

表2 測定一覧表

集中配置		分散配置		相対周辺長 (m ⁻¹)	間隔(cm)					
各辺長 (m)	表面積 (m ²)	分散個数	各辺長 (m)		10	20	30	60	90	120
3.3×3.3	10.89			1.24						
3.0×3.0	9.00			1.36						
		2	3.0×1.5	2.04		○	○			○
		4	1.5×1.5	2.69		○	○			○
2.7×2.7	7.29			1.51						
2.4×2.4	5.76			1.70						
		2	2.4×1.2	2.53		○	○			○
		4	1.2×1.2	3.37		○	○			○
		8	1.2×0.6	5.21	○	○	○			○
		16	0.6×0.6	6.70	○	○	○			○
2.1×2.1	4.41			1.95						
1.8×1.8	3.24			2.28						
		2	1.8×0.9	3.40		○	○			○
		4	0.9×0.9	4.51		○	○			○
		9	0.6×0.6	6.73	○	○	○			○
		36	0.3×0.3	13.40	○	○	○			○
1.5×1.5	2.25			2.76						
1.2×1.2	1.44			3.47						

9³m, 表面積144m², 床面積26m², T₅₀₀=8.6sec) を使用した。測定装置を表1に示す。

(2) 試料と配置方法

吸音材には、多孔質吸音材料であるグラスウール25mm厚, 密度 32kg/m³, GW-416とグラスウール50mm厚, 密度 12kg/m³, GW-306 を採用した。なお, 本実験に際して測定したグラスウールの実質平均厚はGW-416で20mm, GW-306で45mmであった。周辺処理の方法としては、亜鉛引鉄板 (JISG 3302#32 0.258mm厚) をハンダで接合して5×300×300mmの箱に仕上げ, これに300×300mmに切断した吸音材を入れた。出来上がった試料を縦, 横数個密着して床面に配置した。その集中配置および分散配置の測定条件一覧表を表2に示す。写真1は2.4m×2.4mの試料の集中配置の状態を示す。

(3) 測定方法

スピーカーは第1残響室の1つのコーナーに固定し, マイク位置は3点とした。(図1参照)。各々のマイク位置で, スピーカーより中心周波数100~5000c/sまでの1/3オクターブバンドノイズを発生せしめ, 100~400c/sまでは3回ずつ, 500~5000c/sまでは2回ずつ残響減衰波形をレベル記録器に書かせ, これをプロトラクターで読み取った値の平均値をその残響時間とした。

吸音率算出式にはSabineの公式を採用した。

$$\alpha = \frac{0.161 V}{S} (1/T - 1/T_0)$$

ただし α=残響室法吸音率

V=室容積(m³)

S=試料面積(m²)

T=試料を配置した時の残響時間(sec)

T₀=空室残響時間(sec)

3. 実験結果と検討

(1) 吸音率と面積効果

試料の配置方法は, 床面集中配置である。実験結果を周波数毎に表わしたものを図2に示す。図中, 横軸に面積をとり, 縦軸に吸音率をとっている。

グラスウール50mm厚の場合, 100~315c/sでは, 面

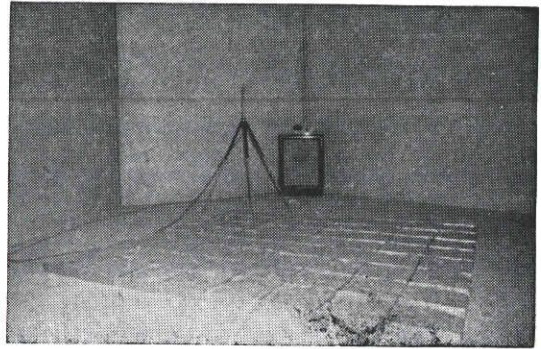


写真1

積の影響はみられず, 吸音率はほぼ一定である。400c/sと500c/sでは7m²以下に面積の影響が認められる。630c/s以上では, 全体に面積の影響が認められその勾配は高周波域になるにつれて増加している。(4000, c/s, 5000c/sでは1.2m×1.2mの試料の吸音率が3.3m×3.3mの試料の吸音率の約2倍になっている)。グラスウール25mm厚の場合には, 100~630c/sでは面積の影響はみられず吸音率はほぼ一定である。800c/s以上では全体に面積の影響が認められ, その勾配は高周波域になるにつれて増加している。その増加の割合は, 1600c/sまでは50mm厚の試料の方が大きく, 2000c/s以上では25mm厚の試料の方が大きい。

以上のことは, 試料面積が音場の拡散性に極めて密接な関連を有することを示している。低周波域では, どのような面積の試料に対しても波長が大きく, 散乱現象があまりないが, 高周波域になるにつれて, 波長が試料の寸法に近似するので, 散乱現象がみられ, それによって試料周辺の音圧が大きくなり, 見かけ上吸音率が大きく測定されると思われる。試料が小面積になるに従って, この傾向は大きい。

また, Sabineの公式より,

$$1/T - 1/T_0 = \frac{\alpha S}{KV}$$

ここで, αを一定と考えると

$$1/T - 1/T_0 = \left(\frac{\alpha}{KV} \right) S$$

ここで, K=0.161 (定数), V=残響室容積となり, 1/T-1/T₀は面積の一次式で表わされる。1/T-1/T₀に実測値をいれて, 125~4000c/sまでオクターブ毎に示したのが図3である。なお, 同図にSabineの式によるα=0.1, α=1.0の場合を示す。

低周波域から高周波域になるにつれて, その傾向は曲線的になり, 直線的傾向よりずれる。このことから, 高周波域においては, 試料周辺の散乱現象が大きく影響していることがわかる。

なお, 残響時間と試料面積の関係を図4に示す。図は縦軸に残響時間, 横軸に試料面積を対数にとっている。これをみると, 試料面積が1.44m²~10.89m²までは, 低周波域では散乱するが, かなり直線的であり, 次の実験式を得る。

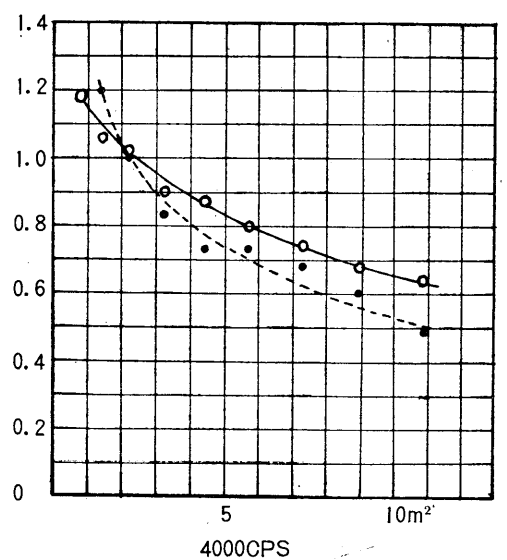
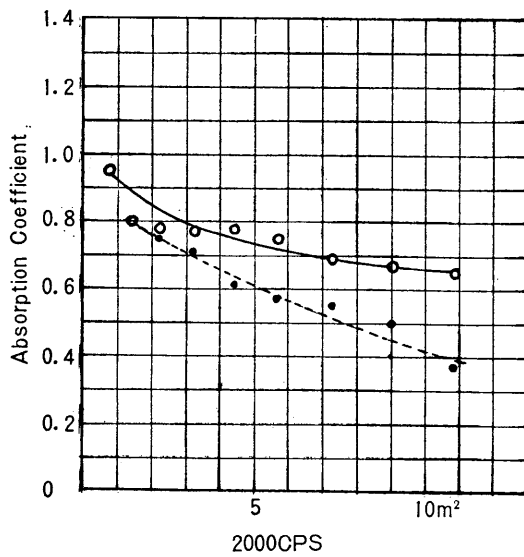
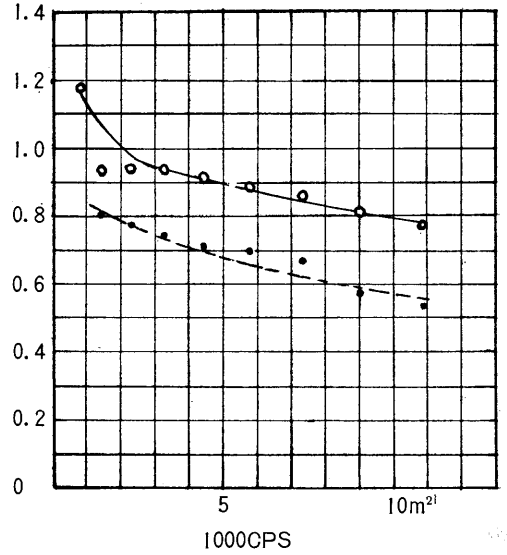
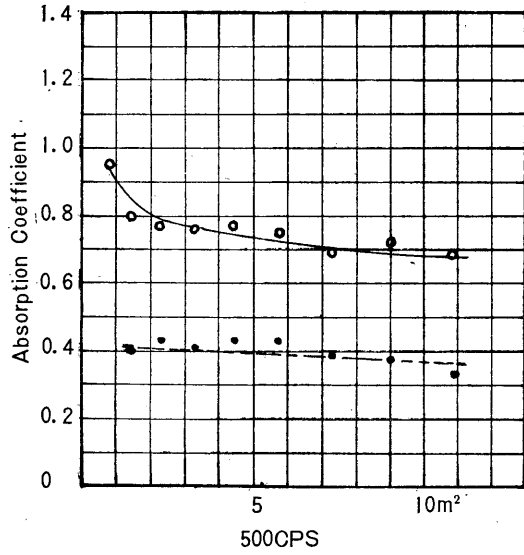
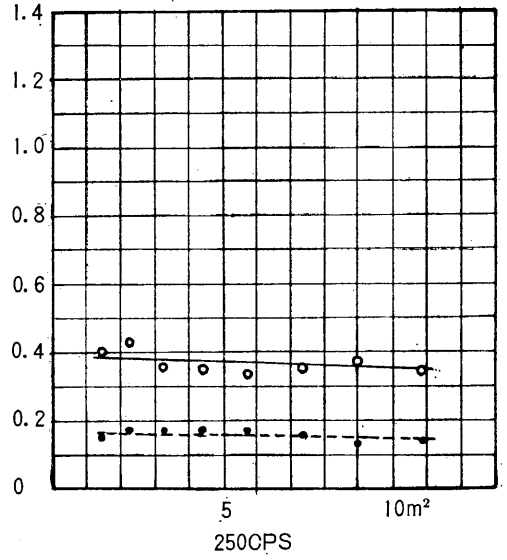
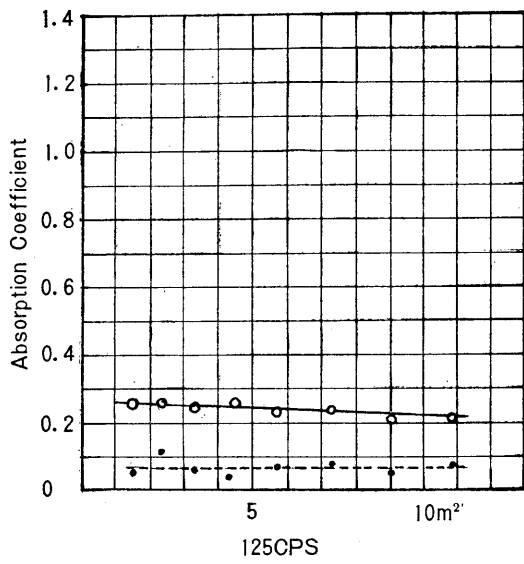


図2 試料面積と吸音率

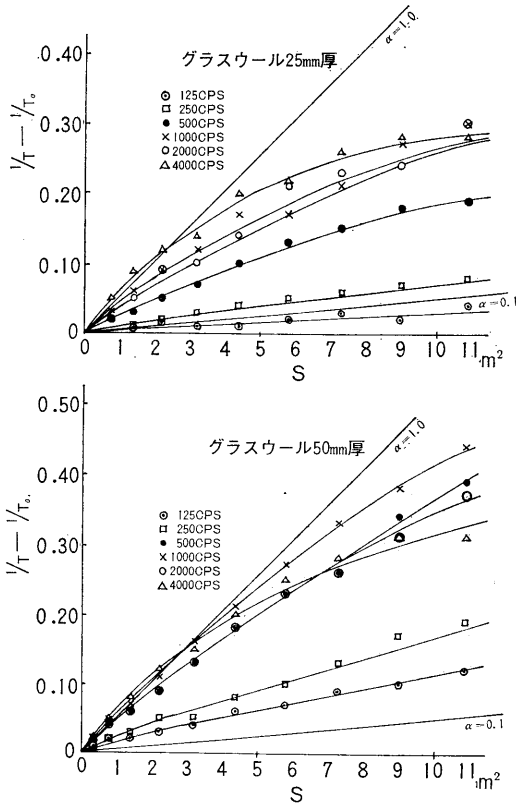


図3 試料面積と $1/T - 1/T_0$

$$T = a + b \log S \quad (a, b = \text{定数})$$

この実験式の各々の係数を実測値より計算すると

グラスウール25mm厚		グラスウール50mm厚	
125c/s	$T_{125} = 10.0 - 2.9 \log S$	125	$T_{125} = 8.6 - 4.1 \log S$
250c/s	$T_{250} = 11.3 - 5.2 \log S$	250	$T_{250} = 9.4 - 5.5 \log S$
500c/s	$T_{500} = 7.8 - 4.5 \log S$	500	$T_{500} = 6.5 - 4.5 \log S$
1000c/s	$T_{1000} = 5.2 - 2.9 \log S$	1000	$T_{1000} = 4.9 - 3.2 \log S$
2000c/s	$T_{2000} = 4.6 - 2.4 \log S$	2000	$T_{2000} = 4.5 - 2.6 \log S$
4000c/s	$T_{4000} = 2.9 - 1.1 \log S$	4000	$T_{4000} = 3.0 - 1.3 \log S$

今回の実験は試料面積 $1.44\text{m}^2 \sim 10.89\text{m}^2$ 間で行っており、この範囲においては残響時間は面積と Semilog 的關係にあるが、更に試料面積範囲を上げ、試料の種類および条件を変化せしめることによってより普遍的な設計指針を得ることができる筈である。

(2) 吸音率と配置方法

試料の配置方法は、床面分散配置とし、単位試料面積およびその間隔を変化せしめた。一例として $2.4\text{m} \times 2.4\text{m}$ の試料の4個分散、間隔60cmの配置状態を写真2に示す。

実験結果の一部を図5に示す。低周波域では、間隔が大きくなっても吸音率はあまり増加せず、わずかに、試料面積が小さいところで増加しているのみである。しか

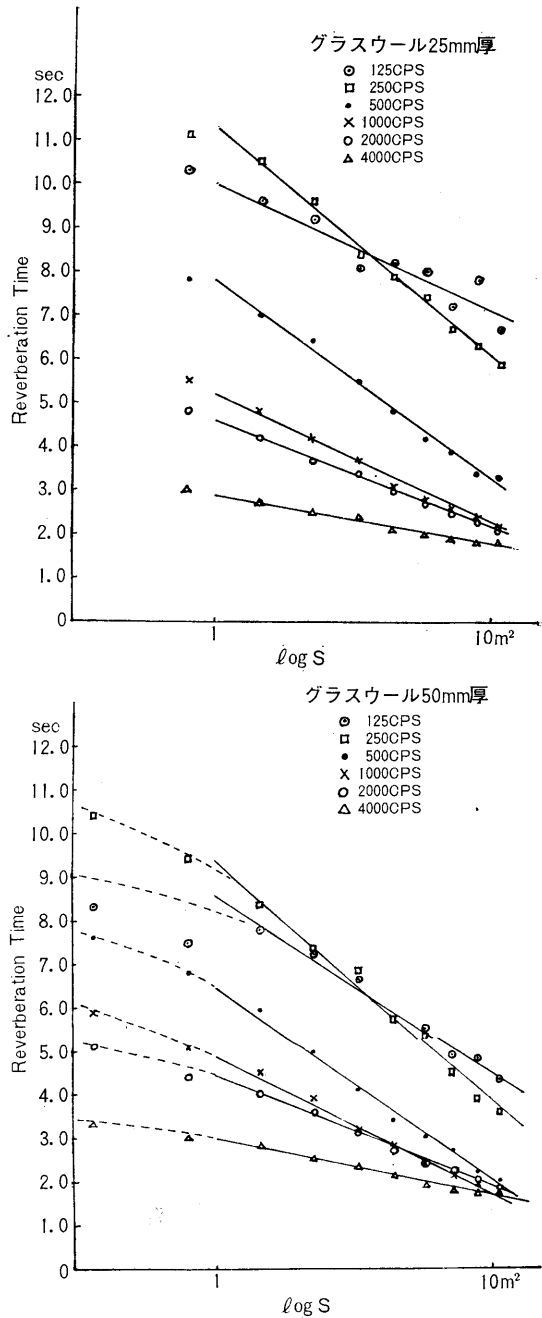


図4 試料面積と残響時間

るに、高周波域では、間隔の変化がかなり吸音率に影響をおよぼし、単位面積が小さいところでは、間隔が小さくても吸音率はかなり増加する。

全体の試料面積が一定の場合には、分散個数が増し単位面積が小さくなるほど高周波域での吸音率は大となる。

上記の如く、吸音率が分散個数および間隔によって変化し、吸音材の配置方法と音場の拡散性との間に密接な關係が存在することを示している。即ち、その傾向の一

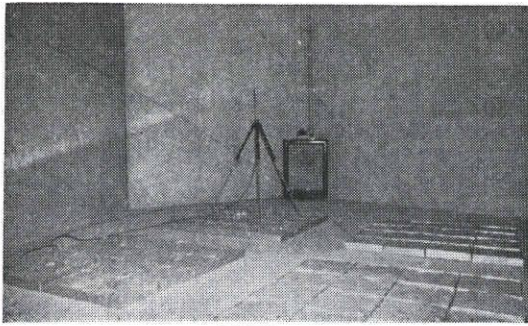


写真2

つとして、全体に間隔を充分(60cm~90cm以上)とれば間隔の影響はなくなり、吸音率は吸音材の分散個数とその単位面積のみによって、ある一定値に収斂するという結果が指摘できる。

図6にグラスウール50mm厚の500~4000c/sの各オクターブ毎における $1/T-1/T_0=$ 吸音力/ KV 値と試料面積の関係を示す。同図に於て、例えば、9.00m²試料2個分散の場合は4.50m²のところを実測値をプロットし、その時の間隔を数字で表示する。同図の点線は、間

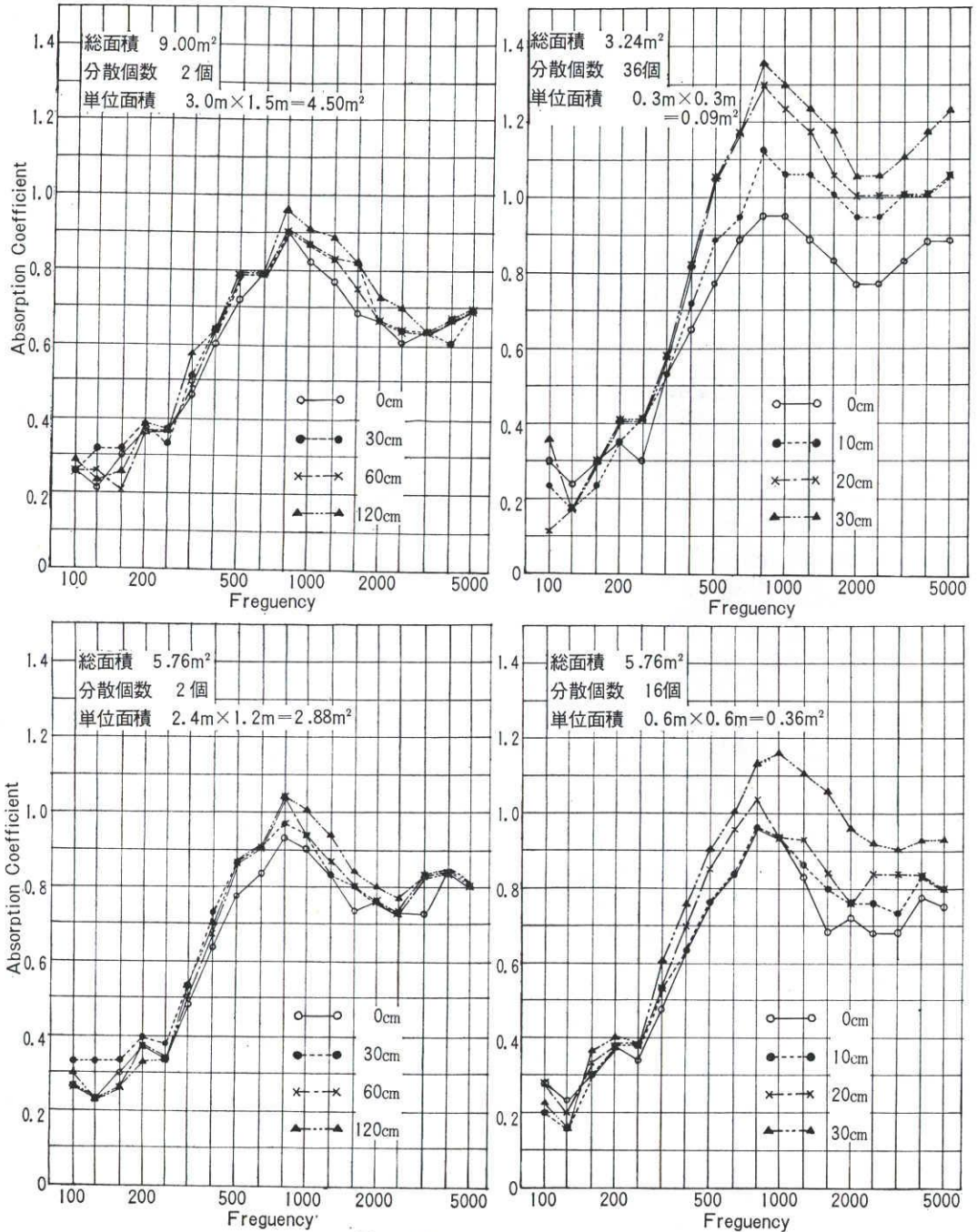


図5 間隔と吸音率

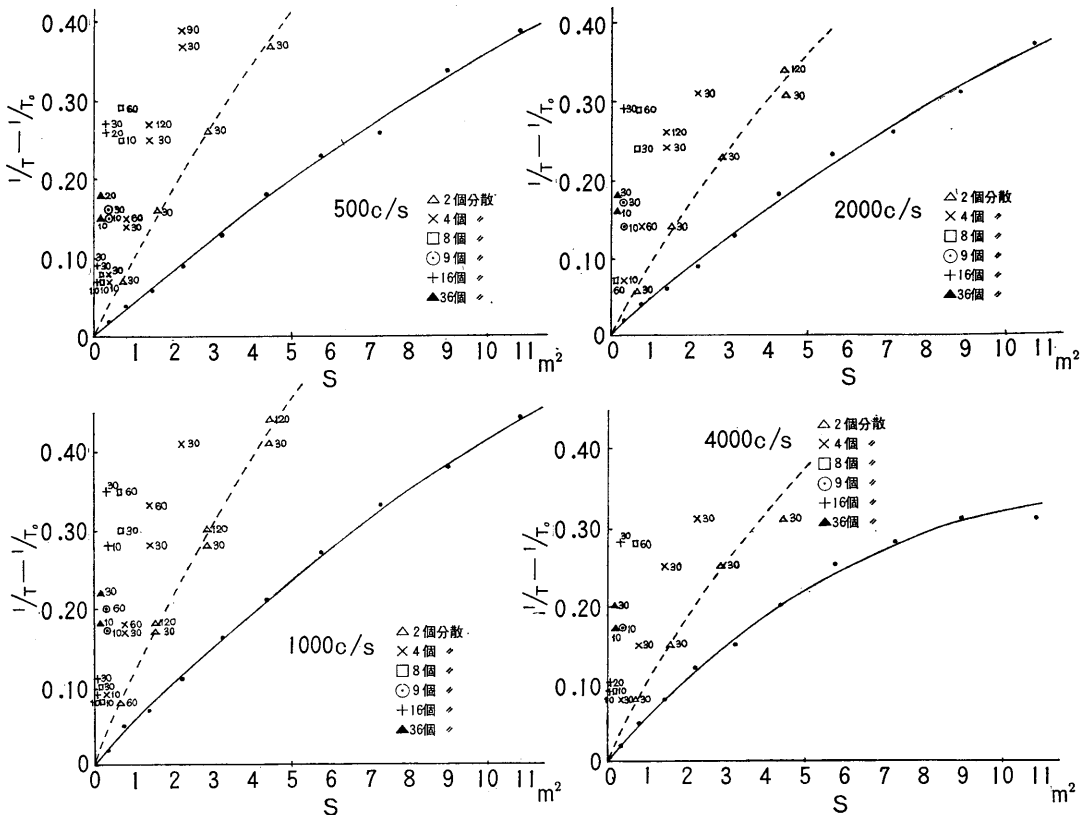


図6 試料面積と $1/T - 1/T_0$

隔を充分にとり等面積の試料を2個配置した時の吸音力/KV値を示す。

上記の結果を各周波数毎に示すと、

$$\begin{array}{ll} 500\text{c/s} & 2.3 \times f_{500} \\ 1000\text{c/s} & 2.0 \times f_{1000} \end{array} \quad \begin{array}{ll} 2000\text{c/s} & 1.8 \times f_{2000} \\ 4000\text{c/s} & 1.7 \times f_{4000} \end{array}$$

ここで、 f_{500} とは500c/sにおける吸音力/KV値の函数である。

即ち、周波数によって多少の相異はあるが、概ね単位面積に関する吸音力/KV値の2倍となる傾向が認められる。

以上の結果より、室内音響設計に当り、吸音材の間隔を充分にとって施工すれば、その各々の“面積効果”による吸音力に基いた総吸音力を採用してよいことになる。

$$\begin{aligned} A &= \text{総吸音力} \\ S_A, S_B, \dots, S_C &= \text{単位面積} \\ A &= S_A \alpha_A + S_B \alpha_B + \dots + S_C \alpha_C \\ \alpha_A, \alpha_B, \dots, \alpha_C &= S_A, S_B, \dots, S_C \text{ に対する“面積効果”を考えた吸音率。} \end{aligned}$$

以上の考察より、間隔を充分とれば、分散配置した個々の単位試料が、残響室内で単位試料だけについて測定した時の吸音力を示すといえる。

それ故、間隔が充分大きい時には、周辺での散乱現象

による吸音が単位長さ当りで一定になると考えて、

$$\begin{aligned} \alpha S &= \alpha_S S + \beta l \\ \alpha &= \text{残響室法吸音率} \\ S &= \text{試料面積(m}^2\text{)} \\ \alpha_S &= \text{試料面積が無限大の時の吸音率} \\ \beta &= \text{周辺での単位長さ当りの吸音係数} \\ l &= \text{周辺長(m)} \end{aligned}$$

だから $\alpha = \alpha_S + \beta E$ $E = l/S = \text{相対周辺長(m}^{-1}\text{)}$
ここで β が一定ならば、 α は相対周辺長に関する一次式となる。

相対周辺長と実測した吸音率の関係を250~4000c/sのオクターブ毎に図7に示す。

集中配置は、どの周波数をとっても、かなり折れ曲った曲線的な傾向を示している。

分散配置は、いずれも集中配置よりやや直線的な傾向を示しているが、高周波域になるにつれて散乱が大きくなっている。これについては、集中配置をすれば、音場内の一ヶ所だけ吸音力が大きくなるので、どうしても不均一な音場となるが、分散配置をすれば、より均一になり、さらに間隔を充分にとれば、2個或いは多数の吸音力が点在する状態になり、音場は集中配置の場合に比べて均一化されると考えられる。

低周波域において吸音率の散乱が少なく、高周波域で大きいのは、間隔と試料寸法による影響、即ち、間隔を

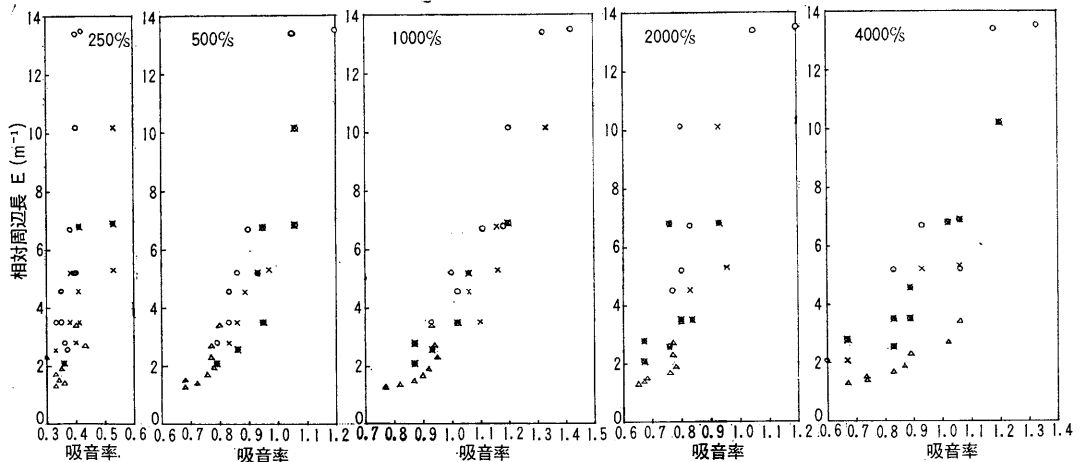


図7 相对周辺長と吸音率

多少とただけでは、低周波域においては間隔がないのと同じ効果しかもたないが、高周波域においては波長が間隔に近似するので、間隔の少しの変化も大きく影響すると思われる。

また、本実験においては、床面積の制約から間隔を充分とることができず、従って、それによる測点の散乱が含まれるものと考えられる。

以上の考察より、間隔を充分とって分散配置すれば、相对周辺長と吸音率の関係は直線的となり、音場の拡散状態は良好になるものと考えられる。したがって、室内音響設計に当っては、相对周辺長と吸音率の関係が直線的になるように、即ち、吸音材の間隔を充分にとって分散配置をするように留意して設計することが必要である。

4. 結 言

建築物の室内音響設計に関する諸問題の中で、従来、比較的未知の部分として取り残されて来た音場の拡散性の問題について、吸音率測定の際の面積効果及び分散配置効果などについて実験研究したところをとりまとめた。

擧筆に当り、終始、格別の御垂示、御教導を忝うした名古屋大学小島武男教授、東京工業大学工業教員養成所松井昌幸教授に深く感謝申し上げますと共に、御助力を頂いた宮野研究室関係各位に厚く感謝申し上げます。

1) 宮野、鶴飼、小島、名工大学報第18号 (227号)