

## 残響室法吸音率の測定精度に関する研究( )

残響時間測定方法の検討と第4回協同比較試験

牧田 康雄 (NHK 放送科学基礎研究所)\*

子安 勝 (小林理学研究所)

永田 穂 (NHK 総合技術研究所)

木村 翔 (日本大学理工学部)

(昭和43年7月23日 受理)

## Investigations into the Precision of Measurement of Sound Absorption Coefficients in a Reverberation Room ( )

-Experimental Studies on the Method of Measurement of the Reverberation Time  
and the 4th Round Robin Test-

Yasuo MAKITA (NHK Broadcasting Science Research Laboratories)

Masaru KOYASU (Kobayashi Institute of Physical Research)

Minoru NAGATA (NHK Technical Research Laboratories)

Syo KIMURA (Faculty of Science and Technology, Nihon University)

(Received July 23, 1968)

In order to investigate the fluctuations of absorption coefficient related to the reverberation time measurement, experiments were conducted in the following ways.

(1) Reference decay curves were recorded in two reverberation rooms with and without test materials. Copies of these decay curves were sent to 13 research laboratories and were read by 25 persons. Absorption coefficients calculated from these data are shown in Fig.2. Deviations of coefficients are fairly large. Statistical analysis showed a significant difference among readers or decay curves. Fig.1 illustrates the typical decay curves which cause relatively large deviations.

From these results, it would be reasonable to think that the personal difference in reading the decay curves plays an important role in the precision of absorption coefficient measurement.

(2) The absorption coefficient of identical test materials was measured by using the same instruments in 11 reverberation rooms. From the recorded decay curves the reverberation time was read by a single person. The absorption coefficients thus obtained are shown in Fig.5. Compared with the results of the 3rd round robin test, deviation of absorption coefficients measured in different rooms are relatively small, i.e., within  $\pm 10\%$  in most frequencies.

(3) To check the effect of dynamic characteristics of a high speed level recorder, decay

---

\* 現在, 吸収芸術効果大学

curves were recorded by each level recorder in respective laboratories. These records were read at first by a single person and then by the respective persons in each research laboratories. The absorption coefficients thus obtained are shown in Figs.6 and 7. From these results, it was concluded that the dynamic characteristics are sometimes connected with errors in absorption coefficients.

Following this, the 4th round robin tests were conducted using the same test materials as in the 3rd round robin, but the specifications of measurement were supplemented by referring to the above investigations.

Major items are as follows: adjustment of writing speed and linearity of a high speed level recorder, proper setting of writing speed and paper speed, determination of adequate number of decay curves for each frequency and exclusion of unfit curves. Results of this round robin showed fairly small deviations among different laboratories (Fig.10).

Fig.11 shows the maximum deviations of absorption coefficients obtained in the successive steps of this investigation. Corresponding results of the European round robin tests are also shown in this figure.

In conclusion, the accuracy of measurement is sufficient for usual purposes, as long as the deviation is kept within the range of this 4th round robin test. This is expected from the application of the specification of measurement derived from this investigation.

## 1. まえがき

残響室法吸音率の測定法に関する ISO 推奨規格 R-354 を基盤にした測定基準によって行なわれた第 3 回協同比較試験では、吸音率測定値の残響室間でのちらばりはまだかなり大きく、実用上からも十分な測定精度には達しなかった。そして、吸音率測定値変動の第一要因と考えられた残響室内音場の拡散条件を検討するために、減衰過程における垂直水平エネルギー比の測定による拡散度判定方法を開発し、これによって協同比較試験に参加した各測定機関残響室の拡散性をしらべたが、少なくとも高音域に関するかぎり残響室法吸音率の測定値に影響するような拡散条件の差異は認められなかった。したがって、残響室法吸音率の測定精度を向上するためには、他の要因についての検討を必要とすることが明らかになった。

本論文においては、まず残響時間測定機および記録読みとり者の相違など、残響時間の測定に関連した吸音率変動要因を検討するために行なった研究の結果を示した。そしてこれらの研究結果をもとにして測定基準を改定し、この改善された基準に従って行なわれた第 4 回協同比較試験の結果から、ここに示した測定基準によれば、実用的に十分な残響室法吸音率の測定精

度が期待されることを明らかにした。

## 2. 残響時間の測定に関連した吸音率変動要因の検討

第 3 回協同比較試験の結果をみると各残響室で得られた吸音率の最大変動幅は、変動幅が最も小さい測定条件 3- -a についても、250 ~ 4000Hz の周波数域において  $\pm 10\%$  から 15% に達した。このような変動幅を生じた要因としては、1) 残響室内の音場の拡散状態、2) 測定試料およびその施工状態、3) 測定器の特性と動作条件、4) 測定者の残響曲線の傾斜の読みとり方の相違などが考えられる。そこで、これらの変動要因のそれぞれによる変動量を的確に把握するために、次のような実験を行なうことを計画した。

(i) まず、残響波形読みとり者により残響曲線の傾斜の測定値が異なることによる吸音率の変動幅を明らかにするために、各研究機関の残響曲線の傾斜の読みとり者を対象として同一残響波形の読みとり試験を行なう。

(ii) 各測定機関の残響室条件のみによる変動幅を明らかにするために、測定試料、測定器、測定者(読みとり者)をすべて一定にして、各残響室間の持ち回り測定を行なう。

(iii)(ii)で求めた残響室条件の相違のみによる吸音率測定値のちらばりが、各機関のそれぞれの再生記録装置を使用することによって、どの程度大きくなるか、また、さらに(ii)で求めた残響室条件のみによる変動幅が、再生記録装置と読みとり者を共に違えることによって、どの程度大きくなるかを検討する。

2.1 残響波形の傾斜の読みとり試験

2.1.1 試験方法

本論文IのTable 1にしめした2と8の二残響室において、空室時と試料装着時の残響波形を高速レベル記録器にかかせ、記録波形を複写して各研究機関に配布し、各機関の読みとり者合計25名が記録曲線の順序に残響時間の読みとりを行なった。これを集計して、個人別、曲選別、および全体(1残響室、1バンドあたり測定点3点×10個×25=750個)の平均値、標準偏差、分散などを算出し、同時に吸音率を計算した。

2.2.1 試験結果とその検討

各減衰曲線から求めた残響時間読みとり値は、1バンド当たり30本の記録曲線間および各曲線について25人の読みとり者間にいずれも有意の差があり、低音域では一般に記録曲線間の分散のほうが大きい、中高音域では、記録曲線間、読み取り者間で同程度の分散を示している。両残響室の試料設置前後における各バンドごとの750データから求めた残響時間の平均値

( $\bar{T}$ )、標準偏差( $\sigma_T$ )、変動率( $\sigma_T/\bar{T}$ )はTable 1のごとくである。

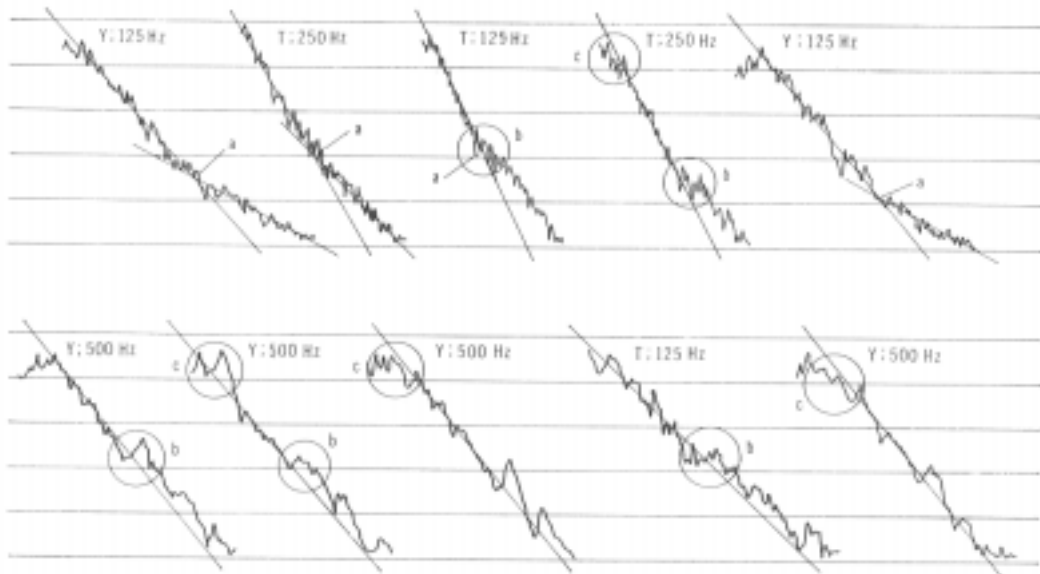
1バンド当たり30本の記録曲線間の読み取り変動率は、読みとり者によってちがうが、だいたい125Hzでは空室10%、施工後15%、250Hzでは空室5%、施工後8%、500Hzでは空室4%、施工後6%、1kHz~4kHzでは空室3%、施工後4%以内におさまっている。

次に各曲線ごとに読みとり者間の変動率が5%以上の残響曲線について曲線の性状の特徴を検討してみると、ほとんどの残響曲線が直線的な減衰を示していないことがわかる。それらは途中で折れ曲がるか、段がつくか、曲線状に減衰しており、一部では曲線の初期の形状が丸くなったり、段がついたりして読みにくくなっている。その実例をFig. 1に示す。これらの減衰曲線の読みとり値をみると、途中で折れ曲がっている場合は、初期の20~30dBの減衰に合せたものと、曲がり全体にわたって平均的に合せたものがあり、初期の形状が丸くなったり、段がついたりしている場合は、その部分の傾斜にとらわれて、全体の傾斜を見失っているものが多い。

変動率が大きい原因として、1)このような直線的なげん水を示さない波形によって、傾斜の判定がむずかしくなっていること、2)波形の読みとりに個人差が介入すること、があげられる。その読みとり方と排除

Table 1 Average ( $\bar{T}$ ), Standard deviation ( $\sigma_T$ ) and Coefficient of variation ( $\sigma_T/\bar{T}$ ) of Reverberation time obtained from 750 data (30 decay curves were read by 25 persons in each frequency)

Reference Number of Institutes	Frequency (Hz)	Empty			with Test Materials		
		$\bar{T}$	$\sigma_T$	$\sigma_T/\bar{T}$	$\bar{T}$	$\sigma_T$	$\sigma_T/\bar{T}$
2	125	12.48	0.927	0.0743	7.72	0.590	0.0764
	250	10.73	0.458	0.0427	3.88	0.299	0.0771
	500	7.89	0.239	0.0303	2.62	0.112	0.0427
	1000	8.01	0.190	0.0238	2.68	0.094	0.0351
	2000	5.95	0.172	0.0288	2.52	0.087	0.0347
	4000	3.39	0.094	0.0277	1.92	0.067	0.0355
8	125	15.60	1.707	0.1094	7.04	1.054	0.1498
	250	9.14	0.359	0.0393	2.57	0.226	0.0877
	500	7.27	0.254	0.0349	1.83	0.107	0.0586
	1000	7.10	0.146	0.0205	1.67	0.068	0.0040
	2000	5.08	0.138	0.0271	1.55	0.052	0.0337
	4000	3.43	0.085	0.0248	1.39	0.040	0.0290



(a)途中で折れ曲がっている, (b)途中で段がついている, (c)初期の形状が丸いか, または段がついている。

Fig. 1 Examples of decay curves causing relatively large deviations of reverberation time.

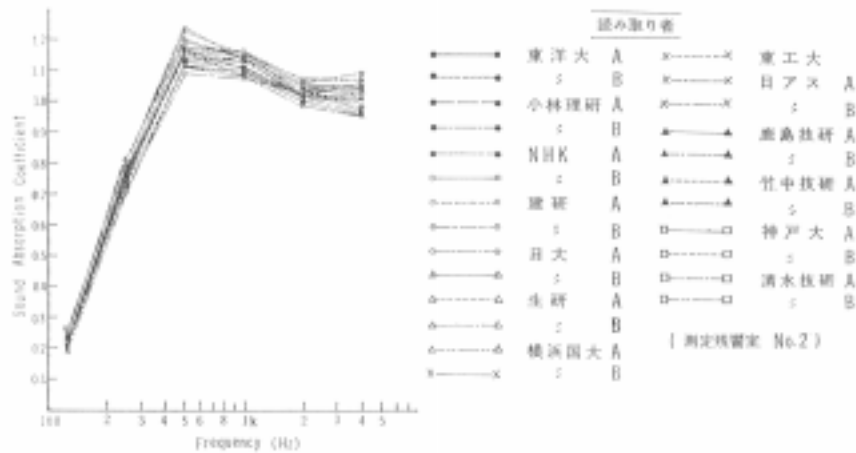


Fig. 2 Absorption coefficients obtained by 25 persons from reference decay curves.

すべき減衰曲線をもっとはっきりと規定することにより, 読みとり個人差はさらに小さくなるであろう。また, このような個人のくせが認められる以上, 試料設置前後の記録の読みとりは, 必ず同一人が行なうべきであろう。

各人ごとの読みとり値から求めた残響室法吸音率は, Fig. 2 に示す例のようになり, 読みとり者による吸音率値の最大変動幅は 125Hz で  $\pm 10 \sim 15\%$ , 250Hz で  $\pm 7 \sim 8\%$ , 500 ~ 4kHz では  $\pm 5\%$  位にな

っている。

## 2.2 残響室のみの影響を検討するための比較測定

### 2.2.1 測定方法

音源装置, 受音および録音装置, 試料, 試料固定用アングルを持ち回り, 11 残響室に順次出張して残響室法吸音率の比較測定を行なった。拡散板は各残響室ともその片側面積の総和が床面積の 80% 程度になるような枚数をできるだけランダムな状態に吊り下げた。試料は第 3 回協同比較試験と同じ降らすウール 50mm

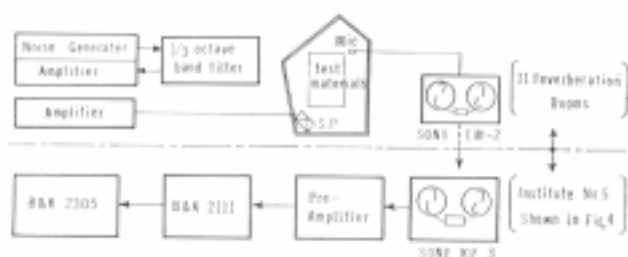


Fig. 3 Block diagram for the measurement of sound absorption coefficient of the identical test materials by using the same instruments in 11 reverberation rooms.

厚,  $25\text{kg/m}^3$ ,  $9.99\text{m}^2$  で,  $910\text{mm} \times 610\text{mm}$  のもの18枚に番号をつけ, どの残響室でも同じ順序になるように床面中央に  $3.66\text{m} \times 2.73\text{m}$  に並べ, その周辺をアングルで押さえて, アングルと床の間に隙間が生ずる場合には粘土をつめ, 各残響室で同じ施工状態が得られるようにした。すなわち試験状態は第3回協同比較試験の3-bに相当する。マイクロホン位置は各バンドごとに5点で, 測定回数はマイクロホン位置ごと5回で, 合計25個ずつの残響音を記録し, 同一研究室に持ち帰ってこれを分析記録し, さらに同一人が読み取って吸音率を算出した。測定のプロックダイアグラムをFig. 3, 各残響室における試料およびマイクロホン位置をFig. 4に示す。

試料は11残響室を持ち回る間にややいたみが出始めたが, 最初に測定した研究機関で最後に再び測定したところ, その間における吸音特性にはほとんど変化がないことが確認された。

### 2.2.2 測定結果とその検討

11残響室における吸音率測定結果をFig. 5に示す。各残響室間の吸音率値の最大変動幅は125Hzで $\pm 20\%$ , 250Hzで $\pm 10\%$ , 500~4kHzで $\pm 5\%$ となり, 第3回協同比較試験の変動幅にくらべて相当に縮まっている。

このように変動幅が縮まった原因としては, 1) 測定器を同一にしたこと, 2) 各残響室ごとの空室, 施工後の測定条件を同一にしたこと, 3) 試料は同一のものを持ち回り, 配列も同一にして敷こう状態をできるだけ揃えたこと, 4) 残響は計の記録読みとり者を同一にしたことがあげられる。

残りの変動要因としては, 1) 各残響室の室形, 室容積が異なり, 音場が完全に同一ではないこと, 2) 記録の読みとりは, たとえ同一人が読んで, 曲線の

性状によって読みとり値にある程度のちらばりを生ずることなどがあげられるが, この場合の各残響室間の吸音率値のちらばりは, 先に述べた残響時間読みとり試験の, 読みとりのみによる吸音率の変動幅とほぼ同程度にまで減少しており, 各残響室間の比較測定において, 到達しうる限界にほぼ達しているものとおもわれる。また, 残響室法吸音率の値として, 実用的にもこの程度の変動幅で測定できれば十分であろう。

### 2.3 記録装置の影響の検討

2.2の実験の際えられた残響録音信号を, 各研究機関の装置で再生, 記録して, 記録装置の影響を検討することにした。なお, 各研究室で再生, 記録したデータは, 再び同一研究室に集め, Fig. 5の場合と同一人が記録の読みとりを行なった。

その結果えられた吸音率をFig. 6に示す。これとFig. 5を比較してみると, 記録装置が異なるだけで, 全体の変動幅は, 低音域で10%以上, 中高音域で5%前後増大していることがわかる。同一測定器の場合との差が大きく出ている記録波形を検討してみると, 結局, 紙送り速度(P.S)や記録速度(W.S)などの相違により読みとり誤差が誘発されているものが多い。特に記録速度がおそすぎて, 残響時間が実際よりも長く記録されている例がいくつか認められた。さらに, 残響曲線の傾斜が以上や以下になると明らかに読みとり誤差が増大している。また, 中には高速度レベル記録器の動作レベルが不適当なものや, 調整が不十分とおもわれるものもあり, 高速度レベル記録器の検査方法および使い方を規定する必要性が認められた。とくに今回の実験結果からみて, レベル精度と動作レベルは必ず検査すべきであり, 記録速度の精度についても, 立上がり立下がり時間の検査を行なうことが望ましいことがわかった。

次に, 同じく2.2の実験における残響録音信号から, 各機関ごとの再生, 記録装置を用いて作成した減衰曲線を各研究機関ごとの読みとり者が読みとると, Fig. 7のような吸音率値が得られた。これをみると, その記録を同一人が読みとった場合(Fig. 6)に比して, 各残響室間の吸音率の変動幅はわずかではあるが, さらに広がっている。

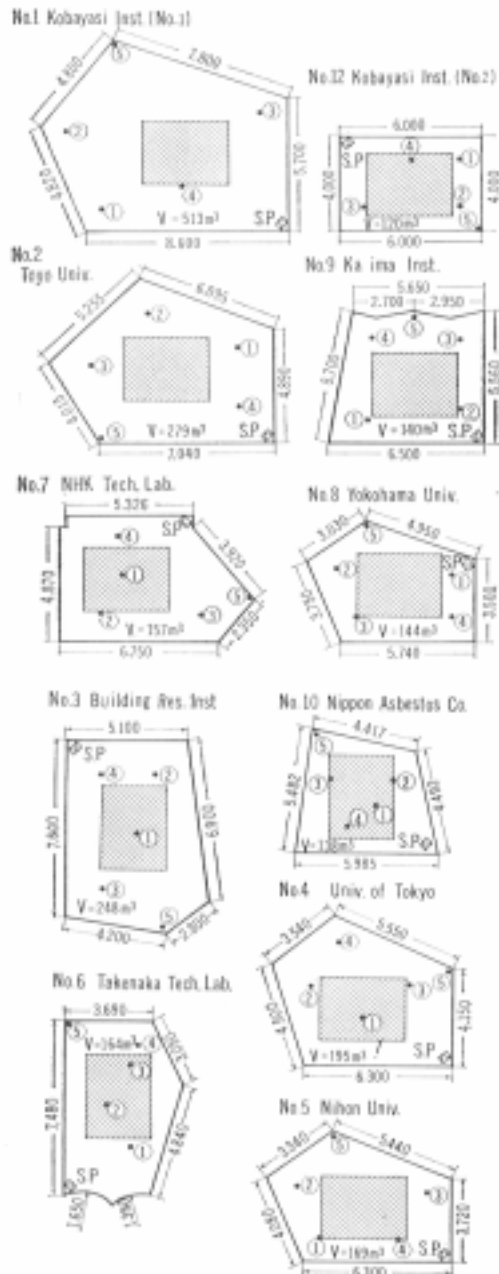


Fig. 4 Plan of reverberation rooms.  
Hatched area : test materials.  
Points ~ : Microphon position.

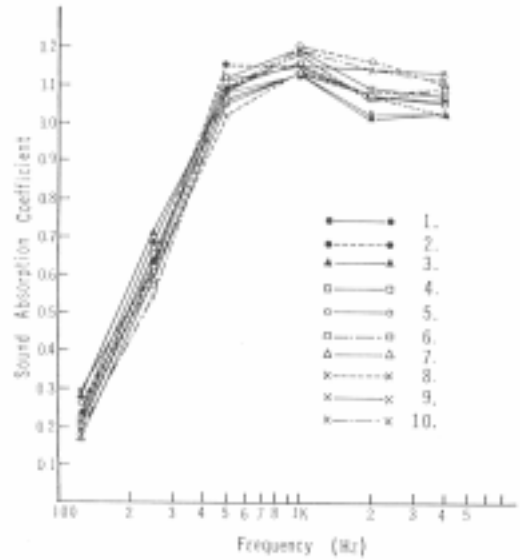


Fig. 5 Absorption coefficients ( $\alpha$ ) obtained from measurement according to the method shown in Fig. 3. In this measurement, decay curves were read by a single person.  
1 ~ 12: Reference number of institutes (Fig. 4)

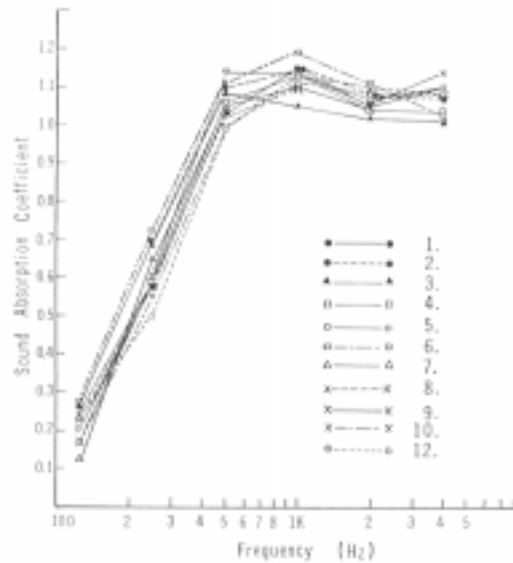


Fig. 6 Absorption coefficients obtained from measurement according to the following steps.  
1) Reverberation signals were recorded with a tape recorder in 11 reverberation rooms by using the identical instruments.  
2) Decay curves were recorded with each level recorder in respective institute.  
3) Decay Curves were read by a single person just as in the case of Fig.5

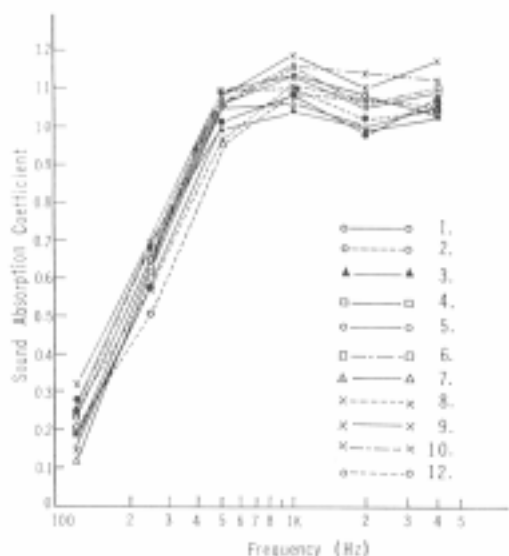


Fig. 7 Absorption coefficients obtained from the same method of measurements as in Fig. 6 except that decay curves were read by respective person in respective institute.

#### 2.4 各実験結果の総合的検討

以上のような一連の実験結果をまとめると、測定器がすべて同一の場合の Fig. 5 から各機関において再生記録装置のみ異なる Fig. 6, さらに読みとり者を変えた場合の Fig. 7 と、変動要因が一つずつ増すに従って、吸音率値のちらばりが少しずつ広がっていることがわかる。また、Fig. 5 変動幅は、2.1 で述べた読みとり試験における、読みとりのみによる吸音率の変動幅 Fig. 2 とほぼ同程度にまで減少している。

これらの結果らみると、少なくとも中高音域の吸音率に関して、従来の基準によった場合の吸音率測定値のちらばりをさらに減少させるには、残響室の音場条件の相違よりも、残響時間の測定誤差を減少させることのほうが先決であることがわかる。すなわち、残響室内の温湿度、マイクロホン位置などを含めた空室と施工後の測定条件、音源、受音、記録装置から成る全測定器系統の調整と適正な使用、減衰波形の読みとりなどに細かい注意をはらって実験を行なえば、残響時間の測定に関連した変動は急激に減少し、常に Fig. 5 に示したような試料および測定器持ち回り出張測定の変動幅に近い測定結果を各残響室間で得ることが可能になるものとおもわれる。

### 3. 高速度レベル記録器の性能および操作の検討

2章の実験から各測定機関の高速度レベル記録器の性能および操作の相違による特性のばらつきが測定値の変動幅増大の要因になっていることがわかった。そこで、現用している Bruel & Kjaer 社の高速度レベル記録器 2304 型, 2305 型各 1 台を対象に性能を検査するとともに、操作によって記録波形がどのように変化するかを調べ、その結果を勘案して、性能の検査および操作に関する注意事項をとりまとめた。

#### 3.1 性能の検討

残響時間測定に影響を与えると考えられる紙送り速度、減衰器レベル精度、記録速度などについて、その性能を検査した。

##### (a) 紙送り速度

電話曲よりの 10 秒間隔の時報信号を利用し、紙送り速度を測定した。その結果、紙送り速度の誤差は新旧いずれも 10mm/sec 以上の紙送り速度の場合で 0.01% 程度以下であり、残響時間の読み取りに問題となるような紙送り速度の偏差は認められなかった。

##### (b) レベル記録精度

こう正された減衰器を用いて、入力レベル記録精度を測定した。その結果をまとめると、

(i) 記録幅 40dB について、旧形は最大 2dB, 新形は同じく 0.5dB 程度の偏差が観測された。

(ii) 旧形はレベルの高いほうでレベル幅が大きくなる傾向にある。

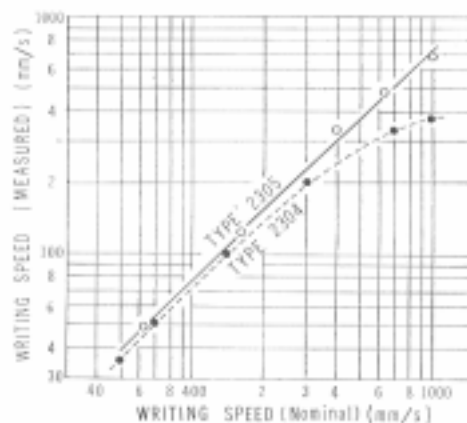


Fig. 8 Method writing speed of two types of high speed level recorders.

(iii) 旧形は、記録速度、低域限界周波数の設定値に影響される。

(c) 記録速度

短形波入力を高速度レベル記録器に加えたときの立ち上り、立ち下りの傾斜から、残響時間  $T$  を読みとり、各記録速度 (W.S) に相当する残響時間  $T_0$  と比較検討した。(記録幅が 50mm の場合  $T_0 = 60/W.S$ ) その結果を Fig. 8 に示す。実際の記録速度は、新形旧形とも公称値と多少異なるが、新形のほうが精度がよい。また、旧形は記録速度が、低域限界周波数 (L.F), 入力信号の周波数によって影響されるが認められた。

3.2 記録速度最適条件の検討

記録速度の設定の仕方によって記録される残響波形が異なるために、読取りに変動が生じることが、2.3 の試験結果から明らかになった。そこで、記録速度の最適条件に関し、次のような検討を行なった。

3.2.1 純音減衰波形についての検討

残響時間約 1.1 秒の純音減衰波形を種々の記録速度で記録し、残響時間を読み取った。その結果を Fig.

9 に示す。入力信号に対する応答特性は新形、旧形で多少異なるが、記録速度に相当する残響時間  $T_0$  が入力信号の残響時間  $T$  の約 1/2 より大きい状態では、記録波形の残響時間は明らかに原信号の残響時間より長く記録される事を示している。

3.2.2 残響信号に対する検討

吸音率測定用残響室において録音した中心周波数 125Hz, 500Hz, 2000Hz の 3 種の残響信号を、種々の記録速度に設定した記録器で記録させ、残響時間を読み取った。その結果を要約すると、

(i) 記録器の記録速度に相当する残響時間  $T_0$  が原信号の残響時間の 1/3 より長くなると、残響時間は長く記録されるようになる。

(ii) また逆に記録器の記録速度に相当する残響時間  $T$  が原信号の残響時間  $T_0$  の 1/10 以下になると波形の乱れが大きく測定精度が悪くなる。

(iii) 記録器の残響時間が原信号の残響時間の 1/5 位だと読み取りも容易で変動も少ない。すなわち入力信号の残響時間を  $T$  すると記録器の記録速度 (W.S) はほぼ次の条件に設定するのが望ましい。W.S = 300/

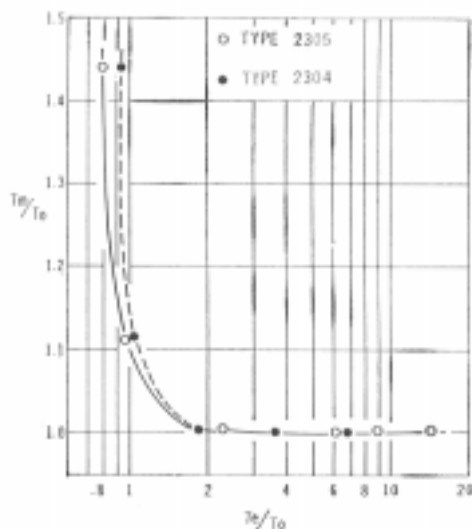


Fig. 9 Variation of the reverberation time obtained from decay curves recorded with various writing speed of a level recorder.  
 $T_m$ : measured reverberation time  
 $T_0$ : reverberation time of input signal  
 $T_e$ : equivalent reverberation time to the writing speed of a level recorder :  
 $T_e = 60/W.S$

3.3 高速度レベル記録器使用上の注意事項

以上の検討結果をとりまとめると、残響時間の測定精度を向上するために、記録器の使用、取扱いにあたっては、

(i) ポテンシオメーターのレベル精度を検査する必要がある。

(ii) 記録速度表示値の確度を測定しておく必要がある。

(iii) 記録速度 W.S は入力信号の残響時間を  $T$  とすると  $W.S = 300/T$  位で使用するのが望ましい。

(iv) 低域限界周波数は一定で使用する。

4. 改善された測定器純による協同比較試験

第 3 回の協同比較試験に引き続いて行なわれた変動要因の検討結果から明らかになった、いくつかの事項を勘案し、新しい測定基準を設定して、再び同一材料により第 4 回の協同比較試験を実施した。

4.1 改善された測定基準

第 3 回協同比較試験の測定基準を検討し、そのうち下記の項目を補足改善した。

(a) 試料設置条件



試料設置にあたっては、とくに試料の継目が開いたり、継ぎ目に段差が生じないように注意する。

(b) 拡散条件

拡散板の使用率は床面積の80%とする。

(c) 測定装置

(i) 雑音発生器出力からスピーカー、マイクロホンを通して高速度レベル記録器までの直線性を検査する。直線性の許容基準としては、記録幅40dBで ±1dB, 10dB幅で ±0.5dB 以内とする。

(ii) 高速度レベル記録器の記録速度を矩形波を用いて検査する。この記録速度が基準値より2倍以上異なっているときは再調整を行なう。

(iii) 高速度レベル記録器の記録速度(W.S)は測定残響時間 に対し、 $W.S = 300/T$ の条件で使用する。

(iv) 低域限界周波数は 20c/s 一定で使用する。

(d) 残響時間の測定

(i) 空室および試料搬入時の測定は同一の日に引きつづいて実施する。

(ii) 音源は1/3オクターブ帯域雑音を使用する。

(iii) 残響時間の測定位置および残響波形測定回数は、125Hz, 250Hz においては、マイクロホン位置5点について各7回ずつ、500Hz については、マイクロホン位置3点について各7回ずつ、1,000Hz, 2,000Hz, 4,000Hzにおいては、マイクロホン位置3点について各5回ずつとする。

(iv) 直線的な減衰を示さない残響波形は観測の対象としない。

(v) 空室および試料搬入時の残響時間の読みとりは同一人が行なう。

4.2 第4回協同比較試験とその結果

4.2.1 実験計画

第3回協同比較試験に参加した残響室のうち、11, 12, 13(本論文の Table 1 参照)を除いた10残響室を対象として、4.1に述べた、改善された測定基準に従い、第4回協同比較試験を実施した。試料は、第3回の協同比較試験と同じ厚さ

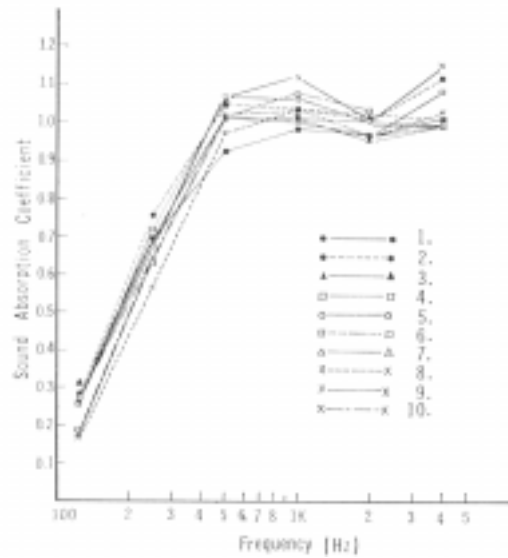


Fig. 10 Results of the 4th round robin test. Test materials, test areas and the number of diffusing plates are in the same condition as 3- - b for the 3rd round robin.

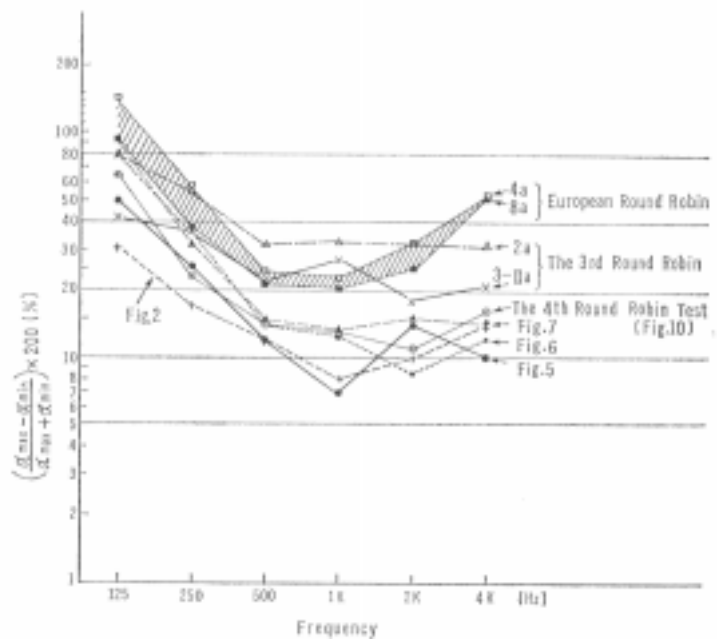


Fig. 11 The maximum deviations of absorption coefficients obtained for successive steps of this investigation. Corresponding results of the 2nd European round robin test (4a, 8a) are also shown for the purpose of comparison.

50mm, かさ密度  $25\text{kg/m}^3$  のグラスウールボールを使用し, 使用面積は  $3.66 \times 2.73\text{m}^2$  (第3回の3-b) で, これを床に集中配置した。測定試料は三組用意し, 同時に3連の協同比較試験を実施した。三組の試料相互の吸音特性の相違および試料移動間の吸音特性の変動は, 別にこれを検査し, 異常のない事を確認した。なお時間の関係で, 今回は中心周波数 125, 250...4 kHz のオクターブ間隔の周波数で測定を行なうことにした。

#### 4.2.2 測定結果とその検討

吸音率測定結果を Fig.10 に示す。これをみると, 各残響室間の吸音率の変動幅は 500 ~ 4000Hz の範囲で約 15% 以内におさまっている。そこで, これまで実施してきた各種の比較測定における変動幅を比較してみると, Fig.11 に示すようになり, 第3回協同比較試験では中高音域において 2 a で 30% 以上, 3- a で 20 ~ 30% もあったものが, 今回の第4回協同比較試験では約 2/3 以下に縮小され, 測定器持ち回り出張試験の残響録音信号を各測定機関で再生, 記録して, 各機関で読みとった場合の測定結果 (Fig. 7) とほぼ同程度になっていることがわかる。これは明らかに, ここで設定した残響室法吸音率の改善された測定基準が, 吸音率測定値の変動幅を小さくするうえに有用であったことを示している。

なお, 比較のために示したヨーロッパの第2回持ち回り試験の結果をみると, 変動幅が最も小さい 8 a の場合も, 中高音域において 20 ~ 30% の変動幅があり, わが国の第3回協同比較試験の 3- a の変動幅とほぼ同程度になっている。すなわち, このヨーロッパの持ち回り試験結果には, ここで検討してきたような, 残響時間の測定に関連した変動要因が含まれているのではないかとおもわれ, もしそのような検討を行なうことなしに, Kosten の論文<sup>2)</sup> に示されたような結果から, ISO 推奨規格 (R-354) の室容積規定などが定められたとすれば問題であろう。少なくとも, ここで述べたような残響時間の測定に関する詳細な測定基準が, ISO 規格に規定されていないことには, 大きな疑問が感じられるのである。

#### 5. むすび

以上のような実験およびその検討結果から, 次のようなことがいえる。

( i ) 残響室法吸音率測定値のちらばりは, 空室および試料搬入時の残響室内の温湿度の相違, 高速度レベル記録器の性能のばらつき, および操作の不統一, 直線的な減衰を示さない残響波形や読みとり方の個人差に起因する読みとり誤差など, 残響時間の測定に関連した変動要因によって大きな影響を受けている。

( ii ) ヨーロッパの第2回持ち回り試験やわが国の第3回協同比較試験のように, 中高音域の吸音率が大きい試料を用いた場合, 少なくとも拡散板の使用率が床面積の 80 ~ 100% の状態で, 各残響室間の吸音率値の変動幅を減少させるには, 残響室容積など音場条件の差よりも, ( i ) にあげたような残響時間の測定に関連した変動要因による誤差を減少させることのほうが先決であるとおもわれる。

( iii ) 4章に示したような改善された測定基準に従って行なわれた第4回協同比較試験によって, われわれが設定した測定基準が, 吸音率測定値の変動幅を減少させるのに有用であることが確かめられた。

今後の問題点として, 低音域における残響室法吸音率の測定精度についての検討をすすめることが必要であろう。その場合, 吸音率値の変動要因としては, ここでとりあげた問題以外に, 残響室容積などを考えなければならぬが, それを明らかにするには, 低音域の吸音率が大きい材料についての実験が必要である。その結果を検討することによって室容積, 室形, 音源条件などの基準が, はじめて設定できるものとおもわれる。

( 謝辞 ) 本研究の実施にあたり, 委員会活動に協力された委員の方々, ならびに協同実験に参加され, 測定およびデータ整理などを担当された各試験研究機関の各位に対し深く感謝する。

#### 文 献

- 1) 牧田, 子安, 永田, 木村: 日本音響学会誌, Vol. 24, No.6 (1968) 373.
- 2) C.W.Kosten: Acustica 10 (1960) 400.