

1. 環境騒音防止対策の一例

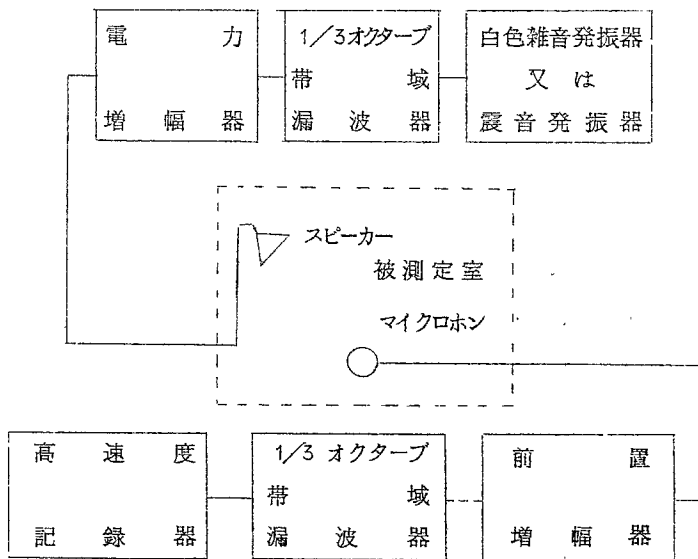
— 残響時間測定法の検討（第1報） —

1. 緒言

当公害センターは、「K小学校において『生徒の話し声、足音が響いて授業に支障をきたしている』という苦情がでていたため、快適な環境で授業が行なえるように改善したいので、教室、廊下、階段の残響時間を測定し、防止対策をたててもらいたい。」とのT市教育委員会の要請を受け、調査にあっていたが、その結果がまとまったので、ここに報告する。

2. 残響時間の測定

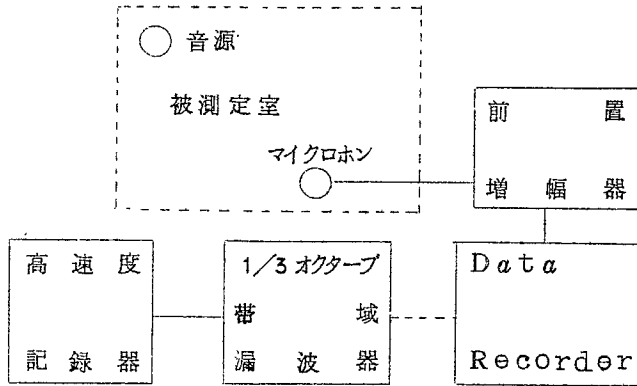
残響時間測定のための一般的測定系統は、[Fig. 1]に示す方法であるが、今回の測定にあたっては、対象が小学校であるため、[Fig. 2]に示す方法を採用した。つまり、教室内の残響時間測定にあたっては、室内の人間の吸音力も考え合せて、平常の授業中の状態で測定する



[Fig. 1] 残響時間測定系統 (I)

るのが望ましいが、室内の人間を長時間静粛させるのは困難であって、そのためS/N比が小さくなり、測定精度が悪くなることが予想される。そこで音源として運動競技用のピストル音を使用し、この残響音を磁気テープに録音し、後日これを再生し、フィルターを用いて分析し、残響時間周波数特性を求めることにした。

ところで、一般に残響時間の測定にあたっては、「音源は室隅の一つに置き、受音点を数箇所かえて、しかも一個所の受音点において数回の残響曲線を記録し、それらの傾度から残響時間を算出し、それら全部の平均値をもってその部屋の、その周波数における残響時間とする」方法がとられている。そこで、騒音計を二台使用し、室内の部屋の形に対して非対称でかつ、音源からの直接音の寄与を小さくするため、(1)式で示される距離 R_r だけ音源から離れた位置にマ



(Fig. 2) 残響時間測定系統(II)

マイクロホンを置き、三回づつ同時測定を行なった。

$$Rr = 0.1 \sqrt{\frac{V}{\pi T}} \dots\dots\dots(1)$$

(V:室容積, T:残響時間)

この測定に使用した装置は以下の通りである。

- 音源……………運動競技用ピストル音
- マイクロホン……………コンデンサマイクロホン
(リオン UC-11)
- 騒音計……………精密騒音計
(リオン NA-51)
20Hz平坦特性
動特性……………Fast
- データレコーダ……………TEAC R-200
- 1/3オクターブ帯域漏波器……………1/3オクターブ実時間分析器
(リオン SA-12)
- 高速度記録器……………高速度レベルレコーダ
(リオン LR-01E)

記録速度 300mm/sec

紙送り速度 30mm/sec

3. 結 果

[Fig. 3] は、K小学校、S小学校、N小学校の教室の残響時間、平均吸音率、吸音力を表わした結果である。いずれも、音源は教壇中央（高さ2m）、マイクロホンは部屋の形に非対称になるような位置（高さ1.3m）に二ヶ所配置した。在室者は5～6名、S/N比はいずれも50dB以上であった。

教室の形状、構造は以下の通りである。

○ K小学校

形状……………（縦）（横）（高さ）

8.0 m × 8.0 m × 3.0 m

（表面積） 224.0 m²

（容 積） 192.0 m³

構造……………（天井）タイガーボード

（壁）モルタルペンキぬり

○ S小学校

形状……………（縦）（横）（高さ）

8.0 m × 8.0 m × 3.0 m

（表面積） 224.0 m²

（容 積） 192.0 m³

構造……………（天井）タイガーボード有孔

（壁）モルタルペンキぬり

○ N小学校

形状……………（縦）（横）（高さ）

8.0 m × 8.0 m × 3.0 m

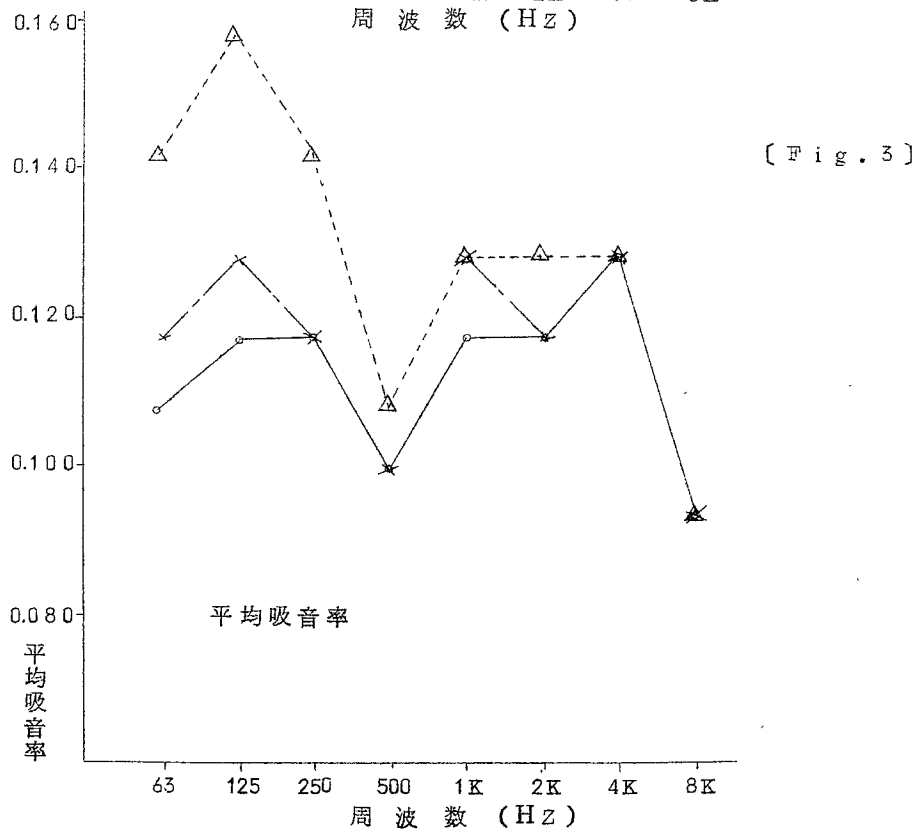
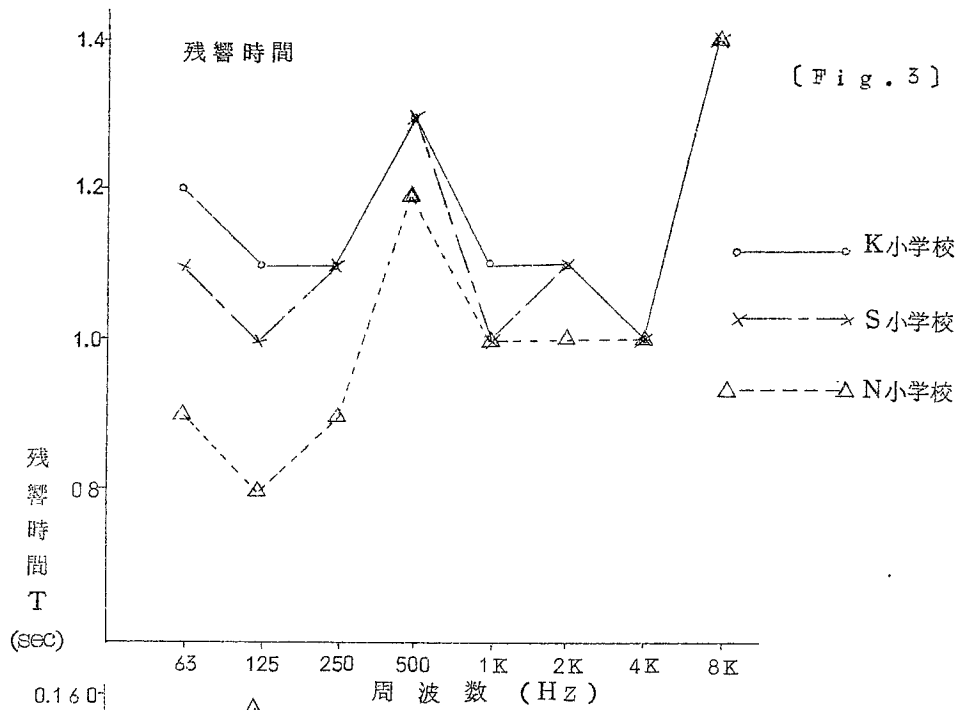
（表面積） 224.0 m²

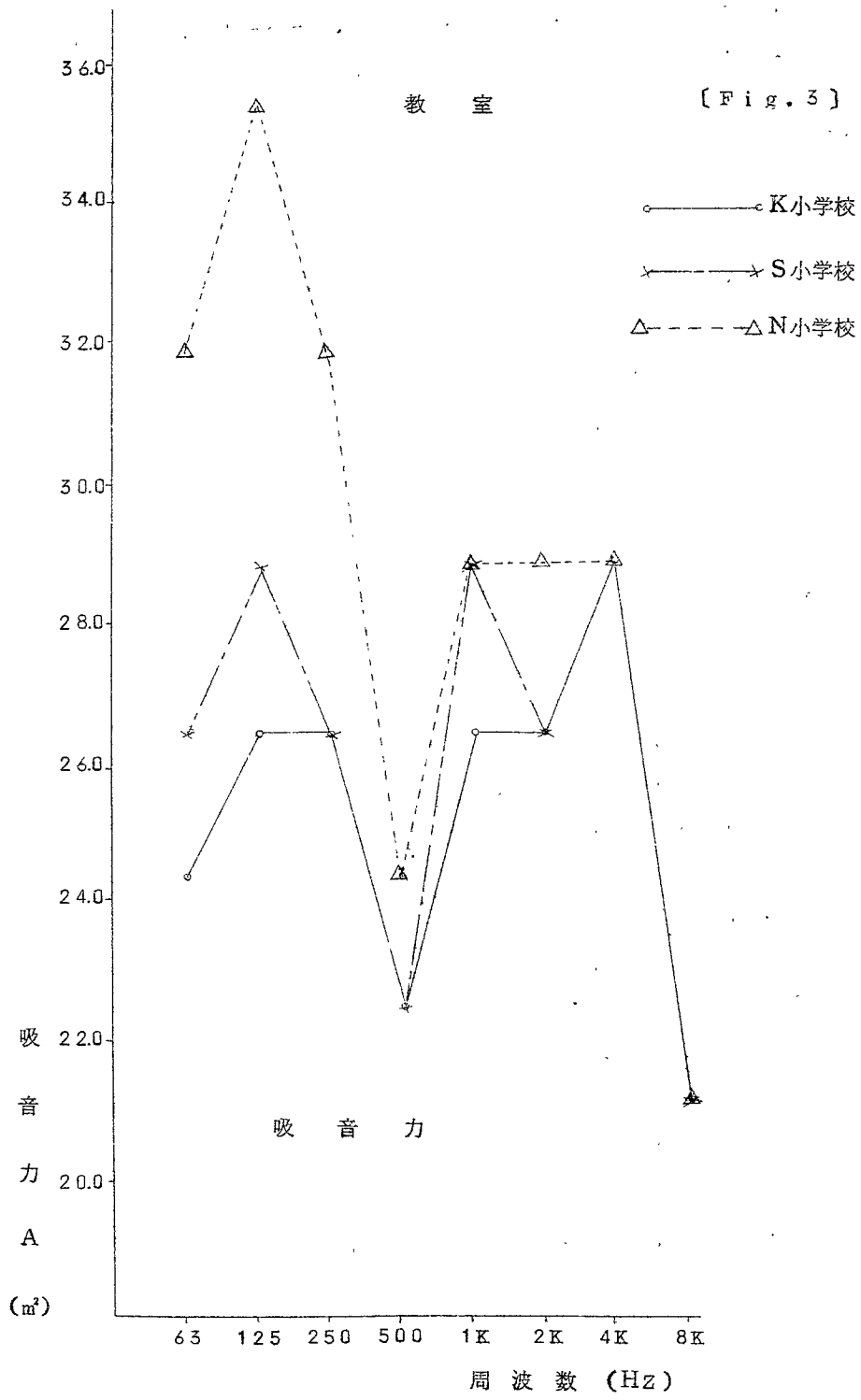
（容 積） 192.0 m³

構造……………（天井）アコーステックス

（壁）モルタル金ゴテVP

また、比較検討の参考にするため、当公害センターの各部屋の残響時間、平均吸音率、吸音力を測定した結果が、





[Fig. 4-1], [Fig. 4-2], [Fig. 4-3-1], [Fig. 4-3-2]
[Fig. 4-3-3]である。いずれも音源の位置は室隅(高さ2m)、マイクロホンの位置は部屋の形に対して非対称となるような室隅(高さ1.3m)に二ヶ所、在室者は5~6名、S/N比は50dB以上である。

各部屋の形状、構造は以下の通りである。

○実験室(1階)

形状……………(縦) (横) (高さ)

9.0 m × 6.3 m × 3.0 m

(表面積) 205.2 m²

(容積) 170.1 m³

構造……………(天井)ミクライト吹付け

(壁)モルタルペンキぬり

○実験室(2階)

形状……………(縦) (横) (高さ)

9.1 m × 6.3 m × 2.9 m

(表面積) 203.4 m²

(容積) 166.1 m³

構造……………(天井)プラスターボード

(壁)モルタルペンキぬり

○騒音実験室

形状……………(縦) (横) (高さ)

6.3 m × 3.4 m × 2.8 m

(表面積) 95.3 m²

(容積) 58.1 m³

構造……………(天井)ミクライト吹付け

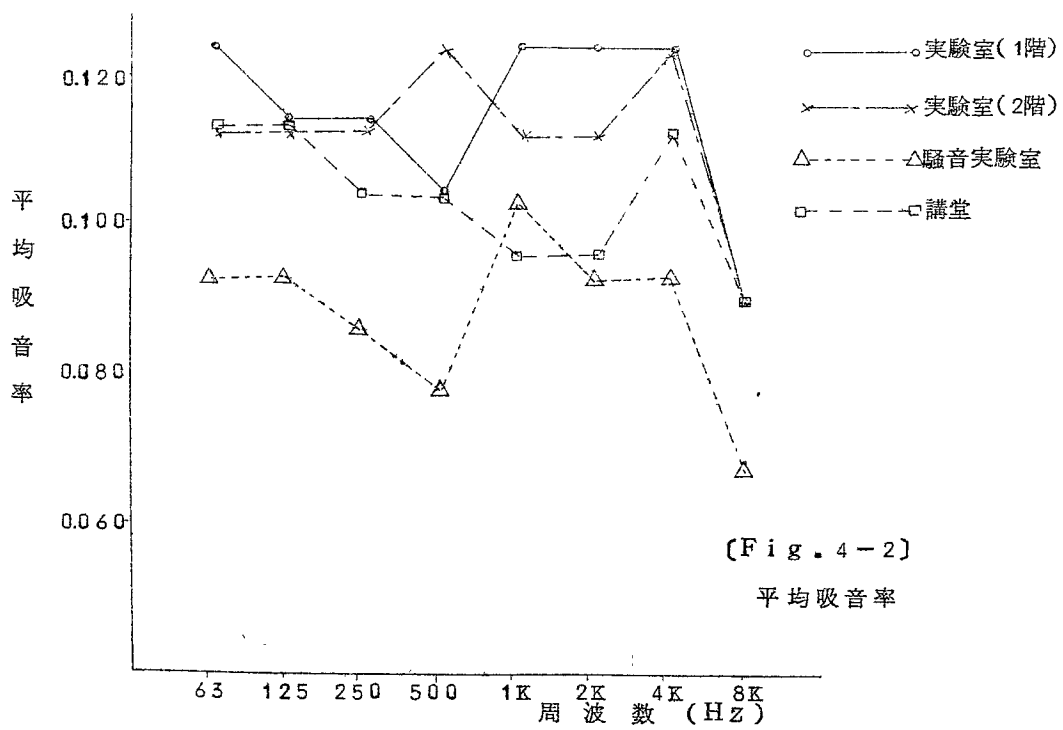
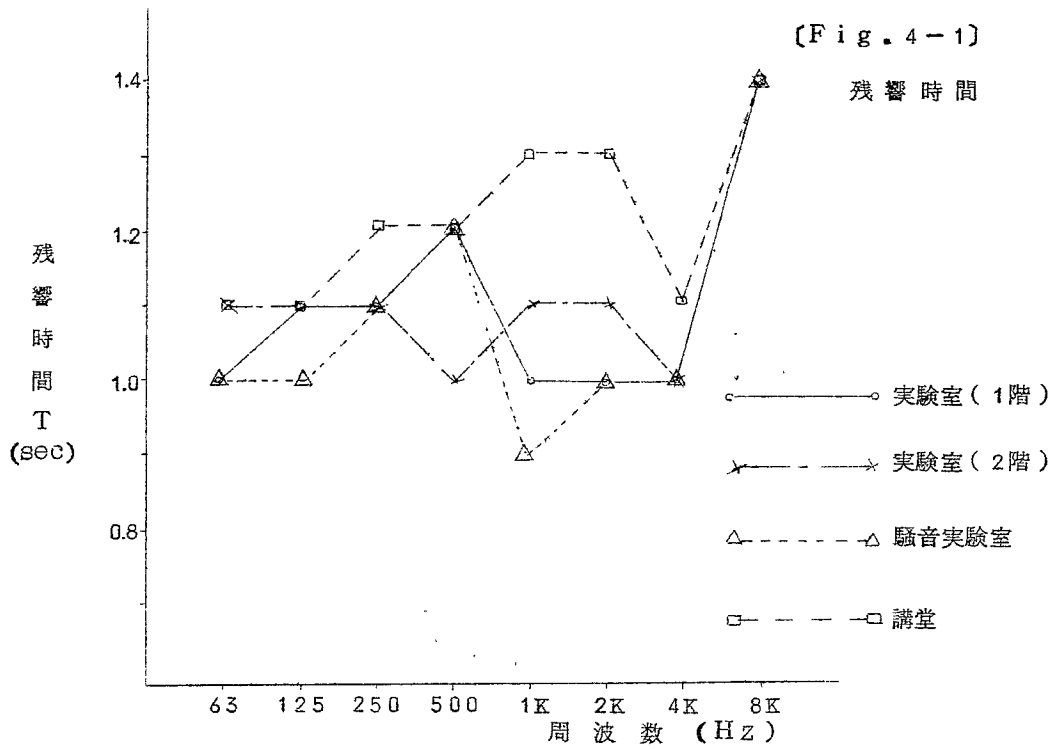
(壁)モルタルペンキぬり

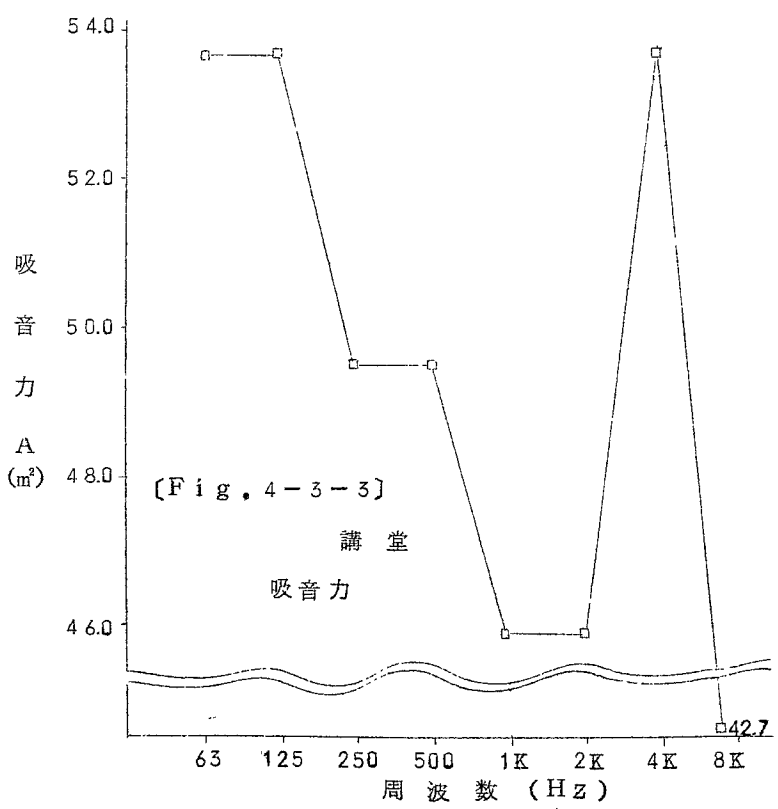
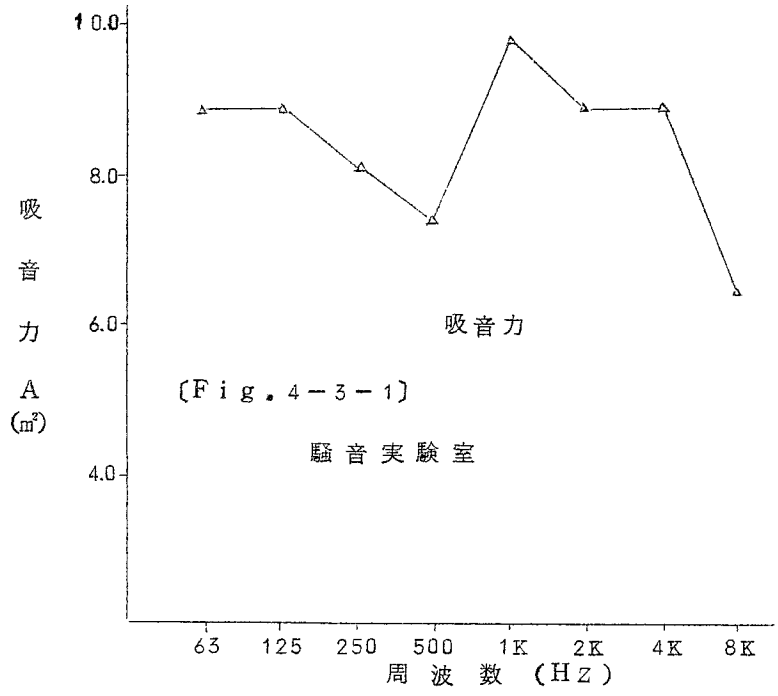
○講堂

形状……………[Fig. 4-3-4]の通り(天井高)2.7 m

(表面積) 474.6 m²

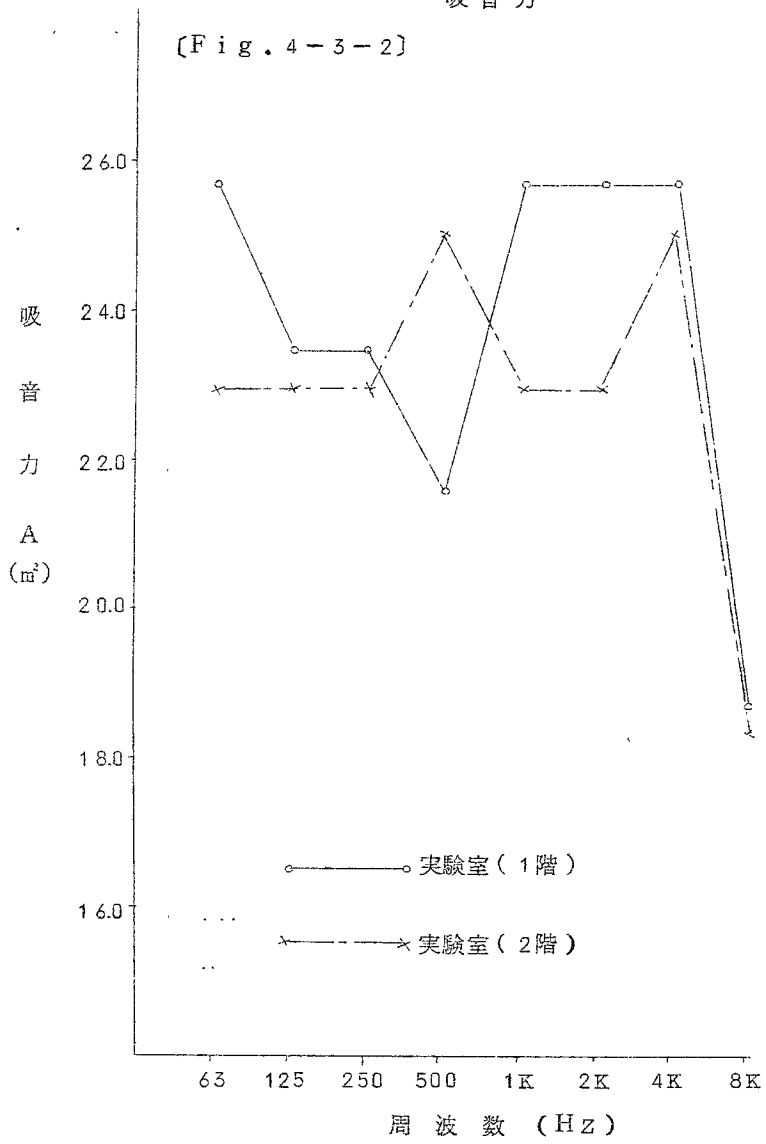
(容積) 390.0 m³





吸音力

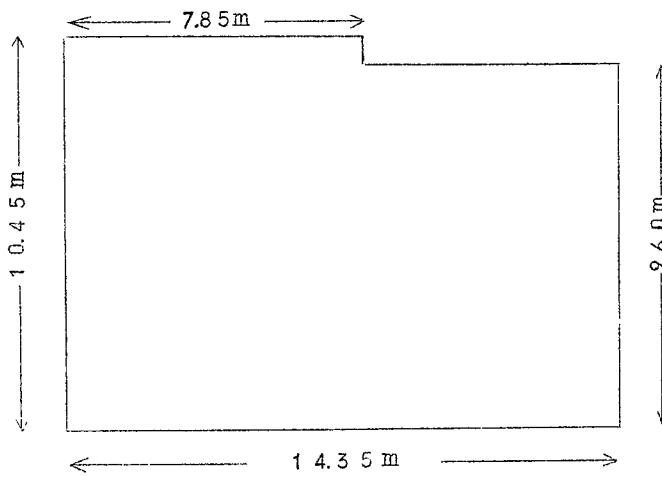
[Fig. 4-3-2]



構造……………(天井) プラスターボード

(壁) モルタルペンキぬり

次に、[Fig. 6-1] は吸音処理による防止対策前・後のK小学校の廊下及びS小学校、

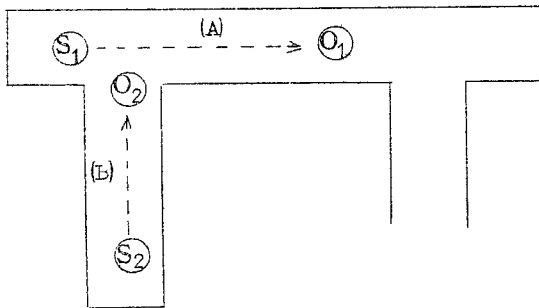


N小学校の廊下(A), (B)の残響時間を表わした結果である。なお、N小学校の廊下(A), (B)とは、[Fig. 6-2] による測定の場合である。

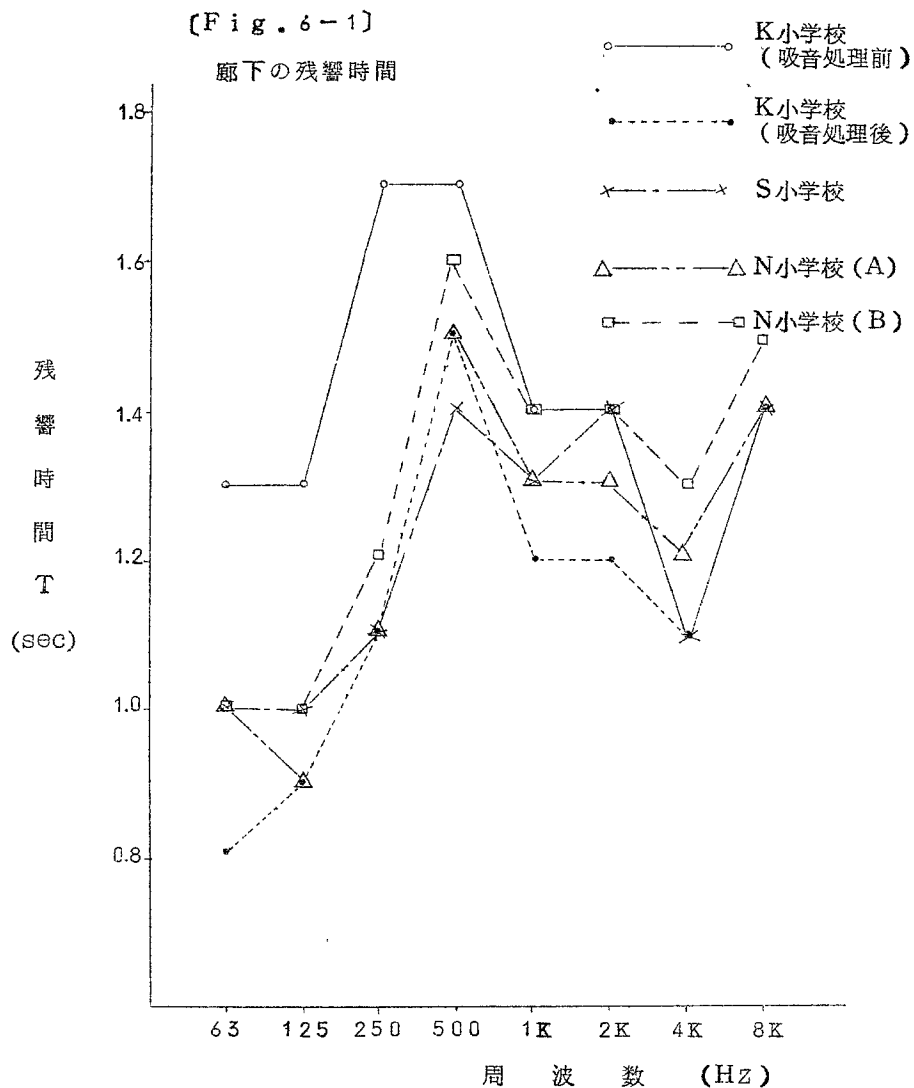
また、参考のため、当公害センターの廊下の残響時間を測定した結果が、[Fig. 7] である。

[Fig. 4-3-4] 講堂(公害センター)平面図

N小学校の廊下の平面図 [Fig. 6-2]



- (A) { 音源 ……………ポイント S₁
 マイクロホン ……………ポイント O₁
- (B) { 音源 ……………ポイント S₂
 マイクロホン ……………ポイント O₂

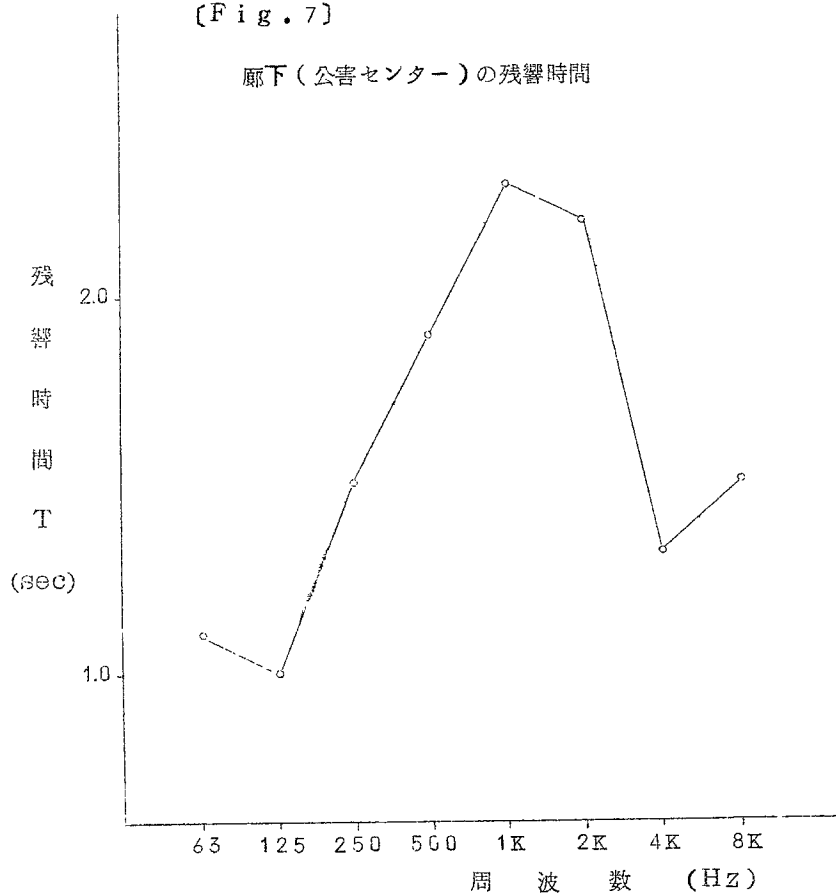


次に、[Fig. 8-1] , [Fig. 8-2] , [Fig. 8-3] は吸音処理による防止対策前・後のK小学校の階段、及びS小学校、N小学校の階段の残響時間を表わした結果である。

また、同様に参考のため当公害センターの階段の残響時間を測定した結果が [Fig. 9] である。

[Fig. 7]

廊下（公害センター）の残響時間

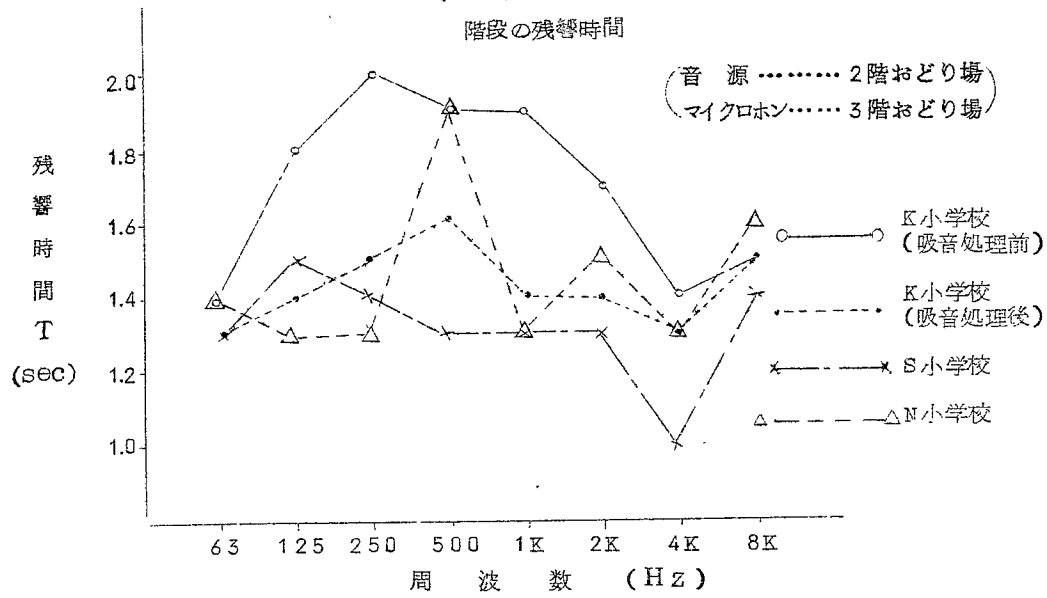


4. 考察

当公害センターの実験室（1階）と実験室（2階）を比較すると、1階の部屋は天井にミクライト吹付けによる吸音処理が施されているが、それ以外の構造、形状はほぼ同じとみなすことができる。そこで、[Fig. 4-1]、[Fig. 4-2]、[Fig. 4-3-2]より両者を比較することから、一般の室内におけるミクライトの吸音特性を見出すことができる。また、[Fig. 5]は残響室法によるミクライトの吸音特性を表わしているが、これらを総合すると、ミクライトの吸音特性は高音部の減音に有効であることが推定される。

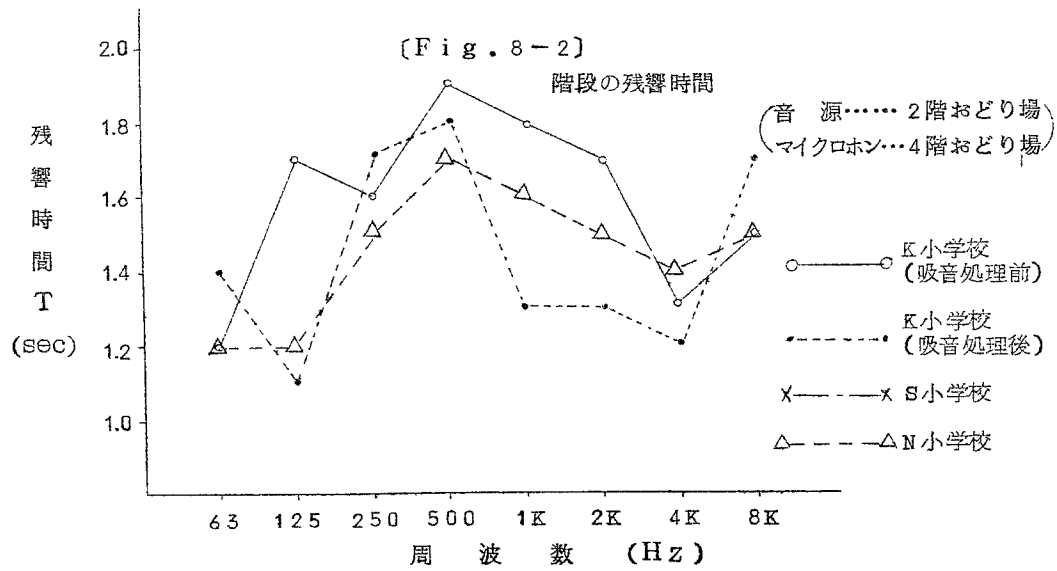
[Fig. 8-1]

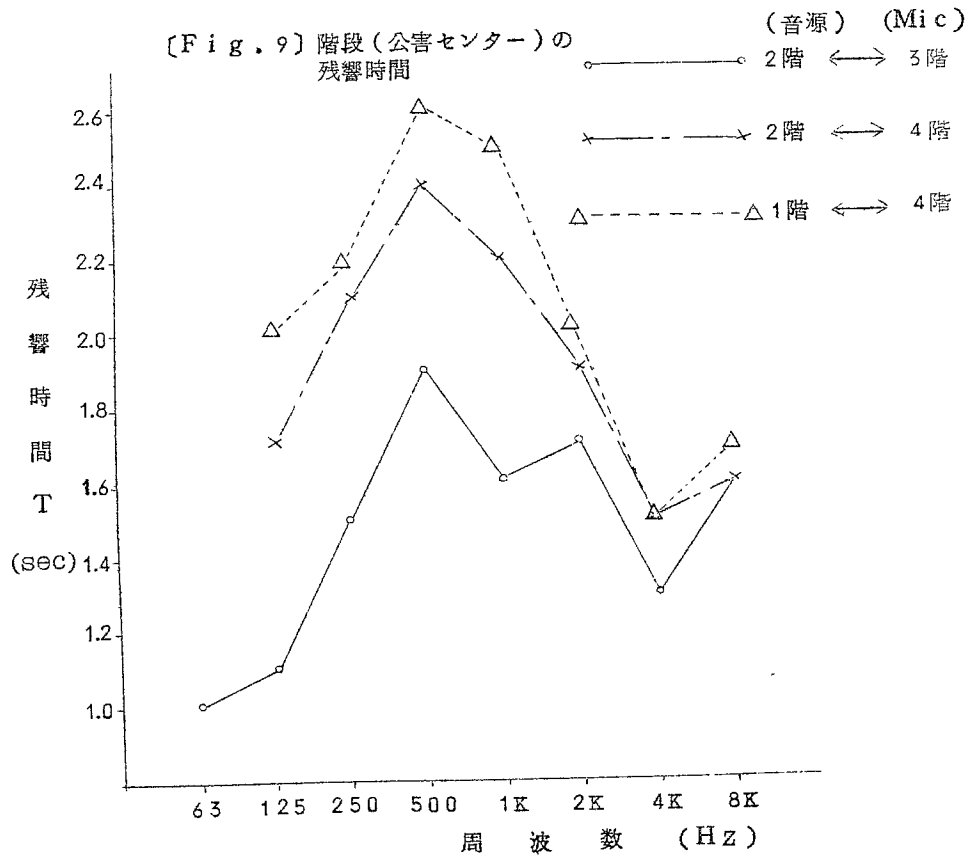
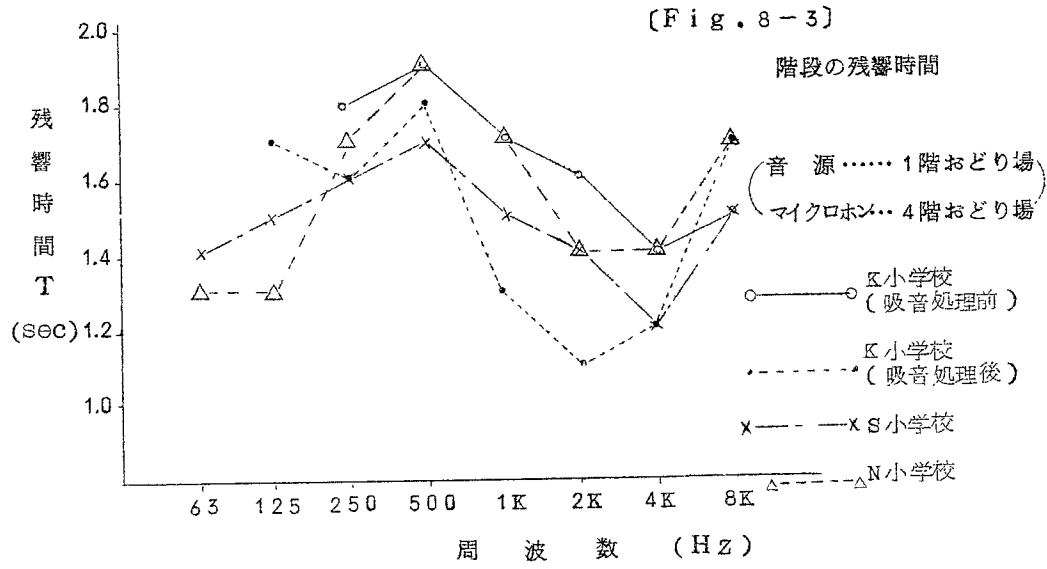
階段の残響時間



[Fig. 8-2]

階段の残響時間





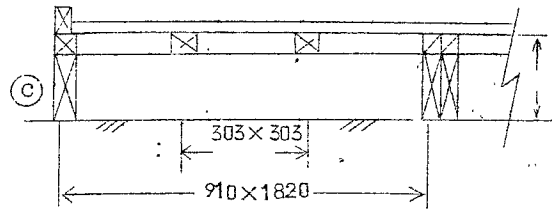
[Fig. 5] 残響室法吸音率

ミクライトAP

規格寸法 厚さ12mm 密度0.35g/cm

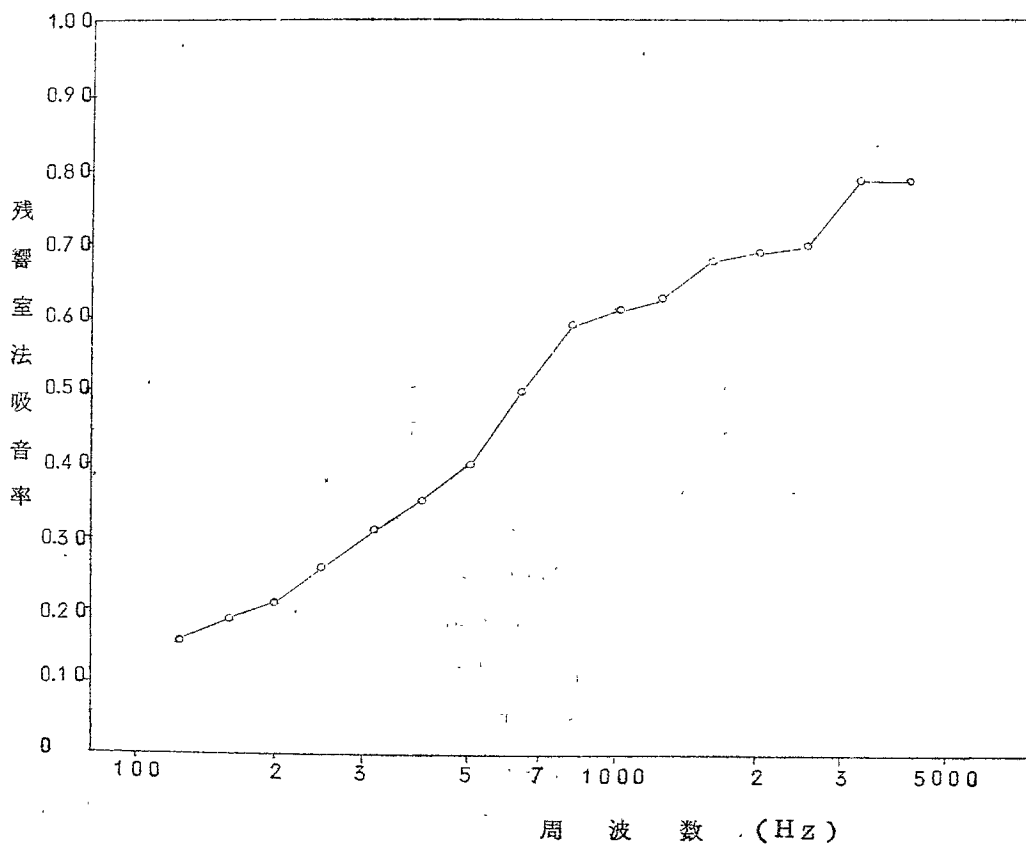
(石膏ラスボードにコテ塗り9mm、吹付3mm)

取付条件 石膏ラスボードは木枠に釘止め下地構造は以下による



測定所 小林理研

測定年月 昭42.4



一方、問題のK小学校の場合、〔Fig. 3〕からわかるように教室の残響時間、平均吸音率、吸音力はS小学校の教室のそれとほぼ同等である。しかるに、S小学校においては授業障害はおきていない。

次に、廊下の残響時間を比較してみると、〔Fig. 6-1〕からわかるようにK小学校の場合は、S小学校、N小学校に比べて、全周波数帯域において、特に低音域における残響時間が長くなっている。

また、階段の残響時間も比較してみると、〔Fig. 8-1〕、〔Fig. 8-2〕、〔Fig. 8-3〕からわかるようにK小学校の場合は、S小学校、N小学校に比べて全周波数帯域で残響時間が長くなっている。特に、〔Fig. 8-1〕（音源：2階おどり場、マイクロホン：3階おどり場）の場合は、K小学校では低・中音域の残響時間が長くなっている。

以上の事柄を総合すると、K小学校でおきている授業障害をとりのぞくためには、教室自体に防止対策をたてることよりも、廊下、階段に吸音処理を施して騒音を減少させ、さらに廊下階段の騒音が教室内に伝わらないように教室と廊下間の遮音を考える必要があるように思われる。

従って、今後学校を新設する際には、教室内の吸音処理も必要であるが、廊下、階段の吸音処理も忘れずに行なうこと、また廊下と教室の“遮音”ということも考え合わせることが望ましいと予想される。

さて、問題のK小学校の場合、既設の建物であるため大がかりな防止対策は施せないで、最も簡単な吸音処理として“ミクライト吹付け”による方法が予想される。そこで、廊下の天井、階段の裏側に“ミクライト吹付け”による吸音処理を行ない、施工後の残響時間を測定した結果が、〔Fig. 6-1〕、〔Fig. 8-1〕、〔Fig. 8-2〕、〔Fig. 8-3〕である。これらからわかるように、廊下、階段ではいずれも吸音処理後は全周波数帯域において残響時間の減少がみられ、苦情の生じていないS小学校、N小学校の場合とほぼ同じ残響時間になっている。従って、今後K小学校では授業障害はおきなくなるものと予想される。

ところで、この調査から、“ミクライト吹付け”による吸音処理の効果は、ミクライト自体の吸音特性が高音域にあるにもかかわらず、廊下・階段に使用した場合は、全周波数帯域で（低音域でも）その効果を充分発揮していることが見出された。

また、今回の調査では、教室内の残響時間だけでなく、廊下、階段においても測定したが、一般に“廊下、階段の残響時間”という言葉は耳にしない。そもそも、“残響”とは、部屋の中で音源を急に断ったとき音がいつとはなしにしたいに減衰して聞えなくなるような過渡現象を表わしており、廊下、階段のように、両端が開放部となっている場所で、継続時間の短い

音を発したとき観測されるのは、残響音ではなく、むしろ直接音に遅れてきた反射音、つまり「反響音」ではないかと推定される。従って、廊下、階段の場合、「残響」という言葉を使うのは正しくないが、それに代わる適当な用語がないのでここでは使用させていただくことにする。また、防止対策の問題を考えると、吸音処理を行なうと、残響時間も減少するが、同時に反響音も減少するので、廊下、階段では反響音の測定から吸音処理の方法を推定させていただくことにした。

5. 検討

〔Fig. 1〕、〔Fig. 2〕に残響時間測定のための一般的測定系統を示したが、個々の問題について検討を加えることにする。

(1) 音源

「白色雑音、震音、競技用ピストル音、いずれによってもほぼ同一の結果が得られるが、精度に関して多少の差がある。」ことが報告されている。そこで、この報告を再確認する方法として、音源に運動競技用ピストル音を使用した場合と、白色雑音発振器の出力を1/3オクターブフィルターを通した帯域雑音を使用した場合の精度の差を、当公害センターの各部屋について比較しながら、現在追跡調査中であるので、その結果は次回に報告する。

(2) 記録器

残響時間測定の場合は、現在では精度が高いという点からB&K社の高速度レベルレコーダが一番よく使われているようである。B&K社製の場合、ポテンシヨメータに50dB範囲、記録紙幅50mmのものを使用し、記録速度1000mm/sec、紙送り速度100mm/secに調節すれば、1000dB/sec以下の入力信号の変化を応動記録することができる。従って、0.12秒の残響時間まで正確に測定できるとされている。

今回の測定の場合は、リオン社製高速度レベルレコーダ(LR-01E)を使用し、ポテンシヨメータに50dB範囲、記録速度300mm/sec、紙送り速度30mm/secに調節して測定を行なった。このときの、高速度レベルレコーダの応動速度は以下の通りである。

帯域雑音	63 Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1 K Hz	2 K Hz	4 K Hz	8 K Hz
応動速度	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38

なお、この測定には帯域雑音によるImpulseを使用し、測定回数は63Hz、125Hzで15回、250Hz、500Hz、1KHzで10回、2KHz、4KHz、8KHz

で5回であった。従って、リオン社製の場合、0.38秒～0.40秒の残響時間まで正確に測定できるが、それ以下の残響時間の測定は不正確になる。

そこで、残響曲線のうち記録器の応動速度が占める割合を調べると、B&K社の場合、応動速度を0.12秒とすると一般の室内では、平均して約10%以下になるのに対し、リオン社製の場合、応動速度が0.38～0.40秒であるため、平均して約20～30%程度となる。このように、リオン社製の高速度記録器は、残響時間の特に短い部屋の測定に使用する場合は、精度の点で多少問題があるように思われる。特に、茨城県の調査によると、木造建築校舎の教室の残響時間は、平均して125Hz、500Hz、2kHzで0.5秒から0.8秒であるため、リオン社の高速度記録器を使用すると、応動速度が遅すぎて、意味のない測定をすることになる恐れがあるので、充分注意しなければならない。

次に、残響時間の測定回数の問題があるが、B&K社の高速度レベルレコーダの場合は、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詳しい調査が行なわれており、それによると「普通、低音域で15回～20回、中音域で10回、高音域で5回程度の観測を行えば測定誤差5～10%の測定を行なうことができる。」と報告されている。リオン社の高速度レベルレコーダについては、まだ報告されていないので、当公害センターでは、音源に運動競技用ピストル音と帯域雑音の両者を使用した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現在調査しているが、まだ充分な量のデータがないので、今回の報告では省略させていただくことにする。

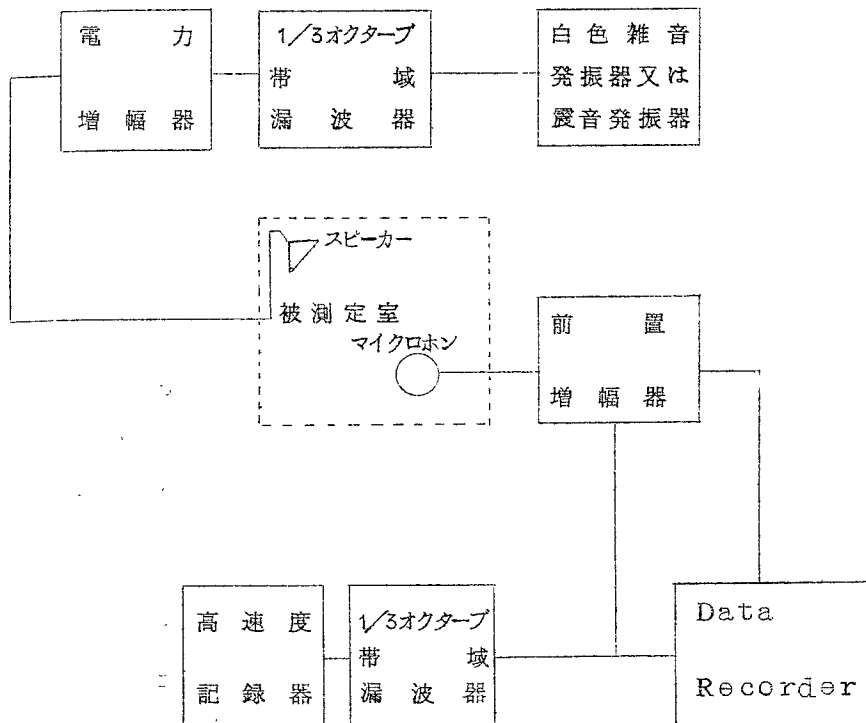
(3) データレコーダ

音源として運動競技用ピストル音を使用する場合は、残響音を磁気テープに録音し、後日これを再生し、フィルターを用いて分析する方法をとるため、データレコーダ又はテープレコーダを使用することになる。今回の調査では、データレコーダ(TEAC R-200)を使用したか、この場合、録音、再生するときの誤差が問題となってくる。そこで、(Fig. 10)に示す測定系統でデータレコーダによる録音、再生の誤差を測定したが、その結果最大誤差は0.1秒であった。従って、データレコーダの録音、再生による誤差は残響曲線にほとんど影響を及ぼしていないと推定される。

6. 結 び

残響時間の測定値から吸音材料を決定し、騒音防止対策をたてるという手段は今回初めて行なわれたわけであるが、まだかなり検討を要する事柄が残されているとしても、一応それなりの成果をあげることができたと言えるのではないだろうか。

[Fig. 10] 残響時間測定系統



特に、音源として競技用ピストル音を使用し、この残響音を磁気テープに録音する方法は、測定が比較的簡単で、短時間で行なえるので、現場で測定する手段としては最適であると言えるのではないだろうか。

ただ問題となるのは、ピストル音を使用した場合の残響曲線の不規則さと、傾斜の読み取り値の誤差がどのくらい大きいかという事と、音源に帯域雑音を使用したときのそれとどの程度差が生じるかという点であるが、この件に関しては、今後詳しく検討し続けていきたいと思っている。

もう一つ重要な問題は、高速度記録器の応動速度を検討しなければならないことである。特に残響時間の短い部屋の測定に際しては、応動速度が0.1秒以下の記録器でなければ、意味のない測定をすることになりかねないので注意しなければならない。

ところで、今後さらに、この種の測定依頼はかなり増えるものと予想されるが、その際には、これらの点に注意するとともに、測定時に応動速度の極めて速い高速度記録器（例えば、B社の高速度レベルレコーダ等）を使用する必要があると言えるだろう。

● 文 献

(1) 音響と振動 五十嵐寿一

(2) 騒音対策ハンドブック

日本音響材料協会

(3) 茨城県学校環境調査報告書

産業公害防止協会

2. 振動の測定・解析についての一考察

1. はじめに

一般的に振動公害は騒音公害の付加的なものであるとする考え方が強い。現実には騒音と振動の発生源はほぼ同一である場合が多いし、騒音対策がただちに振動の軽減を伴ったりその逆の場合も良く起こり得ることである。これらの理由からか、騒音・振動の測定・解析法は極めて似ている。しかしながらここで疑問に思うことは、はたして現状のように騒音を取扱うのとほとんど同じ観点から振動を取扱って良いのかということである。一例をあげると、振動の距離減衰が時として減衰せずに増幅されたり、騒音で言うところの逆二乗則が成立し得なかったりする場合などに、「地質・地盤の複雑さ」と言う極めて抽象的な表現で事を済ませる場合がある。これなど明らかに振動を騒音と同じ概念のもとに取扱おうとしたことからくる不確かさの現われと言える。もとより騒音は一般的に空気と言う様な媒質を伝わる粗密波であり、振動は自由表面を持ち密度が様々に異なる弾性体とし取扱われる地盤に伝播する表面波・粗密波・セン断波なのである。したがって騒音と振動は同じ波動としての共通点があったとしても、実際に両者を取扱う方法としては相違する場合が多いはずである。

我々は以上のことから、振動公害を地盤に伝播する弾性波としてとらえる方法を試みた。本稿では、探鉱及び地質工学の分野で広く利用されている屈折法弾性波探査による波動の分離測定・伝播速度の解析例について述べ、さらに関連解析法を利用した低周波信号の周波数分析と不規則波動の伝播速度・伝播方向の解析方法を紹介するつもりである。

2. パックドレーン打設機から発生する振動の伝播防止に関する調査

ここに述べる実験は埼玉県土木部の依頼により、建設工事におけるパックドレーン打設機からの振動を防止する方法を検討したものである。パックドレーン工法はサンドドレーン工法の一変形で、袋詰め砂杭を軟弱地盤に打込み地盤改良を行うものである。その際袋詰め砂杭をケーシングごと振動させながら打設するため、ほぼ正弦波に近い定常振動を地盤に与える。もとより振源対策は不可能であるので、発生した振動を伝播経路中の溝で遮断する方法の可否を検討した。