

大林組技術研究所残響室について

真藤利孝
加藤幸雄
平野滋

概要

当社技術研究所の設立により音響実験設備として無響室、残響室が完成したが、今回は特に残響室について残響時間のばらつき、音圧分布など、吸音率の測定、遮音測定に関する基礎的検討を行なったので残響室の紹介をかねて報告する。

1. 残響室の特性

1.1. 諸元

当残響室は第一残響室、第二残響室、第三残響室からなっており第三残響室は地下室となっている。図-1 図-2に平面図、断面図を示す。この三ヶの残響室は同じ形をしているが、第三残響室は遮音測定用床構造取付部があるためこの部分の容積が増えている。第一、第二残響室は、室容積 218m³ 室表面積 215m² 第三残響室は、室容積 223m³ 室表面積 220m² で壁厚はコンクリート 30cm で仕上げは、床人研、壁、天井モザイクタイル張りとなっている。残響室の形については、小林理学研究所の子安氏の御指導により残響室内になるべく多くの固有振動が励振され、かつ一様に分布し室内音場が均一になるよう平行面のない非対称の五角形がとられている。壁体遮音測定用として、第一、第二残響室間に試料取り付け部として 3×3.7m の開口があるが、残響室を吸音率測定に使用する場合、あるいは遮音測定用試料が小さい場合は二重ブロック積、モルタル金コテ仕上げの壁体を設けることにしている。床構造遮音測定用として、第一、第三残響室間に試料取り付け部として 3×2m の開口があり通常は 10cm 厚のコンクリートパネルが設置されており、取りはずしおよび試料取り付け用に 2 トン用のチェーンブロックが設けてある。構造については遮音測定と単一残響室としての使用を兼ねているため特に遮音測定にあたって、試料以外から受音室に音が伝播するのを防ぐため構造的に各室が一体とならないよう、第二残響室と、第一、第三残響室は基礎構造より壁体まで分離した構造にしてあり、第一残響室の床スラブはすべて構造体の上にパッキングを介してコンクリートパネルを載せた構造をとっている。出入口扉は 95×220cm の大きさで、厚さは 30cm の防音扉である。第一残響室は発音室とし、第二残響室は前室があるので扉は一重扉であるが、第三残響室は前室が無いので二重扉にしてある。

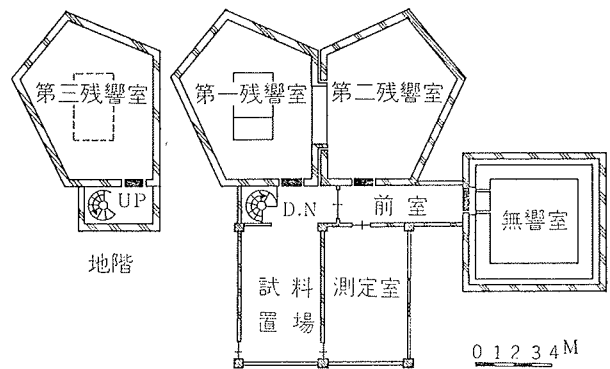


図-1 残響室平面図

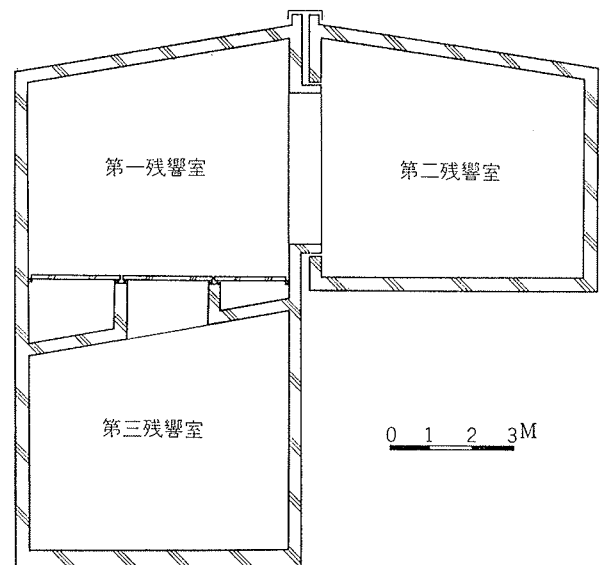


図-2 残響室断面図

1.2. 残響室内音圧分布

まず残響室の使用に先だち各残響室間の遮音、扉、換気扇の遮音について測定検討を行なったが遮音測定においては試料以外から受音室に音が入らないよう、横道透過のないことと、音源室、受音室が振動的に分離されている事が必要であるが、残響室は、音源室、受音室ともに拡散音場を仮定しているため、残響室内

の音圧レベルが場所的に均一になることが測定精度に大きく影響するので音圧分布が均一な事が要求される。そこでまず第一残響室，第二残響室間の試料取付部に設けたブロック壁の場合について，第一残響室を音源室とし，第二残響室を受音室として音圧レベルの測定を行なった。音源は音圧レベルの読みとりの容易さ，ばらつきを検討するため，1/3オクターブバンドノイズと震音を用い，受音用にはコンデンサーマイクロホンにて受け，レベルレコーダーにてレベルを読み取ったもので測定器機，およびそのブロックダイアグラムを図-3に示す。測点は図-4に示す6点で，室中央のレベルを基準として他の点のレベルの偏差を示したのが表-1である。これは音源バンドノイズの場合であるが，音源震音の場合，バンドノイズの場合も読み取りレベルの偏差はほとんど認められないが，読み取り容易さはバンドノイズの方がまさっておりバンドノイズを用いた方が誤差は小さいようである。

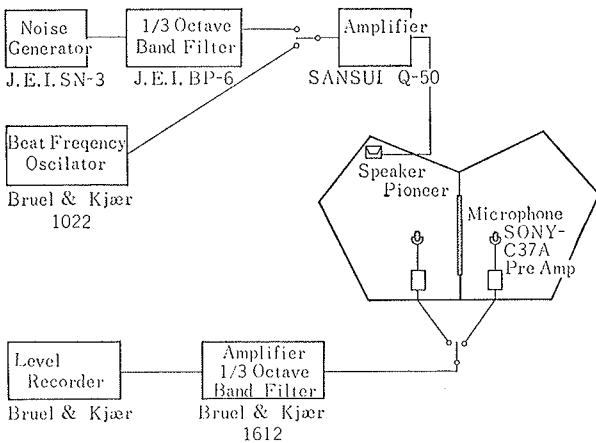


図-3 遮音測定ブロックダイアグラム

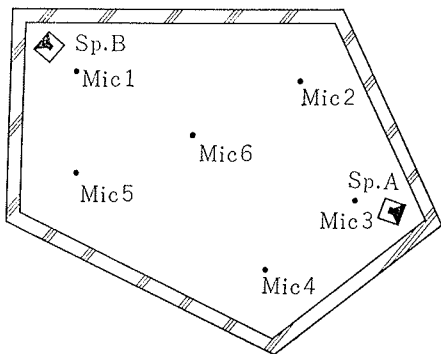


図-4 スピーカーおよびマイクロホン位置

表-1の音圧レベル偏差を見てみると 63c/s は 10dB も偏差があるが，125c/s 以上においてはその差は十分小さく，測点を3～4点とることによりまったく問題は無くなる事が判明した。100c/s 以下でのばらつきが多いのは当残響室の dimension から考えて当然であり，当残響室での測定は 125c/s 以下は測定可能限界外にある。

1.3. ブロック二重壁設置時の遮音測定可能限界検討

第一，第二残響室間の壁体遮音測定用試料取付面は 3×3.7m であるが，試料が小さい場合は周囲に透過損失の大きいブロック壁等を設けることにしているが，このブロック壁の最大測定限界レベルをチェックするため，重量ブロック 150mm 厚，軽量ブロック 150mm 厚のブロック二重積表面モルタル金コテ仕上げ壁について透過損失を測定することにした，音源は震音とバンドノイズを用い，スピーカーは低中音域用には 38cm コーン型を密閉箱 (53×53×46cm) に入れたもの，高音用にはドライブユニット4ケを用い，受音用マイクロホンはコンデンサーマイクロホンを用いた。測定器機およびブロックダイアグラムは図-3に示した音圧測定と同じである。遮音測定は両室にマイクロホンを置き，音源室，受音室，同時に対応点のレベルを読み取

測点 周波数	第一残響室 (発音室)						第二残響室 (受音室)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
63	-7	-3	-5	-5	-10	0	-10	-8	-10	-5	-6	0
125	0	-1	0	0	-2	0	0	-1	0	0	-2	0
250	-1	1	0	0	1	0	-1	1	0	0	1	0
500	1	-1	-1	0	0	0	1	-1	-1	0	0	0
1000	0	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4000	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
8000	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

表-1 残響室中央の音圧レベルを基準とした時の音圧レベル偏差 (dB) 音源1/3オクターブバンドノイズ

った。これには当然マイクロホンの周波数特性が影響するが，無響室にて，二ケのコンデンサーマイクロホンの周波数特性を測定したところ，その間にほとんど差は見られず，音源室，受音室のマイクロホンを交換して測定する必要は無いと思われた。実際にマイクロホンを交換して測定した場合もほとんど差は認められなかった。

残響室，残響室による透過損失は音源室音圧レベルと受音室音圧レベルを， L_1, L_2 とすると次式によって求められる。

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2}$$

S : 試料面積
A₂ : 受音室吸音力

各室の音圧レベルの測定，受音室の吸音力算出のための残響時間はレベルレコーダーにより記録し，音源室，受音室の音圧レベル，受音室の残響時間は6点の測定値の平均値を用いた。

1.4. 扉，換気扇の遮音性状および残響室内暗騒音

扉，換気扇の遮音測定は残響室外の扉および換気扇の前方1mの位置にスピーカーを置き，残響室内の扉および換気扇より1mの位置でマイクロホンで受け，扉，換気扇の開時と閉時のレベル差で表した実効遮音量を求めた。扉の遮音特性を図-5，換気扇の遮音特性を図-6に示す。また昼間平常時の残響室内の暗騒音として，残響室に前室を介して並ぶ測定室の空調パッケージ運転時，さらに同棟にある空調実験設備を全面運

転した時、全面停止の場合の三状態の暗騒音レベルを測定した。第一残響室について測定結果を図示したのが図-7である。第一残響室と第二残響室の暗騒音レベルはほとんど同じレベルを示しているが、第三残響室

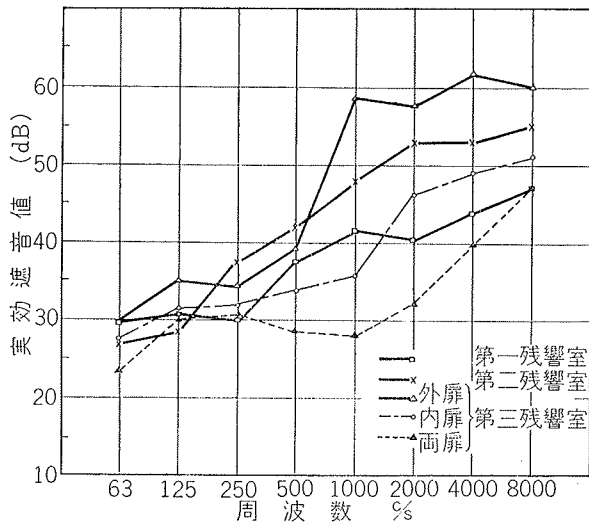


図-5 残響室扉遮音量

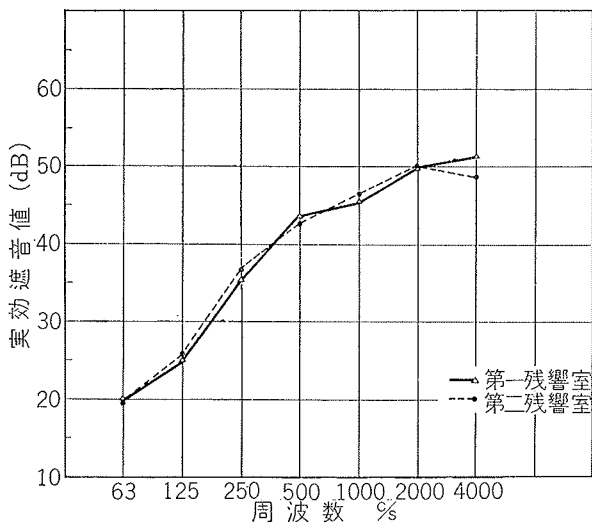


図-6 残響室換気扇遮音量

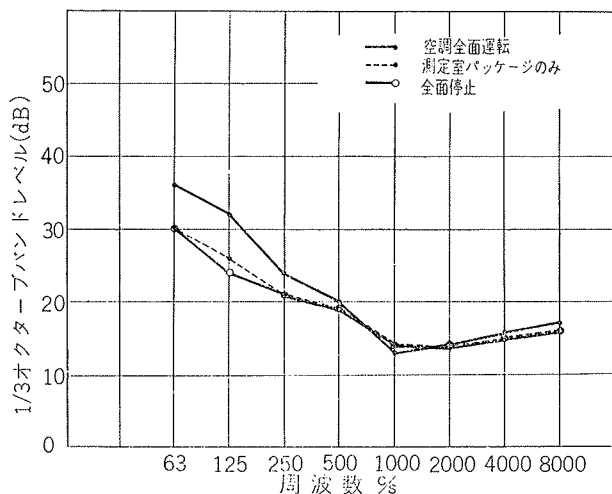


図-7 第一残響室内暗騒音レベル

は低音域でやや低いレベルを示している。この扉、換気扇の遮音量と各設備全面運転中の暗騒音が最大125c/sで32dBであることから、暗騒音については発信音源を90dBもとれば一般材料の遮音測定、残響測定には十分であることがわかる。暗騒音は残響室内に精密騒音計を持ち込んで直接読み取った値であるので実際の測定では接続コードや測定器によるノイズが加わるが、これはほとんど問題にならない事が検討の結果明らかになっている。

1.5. 第一、第二残響室間ブロック壁遮音測定

第一、第二残響室間のブロック二重積壁の透過損失を音源第一残響室とした場合と第二残響室とした場合について示したのが図-8であるが音源室はどちらの残響室にしても透過損失に大きな差は認められない。しかし振動的に両室の分離をチェックし、遮音測定の音源室、受音室を決定する目的で振動ピックアップにて図-9に見る壁面各点において音源として震音を用い、第一残響室、第二残響室をそれぞれ音源室側壁面から受音室側壁面への振動減衰量を測定した。測定結果を図-10に示すがこれを見ると構造的には第一残響室の壁体である測点2、4の振動減衰量は音源室の差による顕著な差は認められない。次に試料取付面に設けた二重ブロック壁中央の測点3の減衰量は音源がどちらの場合もほとんど同じ値を示しており、どちらが音源の場合も同じような振動をしているものと思われる。両室構造体壁面である測点1、5についてはいづれも第一残響室を音源室とした時の減衰量の方が10~20dBも大きい事がわかる。これは試料取付面のブロック二重壁面が第一残響室の構造体の上に載っており(図-9参照)第一残響室の壁体と一体となって振動しており、音源が第一残響室の場合は受音室側の測点は音源側の構造と分離しているが、音源が第二残響室の場合は受音室側の測点はブロック壁によって音源側と接続しておりブロック壁の振動が伝わっているためと考えられる。以上の事からブロック壁の遮音測定では音源がどちらの残響室でも遮音量はほとんど同じ値を

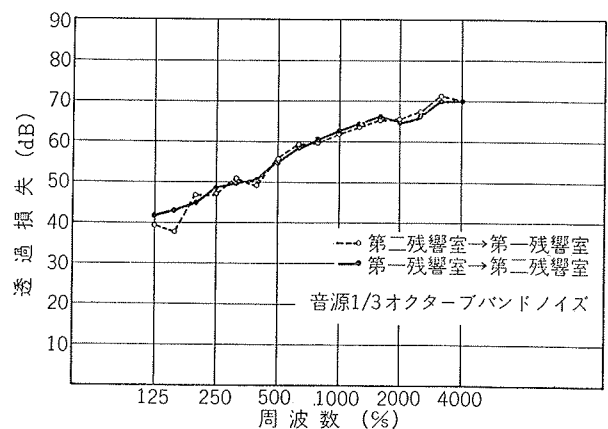


図-8 ブロック二重壁透過損失

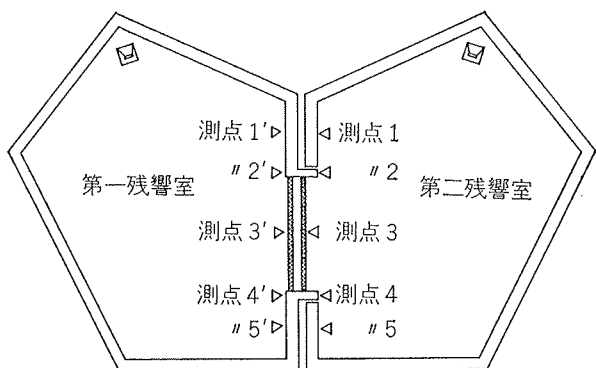


図-9 振動測定点

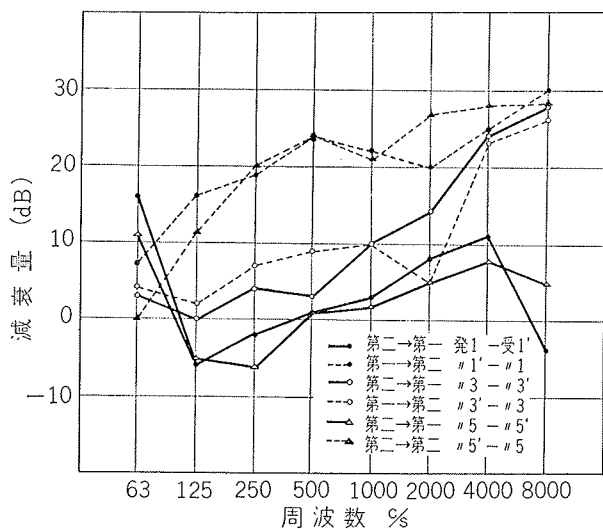


図-10-1 第一・第二残響室間振動減衰量

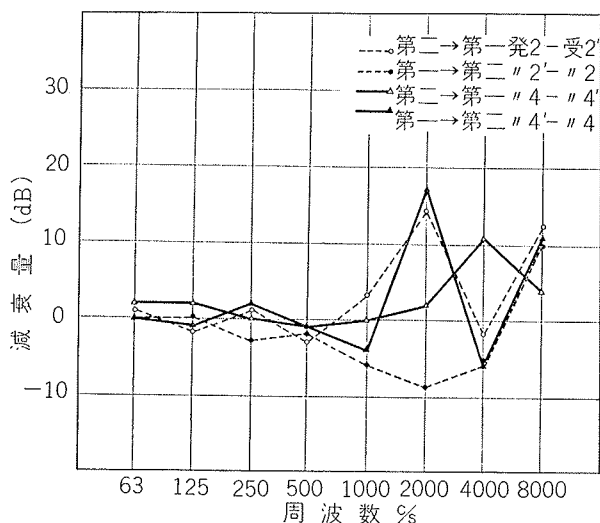


図-10-2 第一・第二残響室間振動減衰量

示しているが、遮音量の大きい試料の測定においては振動による残響室構造体からの透過が考えられるので遮音測定のためには音源室は第一残響室とすることが望ましいと思われる。

なお、ブロック壁による透過損失が予想より小さかったため、第一残響室側のブロック壁面に 25mm 厚ガラスウールを二重貼して音源室とし、音源バンドノイ

ズのものを図-11、震音のものを図-12に示すが、高音域では透過損失は大きくなっているが、音源バンドノイズによるものは低音域ではガラスウールを貼り付けた場合の方が透過損失は低下を示しており原因は目下検討中である。

透過損失の大きさは予想より小さかったが、今回のこの透過損失は振動レベルがブロック壁中央が最大レベルを示している事などから残響室構造体からの透過音は小さいと考えられるので、さらにブロック壁を遮音性能の良いものとするためガラスウールを二重ブロック壁間に充填するなどの方法により遮音量を検討する予定である。

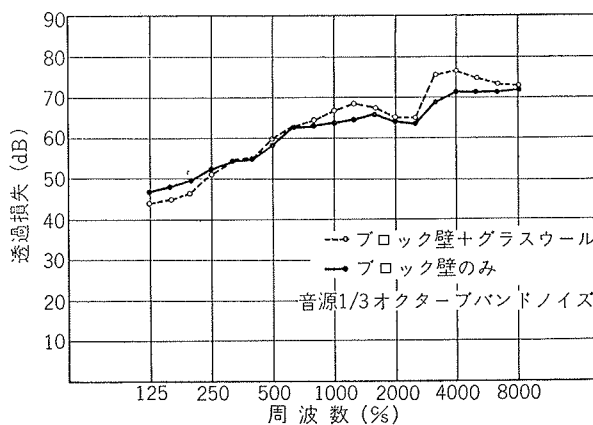


図-11 ブロック二重壁透過損失

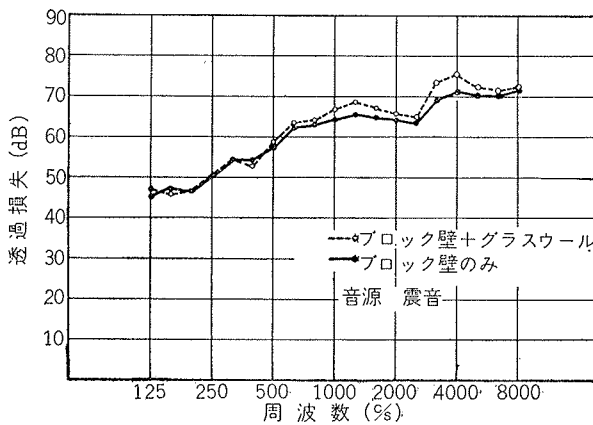


図-12 ブロック二重壁透過損失

1.6. 第一第三残響室間の遮音測定

床構造遮音測定用試料取付面 3 × 2 M のある第一、第三残響室間の構造は図-2に示したように試料取付面以外は構造体の上にコンクリートパネルが載っており二重構造となっているが、試料取付面は 10cm 厚のコンクリートパネル一枚となっている。そこでこの試料取付面以外の遮音量を見るため、この試料取付面にガラスウールを 30cm 厚に積みホモゲン板にて囲った場合を、コンクリートパネル板のみの場合とともに測定した。その結果を図-13に示す、これを見るとコンクリートパネル板のみの場合に比してガラスウールを置

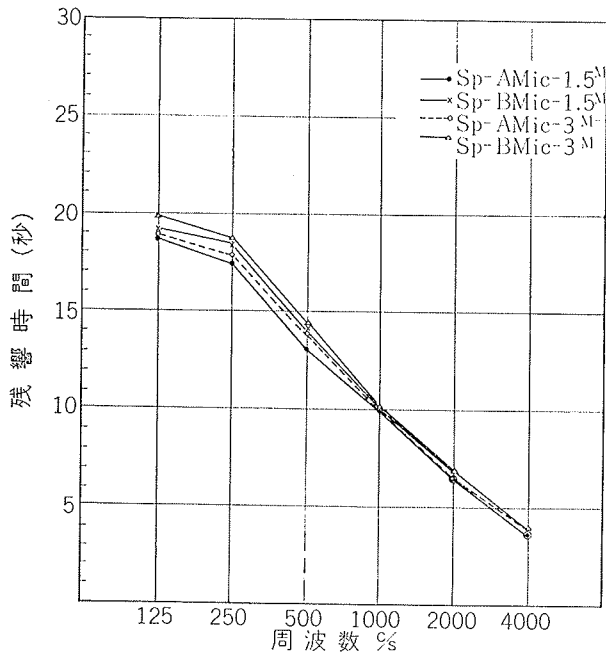


図-16 第一残響室空室残響時間

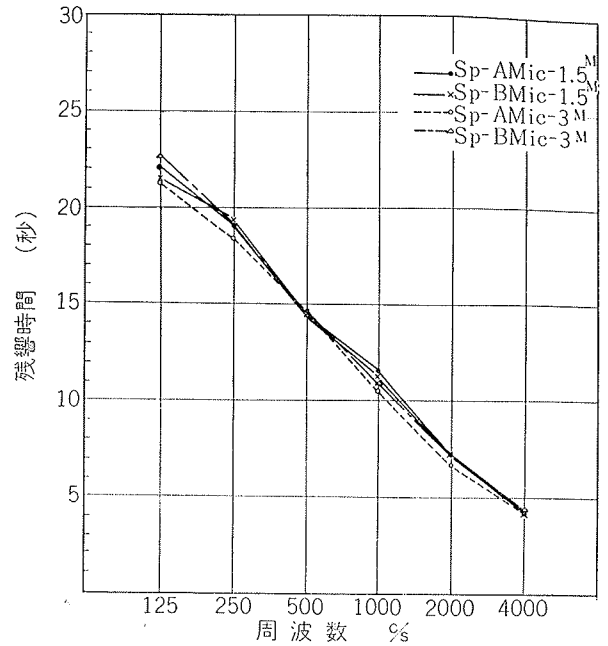


図-17 第二残響室空室残響時間

いた場合は低中音域で 10dB 程の効果が現れ、これが、第一、第二残響室においては 0.5 秒程度（平均残響時間約 22 秒）のばらつきで測定点を数点とることにより、マイクロホンの位置による差、高さによる差はほとんど問題とならない程度に押えられることがわかる。

ここで許容誤差を 5% 以下として、マイク位置を 3

点にして必要な測定回数をチェックしたが、各点につき 125c/s は 10 回、250c/s は 5 回、500~4000c/s は 3 回づつの測定で、誤差 5% 以下におさまっており、この程度の測定で十分と考えられる。

第一、第三残響室の空室残響時間は良く似た特性を示しているが、第三残響室は低中音域で 3~4 秒短くなっている。これは第三残響室が地下室のため、湿度

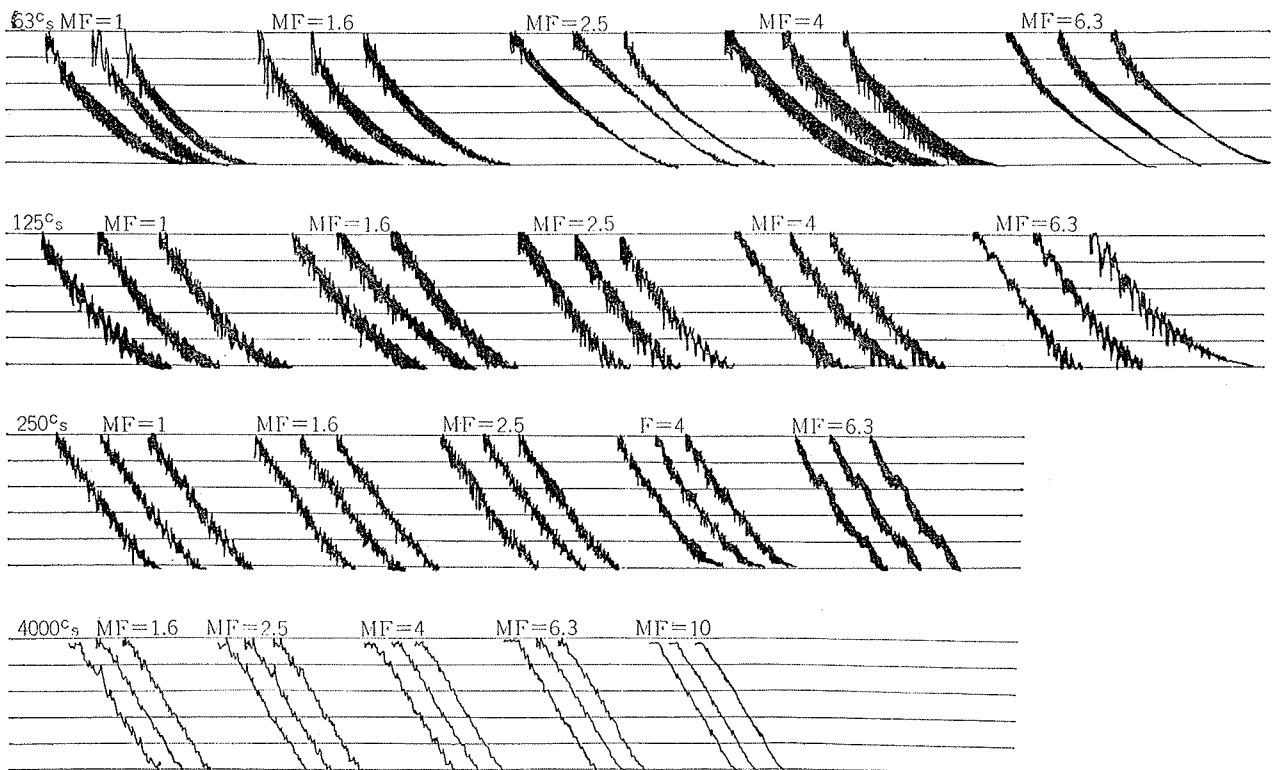


図-15 震音の変動回数による減衰曲線の変化

による影響と考えられるが、湿度の影響が大きい高音は試料取付面以外の遮音量に近いと思われる。

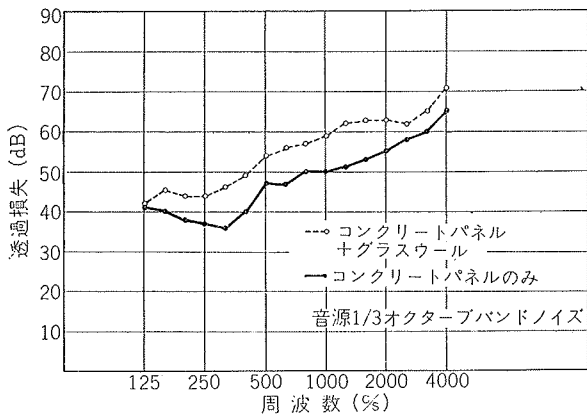


図-13 第一、第二残響室間コンクリートパネル透過損失

1.7. 残響時間測定

残響室法吸音率の測定は残響室内の音場を十分拡散した状態と仮定し、試料をとりつける前後の残響時間を測定し、音が試料にあらゆる方向から均等に入射する場合の吸音率を求めるのである。チューブ法吸音率測定法と比べて長所として実際の室内に用いる際とほとんど同じ状態で材料を施工することができ、また音場についても同じような音場で吸音率の測定ができるという実用的な測定法であるが同じ試料の吸音率が測定残響室によってかなり差が表われ大きな問題となっている。これは残響室法吸音率の測定にあたっての仮定、すなわち音の拡散状態、試料面積、などに問題があるため目下残響室法吸音率測定に関する規格委員会が持たれ同一試料による持ち回り測定をはじめ種々の実験検討が加えられており、規格も近々作成されるものと思われる。

残響測定の音源には一般に震音とバンドノイズが用いられるが当残響室では主に震音を用いる事にした、震音を用いる場合は震音の性質としてその中心周波数 f とその変動巾 $\pm \Delta f$ と毎秒の変動回数 Mf などを適当に決めねばならない、これについてはすでに種々の研究が発表されておりまた I.S.O. の規準案にも推奨値が示されているが、いかなる残響室においても十分であるとは考えられない。

周波数変動巾は変動巾内に、音場を均一にするのに十分な数の固有振動が励振されるに必要な巾をもつこと、しかしあまり変動巾が大きいと変動回数との関連などにおいて好ましくない、次に変動回数については、変動巾内のスペクトルは変動回数に反比例するので多くの固有振動を励振するにはなるべく変動回数が少ない方が望ましいが、一方一回変動する間に始端の振動数附近の固有振動が減衰してしまつてはまづいので変動回数を適当に選定する必要がある。ここでは種々の推奨値に基づき、変動回数を変化させ実際の減衰曲線を見ながら当研究所の残響室における測定に適当な値

を見いだすことにした。

1.8. 測定装置

スピーカーは 38cm コーン型を密閉箱に入れ、マイクロホンはダイナミック型を用い、測定装置およびブロックダイアグラムを図-14 に示すが、受信側には $1/3$ オクターブバンドのフィルターを通し、オクターブごとに測定した。

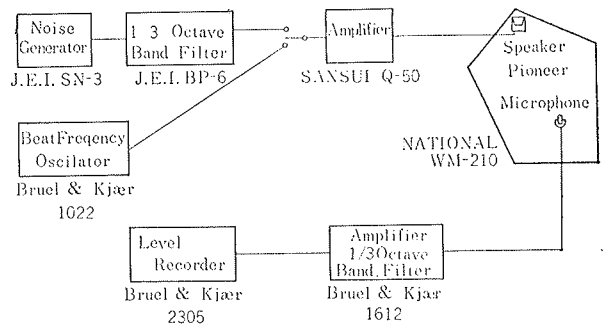


図-14 残響測定ブロックダイアグラム

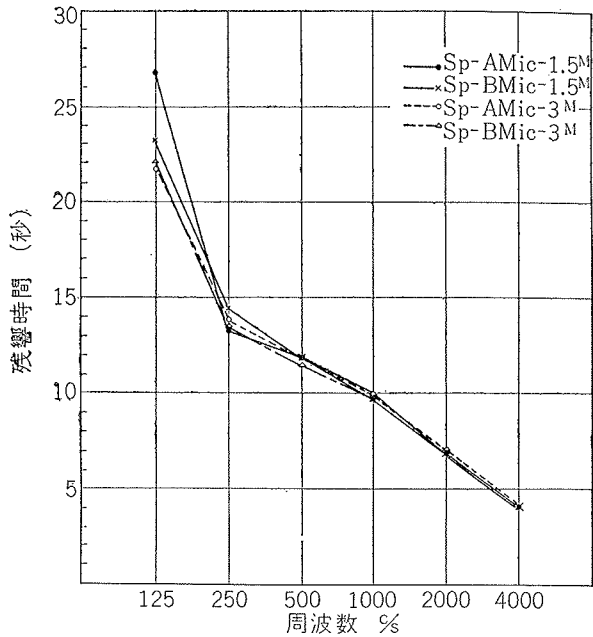
1.9. 震音の変動回数の決定

音源である震音の変動回数を決定するため各残響室において周波数ごとに変動回数と変動巾を変化させ、その時の減衰曲線の形を比較し、この残響室に適した変動回数を選定した。一例を図-15 に示すが、この残響室（三ヶの残響室間に大きな差は認められなかった）においては 63c/s の測定は容積不足であり、変動回数にかかわらず減衰曲線は大きくカーブしており残響時間の判読は困難である。残響時間19秒~14秒 (125c/s, 250c/s, 500c/s) では変動回数が 1.6~2c/s のときが比較的对数減衰を示しており、残響時間10秒~4秒 (1000c/s, 2000c/s, 4000c/s) では変動回数が 2.5~4c/s 位のときがきれいな減衰を示しているようで、この残響室に適切な変動回数は 1.6~4c/s 位を選定すれば良い事が判明した。

1.10. 空室残響時間

残響室内に図-4に示すような6点を取り、スラブ上 1.5m, 3mの高さ、計12点を受音点とし、音源位置二ヶ所についてそれぞれ12点の空室残響時間を測定した。各点の測定回数は125c/s, 250c/s は 5回, 500c/s~4000c/s は 3回である。各点における残響時間の平均値を示したのが第二表である。また測点6点ごとの平均値を残響室ごとに図示したのが図-16~図-18である。第二表を見るとマイク位置による差は125c/s においてはかなり大きい(平均残響時間の約15%)、500c/s 以上ではその偏差は十分小さい。またスピーカー位置による差も各点一様でなく、やはり 125c/s ではばらつきが大きい。

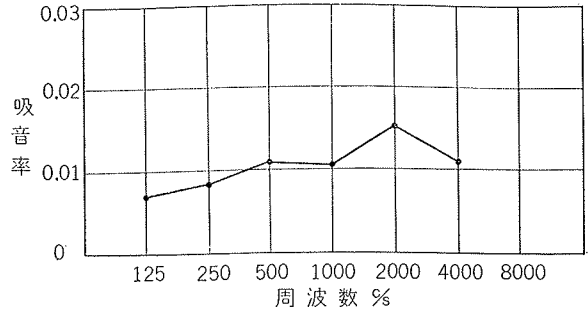
このような低音域でのばらつきは、この程度の容積の残響室では予想されることであるが6点ごとの平均値を見てみると、第三残響室においては 125c/s で土



図一八 第三残響室空室残響時間

2.5秒程(平均残響時間約23秒)ばらつきが見られる域では第一、第二残響室とほとんど同じ値を示しており、湿度による補正を行なっても一致は得られず、その原因は明らかでない。空室の残響時間が高音にいくにしたがって短くなっているのは空気による吸収で、

残響室壁面の平均吸音率を空気の吸収を除いて計算すると図-19のようになり、低音域から高音域までほぼ一樣な、吸音特性を示している。



図一十九 残響室壁面吸音率

2. 残響室内音場の改善

2.1. 拡散体の吊下げ

一般に室内の音場が拡散するためには励振された固有振動が周波数に対し様に分布する様、室寸法の比が適当であり、音の波長に比して室寸法が十分大きい事が必要である。また吸音率の大きい材料を一ヶ所に集中配置すると拡散が得られないが、このことは残響室において吸音率を測定する場合に吸音率の大きい材料を一面に配置すると室内の拡散性が不十分となり、試料の吸音率が見かけ上小さくなるという結果を生じ

第一残響室残響時間

スピーカー位置A マイク 高 1.5M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	20.0	21.9	19.0	17.2	18.11	16.33	18.77
250	17.7	17.7	17.8	18.1	17.0	16.4	17.44
500	13.0	13.0	13.0	13.0	13.33	13.5	13.12
1000	10.0	10.0	9.83	10.0	9.83	10.0	9.95
2000	6.53	6.33	6.20	6.70	6.30	6.60	6.45
4000	3.77	3.50	3.50	3.83	3.77	3.67	3.68

スピーカー位置B マイク 高 1.5M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	17.2	22.8	18.4	23.2	17.0	16.6	19.20
250	18.2	18.0	18.9	18.0	18.4	20.0	18.48
500	13.67	14.0	14.0	14.5	14.17	14.0	14.05
1000	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.67	10.11
2000	6.50	7.0	6.93	7.00	6.93	6.87	6.88
4000	4.00	3.93	4.00	3.73	3.87	3.90	3.90

スピーカー位置A マイク 高 3M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	20.0	19.8	18.4	15.8	23.6	16.0	18.95
250	17.6	18.0	18.0	18.2	18.2	17.6	17.90
500	14.0	14.0	14.0	14.0	13.67	14.0	13.91
1000	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
2000	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
4000	4.00	4.00	3.93	3.93	4.00	—	3.97

スピーカー位置B マイク 高 3M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	29.6	20.0	16.80	18.20	17.20	17.60	19.90
250	18.2	20.0	19.33	18.46	19.0	18.0	18.80
500	14.5	14.67	14.83	14.5	14.0	14.0	14.40
1000	10.83	10.17	10.5	10.0	10.0	10.0	10.26
2000	6.73	6.80	6.80	6.83	6.87	6.50	6.65
4000	4.00	3.88	4.07	4.00	3.76	4.00	3.88

第二残響室残響時間

スピーカー位置A マイク高 1.5M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	20.4	21.8	21.2	23.7	22.1	23.6	22.1
250	18.8	19.4	19.6	18.3	20.8	18.0	19.1
500	14.5	14.5	14.0	15.0	14.8	14.0	14.5
1000	11.7	11.5	11.5	11.7	11.2	11.3	11.5
2000	7.17	7.17	7.00	7.50	7.23	7.13	7.22
4000	4.00	3.93	4.00	4.10	4.00	4.00	4.00

スピーカー位置B マイク高 1.5M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	21.0	22.2	20.6	21.0	22.1	21.8	21.4
250	18.7	20.5	21.2	18.4	19.0	18.6	19.4
500	14.8	14.5	14.3	14.2	14.8	14.0	14.4
1000	11.3	11.0	11.7	11.3	11.7	11.0	11.3
2000	7.00	7.00	7.33	7.50	7.23	7.00	7.17
4000	4.07	4.07	4.00	4.03	4.10	4.00	4.08

スピーカー位置A マイク高 3M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	20.4	20.6	22.0	22.0	21.0	21.0	21.3
250	16.8	19.0	19.0	19.2	18.0	18.2	18.4
500	14.0	14.3	14.0	14.5	14.0	14.7	14.3
1000	10.7	10.2	10.0	10.7	11.0	10.3	10.5
2000	6.50	6.87	7.00	6.53	7.00	6.67	6.67
4000	4.00	4.07	4.13	4.23	4.27	4.20	4.15

スピーカー位置B マイク高 3M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	22.4	23.2	26.4	21.6	21.8	21.0	22.7
250	19.8	20.4	19.0	20.0	17.3	19.4	19.3
500	14.5	14.0	14.5	14.5	15.0	14.5	14.5
1000	11.0	11.0	11.5	10.7	11.2	10.5	11.0
2000	7.00	7.00	7.00	7.00	7.17	7.00	7.03
4000	4.23	4.27	4.40	4.27	4.17	4.40	4.29

第三残響室残響時間

スピーカー位置A マイク高 1.5M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	30.2	27.2	19.0	29.0	28.4	26.0	26.7
250	15.0	13.2	13.0	12.3	12.5	13.5	13.3
500	11.7	12.0	11.5	12.0	12.0	12.0	11.9
1000	10.0	10.0	10.0	10.0	9.5	10.0	9.92
2000	6.87	6.93	6.90	7.00	7.00	7.00	6.85
4000	4.20	4.27	4.30	4.23	4.07	3.90	4.02

スピーカー位置B マイク高 1.5M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	25.6	24.0	27.8	22.2	14.9	25.2	23.3
250	16.1	13.9	14.0	14.8	13.4	14.8	14.5
500	12.0	11.7	12.3	11.7	11.7	11.5	11.8
1000	10.0	10.0	10.0	10.0	9.33	9.83	9.85
2000	7.23	7.00	7.07	6.93	7.00	7.00	7.04
4000	4.20	4.00	4.03	4.20	4.30	4.20	4.15

スピーカー位置A マイク高 3M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	24.6	21.8	19.2	20.0	24.4	20.7	21.8
250	14.0	13.6	13.5	14.0	15.4	14.0	13.9
500	11.2	12.0	11.7	12.0	12.0	11.8	11.8
1000	9.83	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.95
2000	6.80	7.00	7.00	7.00	6.90	7.00	6.95
4000	4.27	4.00	4.17	4.00	4.30	4.13	4.15

スピーカー位置B マイク高 3M							
周波数	1	2	3	4	5	6	平均
125	21.8	23.2	25.0	21.6	19.8	21.2	22.1
250	14.0	12.6	13.1	14.0	13.0	14.5	13.5
500	11.3	11.8	11.0	11.0	12.0	11.5	11.44
1000	9.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	9.66
2000	7.20	7.00	7.00	7.00	7.00	6.97	7.03
4000	4.43	4.20	4.07	4.13	4.17	4.07	4.18

表一2 音源位置および受信位置による残響時間の偏差

させる、試料を分散配置すれば拡散効果は得られるが、測定容易さ、吸音率における周辺効果 (Edge Effect) の影響などの点から試料は床面に集中配置することにしている。

当残響室は拡散を意図して形を不整形としているが拡散体を吊ることにより拡散性がさらに改善されることが期待される。

現在検討中の日本の残響室法吸音率に関する J. I. S 規格にも規定されることになっているが、当研究所においても残響室内に拡散体を吊下げて拡散性を検討改善することにした。

残響室内の拡散性の検討には種々の角度からの検討が必要であるが、目下 J. I. S 規格作成委員会においても検討中であるので、ここでは 25mm 厚グラスウールを空気層 150mm のの枠組に 3 坪分、床面に集中配置し、拡散板の数を変化させながらその残響時間のばらつきの分布と算出した吸音率の変化を検討してみた。拡散板は 5mm 厚の亚克力板 (1000mm×2000mm) 9 枚と 5mm 厚のハードボード (900mm×1800mm) 15 枚を用い、中央部撓みが約 30cm となるよう彎曲させ、拡散板が各壁面に均等に向くよう、天井よりビニールコードで吊下げた。拡散板の吊下げ枚数は、I. S. O では拡散板片側面積が床面積の 100% になる様に吊った場合に、拡散性が十分であると見なしている。そこでここでも床面積と同じになるまで吊ることとし、これが 24 枚となるので、拡散板なしのものから 8 枚 (床面積の 35%) の場合、16 枚 (70%) の場合、24 枚 (100%) の 4 種類について検討した。

2.2. 拡散板の効果

拡散板を吊ることにより空室の残響時間は、拡散板の板振動と材料表面のポーラス性により当然短くなるがあまり短くなっては測定精度に影響するのでなるべく短くならない事が望ましい。拡散板を吊ることによる空室残響時間の変化を図-20に示すが、この範囲なら空室の残響時間は十分といえよう。拡散板なしの場合、8 枚の場合、16 枚の場合、24 枚の場合、について空室およびグラスウール 3 坪分床面集中配置した時の 8 通りについて、各周波数について標準偏差と誤差率を示したのが表-3である。誤差率については拡散板を吊ったものの方が必ずしも小さいとはいえないが、吸音率を Sabine 式 $\alpha = KV/S(1/T_1 - 1/T_0)$ によって算出し、図示したのが図-21であるがこの図を見ると拡散板を吊ることにより中高音域の吸音率は著しく大きくなっており、こうしたポーラス材の吸音率は音の拡散性が良いほど吸音率が大きくなると考えると、拡散板 16 枚のもの (70%) が最も良い結果が得られており、24 枚 (100%) においては 1000c/s のあたりで吸音率はいく分低下を示しており、当残響室における拡散板の吊下げ量は床面積の 70% 前後吊れば、良い拡散音場がえられると思われる。ただし 100% 吊下げ時で

多少低い吸音率になっているが、この一つの実験結果のみによって 100% が良くないと言えるかどうかは疑問である。

この残響室内の音場については、J. I. S 規格の検討を待つとともに当残響室においても今後も引き続き検討する予定である。

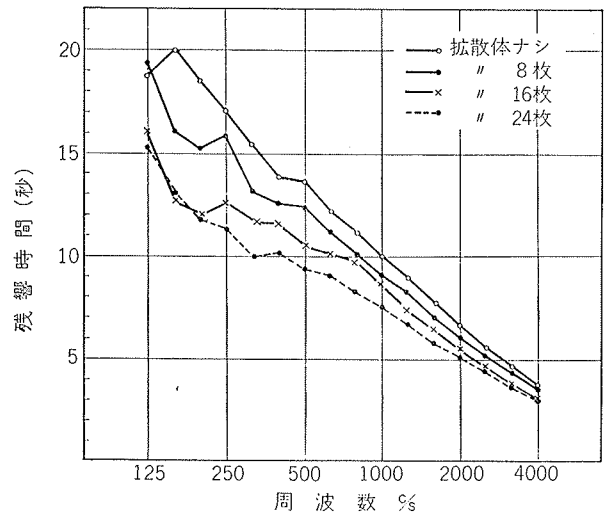


図-20 空室残響時間

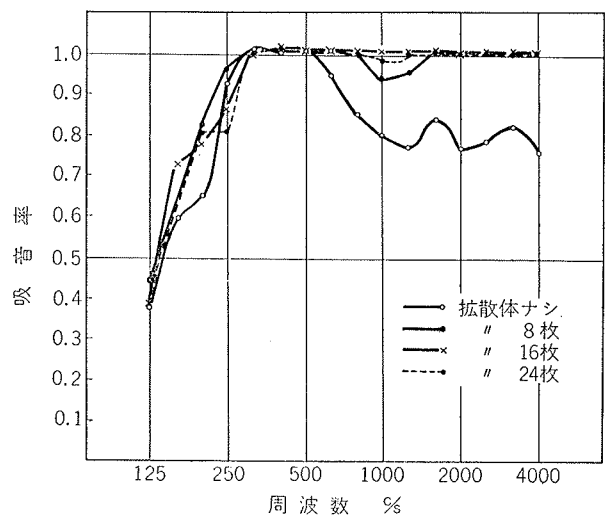


図-21 拡散体によるグラスウール吸音率変化

	拡散体枚数	周波数	125%	250%	500%	1000%	2000%	4000%	
		測定回数	30回	15回	9回	9回	9回	9回	
空 室 状 態	0枚	標準偏差	±0.297	±0.192	±0.114	0	±0.037	±0.029	
		測定誤差	3.16%	2.24%	1.66%	0	1.14%	1.67%	
	8枚	標準偏差	±0.325	±0.175	±0.084	±0.056	0	±0.077	
		測定誤差	3.38%	2.24%	1.38%	1.23%	0	4.32%	
	16枚	標準偏差	±0.191	±0.112	±0.155	±0.088	0	±0.043	
		測定誤差	2.37%	1.78%	2.94%	2.02%	0	2.74%	
	24枚	標準偏差	±0.281	±0.139	±0.139	±0.034	±0.024	0	
		測定誤差	3.71%	2.45%	2.96%	0.90%	0.94%	0	
	グ ラ ス ウ ール 三 坪 施 行	0枚	標準偏差	±0.118	±0.040	±0.037	±0.019	±0.031	±0.012
			測定誤差	3.77%	2.60%	2.74%	1.26%	2.32%	1.18%
		8枚	標準偏差	±0.101	±0.064	±0.052	±0.036	±0.017	±0.020
			測定誤差	3.58%	4.32%	4.01%	2.70%	1.57%	2.41%
16枚		標準偏差	±0.092	±0.074	±0.031	±0.043	±0.024	±0.012	
		測定誤差	3.33%	4.86%	2.54%	3.52%	2.30%	1.58%	
24枚		標準偏差	±0.047	±0.220	±0.024	±0.024	±0.017	±0.012	
		測定誤差	1.56%	1.92%	1.68%	1.88%	1.64%	1.48%	

表-3 残響時間標準偏差、測定誤差

$$\text{標準誤差 } \sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$$\text{測定誤差 } \frac{\Delta T}{T} = \frac{2\sigma_0}{x} \times 100$$