

熱海網代トンネル騒音対策

真藤利孝
加藤幸雄
平野 滋
吉田克雄

概要

本報告書は網代トンネル（自動車用）の騒音対策を検討したもので、自動車トンネルの中を走行する時の騒音が熱海側のトンネル入口付近の旅館等に影響しないように、その対策を検討したもので、現場において現状の騒音調査をし、ヒューム管を用いた模型実験の検討により、トンネル入口60mよりの天井に吸音体を付け、腰壁の吸音処理をトンネル入口より中央までするものが良いとの結論を得た。さらに、実際にトンネルの天井に吊下げる吸音体の設計を行ない、模型実験に使用した吸音体以上の吸音効果が得られているかを吸音体のサンプルを作り、測定し、実際の施工に当たっての取り付け方、配置方法をも検討したものである。

1. 序

熱海網代トンネルは全長 525m（全長直線）で断面は半径 4.6m の円の一部で、昭和44年 8 月に開通した。トンネルの伊東側入口付近は海岸に面しているため騒音は問題にならないが、熱海側の入口付近は住宅、旅館、商店等が道路ぞいにあり、これらの住民よりトンネルが開通した事により自動車のトンネル内走行時の騒音が大きいとの苦情が生じた。これはトンネル内がコンクリート打放しのため自動車がトンネルに入ってから出るまで騒音レベルがほとんどさがらないからである。

そこで、何らかの対策を講じる事となったが、トンネルのような特殊な形状内の音の伝播特性は明らかでないため、現地においてトンネル内の音の伝播特性を測定するとともにヒューム管を用いて模型を作製し、有効かつ経済的な対策を講じるための吸音対策を実験検討した。

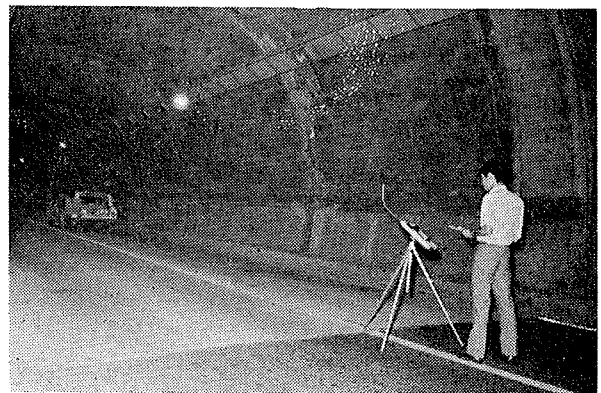
2. 現場測定

2.1. 測定方法

トンネル内の騒音伝播性状を調べるためにトンネル内で一定音圧レベルのノイズを発生する音源を次々と移動させた時、トンネル入口でのレベルがどのように変化するかを測定した。

測定はライトバンにスピーカーを下向きにセットし、（高さはライトバンの床位置）熱海側トンネル入口よ

り40mピッチで道路の中心を移動し、トンネル入口と苦情の出ている旅館前（トンネル入口より55mの松本屋旅館）のレベルをオクターブバンド毎に測定した。またダンプトラックが時速 50km/h で走った時のレベルを旅館前で測定した。なお測定は昭和44年 9 月11日の夜間に行ない、一般の車は通行止として測定したため、測定値は他の騒音の影響は全く受けなかった。



図一1 現場測定 測定用の精密騒音計、分析器、ライトバンの音源スピーカーが見える

2.2. 測定結果

トンネル内を音源が伊東方向へ移動した時の、熱海側トンネル入口および旅館前の位置での音圧レベルの変化を、音源位置 1（トンネル入口より40m点）でのレベルを基準 ± 0 dBとして示すと図一2、図一3のようになる。

図一2の受音点がトンネル入口での測定結果を見る

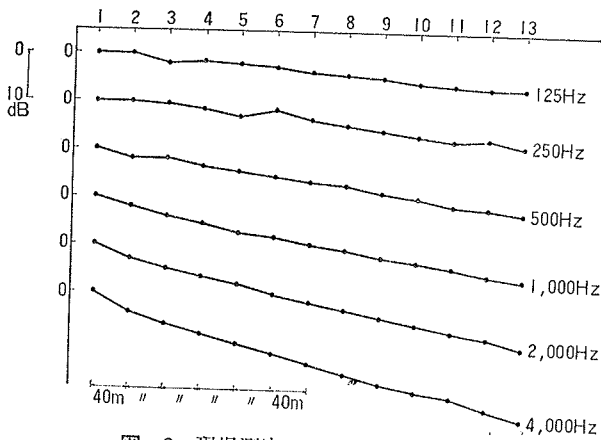
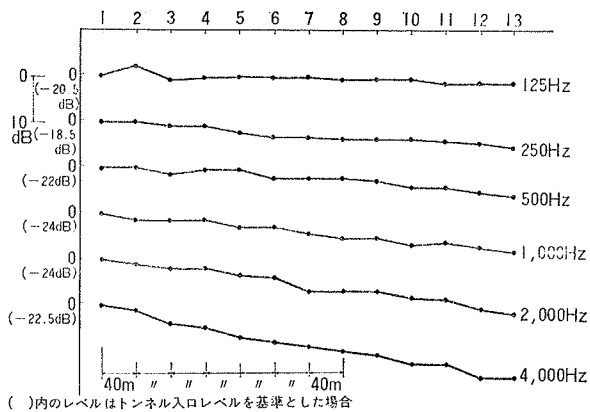


図-2 現場測定 トンネル入口レベル



()内のレベルはトンネル入口レベルを基準とした場合

図-3 現場測定 松本屋旅館前レベル

と、低音域ほど減衰が小さく、騒音源がトンネルをぬけるまでに 125Hz で 6.5dB しか減衰しないのに対して 4000Hz では 25.5dB 減衰している事がわかる。図-3 の受信点が旅館前での測定結果を見るとトンネルをぬけるまでの減衰量はさらに小さくなっており 125Hz で 2dB, 4000Hz でも 11dB しか減衰していない。

自動車が走行中に発する騒音の周波数成分は低中音域の成分が多く、トンネル内の音の減衰は低音域ほど減衰しないので、トンネル内の騒音がほとんど減衰しない結果となっている。

図-4 はダンプトラックが実際に時速 50km/h で走行した時の旅館前のレベル変化を表わしたものである。これを見るとダンプトラックが旅館前を通過して、いったん下がったレベルが、トラックがトンネルに入るとレベルが上がり、トラックがトンネルを出てしまふまでほとんど減衰しないことがよくわかる。

3. 騒音対策

騒音対策としてはトンネル内を吸音処理し、一般道路のように距離とともに騒音を減衰させることであるが、このトンネルは伊東側は海岸であるので騒音は問

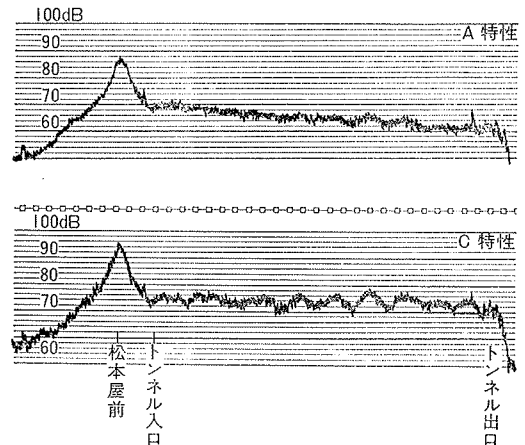


図-4 ダンプカーが 50 km/h で走行した時の松本屋旅館前の騒音レベル

題とならないので、熱海側のみの対策を検討すれば良い。

そこで最も経済的にして有効な対策を見いだすため、トンネルのような形状内の音場は理論上も明らかでないので、模型実験により検討することとした。

3.1. 模型実験

縮尺模型を使って音響状態を調査する事はよく行なわれ、縮尺を $1/n$ とした時、模型の相似則は次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{サフィックス } R \text{ は実物, } m \text{ は模型を示す。} \\ \text{長さ } L_R/L_m = n \quad \text{面積 } S_R/S_m = n^2 \\ \text{周波数 } f_m/f_R = n \quad \text{吸音率 } \alpha_m/\alpha_R = 1 \\ \text{残響時間 } T_R/T_m = n \end{aligned}$$

この相似則にしたがい、ここでは周波数と模型に使用するヒューム管の寸法から、縮尺を $1/32$ として模型実験を行なうこととした。したがって半径 450cm の円の 1 部である網代トンネルは模型にすれば $450/32 = 14.1$ cm の半径の円の 1 部となり、模型に使用したヒューム管は円断面の 1 部をコンクリートでうめ路面とした。

測定周波数は実物の 125~4000Hz に対応して $125 \times 32(4000) \sim 4000 \times 32(12800)$ Hz までとなるが、ここでは実物の 125Hz に対応した 4000Hz を中心周波数とする $1/3$ オクターブバンドノイズについてのみ測定することとした。これは、他の周波数については、吸音材の吸音率が同じであれば、ほぼ同様に考える事ができるし、また周波数が高くなると空気による吸収が無視できず、大気中では模型実験が不可能となる、等の理由によるものである。

測定装置は現場測定と同様に模型自動車にスピーカーを取り付けトンネル内を 1.25m (実物換算 40m) 毎

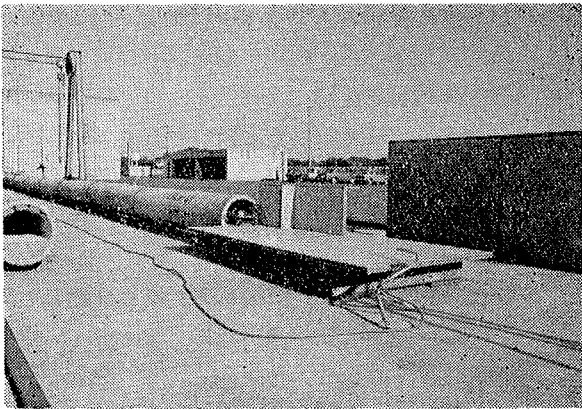


図-5 模型実験 熱海側入口より見る。音源用自動車と受音マイクロホンよう壁が見える。

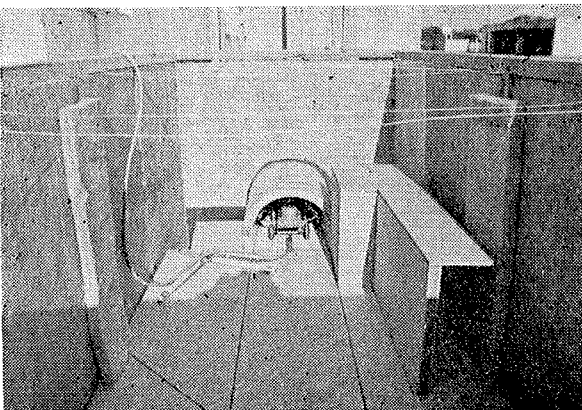


図-6 模型実験 防風用にグラスウールで囲んである。

に移動し、トンネル入口と旅館前で、そのレベルを測定した。

3.2. 吸音対策検討事項

模型実験は吸音材をトンネルのどの部分に、どれ程の大きさで貼ったら効率よく騒音が減衰するかを見いだすことを目的としている。したがって腰壁を吸音処理した場合およびトンネル入口付近に吸音体を吊り下げた場合、どの程度効果があるかを調べるため次の項目について実験検討することとした。

- 1) コンクリートのまま（吸音処理なし）の場合。
（実物との対応）
- 2) 入口よりトンネル全長の1/8までの天井に吸音体を付けた場合。（吸音体の効果）
- 3) 入口よりトンネル全長の1/2までの腰壁部（トンネル断面の円弧部分の1/4づつ、両側で計1/2）を吸音処理した場合。（半長腰壁吸音の効果）
- 4) 3)に2)の吸音体をつけた場合。（半長腰壁吸音+吸音体の効果）
- 5) トンネル全長の腰壁に吸音処理した場合。（全長腰壁吸音の効果）

- 6) 5)に2)の吸音体をつけた場合。（全長腰壁吸音+吸音体の効果）
- 7) 入口よりトンネル全長の1/2まで全周吸音処理した場合。（半長、全周吸音の効果）
- 8) トンネル全長にわたって全周吸音した場合。（全長、全周吸音の効果）

使用した材料は、周壁に貼った吸音材は3mm厚のモルトプレーン、天井の吸音体は25mm厚のグラスウールである。模型残響室において実物の125Hzに対応した4000Hzでのそれぞれの吸音率を求めた結果は表-1の通りである。吸音体のグラスウールの吸音率が1以上になっているのはグラスウールを帯状に間隔をとって並べたため、吸音率は見かけ上の面積に対してであるので、その切口が吸音面と働いているためである。またモルトプレーン3mm厚を吸音材として使用することにしたのは実際のトンネル施工可能な吸音率の大きさに対応させたためでもある。

モルトプレーン 3mm	0.43
グラスウール吸音体	1.14

表-1 4000Hzにおける吸音率

参考に東名高速道路のトンネル内に使用されている吸音材の吸音特性を図-7に示す。これを見ると125Hzの吸音率は0.15程度であり、模型に使用したモルトプレーンの125Hzの吸音率は、0.43と大きい。これは旅館前での騒音レベルは500Hz以上の周波数で決っているので吸音率0.4程度で検討すれば騒音レベルとしての検討と考えられるからである。

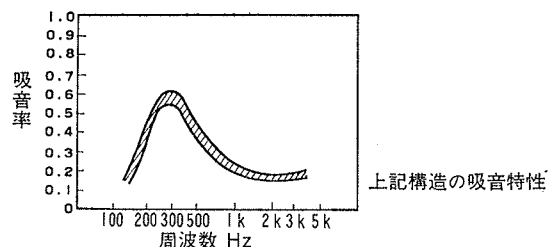
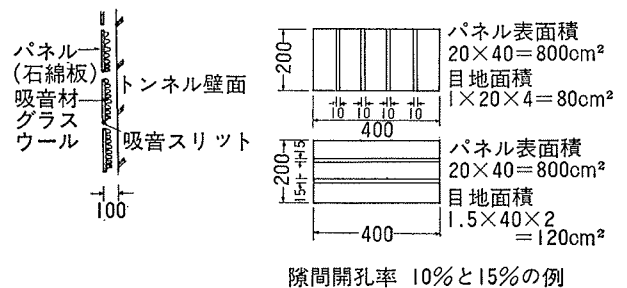


図-7 現在使用されている吸音材の例

3.3. 測定結果

測定位置が松本屋玄関前で音源が松本屋旅館前の時

のレベルを基準値±0dBとの、音源が移動した時のレベルを図示したものが図-8である。次に受音点がトンネル入口で音源がトンネル内を移動した時のレベル変化を示したのが図-9である。

測定結果を検討するに当って、先ず実物と模型実験との対応を比較してみると図-10のようになる。これを見るとトンネルの出口の所で模型の方が3dBほど低下しているが全体的には良く対応しており模型による検討が十分可能なことがわかる。

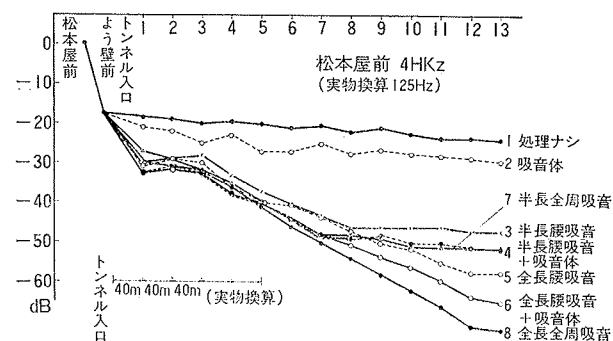


図-8 松本屋旅館前でのレベル

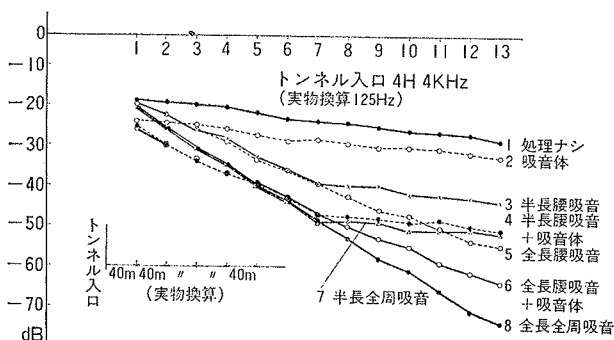


図-9 トンネル入口でのレベル

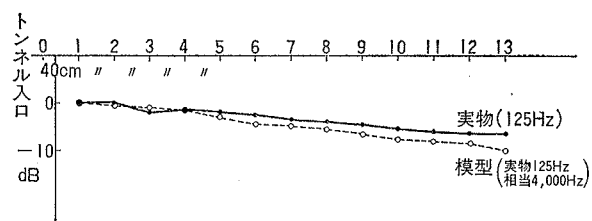


図-10 実物測定結果と模型測定結果の対応(実物、模型ともコンクリート仕上げのまま)

なお、熱海側のトンネル入口にはコンクリートのよう壁があるので模型実験もよう壁を設けて行なった。このよう壁による反射音の影響を模型において検討したところこの影響は全く認められなかった。

3.4. 検討

測定結果より次のような事がある(ただし125Hzを中心周波数とした1/3オクターブバンドについてであり、壁体に使用した吸音材の吸音率は0.45, 吸音体の吸音率は1.14である。)

- 1) 吸音体の効果はトンネルに自動車が入ってから出るまでのレベルをほぼ一様に5dB程度下げる。
- 2) 腰壁に吸音材を貼った場合は、自動車がトンネル内をある程度入ってから、吸音材が貼ってある範囲内で、40m入る毎に3.5dB程度下がる。
- 3) 全周囲に吸音材を貼った場合は40m入る毎に4.5dB程度下がる。

ここで先に現場測定を行なったダンプカーがトンネルを時速50km/hで

- 1) 一台通過した場合
- 2) 二台が250mの間隔で通過した場合
- 3) 二台がトンネルの両端より同時に入って中央ですれちがう場合の3つの場合について、トンネル

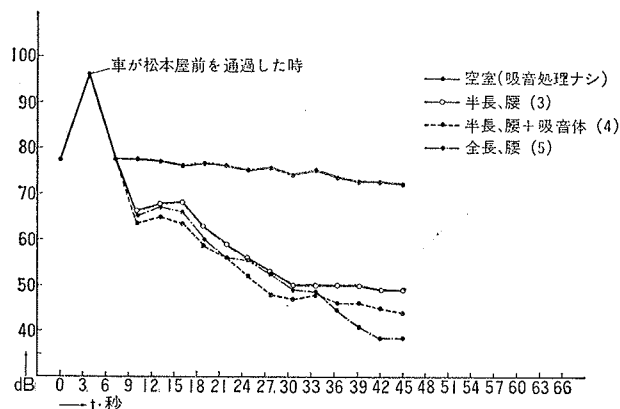


図-11 ダンプカー1台のみ走行(V=50km/h)の騒音レベル

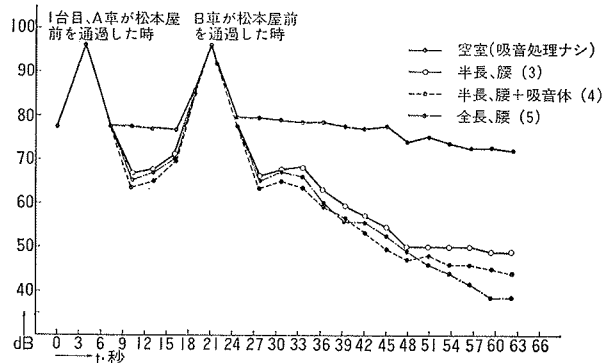


図-12 ダンプカー2台走行(但し250m差で走行 V_A=50km/h, V_B=50km/h)

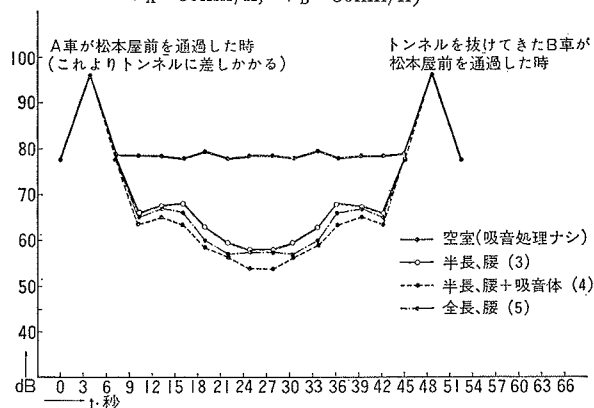


図-13 ダンプカー2台走行(但しトンネルの中央ですれ違う場合) V_A=50km/h, V_B=-50km/h

内が現在のまま、半長腰吸音のもの、半長腰吸音+吸音体のもの。全長腰吸音のもの、について、旅館前でのC特性レベルの変化を計算し、これを図示すると図-11, 図-12, 図-13のようになる。

4. 吸音体の検討

4.1. 吸音体の検討

模型に使用した吸音体の吸音率は、実物換算の125 Hz で $\alpha = 1.14$ であるので実物の吸音体についても吸音率1.14以上ないと、模型の場合のような減音は、期待できない。

吸音体のユニットは大きな吸音率を期待し、さらに施工の容易な形から図-14のような形とし、アングルでフレームを作り、エキスパンドメタルで囲い、この中にグラスウールをポリエチレンフィルム100ミクロンでつつんで充填したものである。

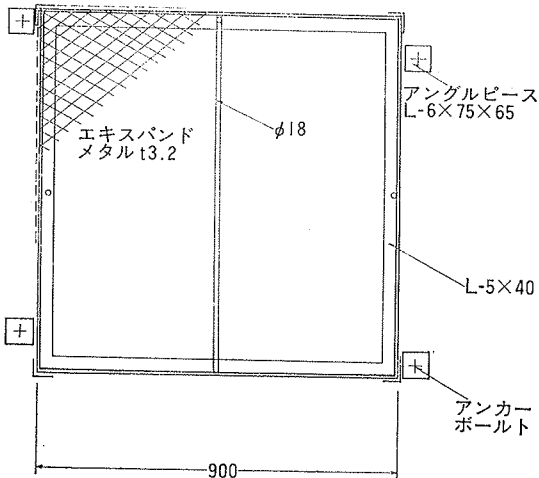
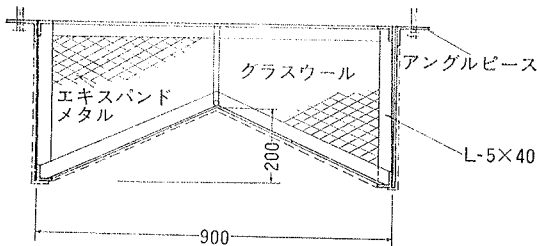


図-14 吸音体ユニット

4.2. 吸音体の吸音率および吸音力

吸音体のみかけ上の吸音率および1個当りの吸音力を、9個の吸音体を用いて次の3通りについて求めた。

- 1) 吸音体の間隔を10cm間隔で並べた場合。(見かけ上の面積 $2.9 \times 2.9 \text{m}^2$)
- 2) 吸音体の間隔を20cm間隔で並べた場合。(見か

け上の面積 $3.1 \times 3.1 \text{m}^2$)

- 3) 吸音体を10cm浮かし、10cm間隔で並べた場合(見かけ上の面積 $2.9 \times 2.9 \text{m}^2$)

なお、吸音率、吸音力の測定に使用した当技研の残響室は不整形の五角形平面で、室容積 $V = 218 \text{m}^3$ 室表面積 $S = 215 \text{m}^2$ である。拡散板が吊ってあり、JIS規定に合致した残響室である。

測定方法および吸音率の算出はすべてJIS規定にもとずき、吸音率、吸音力は次式によって求めた。

$$\alpha = \frac{55.3V}{C \cdot S} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)$$

$$A = \frac{55.3V}{CN} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)$$

α : 吸音率

A : 吸音力

N : 吸音体の数 $N = 9$

T_1 : 吸音体を入れた状態における残響時間(sec)

T_0 : 吸音体を入れない状態における残響時間(sec)

V : 残響室容積 (m^3) 218m^3

S : 試料面積 (m^2) 見かけ上の面積

C : 音速(m/s) $C = 331.5 + 0.61t$ t : 温度

4.3. 測定結果および検討

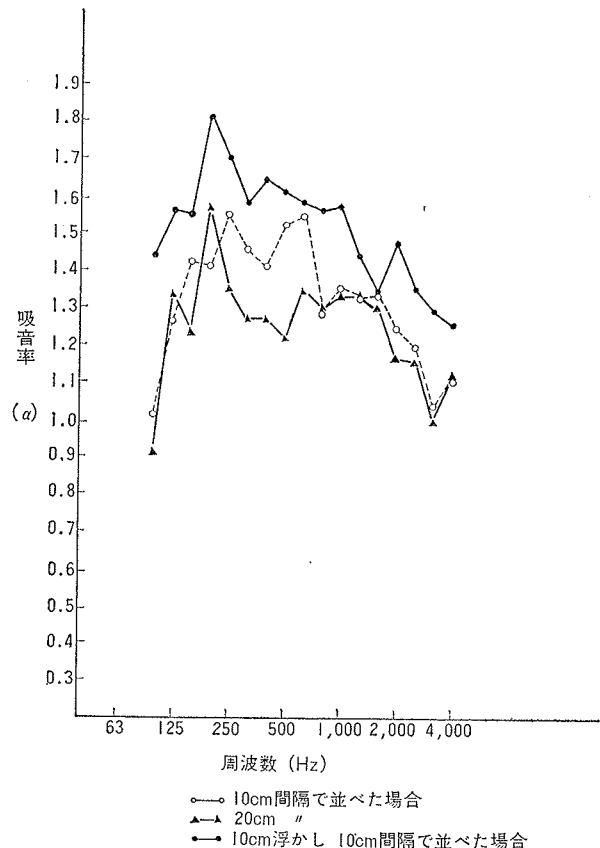


図-15 吸音率比較図

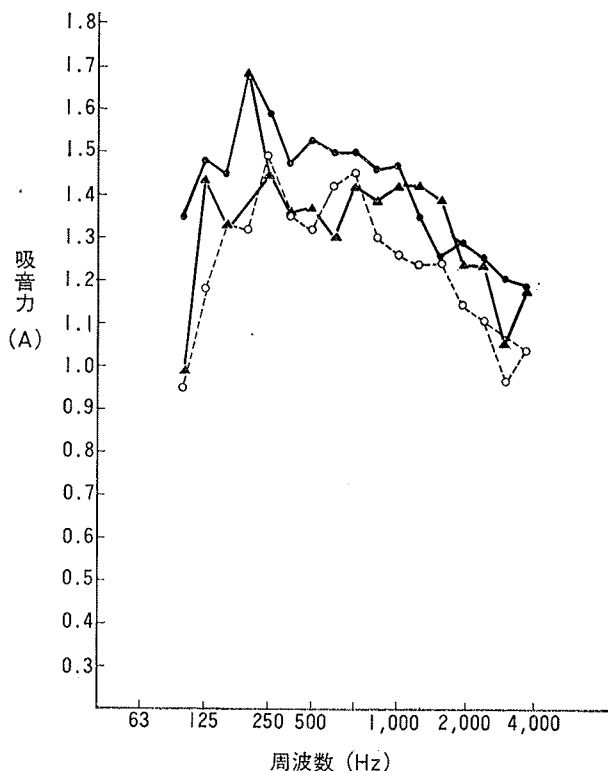


図-16 1個当り吸音力 (m² Sabin) 比較図

測定結果を3通りについて、吸音率の比較を図-15 吸音力の比較を図-16に示す。

これをみると125Hzにおいて、いずれの場合も吸音率1.1以上あり、また中高音域においても吸音率は1を上まわっており所期の目的を達した吸音体となっている。

吸音率および1個当りの吸音力とも、10cm 浮かし10cm 間隔で並べたものが大きな値を示している。しかしこの実験は吸音体9個で行なったもので実際にトンネル天井に並べた場合は吸音率は低下するので吸音率はなるべく大きなものが望ましい。

5. 結 語

以上の検計結果から次のような結論が得られる。

- 1) トンネル入口より120m までの間に常に車がー

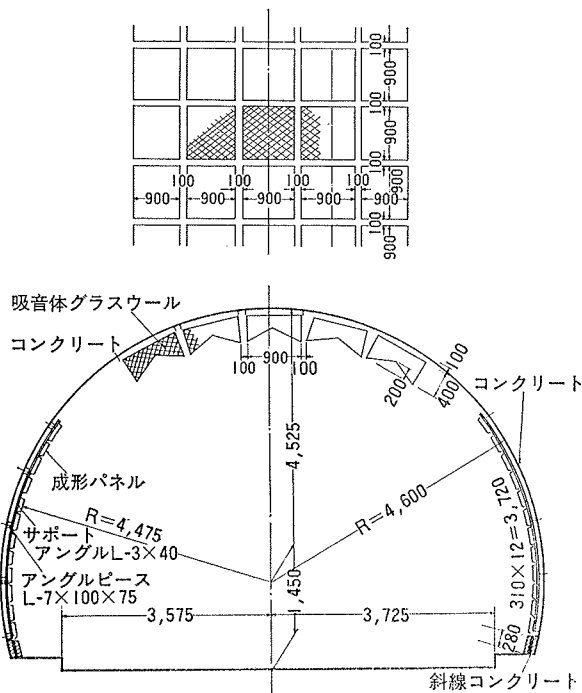


図-17 吸音体配置図

台走行している場合は、旅館前でのレベルはこの一台によってほとんど決まるので、吸音体の使用が有効であり壁面の吸音材は全長に処理しても、半分まで吸音処理した場合とその効果はほとんど変わらない。

2) トンネル内を一台の自動車が走行している場合は全周全長吸音+吸音体のものが自然の距離減衰に近くなり理想であるが、車の発する騒音の絶対レベルから考えると半長腰壁吸音+吸音体の処理を行なえばトンネル中央をすぎると45dB 程度となり十分と考えられる。

したがって、車の通行量、実際の施工の容易さ、経済性等を考えれば、半長腰壁吸音+吸音体のものが最良と考えられる。

吸音体は図-17に示すように、天井より10cm 離して、トンネル長手方向、円弧方向とも、10cm 間隔で取り付けるのがよい。

なお、以上のような網代トンネルの吸音対策が実施され、その後の現場測定が行なわれたが、詳細については、目下検討中なので続報に記すことにした。