

残響時間測定方法の検討 (第二報)

大気騒音部特殊公害科

音源に競技用ピストルの発射音を用い、高速度レベル記録器(リオン社 LR-01E型)を使って残響曲線を表示するときの残響曲線の不規則さと傾斜の読み取り値の分散について調べるのが今回の実験の目的である。

その結果、音源の動作を止める前の音圧レベルと室内の暗騒音の音圧レベルとの差(S/N比)は少なくとも30dB以上を確保する必要があること、及び音源がバントノイズの場合、リオン社の高速度レベル記録器(LR-01E型)を用いたときの残響曲線の測定回数は、中心周波数63Hzで90~100回、125Hzで30~40回、250Hz以上で10~15回程度必要であることがわかった。

1 まえかき

前回の報告では、残響時間の測定結果を利用した環境騒音防止対策の一例をとりあげたが、その後残響時間の測定精度について詳細な研究をおこなってきた結果、測定方法にいくつかの問題点が見い出された。そこで今回の実験では、残響時間の測定精度に影響を及ぼすと考えられる種々の因子¹⁾について、一つずつ検討を試みることにした。

2 実験方法

今回の実験で残響時間の測定精度を調べるのに使用した部屋の形状及び構造は次の通りである。

<形状>……(縦) (横) (高さ)
630m×335m×275m
(表面積) 9529m²
(容 積) 5804m³

<構造>…… RC造、表面仕上げは
(天井) ミクライト吹付け
(壁) モルタルペンキ塗り
(床) 塩化ビニル張り

<在室者の数> ……1名

今回の測定では、観測された残響曲線を表示する記録器としてリオン社製の高速度レベル記録器(LR-01E型)を使用した。この記録器の場合、ポテンシオメータに50dB範囲、記録紙幅100mmのものを使用し、ペン速度300mm/sec、紙送り速度30mm/secに調節すると0.40秒の残響時間まで測定できる。

そこで今回は、残響時間の測定精度に影響を及ぼすと

考えられる因子として、まずS/N比に注目して実験をおこなうことにした。すなわち、音源に白色雑音発振器の出力を1/1オクターブフィルタに通した帯域雑音を指向性の著しくないスピーカーから発振し、音源の動作を止める前の音圧レベルと室内の暗騒音の音圧レベルの差(S/N比)を騒音計で測定し、S/N比と残響時間の平均値、ばらつき及び測定誤差との関係を調べることにした。

ここで、室内の暗騒音は測定している間ほぼ一定とみなされるので、S/N比は10dBからスピーカの最大出力*までとし、各S/N比について中心周波数63Hzから8KHzまで8個のオクターブバンドごとに50回ずつ、3個所の受音点(床よりの高さ1.3m)で同時測定をおこなった。⁵⁾ すなわち、一つのS/N比について、一つの周波数帯域で総数150本の残響曲線を記録し、それら全部の平均値をもって、そのS/N比の、その周波数帯域における残響時間とした。

3 検討

Fig.1, Fig.2, Fig.3はそれぞれ残響時間の平均値、ばらつきu/T(%)及び測定誤差ΔT/T(%)とS/N比の関係について表わしたものである。ここで、測定誤差とは小標本の区間推定理論*に基いて次式で定義する量である。

$$\Delta T/T = 2(u\sqrt{1/F_{N-1}}/N/\bar{x}) \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ただし、uは観測値の不偏標準偏差、 \bar{x} は平均値、Nは観測数、 $1/F_{N-1}$ は自由度1、N-1、危険率 $\alpha=5\%$ のF分布である。

Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3の図から言えることは、いずれもS/N比が大きくなるにつれて残響時間の平均値、ばらつき、測定誤差が小さくなり、重なり合ってくることである。

また、Fig. 1にはこの実験に使用したものと同一測定システムにより無響室内で測定した残響時間の値が表示してある。理論的には無響室内の残響時間は零であると考えられるので、この観測値はスピーカのダイナミックダンピングと高速度レベル記録器の応動速度が合成された値であると推定される。⁶⁾ すなわち、無響室内の残響時間の測定値よりも残響時間が短い部屋を測定する場

れる。

またFig. 1でみるかぎり、S/N 30 dBと40 dBにおける残響時間の平均値の相違は極めてわずかなものであるが、このわずかな差に対して有意性の検定⁴⁾をおこなった結果がTable I, Table II, である。

さらにこの例にしたがって、騒音計で測定したときのS/N比が10 dBと20 dB、20 dBと30 dB、40 dBと50 dBの場合について各周波数帯域ごとに危険率1%のF検定をおこない、それらの平均値の差の有意性を調べたところ、S/N比が30 dB以上になると相互の平均値間に有意の差があるといえなくなることが

Table I

S/N	(A) 30 dB				(B) 40 dB			
	125	500	2K	8K	125	500	2K	8K
周波数(Hz)	125	500	2K	8K	125	500	2K	8K
残響時間の平均値	05280	04726	04461	04515	05200	04715	04431	04528
不偏分散($\times 10^{-4} \text{sec}^2$)	1351	386	231	285	1373	268	239	313
u/T (%)	697	416	341	374	713	347	349	391

Table II

周波数(Hz)	125	500	2K	8K
平均値の相違 $1 - T_B / T_A$ (%)	152	023	067	029
分散比 $F = u^2 / v^2$	102	144	103	110
F_0 $\left\{ \begin{array}{l} \text{自由度} \left\{ \begin{array}{l} n_1 = M - 1 \\ n_2 = N - 1 \end{array} \right. \\ F_0 (\alpha < 0.01) \end{array} \right.$	149	149	149	149
	149	149	149	149
母分散に関する結論	146	146	146	146
共通の不偏分散 W^2 ($\times 10^{-4} \text{sec}^2$)	差なし	差なし	差なし	差なし
$F' = \frac{(T_A - T_B)^2}{W^2} \left(\frac{M \cdot N}{M + N} \right)$	1362	327	235	299
F'_0 $\left\{ \begin{array}{l} \text{自由度} \left\{ \begin{array}{l} n_1 = 1 \\ n_2 = M + N - 2 \end{array} \right. \\ F'_0 (\alpha < 0.01) \end{array} \right.$	352	029	287	045
	1	1	1	1
母平均に関する結論	298	298	298	298
	670	670	670	670
	差なし	差なし	差なし	差なし

合には、この測定システムではその測定値が意味のないものとなってくる恐れがある。

ところで、Fig. 1で中心周波数63 Hz、S/N 40 dBのときの残響時間の値は極めて大きい、これはスピーカの出力を最大としたためにそのダイナミックダンピングが大きな影響を及ぼした結果であると推定さ

わかった。つまり、残響時間を測定したときに、騒音計で測定したS/N比が30 dB以上あるならば、その測定値は充分信頼できるものであると言うことができる。

つぎに、これら一連の実験結果からリオン社製の高速度レベル記録器(LR-01E型)を使用したときに必要とされる残響曲線の測定回数を決定することにした。

このために、残響時間の測定値のちらばりについての仮説をもうけた。

(1) 同一の測定位置(マイクロホン、スピーカの位置)で音源の断続を繰り返して観測される測定値のちらばりは正規分布をする。

(2) 測定位置をかえたときの残響時間のちらばりはランダムで同じく正規分布^{*}をする。

ここで、小標本の区間推定理論²⁾により危険率 $\alpha = 5\%$ としたときの測定誤差は(3.1)式で表わされるが、この式で平均値 \bar{x} と不偏標準偏差 u が既知ならば、測定誤差 $\Delta T/T$ を決めることにより $\sqrt{1/F} \cdot N^{-1}/N$ が求まる。これは N だけの関数であるからFig. 4より直ちに測定回数 N を求めることができる。

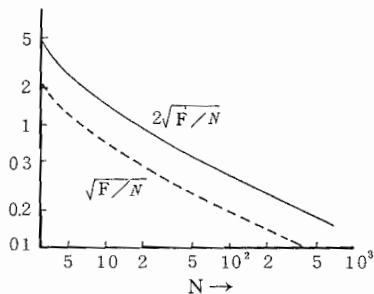


Fig. 4 $\sqrt{F/N}$ vs. N (危険率 $\alpha = 5\%$)

この方法により、全周波数範囲にわたり、測定誤差 $\Delta T/T < 5\%$ を目標にして測定回数を求めたところ、 S/N 比が大きくなるにつれて測定回数も減少することがわかった。そこで、観測値が充分信頼できると考えられる騒音計で測定したときの S/N 比が30 dB以上の場合について測定回数を求めると、音源がバンドノイズの場合、中心周波数63 Hzでは90~100回、125 Hzでは30~40回、250 Hz以上の中・高音域では10~15回程度の観測をおこなえば測定誤差5%の測定をおこなうことができることがわかった。

4 むすび

残響時間の測定誤差は残響曲線の不規則さに基いているため、それを表示するための測定機器の影響も大きいと考えられている。一般には、B&K社の高速度レベル記録器³⁾が広く使われているが、今回の実験ではリオン社製の高速度レベル記録器(LR-O1E型)を使用して残響時間の測定精度について検討を試みてきた。その結果、実際の測定にあたっては次にあげる諸点を考慮しながらおこなうべきである。

(1) リオン社製の高速度レベル記録器(LR-O1E型)の場合、ポテンショメータに50 dB

範囲、記録紙幅100 mmのものを使用して、ペン速度300 mm/sec、紙送り速度30 mm/secに調節すると0.40秒の残響時間まで測定することができる。

(2) 音源に白色雑音発振器の出力を1/1または1/3オクターフフィルタを通した帯域雑音を指向性の著しくないスピーカから発振させ、高速度レベル記録器を用いて残響曲線を表示する方法では、スピーカのダイナミックタンピングと高速度レベル記録器の応動速度が合成された値よりも残響時間が短い部屋を測定する場合には、その測定値が意味のないものとなってくる恐れがある。

(3) 音源に白色雑音発振器の出力を1/1オクターフフィルタに通した帯域雑音を指向性の著しくないスピーカから発振させ、リオン社の高速度レベル記録器(LR-O1E型)を用いて残響曲線を表示する方法により残響時間を測定する場合には、音源の出力を調節して、騒音計で測定したときの S/N 比が30 dB以上あるような条件のもとで測定しなければ、その測定値に偏りが生じてくる恐れがある。

(4) (3)の測定方法により残響時間を観測する場合、騒音計で測定したときの S/N 比が30 dB以上あるならば、中心周波数63 Hzで90~100回、125 Hzで30~40回、250 Hz以上の中・高音域で10~15回程度の観測をおこなえば、測定誤差5%の測定をおこなうことができる。

なお、音源に競技用ピストルの発射音を用いる場合の残響時間の測定精度、及び必要測定回数の決定については、今回の結果を考慮しながら今後実験をおこなっていく考えである。

参考文献

- 1) 伊達 玄 “残響時間の測定精度について” 日本音響学会誌 15(1959)
- 2) 三浦 新、久米 均、鉄 健司、米山高範 “QCドリル” 丸善(1967)
- 3) 五十嵐 寿一 “音響と振動” 共立出版(1968)
- 4) 岸根 卓郎 “理論・応用 統計学” 養賢堂(1975)
- 5) “騒音対策ハンドブック” 技報堂(1971)
- 6) “建築音響工学ハンドブック” 技報堂(1968)

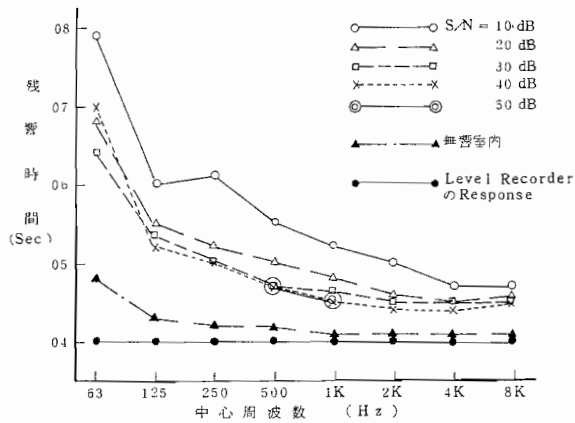


Fig. 1 平均値とS/N比

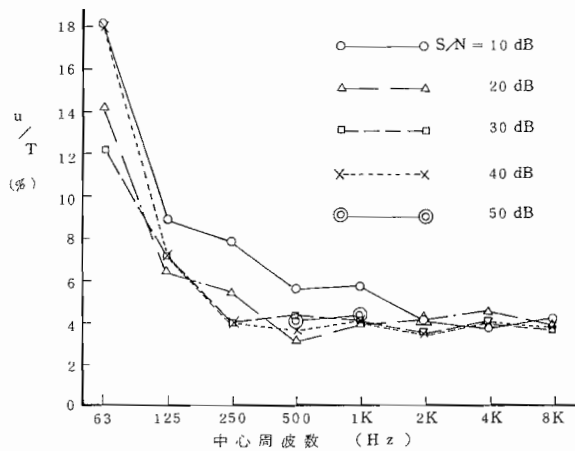


Fig. 2 ばらつきとS/N比

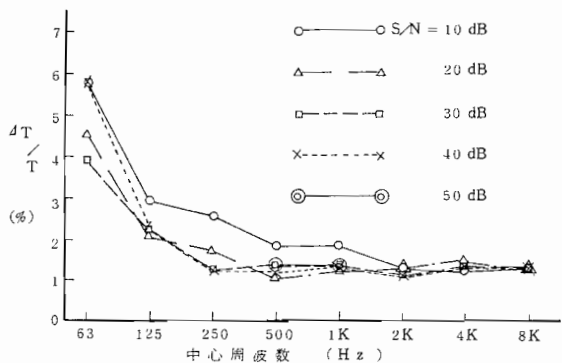


Fig. 3 測定誤差とS/N比

注1)

※中心周波数 63, 125, 250, 2K, 4K, 8K Hzで40 dB, 500, 1KHzで50 dBである。

注2)

※小標本の区間推定理論から

$$\Pr \left\{ \bar{x} - u \sqrt{F_{N-1}/N} \leq m < \bar{x} + u \sqrt{F_{N-1}/N} \right\} = 1 - \alpha \text{ が成り立つ。}$$

すなわち、真値 m が区間 $\bar{x} \pm u \sqrt{F/N}$ 内に存在する確率は $1 - \alpha$ である。そこである危険率を指定したうえで、この区間幅と \bar{x} の比の百分率として測定誤差を定義することができる。したがって、これより (3.1) 式が得られる。

注3)

※このことについては、NHK技研その他の測定結果により、カップル・ルームなどの特殊な音響特性をもつ部屋でない限り、ほぼ妥当な仮定であると考えられる。例えば、ライブエンド、テットエントの吸音材料の配置も残響時間の位置分布に系統的な性質を付与しないことがわかっている。