6 P×2 個 (いずれも 25 mmφ) のメタルコンセントを配備したターミナル板により行なわれている。

3. 吸音マット

表面吸音層には一般にくさび形のグラスウールが使用される。これは 100 c/s 程度以下の低音に対して 1.0 に近い吸音率をもたすためであり、最も良いものとされている^{1),2)}。しかしこの無響室に

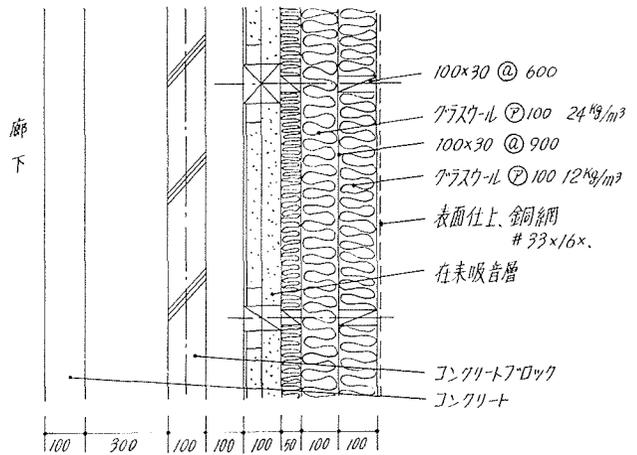


図-2 吸音層の構造

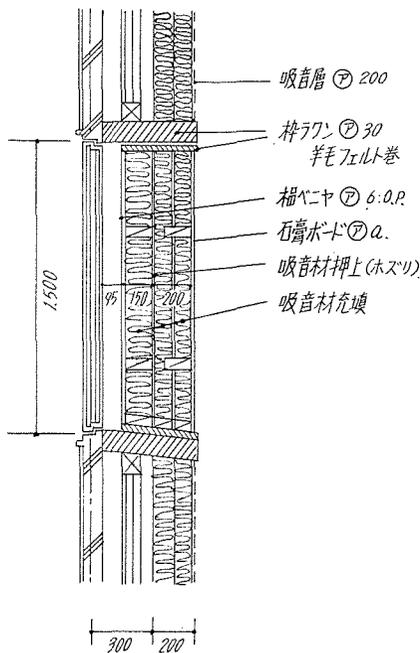


図-3 (a) 扉・平面図

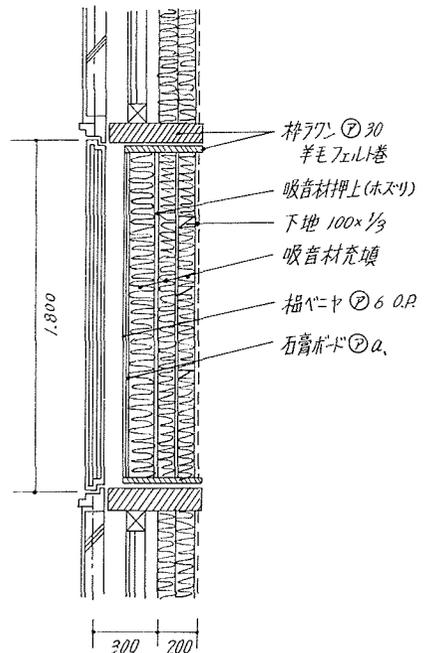


図-3 (b) 扉・断面図

においては、まえがきで述べた理由によりグラスウール・マットを使用することにした。

グラスウール・マットの吸音特性は図-4(a), (b)に示されている³⁾。これは、電電公社の通研において、定在波音響管による垂直入射法により測定されたデータで、縦軸は吸音率 α_0 である。(a) 図のパラメータはグラスウールの種類と組合せの変化であり、全体で 20 cm の吸音層を構成した場合である。(b) 図は背気層を設けた場合の特性でグラスウールの厚さは 12 cm, 背気層も入れて全体で 20 cm の吸音層となっている。

これらの図より次のことが言える。

(1) 同一種類のグラスウール・マットを用いるよりも、異なった密度の組合せを用いたほうが、吸音率は増加する。

(2) グラスウール・マットの節約および低周波での定在波打消しをはかる目的で剛壁との間に背気層を設けた場合、遮断周波数より上の周波数で吸収の谷が生じる。(特に 1000 c/s 附近) したがってグラスウール・マットを用いる場合はくさび形グラスウールを用いる無響室に設置されている背気層がかえって悪影響をおよぼす。

(3) 吸音層の吸音率にはかなりはっきりした遮断周波数が存在し、これは吸音層の厚さの 1/4 波長に相当する周波数である。

これらのことを参考として吸音構造を決めるのであるが、本無響室は初めくさび形グラスウールを使用することを前提として下地工事が完了していたため、すでに背気層が設けてあり、さらにロックウールと密度 25 kg/m^3 のグラスウール・マットとの組合せで、おのおのの厚さが 5 cm 程度の内部吸音層が造られていた。通研のデータによれば、吸音層の一部を背気層で置きかえることはあまり好ましくない。しかし、われわれの場合は背気層の前に充填密度の高いロックウールとグラスウールの層があるので、下地工事をそのままにして、むしろ遮断周波数の低下に利用することにした。表面吸音層としては図-4(a)の中から一番吸音率が一定

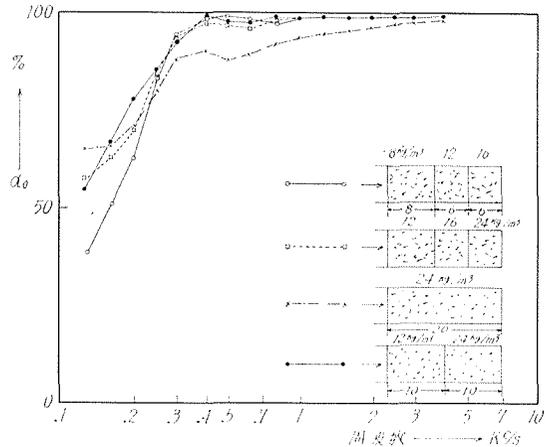


図-4(a) フェルト状ガラス繊維の吸音率

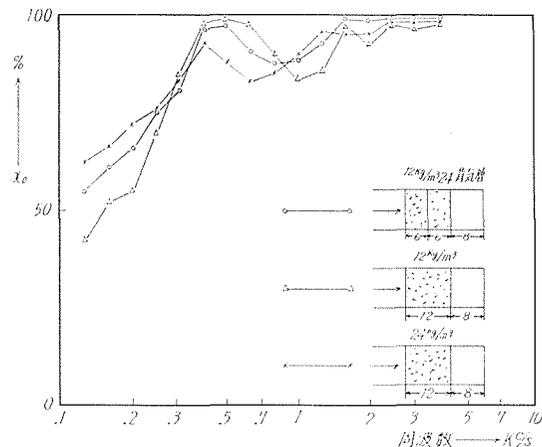


図-4(b) 背気層を設けた場合のフェルト状ガラス繊維の吸音率

である密度 12 kg/m^3 、厚さ 10 cm と密度 24 kg/m^3 、厚さ 10 cm の二種類の組合わせのグラスウール・マットを使用した。

以上のことからこの無響室の遮断周波数 f_0 を求めてみる。初めに背気層を考慮に入れて、表面吸音層と内部吸音層とがコンクリート面に密着して取付けられた場合は、

$$f_0 = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{4D} \doteq \frac{3.4 \times 10^4}{4 \times 30} \doteq 283 \text{ c/s} \quad (1)$$

ここに c : 空気中の音速 cm/s

λ : 波 長 cm

D : 吸音層の厚み cm

と予想される。

次に石膏ボードおよび背気層の厚さを考慮して吸音層の厚さを全体で 45 cm とすれば、

$$f_0 = \frac{c}{4D} = \frac{3.4 \times 10^4}{4 \times 45} \doteq 188 \text{ c/s} \quad (2)$$

となる。(2)式では背気層の厚さをそのまま吸音層の厚さの中に入れてが、この部分を吸音材で満した時とは遮断周波数が異なってくる。しかも内部吸音材としてロックウールや石膏ボード等が入っているため、それらの吸音率がグラスウールに比べ少なく(残響室法により測定されたものでロックウールの吸音率は約60%、石膏ボードで背後にグラスウールを貼りさらに空気層 8.6 cm を設けたもので吸音率は約50%である²⁾) したがって正確に遮断周波数を定めることは出来ない。しかし図-4(a, b)は垂直入射法で測定されたものであり実際の無響室において音波は斜めの方向からのものもあるためこれらのこと等を考慮して、背気層が有効に働けば遮断周波数は 283 c/s から低い方に移動してくる。

4. 音場特性

4.1 測定方法

無響室の特性を評価する資料として、外来騒音の遮音と室内の自由音場の成立範囲とが挙げられる。自由音場の成立する範囲を測定するためには、室内の一隅に音源を置き純音を発生して、音源から隔たるにつれて音圧が距離に反比例して減少するかどうかを確かめれば良い。すなわち小さな音源から出た音が一樣な媒質中を一樣に広がって伝わっているとすれば、単位面積当りのエネルギーは逆二乗法則に従い、自由空間での任意の点での音圧は音源からの距離に反比例する。これは小さな音源を仮定しているが実際には低い周波数迄再生するスピーカは口径が大きく(直径 $25 \sim 30 \text{ cm}$)、そのためスピーカ中心と音響中心(音波面の中心の仮想位置)が一致しなくなり測定された音場特性に影響を与える。

図-1の S_1, S_2, S_3 の音源位置に使用したスピーカは図-5(a, b)に示すような $0.9 \times 1.1 \text{ (m}^2\text{)}$ 厚さ 2.4 cm のバッフル板にパイオニア社の PAX-30 F を取りつけ、バッフル板の前面を 5 cm ,

後面を2 cmの厚さのグラスウールで覆っている。他方、図-1の S_1' 、 S_2' 、 S_3' の音源位置に使用したスピーカは $0.3 \times 0.5 \times 0.7$ (高さ) (m³)の普通の密閉箱の中にパイオニア社のPIM-25 Aを取りつけたものである。

音源 S_1 、 S_2 、 S_3 は高さ1.65 mの位置で壁に密着させて取り付け、測定点をそれぞれA-A' (A軸)、B-B' (B軸)、C-C' (C軸)、方向に移動させ、音源 S_1' 、 S_2' 、 S_3' は高さ1.1 mの位置で壁より約90 cm離してそれぞれA軸、B軸、C軸に沿って測定した。

測定に使用した主な機器は、B & K社製1022型唸周波数発振器、2305型レベルレコーダ、2112型オーディオ周波数スペクトル計、日本電気製コンデンサーマイクロホンセット等である。

4.2 測定結果

各 S_1 、 S_2 、 S_3 に音源を置きA軸、B軸、C軸に沿って距離を2倍ずつ変化させ、各々の測定点でスピーカに供給する電圧を一定に保ち、周波数を20~20,000 c/sまで連続的に変化させて音圧レベルを測定したものが図-6(a, b, c)に示され、 S_1' 、 S_2' 、 S_3' の音源においても同様の測定を行ない図-6(a', b', c')にそれを示す。これらの図は普通伝送特性と呼ばれているものである。

次に S_1 、 S_2 、 S_3 の音源で周波数を63~16,000 c/sの間を1/3オクターブに分割して、測定距離をスピーカ前面より40 cmから20~40 cmの間隔で移動させ、音源より1 mの測定点を基準として相対音圧を求め、理想的な自由音場特性と共に、この測定結果のうち代表的なものを図-7(a, b, ..., h)に示し、 S_1' 、 S_2' 、 S_3' の音源において同様な方法により測定されたものが図-7(a', b', ..., h')に示されている。

これらの図より次のことがわかる。

(1) 図-6より測定点が音源より遠ざかり壁に近づくにつれて伝送特性に細かな凹凸が激しくなってくる。これは壁のわずかな反射音によって音場にみだれに生ずることを示すものである。従って実際の機器の測定にあたっては測定点を壁より1~1.5 m程度離して使用したほうが良い。

(2) 図-7より遮断周波数以上では逆二乗特性からの偏差が音源より2.5 mまでは、一例としてC軸方向において、最大偏差が500 c/sで±1.5 dB、1,000 c/sで±1 dB、5,000 c/sで±1.5 dB、16,000 c/sで±1.5 dBとなっており、また遮断周波数以下の場合125 c/sで1.5 mまでは±1.5 dB以内であり、自由音場として実用の範囲にある。くさび形吸音層を使用した無響室(例えば“昭電社の無響室”について⁴⁾)は80 c/sで0.8 mまで自由音場、100 c/s以上で1.5 mまで±1.0 dBの範囲で自由音場が成立している。但し、この無響室の遮断周波数は約100 c/s

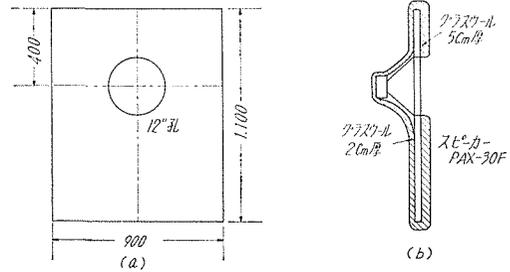


図-5 使用したバッフル板

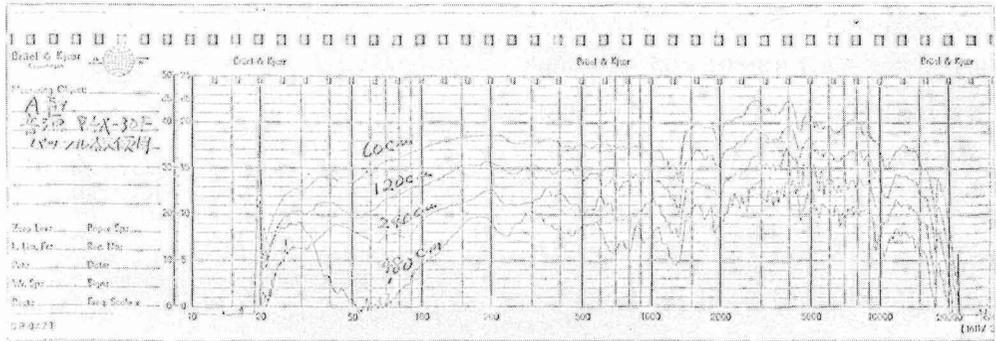


図-6(a) S₁音源の時の伝送特性 (A軸)

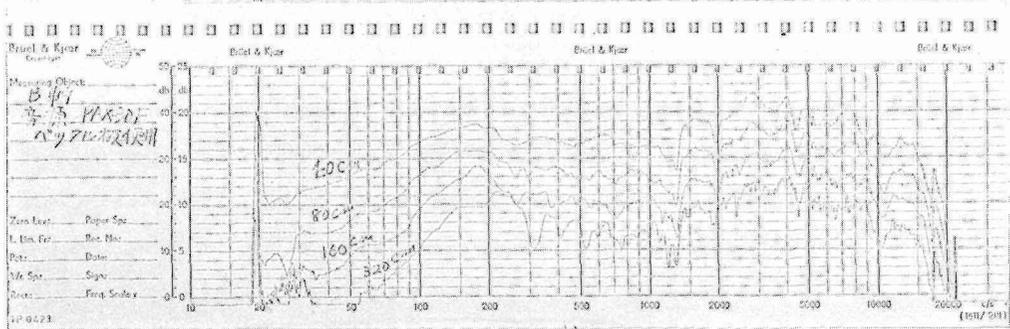


図-6(b) S₂音源の時の伝送特性 (B軸)

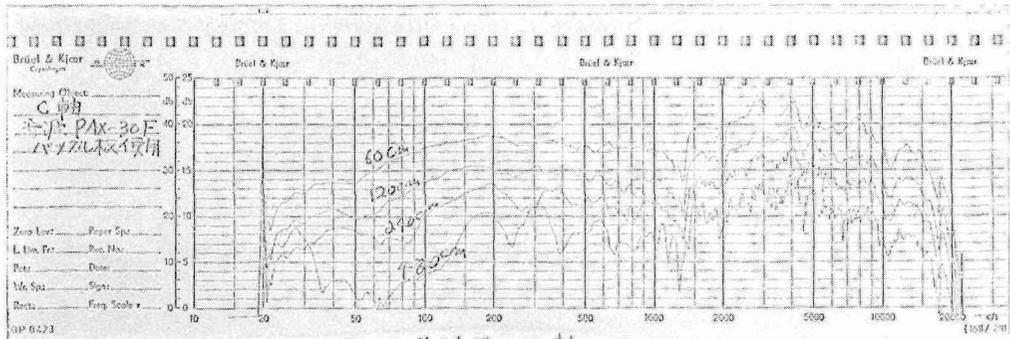


図-6(c) S₃音源の伝送特性 (C軸)

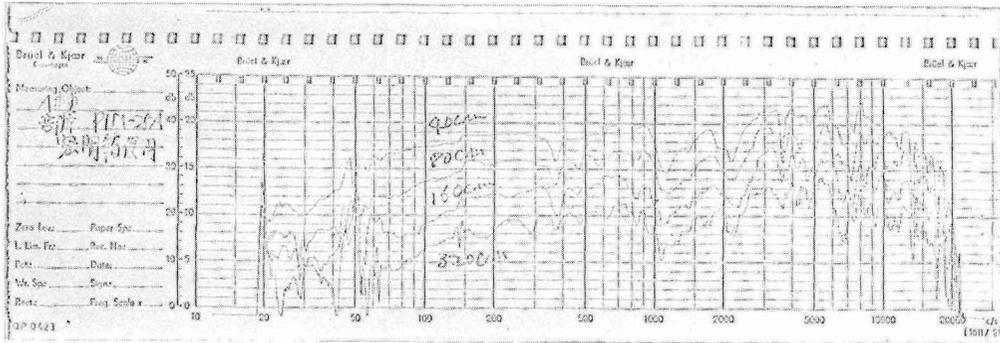


図-6(a') S₁音源の時の伝送特性 (A 軸)

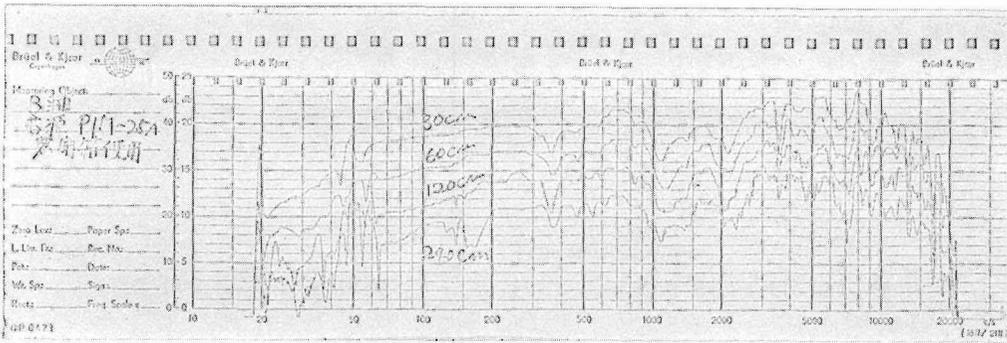


図-6(b') S₂音源の伝送特性 (B 軸)

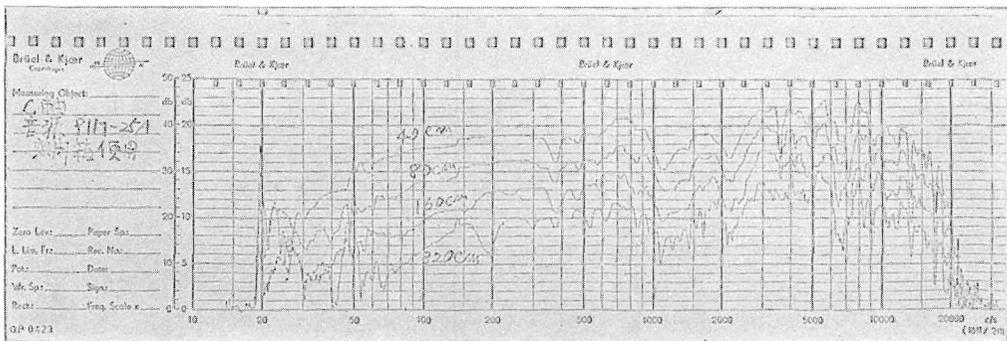


図-6(c') S₃音源の伝送特性 (C 軸)

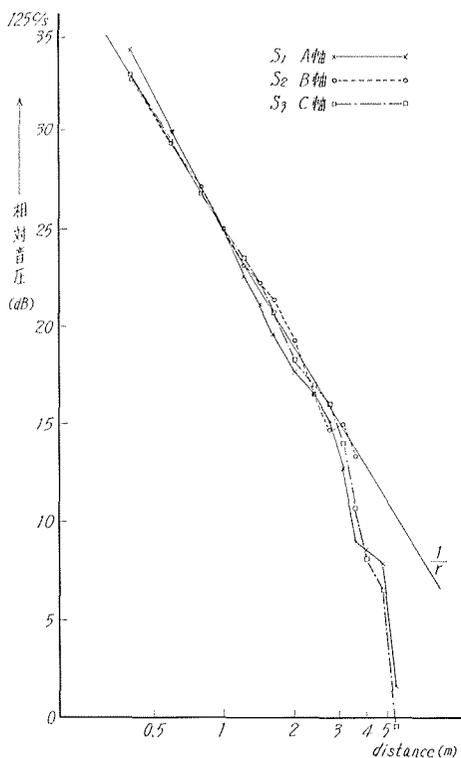


图-7(a) 125 c/s S 音源

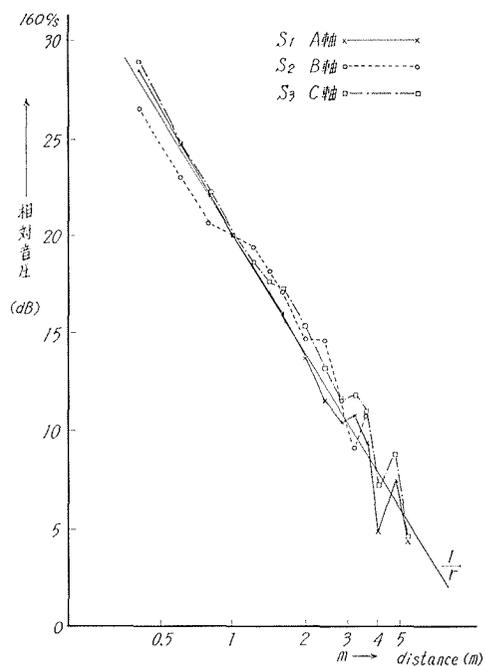


图-7(b) 160 c/s S 音源

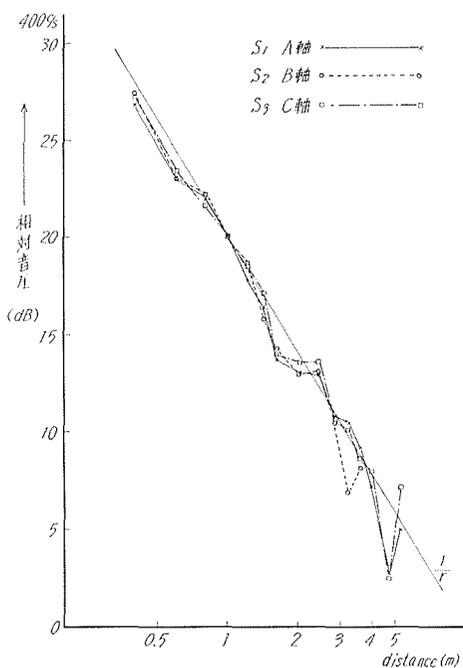


图-7(c) 400 c/s S 音源

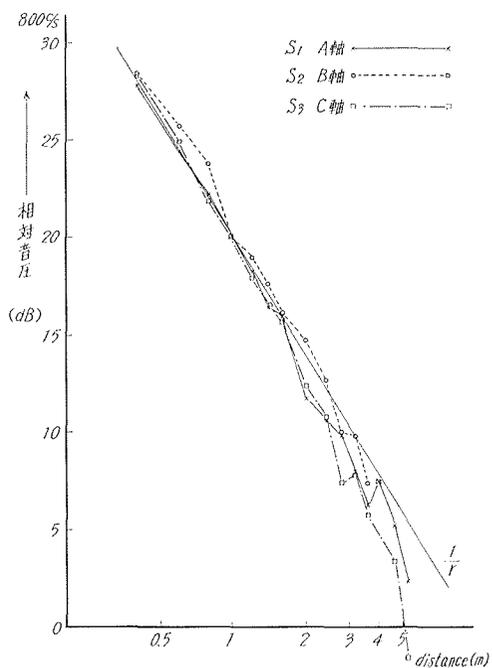


图-7(d) 800 c/s S 音源

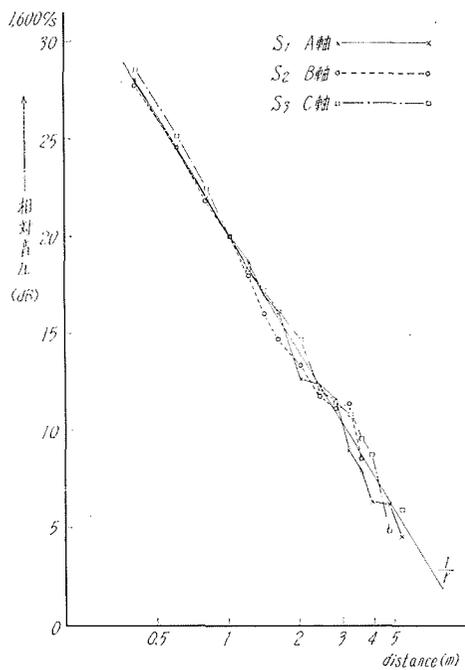


図-7(e) 1,600 c/s S 音源

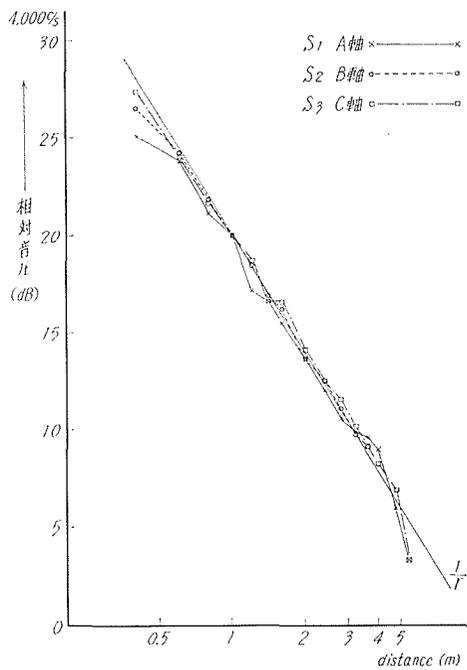


図-7(f) 4,000 c/s S 音源

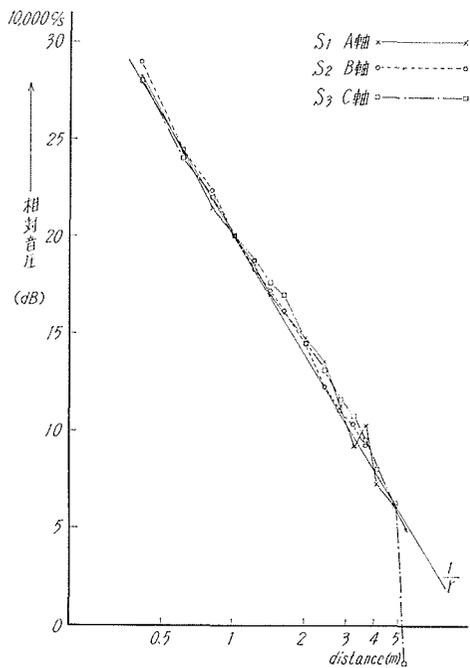


図-7(g) 10,000 c/s S 音源

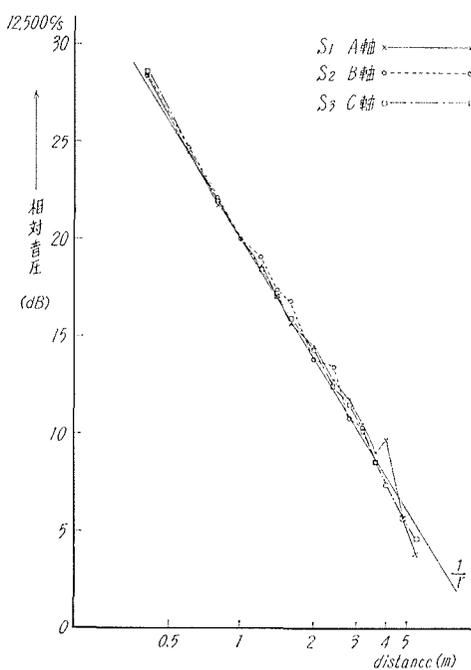


図-7(h) 12,500 c/s S 音源

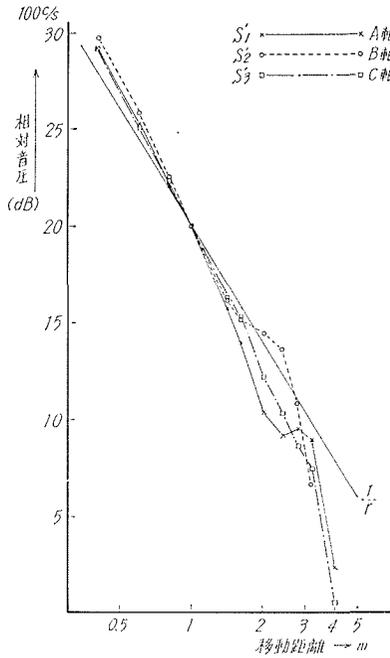


図-7(a') 100 c/s S' 音源

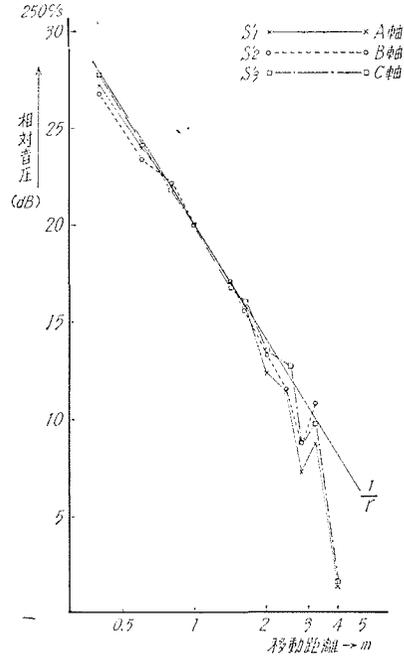


図-7(b') 250 c/s S' 音源

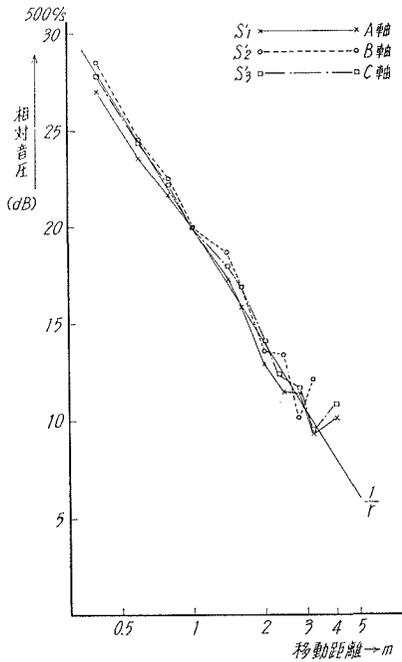


図-7(c') 500 c/s S' 音源

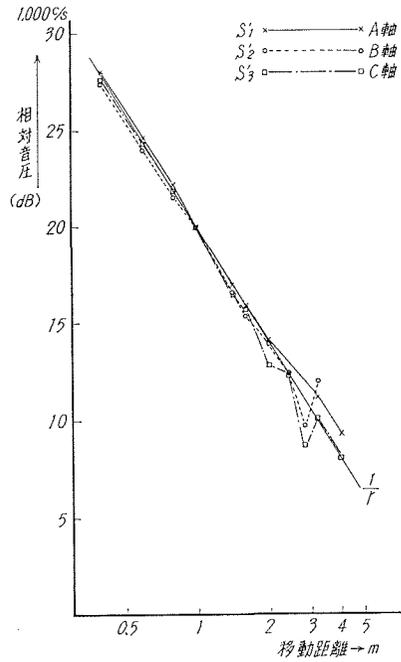
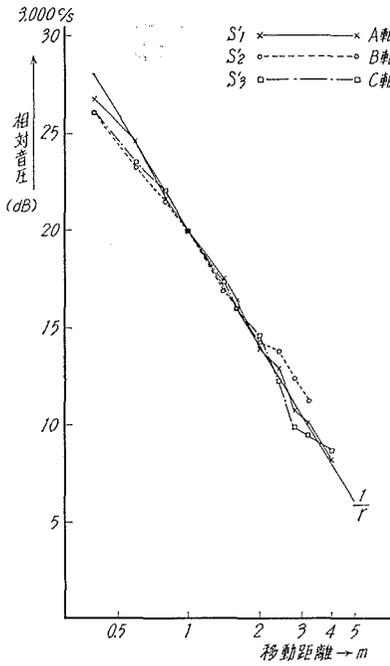
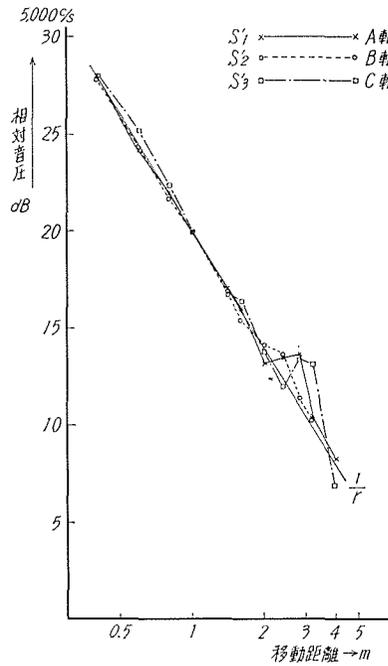


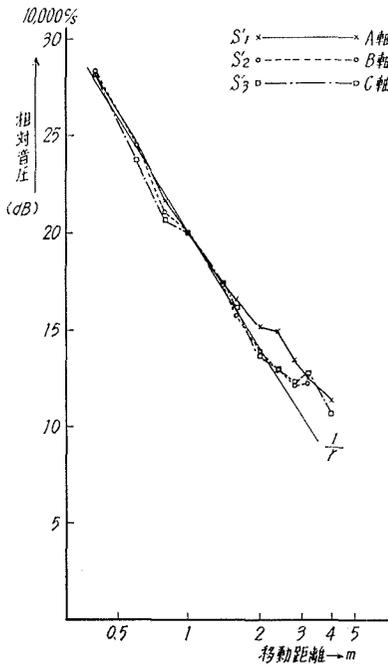
図-7(d') 1,000 c/s S' 音源



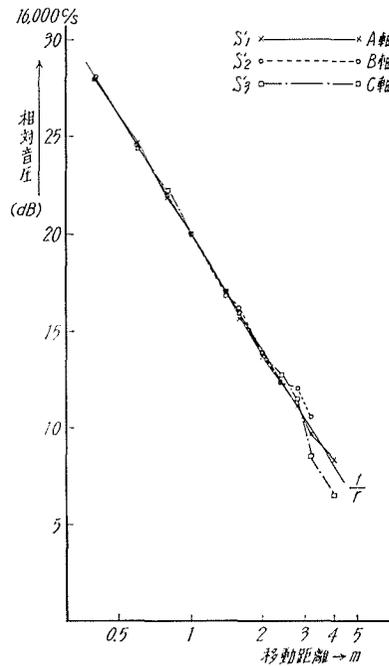
図—7(e') 3,000 c/s S' 音源



図—7(f') 5,000 c/s S' 音源



図—7(g') 10,000 c/s S' 音源



図—7(h') 16,000 c/s S' 音源

である。この無響室の音場特性と比較しても低周波域を除き大差がない。

(3) 先に、この簡易無響室の遮断周波数は背気層がないものとして 283 c/s と予想したが、図-6、図-7 より f_0 は約 200 c/s 付近まで下がっている。これは明らかに背気層が効力を発揮し、遮断周波数を下げたものと思われる。

(4) 背気層による吸収の谷はあまり目立たず、かえって遮断周波数を下げていることから、背気層をもつ下地吸音層がこのような簡易無響室においても有効である。

5. 遮音特性

5.1 測定方法

外来騒音の遮音度を測定するために、音源を測定室に置き、遮音扉の前面 1 m で高さが 93 cm の位置に密閉箱に入れた 2 個のスピーカを用意して音源とした。音源には定在波の影響をさけるために白色雑音を 1/3 オクターブフィルターに通した後与えている。測定点は音源の前面 30 cm の位置と、遮音扉を閉め扉の後方 1.5 m の位置および遮音扉と吸音扉の両方を閉じた場合で前と同じ位置について測定した。

5.2 測定結果

扉の遮音特性は図-8 に示されている。この図で、 M_1 特性は音源の前面 30 cm の位置にマイクロホンを置いた場合の周波数特性で、1,000 c/s での音圧は 110 dB (すなわち 110 ホン) である。

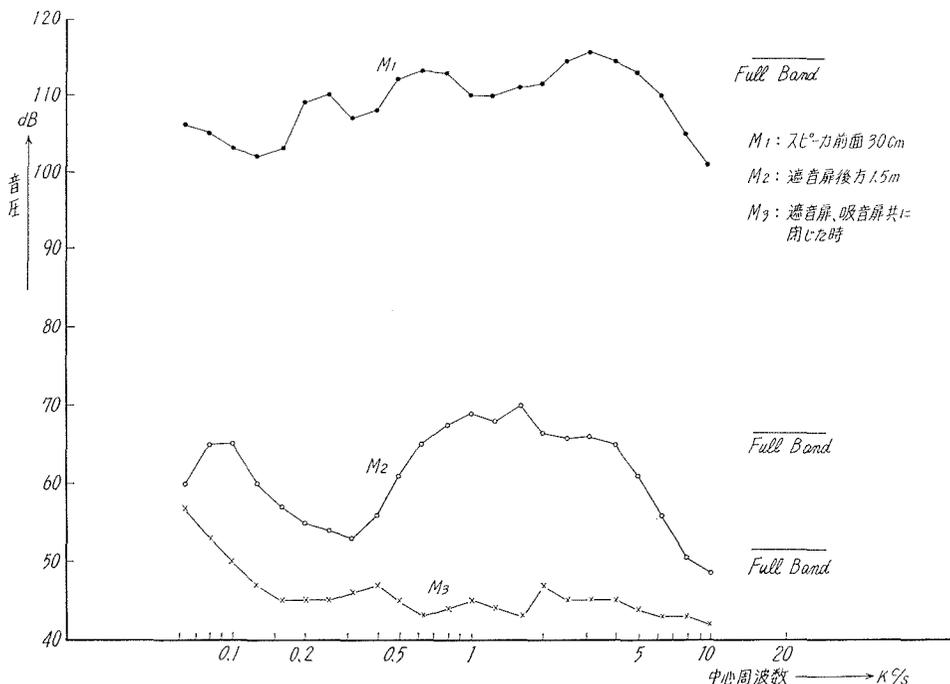


図-8 遮音特性

M_2 特性は遮音扉のみを閉めた場合であり、これより遮音扉の透過損失 M_1-M_2 は 100 c/s で 38 dB, 500 c/s で 51 dB, 1,000 c/s で 41 dB, 4,000 c/s で 49.5 dB, … となっている。一般に透過損失を 100 dB 以上にするためには厚さ 30 cm 程度のコンクリートで仕切れば良いとされているが、この簡易無響室は厚さ 10 cm のコンクリートブロックで測定室と無響室が仕切られているため遮音扉も 10 cm の厚さしかなく、この程度の遮音度しか得られなかった。

M_3 特性は両方の扉を閉めた場合でマイクロホンの位置は M_2 特性の時と同じである。この時の透過損失 M_1-M_3 は 200 c/s 以上で約 65 dB となっている。これは吸音扉がある程度の遮音の役目をしているためである。その他、測定室と無響室との結合ジャック板端子からの音の漏れは発見されなかった。一方廊下側は図-2 からわかるとうり壁の内側にさらに 30 cm 程度離してコンクリートブロックが積んであるのもっと大きい遮音度を示すものと思われるがまだ測定していない。また廊下や測定室で人が跳びはねたり壁をたたいたりすると、無響室内で 50~60 dB の音圧が観測され、特にこの無響室が三階に位置しているところから、すぐ上の屋上で人が跳びはねると約 80 dB もの音圧が観測された。これは、この無響室の防振機構が省略されたためであり、近くに学生講義室があるところから学生の出入りの激しい時は使用不能となる。

6. 結 び

表面吸音層に簡単なグラスウール・マットを用いて無響室を完成し、その音場特性ならびに遮音特性を測定した。その結果から要約すると次のようになる。

(1) 音源および測定点の位置を適当に選べばこの簡易無響室は約 200 c/s 以上でほぼ自由音場と等価と見做すことができ、特に音源より 2.5 m 以内では最大偏差 ± 1.5 dB で自由音場が成立しており、実際の使用の際は音源と測定点の距離が 1 m 内外の場合が多く、十分実用範囲内にある。また長波長の低周波範囲においても音圧比較測定等には差し支えない。

(2) 定在波音響管による垂直入射吸音率の測定結果は本計画に非常によいデータを与えてくれた。

(3) 密度および厚さを適切に選び多重吸音層を構成した場合、遮断周波数を下げる目的で背気層を設けることは有効である。

(4) 騒音の透過損失は約 65 dB で、簡単な機構の扉でありながら良好な結果が得られた。特に大学のような静かな所では十分実用範囲にある。

(5) 防振装置を節約したが、これは失敗であったと思う。

以上のように小容積の無響室ではグラスウール・マットを表面吸音層に用いても特性の面で良い結果が得られた。特にこのような簡易吸音構造を採用することによりくさび形のものに比べ経費は 3~4 分の 1 にすることができた。

無響室の測定にあたっては、音源とマイクロホンを一直線上に 5 m ほど移動させ、しかも



図-9(a) 測定室

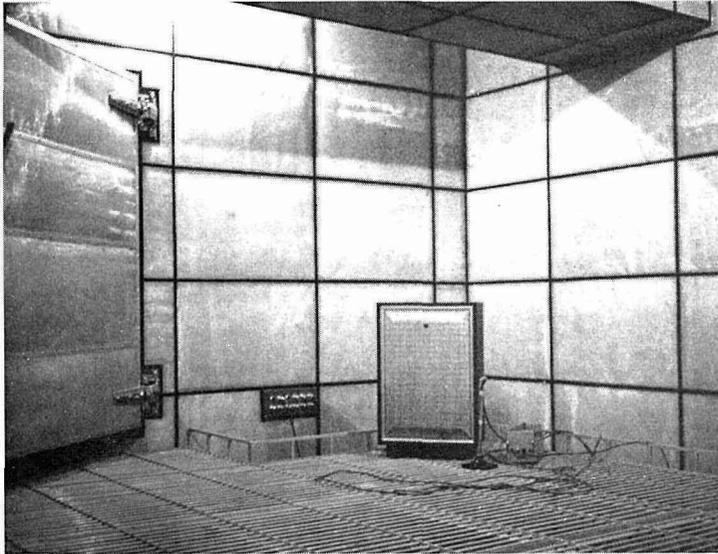


図-9(b) 無響室

20~40 cm 間隔で測定点を固定させることがむずかしく、この種の誤差がかなりあり、同じ測定を2~3回行ない、その平均をとって測定結果とした。現在この誤差を少なくするため、音源とマイクロホンを一直線上に移動する装置を考慮中である。図-9(a, b)に測定室と無響室の写真を示す。

終りにこの無響室の実現に賛同と協力をいただいた電子工学教室各講座の諸先生、事務部歌代営繕掛長、本計画に資料と助言を下された電電公社通研音響研究室および工事担当の山和

工業の方々に深く謝意を表すると共に、測定の際御協力を得た電気工学科石川助手、電波応用講座榊原助手をはじめ当電子機器研究室の方々にも厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 建築音響工学ハンドブック，技報堂 (昭 38. 6)
- 2) 防音装置の設計，理工図書 K.K. (昭 38. 6)
- 3) 渡辺・梶浦・吉川・村上：有響棟内に新設された簡易形無響室の吸音構造とその音響特性，電電公社通研音研談話会資料 (昭 40. 3. 25)
- 4) 服部 守：昭電社無響室について，電子通信学会電気音響研究会資料 (1966. 3. 18)