

透過損失測定用新残響室について 遮音構造の研究

佐藤 孝二・子安 勝・坂上 丈寿*
楯 林次・中村 俊一
(小林理学研究所)
(昭和35年9月5日 受理)

The New Reverberation Chambers for the Measurements of Airborne and Impact Sound Transmission

Kozi SATO, Masaru KOYASU, Joju SAKAGAMI
Rinji TATE and Shun-ichi NAKAMURA
(Kobayashi Institute of Physical Research)
(Received September 5, 1960)

Three new reverberation chambers for sound transmission measurements were constructed beside the reverberation chambers for sound absorption measurements constructed four years ago.

Airborne-sound transmission is measured through the 3.0m×3.0m opening on the wall between two larger chambers (each volume 164m³). The shape of the chamber is similar to that of the reverberation chamber for sound absorption measurement, but the size is reduced into 2/3.

For impact-sound measurement, the 2.0m×2.0m opening on the floor is used. Under this opening the third chamber (irregular hectahedron, 68m³) is built.

In this report, the out line of the equipments and their fundamental nature concerning the measurements are mentioned.

We studied practical subjects such as the sound pressure distribution of source and receiving rooms, the size and the mounting conditions of samples, the effect of absorption power in the receiving room, and others.

Then we are convinced that the equipments are useful for our future study of sound-insulating structures.

一般に騒音対策には、騒音をいかに遮断するかが重要な問題となる。

遮音設計によって、目的にかなった適切な騒音防止を実現するためには、材料や構造の遮音効果に確実な資料の裏づけがなくてはならない。またとくに最近では、建物の高層化にともなって、軽量遮音構造に対する要望がたかまり、その方面の研究が必要となってきた。

このような情勢のもとで、われわれはさきの吸

音率測定用残響室¹⁾につづいて、透過損失測定用残響室を完成した。

この報告では、設備の概要と、その基礎的性質についてのべ、続いた報告において、この設備を用いた研究の第1報として、一重構造の透過損失についてまとめた。

§ 1. 新設の遮音測定設備

1. 1 測定方式の決定

外部から空気を伝って建物に侵入する騒音は、

* 現在 日産自動車株式会社

壁や窓などによってさえぎられる。構造体のこのような遮音効果を表現する量として "透過損失" (Transmission Loss) が用いられる。

これは(1)式で示すように、構造体の入射するエネルギー E_i と、これを透過するエネルギー E_t との比の対数をとったもので、デシベルで表現される。

$$T.L. = 10 \log_{10} \frac{E_i}{E_t} \quad (1)$$

$$= 10 \log_{10} \frac{1}{\tau} \quad \tau: \text{透過率}$$

一般には同じ材料でも、透過損失の値は音の入射の条件によって変化する。普通の使用条件での遮音設計には、吸音率の場合と同様に、実験室で音源側に残響室を用い、ランダム入射の条件で測定した結果を使用する。

透過損失測定のための実験設備では、音源室と受音室とが試料取付のための開口部を境に隣り合っつくられる。この両室とも残響室とするのが一般的な方式であるが、それぞれ独自の使用目的を持つ残響室と無響室とをこの測定にも利用し、音源側に残響室、受音側に無響室を用いる方式もある。

残響室 - 残響室方式では、透過損失は(2)式で求められる。ただし、 L_1, L_2 はそれぞれ音源、受音室内平均音圧レベル、 S は試料面積、 A_2 は受音室の吸音力とする。

$$T.L. = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2} \quad (2)$$

われわれは、測定方式として、測定操作の点などを考慮し、音源、受音両室とも残響室を用いることにした。

すなわち、Fig. 1 に示すように、3つの不整形残響室を隣り合っつくった。吸音率測定用残響室に続けて、これらを第3、第4、第5残響室と名づけている。第3と第4の間では、ISOによる国際規格案に沿った透過損失測定ができる。また第4と第5の間では、床構造について、足音などの衝撃による音の発生、透過をしらべることを本来の目的としている。

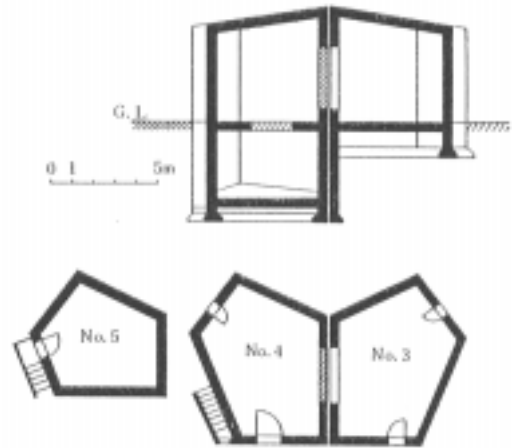


Fig. 1 Plan and section of the reverberation chambers. No.3 was built separately from the others to avoid the structure coupling of them.

1.2 設計の要点

ここに用いる残響室として必要なことは、十分拡散した音場をうることである。理想的な拡散音場では、室内の音圧レベルが場所的に一定となり、また、試料に対する音の入射がランダムになる。この状態になるべく近くするために、残響室の形、大きさを考慮した。すなわち、第3と第4とには、さきに吸音率測定用としてつくり、音場のたしかめられている残響室の形を再び用いることにした。ただ、この場合には測定周波数を一応 100c/s 以上としたので、その各辺の長さを約 2/3 に縮小してある。

試料取付用開口部の寸法については、従来いろいろ問題になっているが、決定的な意見はない。そこで一つの考え方として、厚くかたい壁など、コインシデンス効果が低音でおこるような場合も、現寸法のまま測定できるように、また、窓の測定のことなども考慮して、試料取付用開口部は 3.0m×3.0m (試料寸法は 3.3m×3.3m) とした。これよりも小さい試料の測定では、透過損失の十分大きい資材を用いて開口部面積を調節することにした。

試料は実際と同じ条件で測定するのがたてまえである。そのため間仕切壁などは 3.0m×3.0m

透過損失測定用新残響室について

開口部に直接実際と同じ要領で施工する。

床構造の測定には、第4残響室とその地下にある第5残響室との間の 2.0m×2.0m の開口部に試料を取付ける。第5残響室は他よりも面積が小さく、また形も異なるが、やはり不整形とした。

1.3 設備の概要

Table I. Details of the reverberation chambers.

Chamber	Volume	Surface area	Wall thickness
No. 3	164m ³	179m ²	30cm
No. 4	164	179	30
No. 5 (Basement)	68	102	30

透過損失の正確な測定には、試料以外の径路を通して受音室に音が入ることを避けねばならない。振動的に両室が結合して音が伝わるのを防ぐために、第3、第4両室は基礎構造からそれぞれ独立に建設し、両室の接する面には、中間に木の層をおいた。

残響室内面の仕上げは、さきの吸音率測定用では人造石とぎ出しを用いたが、今回は吸音率のときほど壁面の反射性が重要でないので、モルタルの金ごて仕上げとした。

第4残響室には、試料取付のために2トン用のチェーンブロックをつけた走行クレーンを装備した。

§ 2 . 基礎実験

完成した測定設備について、基礎的な性質をしらべた実験の結果についてのべる。

2.1 音圧分布、残響時間

透過損失の測定では、音源、受音両室内での音圧分布が一様になることが大切であるので、まずこの点についてしらべた。

音源には、主としてサイラトロン・ノイズを1/3 オクターブ・バンドに分けたものを用い(震音も併用した)、スピーカーは 25cm コーン型を密閉箱に入れて使用した。マイクロホンはムーピング・コイル型で、受音側にも1/3 オクターブ・フィルターを入れ、音圧レベルと残響時間の測定

にはレベル・レコーダーを使った。

第4残響室を音源室として、各室の音圧分布をしらべたのが **Table** , である。

このとき、各試料面について2種類の状態でしらべた。3.0m×3.0m の開口部では、45mm のモルタル壁を施工した場合と、受音側でさらにこの表面に吸音材を貼った場合とを測定し、2.0m×2.0m の開口部については、それぞれ 100mm のコンクリート蓋、薄い板状材料をとりつけた。

室中央のレベルを基準とし、これからの偏差をデシベルで示した。低音で壁際の偏差が大きいのは、壁での反射による音圧上昇の影響である。この測定には問題にならぬ程度に小さい。また、試料面の状態が変わっても大きな変化はなく、同様のことがいえる。

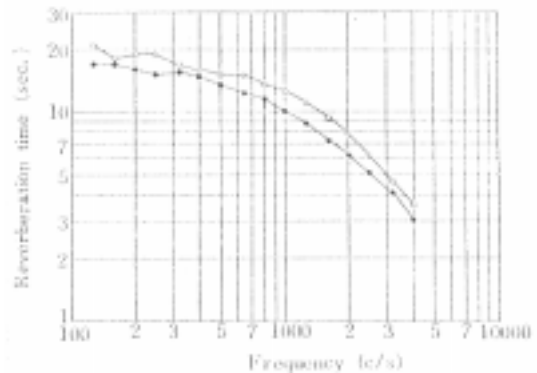


Fig. 2 Reverberation time of the chambers. The condition of openings is the same as shown in Table II.

○ : chamber No.3, ● : chamber No.5

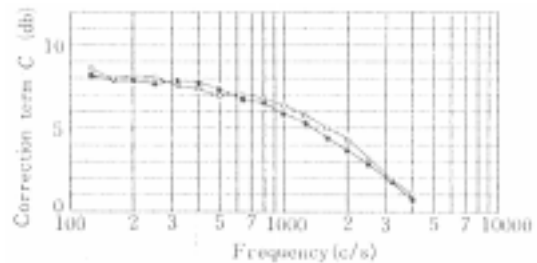


Fig.3 The correction term for T.L. usual measurement calculated from the reverberation time shown in Fig. 2.

$C : 10 \log S / A$, S : sample area, A : absorption power

Table II. Sound pressure levels in each chamber relative to that of the center position. Positions of microphone chosen arbitrarily. 1/3 octave band noise was generated in chamber No. 4, and the transmitted sound levels were measured in No. 3 and No. 5. The opening between No. 3 and No. 4 was closed with a 45mm thick mortar wall, and the other was closed with 100mm thick concrete lids.

Positions of mic. frequency	central					near the wall				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
125c/s	0	-2	+1	-1	0	+2	+1	+4	+1	-4
250	0	-3	-2	-2	-2	-2	0	-3	0	-2
500	0	0	-1	0	+1	-1	0	0	+1	+1
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	-1
4000	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0

Positions of mic. frequency	The center					near the wall				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
125c/s	0					-2	+2	-3	+5	-1
250	0					+1	-2	0	+1	+1
500	0					-2	0	0	-2	0
1000	0					0	0	0	-1	+1
2000	0					0	+1	0	0	+1
4000	0					+1	0	0	0	+1

Positions of mic. frequency	central				near the wall			
	1	2	3	4	1	2	3	4
125c/s	0	0	+1	+1	+3	+3	+3	+3
250	0	-1	-1	-1	-1	0	+2	0
500	0	+1	+1	+1	0	0	-2	+1
1000	0	+1	+1	+1	0	0	0	+1
2000	0	0	0	0	0	-1	0	0
4000	0	0	0	0	-1	-1	0	0

Fig. 2, 3 は、受音室の平均の残響時間とそれをもとに計算した補正項 ((2) 式右辺の第 3 項) を示す。試料面の状態は Table の場合と同じである。

室内の残響時間のばらつきは、補正項のばらつきになおせば、1 デシベル以内であることがわかった。

2. 2 2 つの試料取付面による同一材料の測定

さきにのべたように、第 4 残響室床面の試料取付口は、本来床構造について衝撃の影響をしらべるためにつくられた。しかし、透過損失の測定についても、構造によっては、小面積でよいことや、また垂直と水平の取付けのちがいによる影響もないことが考えられる。それで、薄い板状材料の場合について検討を行った。両者には Fig. 4 に示すようにほとんど差がないが、面積のちがいの影

透過損失測定用新残響室について

Table 5 Sound distributions of the chambers were measured in same way of table 4, but sample partitions were different from the former. A mortar wall + absorbing materials (quiet side) for No.3 ~ No.4. Thin plates for No.4 ~ No.5.

Chamber No.3 (Receive)

Positions of mic. frequency	central				near the wall			
	1	2	3	4	6	2	3	4
125c/s	0	0	0	+1	0	+4	+5	+6
250	0	+2	-2	0	0	+2	+2	+1
500	0	0	+1	+1	0	0	-1	-1
1000	0	+2	+1	+1	+1	+1	+2	+1
2000	0	0	0	0	0	0	0	0
4000	0	0	0	+1	+1	+1	+1	+1

Chamber No.5 (Receive)

positions of mic. frequency	central				near the wall			
	1	2	3	4	1	2	3	4
125c/s	0	-4	-4	0	+4	+5	+3	+5
250	0	0	0	+1	+2	+3	+1	+3
500	0	0	+1	+1	-2	-1	-2	-1
1000	0	+1	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0
4000	0	0	0	0	+1	0	0	0

響などの問題については、さらに検討を行いたい。

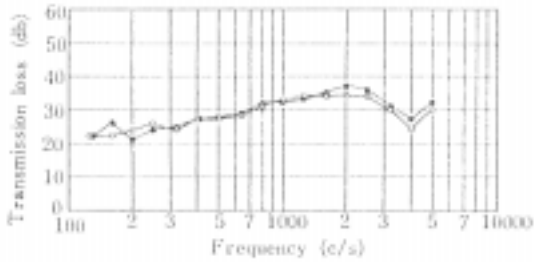


Fig. 4 Transmission loss versus frequency for the same sample measured in different openings.
 ●: 9.0m² (No.3 ~ No.4),
 ○: 4.0m² (No.4 ~ No.5)

2.3 受音室の吸音力の変化

透過損失を求めるには、両室とも残響室の場合は(2)式のように、両室の平均レベルの差に、受音室の吸音力に関係した補正をする。この式は、両室の音場が拡散状態であるという仮定で導かれ

たものである。

ここで受音室の一部に吸音材を附加して、異った吸音力の下で、同一試料の透過損失を測定した(Fig. 5)。この場合、透過損失を求めた試料は、2つの開口部について異ったものを用いた。

この結果をみると、吸音力の変化による透過損失への影響はほとんどない。

2.4 音源受音両室の交換の影響

第3, 第4両残響室は同形であるが、第4, 第5では大きさも形も異っている。薄い板状材料について、第4残響室を音源とし、第5で受けた場合と、その逆について比較したが、目立った差はみられなかった。

また、薄い板状材料の片面にグラスウールを貼った構造や、厚みの異なる材料でできた二重構造など、非対称なものについても、透過損失は測定の方にはよらぬ結果がでている。

2.5 London の測定法との比較

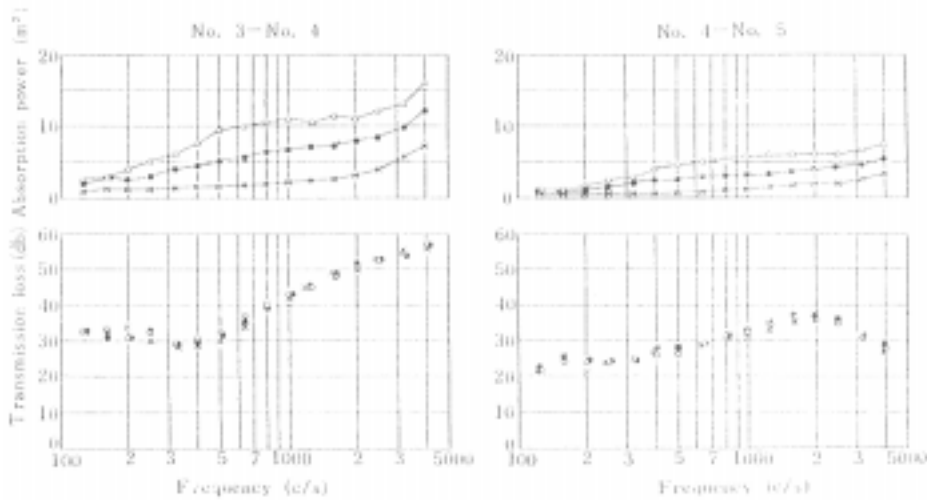


Fig. 5 Transmission loss measured under different absorption power in receiving chambers are compared. The upper graphs show the absorption power in receiving chambers, and the power, the corresponding transmission loss.

残響室 - 残響室方式では、(2) 式による測定のほかに、London の提案した測定法も用いることができる²⁾。この方法では、受音側で試料面上の平均音圧レベル L_{20} を測定し、次式で透過損失を算出する。

$$\left. \begin{aligned} \cdot T.L. = & \\ & L_1 - L_{20} + 10 \log_{10} \left[\frac{1}{2} \left(1 + 2 \sqrt{\frac{S}{A_2}} \right)^2 \right] \\ \cdot T.L. = & L_1 - L_{20} + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} + \frac{2S}{A_2} \right) \\ \cdot T.L. = & L_1 - L_{20} + 10 \log_{10} \left(\frac{3}{8} + \frac{S}{A_2} \right) \end{aligned} \right\} (3)$$

ここで、式は定音域で音の波長が受音室における音の平均自由路より長い場合、式は高音域 (~ 4000c/s 以上) で試料からの輻射に指向性がつき、またマイクロホンを音の波長にくらべて十分試料面に近づけられないことなどを考慮してある。

われわれは通常 (2) 式の方法によっているが、同一試料についてこの 2 種類の測定を行った。Fig. 6 に示すように、両者の差はこの場合には問題にならぬといえる。

2. 6 音場分布についての追補

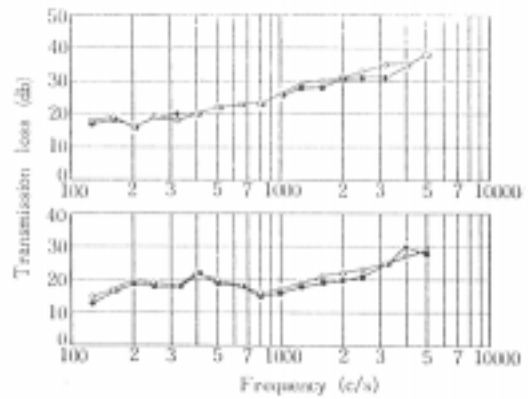


Fig. 6 Data of transmission loss measured by different methods are compared.
 ○ : usual method,
 · : London's alternate method.

基礎実験の結果や、室内音圧レベルの読みとりの精度などを考え合せて、われわれは標準的な測定として次のような方式をとることとした。

すなわち、音源に震音を用い、室内の音圧レベルは壁と音源の近傍をのぞいた任意の 3 点で測定する。3 点でのレベルの算術平均をとり、小数点以下 4 捨 5 入したものをその室の平均レベルとする。また、補正項も、小数点以下 4 捨 5 入をして

透過損失測定用新残響室について

Table IV. Sound distribution of chambers are shown. For each chamber, ten cases were extracted at random from the records of measurement through this one year. In our usual measurement, the sound pressure levels are measured at three points in the chamber for each frequency.

In this arrangement, at first the differences from the mean value were calculated for each measurement, and then, the numbers of the occurrence were counted against the difference.

Chamber No.3 (Receive)

Frequency	level difference in db.								
	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4
125c/s	1	0	2	6	13	5	1	2	0
250	0	0	1	7	12	8	2	0	0
500	0	0	0	7	21	2	0	0	0
1000	0	0	0	2	26	2	0	0	0
2000	0	0	0	4	23	3	0	0	0
4000	0	0	0	4	22	4	0	0	0

Chamber No.4 (Source)

Frequency	level difference in db.								
	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4
125c/s	0	0	3	7	11	7	2	0	0
250	0	0	0	11	12	7	0	0	0
500	0	0	0	8	15	7	0	0	0
1000	0	0	0	3	22	5	0	0	0
2000	0	0	0	5	20	6	0	0	0
4000	0	0	0	4	24	2	0	0	0

Chamber No.5 (Receive)

Frequency	level difference in db.								
	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4
125c/s	0	0	3	6	11	8	1	1	0
250	0	0	1	7	16	5	1	0	0
500	0	0	1	5	18	6	0	0	0
1000	0	0	0	4	23	3	0	0	0
2000	0	0	0	2	24	4	0	0	0
4000	0	0	0	6	20	4	0	0	0

計算する。

Table は、現在までに測定したデータの中から任意に 10 組をえらんで、室内音場のばらつきを検討したものである。

各場合について、平均値として用いた音圧レベルと、各測定点でのレベルとの差を求め、10 種の資料について、その度数分布を集計した。

これをみると、500c/s 以上では室内のレベル差は測定上、まず問題はないほど小さい。しかしそれ以下では周波数が低くなるとともに、ばらつきは大きくなっていることがわかる。現在はこのようにして測定を行っているが、ばらつきのある場合の処理については、問題の基礎からの検討が必要であると考えている。

この研究は昭和 33 年度文部省科学機関研究費の補助を受けた。

文 献

- 1) 佐藤孝二, 子安 勝: 日本音響学会誌 13, 242 (1957)
- 2) A. London: J. Research Natl. Bur. Standards 26, 419 (1941)