

## 7. 道路交通騒音に関する模型実験

### 一第1報 実験装置の特性試験と2,3の実験例について一

Scale Model Experiments Traffic Noise Control  
—Part I. Acoustical Characteristics of the Devices for Scale  
Model Experiments and Some Experiments—

※

枝雅之・鈴木富雄・沖山文敏・見留与吉

Masayuki EDA, Tomio SUZUKI, Fumitoshi OKIYAMA, Yokichi MITOME

#### 1. まえがき

近年、騒音防止対策を行なうにあたって縮尺音響模型実験による検討が、有効な方法としてとりあげられる傾向にある。騒音防止のための模型実験は次の点において有効である。騒音の伝搬性状を立体的かつ広範囲にとらえることができ、計算や理論の上では取扱いにくい複雑な現場の状況に対しても、目的に適合した模型で検討することにより、対策等を実験的に予測することができる。しかし、現在の測定系統等において満足のいかない面もあり、今後の模型実験の技法の上で改良を行なう必要がある。本報告は、道路網の発展に伴ない、複雑化している道路周辺地域に対する道路交通騒音の影響とその防止に関する模型実験を行なったので報告する。

#### 2. 実験の方法

道路交通騒音の伝搬、分布の性状を求めめるため、実物道路を正確に $1/20$ に縮尺した模型を用いて、防音室内にて実験を行なった。

縮尺 $1/20$ の模型で扱う音の波長は、実際の $1/20$ にしなければならない。周波数 $f$ と波長 $\lambda$ とは、 $\lambda \sim 1/f$ の関係にあるから、模型では実際の音を20倍した周波数の音を使用される。

従来、模型実験に際して、自動車騒音の代表周波数は400~1000 Hzにあると考えられていたことから、測定周波数を決め、その代表周波数の伝搬、分布の性状を求めていた。

今回の実験では、実際の交通騒音スペクトル(産業道路及び首都高速道路)を用いて、100Hz~2500 Hz(模型では2 KHz~50 KHz)の範囲で実際の交通騒音スペクトルを合致させ、測定を行なった。

音源の形態は、交通量の多い場合は線音源として取り扱うのが適当であると考えられることから、模型実験用の機械的線音源を用いた。

模型に用いた材料は、実物と吸音率が等価となる材料を選定し、使用した。

測定手順としては、以上の諸点を十分注意し、道路模型を製作し、その上に設置された音源を

※公害局騒音振動第1課

用い、各実験ごとに音圧レベルを測定することで、音圧分布を求めた。

受音点付近（民地側）の地表面は、地域により異なり、その反射・吸収による影響は複雑であると考えられるので、今回の実験では、道路模型を防音室床面からの反射の影響のない、いわゆる自由空間となる高さ（道路面は、床面より20cm高くし、床面にはグラスウールを敷く）において実験を行なった。

## 2.1 防音室

本実験に使用した防音室は、計器の較正、屋外での騒音の伝搬特性を試験するための模型実験等を行なう目的で作られたもので、平面図を図1に、断面図を図2に示す。

防音室の有効内寸法は、6.0m×5.0m×2.7m（高さ）で、床面を除く5面は吸音材（グラスウール）で吸音処理されており、床面は、コンクリートの上に取外し可能な吸音マットを敷きつめてある。

この防音室の遮音特性は、スピーカー音源のオクターブバンドノイズによる測定では、扉部分でのレベル差は63Hzで30dB程度、1KHzでは60dB程度であり、測定室側でのレベル差は63Hzで35dB程度、1KHzでは60dB程度という結果が得られている。防音室内の暗騒音は通常時で25dB(A)以下である。（図3参照）

### 2.1.1 防音室内暗騒音

本実験に用いられる測定周波数帯域（2KHz～50KHz）における暗騒音を室内中央で測定した結果を表1に示す。

なお、この場合の暗騒音とは測定計器のノイズ成分も含めたものを指している。

表1にみるように、超音波帯域での暗騒音は、実験において測定値として得られる音圧に比べ十分低い値を示している。

表1. 防音室暗騒音

周波数(KHz)	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3
音圧レベル	35.0	34.0	33.0	32.5	31.5	31.5	31.0	31.0	31.0

周波数(KHz)	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
音圧レベル	31.0	31.0	31.5	32.0	32.5	33.5	34.0	35.0	36.0

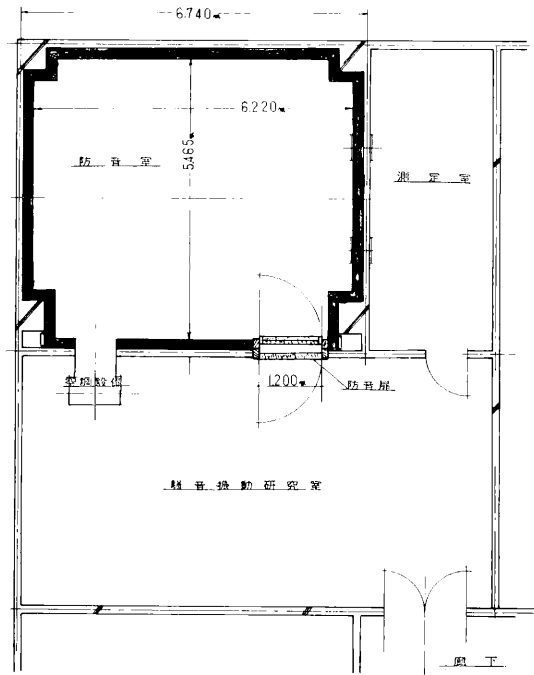


図1 防音室平面図

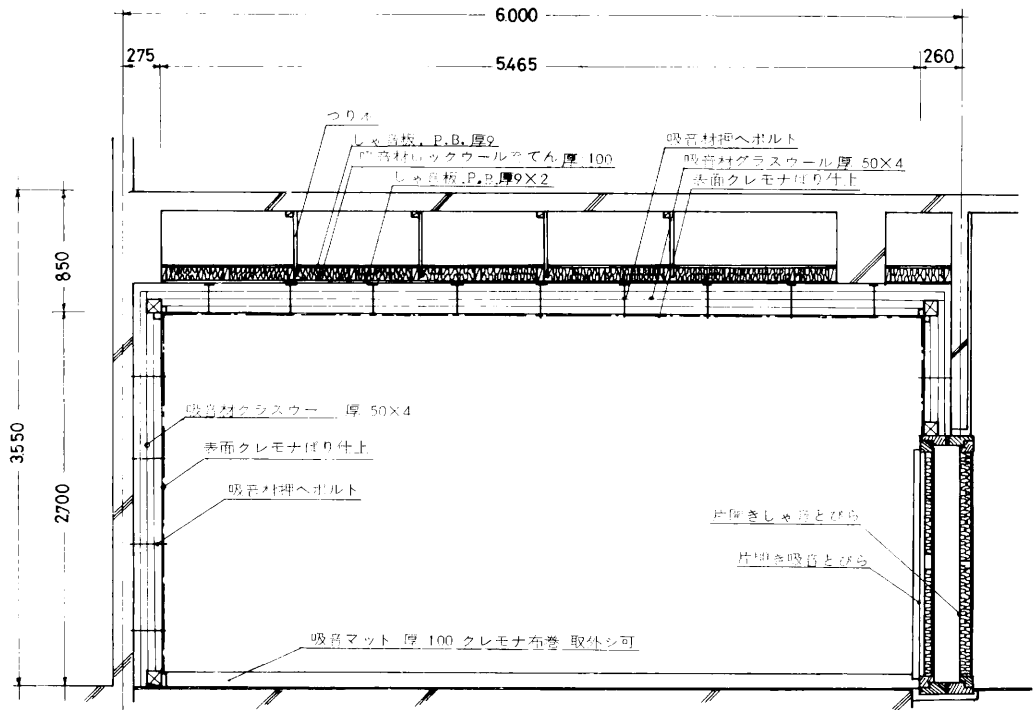


図2 防音室断面図

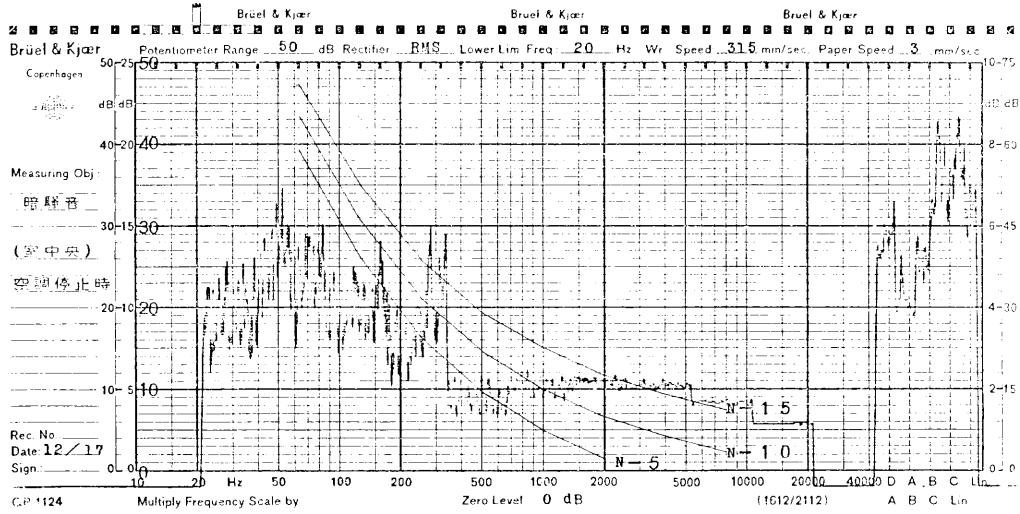


図3 防音室内暗騒音測定結果

### 2.1.2 逆二乗特性

防音室内において、超音波帯域での逆二乗特性は図4のようになる。これはスピーカーを床上1.2 mの高さにセットし、 $\frac{1}{3}$ オクターブバンド白色雑音について測定したものである。グラフの縦軸は相対音圧レベル、横軸は音源からの距離を示している。また、図中に実線で示した直線は、理論的な点音源からの距離減衰( $-6 \text{ dB/倍距離}$ )を示している。この結果より、本実験において使用する超音波帯域ではほぼ逆二乗則が成立し、壁面からの反射は無視しうると考えた。

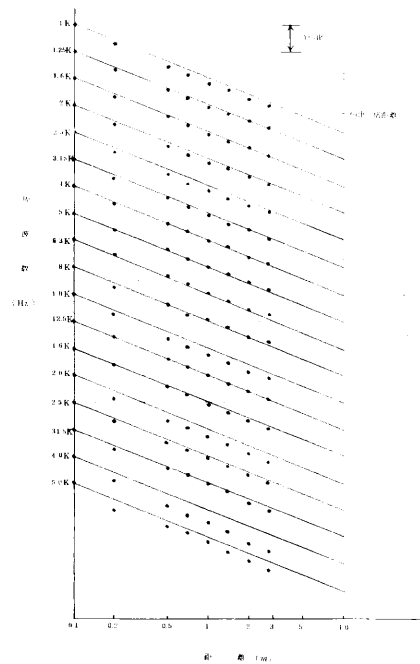


図4 点音源距離減衰特性

## 2.2 模型音源

多数の自動車が連続して走行する道路では、線音源と考えられる。今回の実験では各々の計測ケースとも線音源として扱うに十分であるので、模型音源として線音源を使用した。

模型音源では、高い周波数範囲の音を取り扱うことが多く、高周波成分での出力が十分に大きい音源を得るためにさまざまな工夫がされている。電気音響的なトウィーターを用いる方法や圧縮空気を用いるジェットノイズによる方法などが行なわれているが、模型線音源の条件として、

(イ) 計測に用いる周波数帯域(2KHz~50KHz)の音が十分なパワーがあり、安定していること。

(ロ) 線音源の理論的距離減衰特性として、 $\langle -3\text{dB}/\text{倍距離} \rangle$ を示すこと。

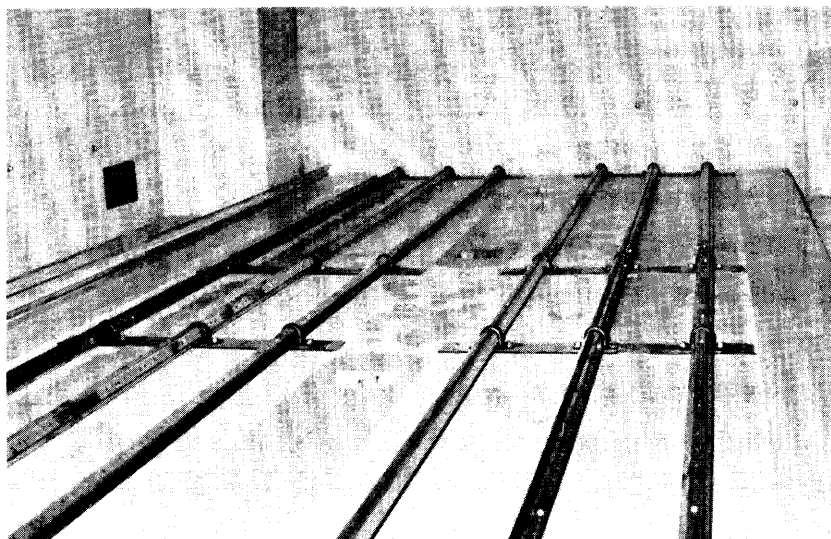
(ハ) 平行方向に指向性のない均一な音圧分布であること。

などが挙げられる。

今回の実験で使用した線音源装置は、図5に示すような機械的線音源発生装置を用いた。

この音源は、200mmの間隔ごとに50個の鋼球を入れたステンレスのカーテンレールを鉄パイプに3本巻きつけたもので、これを回転させることにより、内部の鋼球が互いに衝突したり、カーテンレールの壁をランダムに打撃したりして発生する音を利用したものである。

この音源の音響特性を図6に示す。これからもわかるように測定周波数帯域では十分なパワーが得られている。また、モーターやギヤの騒音の周波数成分は低く、この測定周波数帯域(2KHz~50KHz)への影響は、十分無視し得るものであった。



線音源装置外観

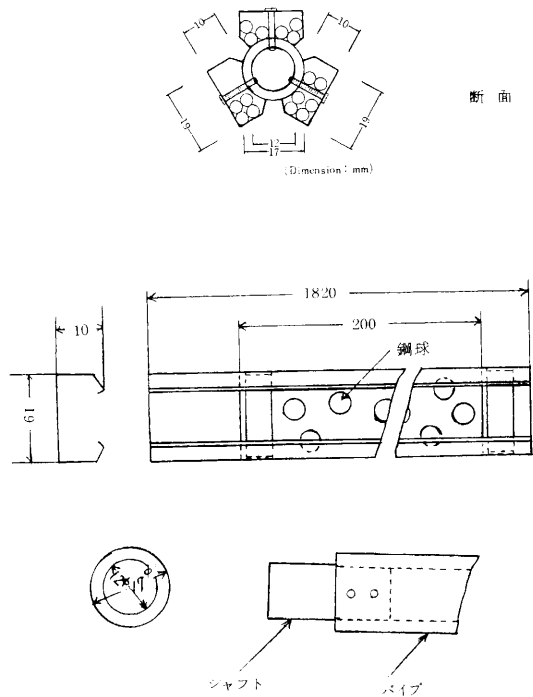
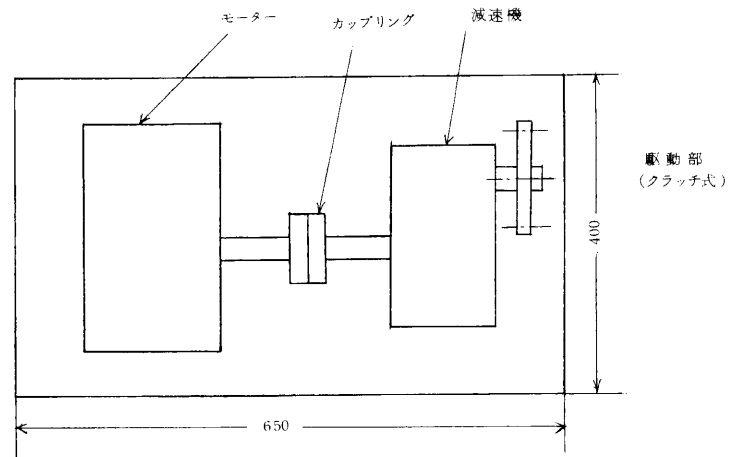
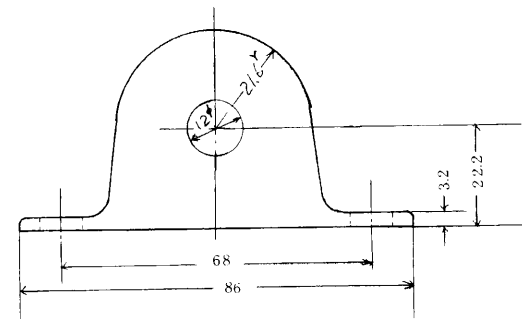
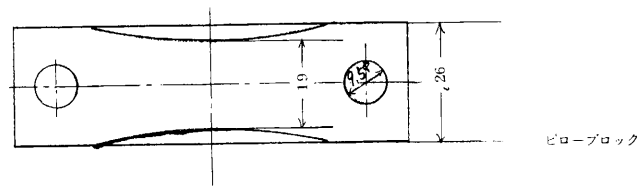
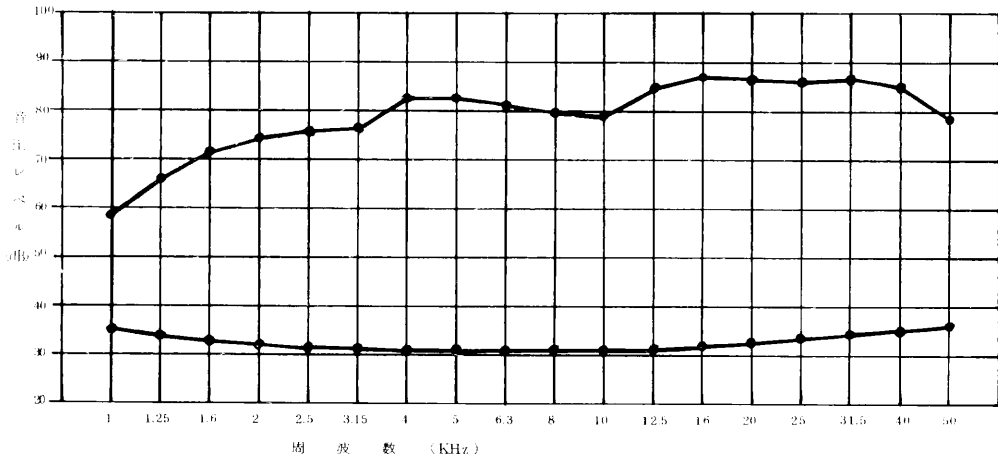


図5 観音原発生装置

カーテンレールと鋼球

パイプとシャフト





(上段は模型音源の音響特性を示し、下段は、防音室の測定計器のノイズ成分を含めた暗雑音を示している)

図 6 模型音源音響特性 (音源中心より 1 m)

### 2. 2. 1 模型音源の距離減衰特性

この線音源装置1車線の距離減衰特性を図 7 に示す。この図より、線音源としての距離減衰特性 ( $-3 \text{ dB/倍距離}$ ) をほぼ示していることが分かる。

### 2. 2. 2 模型音源の平行方向音圧分布

1 車線分の線音源 (長さ 4.48 m) を防音室の床上にセットし、音源中心から  $45^\circ$  方向 3.0 cm の位置で、音源と平行に受信点列 (10 点) を設け、音圧レベルの変化を求めた。各周波数ごとの特性結果は、図 8 のとおりである。各周波数とも両端を除い

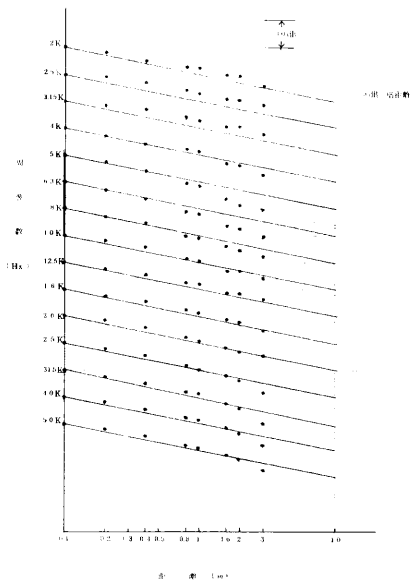
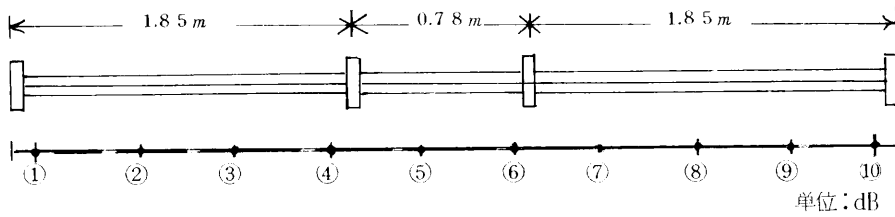


図 7 線音源距離減衰特性

ては 3 dB 以内の範囲でほぼ均一な音圧レベルであり，線音源としては良好である。



単位：dB

位置 Hz	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
2 K	75	76.5	77	76.5	77	77	77.5	77	77	76
2.5 K	76.5	77	78.5	79	78.5	78.5	79	79.5	78	77.5
3.15 K	78	78.5	80	79.5	79.5	80.5	81.5	82	82.5	80
4 K	82.5	84.5	85	85.5	85.5	85	87.5	87	86.5	85
5 K	85.5	86.5	87	87.5	88	87.5	88	87	85.5	86
6.3 K	86	86.5	87	87.5	87.5	87.5	87	87	85.5	85.5
8 K	84	85.5	85.5	85.5	85	85	85	85	85	84
10 K	82.5	82.5	84.5	83.5	83	83.5	83	84	83.5	83.5
12.5 K	87	87.5	88	87	88	88	88.5	89.5	89	88.5
16 K	90.5	92	92.5	92	91.5	91.5	92	92	92.5	91.5
20 K	88.5	91.5	92	92	90.5	90	91	91	91.5	89.5
25 K	85.5	88	88.5	88.5	88	88	88.5	89	89	87
31.5 K	84.5	87	87	87.5	87	87	88.5	88	89	86.5
40 K	81.5	85	85	85.5	83.5	83.5	85.5	85	86	83
50 K	71	73.5	73.5	73.5	72.5	72.5	75	75	75.5	73.5

図 8. 線音源平行方向音圧分布

### 2.2.3 模型音源の指向特性

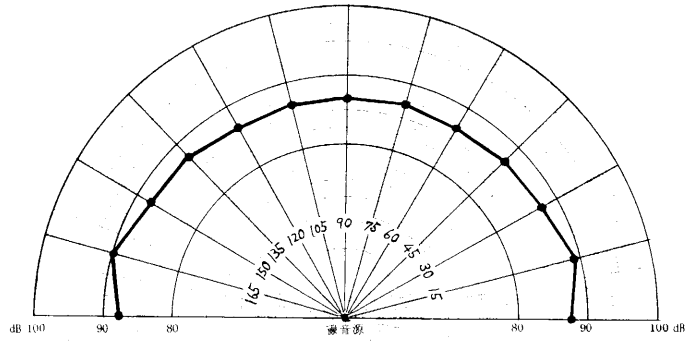
本実験に使用した線音源の軸に対して，直角方向の指向特性を図 9 に示す。

これは，1 車線分の線音源を防音室の床の上にセットし，音源中心から 30 cm の位置で，半円周上を  $\theta = 15^\circ$  おきに 13 点で  $1/3$  オクターブバンドレベルを測定したものである。

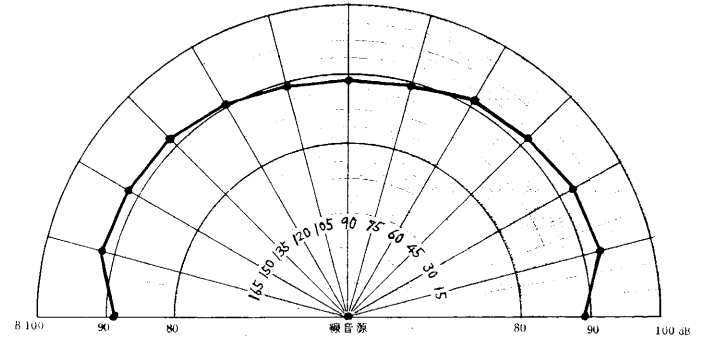
この結果より，本実験に使用した模型音源は，ほぼ円筒状に広がりをもつ理想的な指向特性を持った線音源であることが確認された。



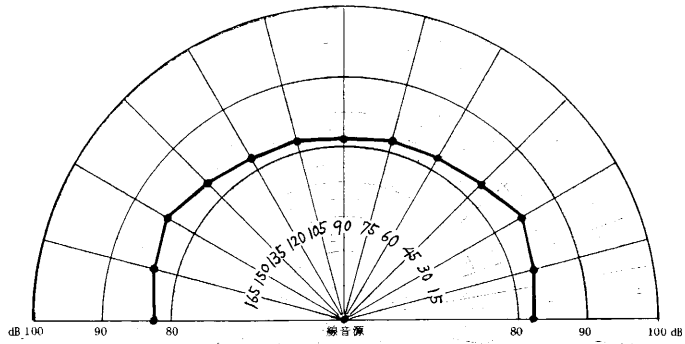
5 KHz



20 KHz



10 KHz



40 KHz

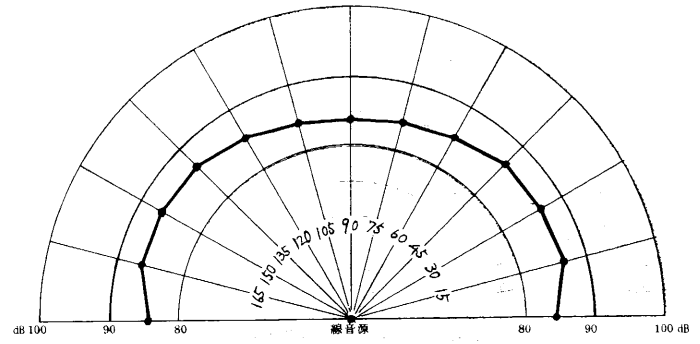


图9 扬声器指向特性

图9-2 扬声器指向特性

### 2.3 模型材料

模型実験において、それに用いられる材料を選定することは、実物と模型との相似則を成立させる上で、重要なことのひとつである。

実物で、例えば、ある周波数に対して吸音率が $\alpha$ の吸音材料は、模型では縮尺比に対応する周波数に対して、吸音率が $\alpha$ でなければならない。

今回の実験では、測定周波数範囲について、模型の表面材の吸音率を実物と等価にするため、既存のデータより、縮尺模型に等しい吸音率を持つ材料を選定した。

実物表面材と模型表面材との比較対照表を表2に示した。そして、これら実物表面材と模型表面材との吸音率の比較対照図を図10に示す。

表2. 実物表面材と模型表面の比較対照表

実物	模型
道路アスファルト部分	ラワン材下地，ポリエステル化粧合板貼り
柱，梁，その他のコンクリート部分	ラワン材下地，ペンキ1回塗り
桁，その他鉄の部分	ラワン材下地，ペンキ1回塗り
吸音性遮音壁	アクリル板（厚さ5mm），ウレタンフォーム10mm貼り
反射性遮音壁	アクリル板（厚さ5mm）

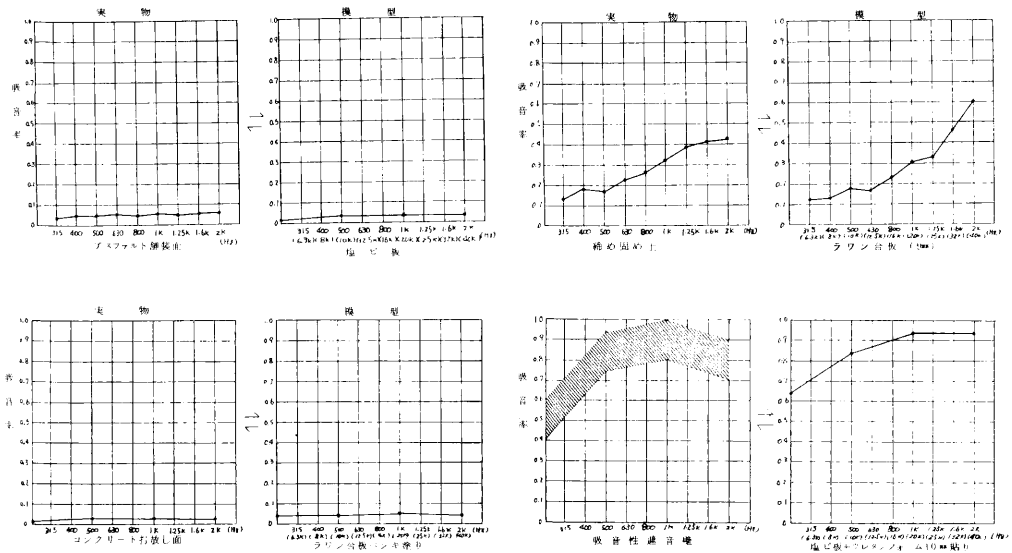


図10. 吸音率比較対照図

## 2.4 測定計器

今回の実験において、音圧レベルの測定は、マイクロホン、増幅器、周波数分析器、レベルレコーダーなどを図 11 に示すように使用した。

なお、音圧分布は、車線に直角方向にマイクロホンを移動しながら求めた。

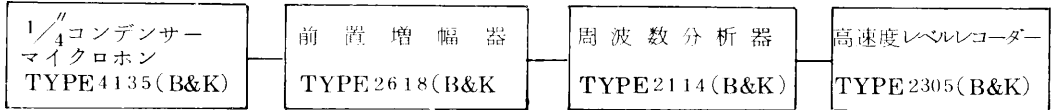


図 11. 実験に使用した計器類のブロックダイアグラム

## 2.5 マイクロホンの指向性

実験に使用した  $\frac{1}{4}$  インチコンデンサーマイクロホン (TYPE4135) の指向特性を、図 12 に示す。

図から分かるように、高い周波数の音域では指向性が非常に強くなっている。このため各測定点において、マイクロホンの向きを上下、左右に動かして音源に向け、そこの音圧レベルを、当該測定点における値とした。

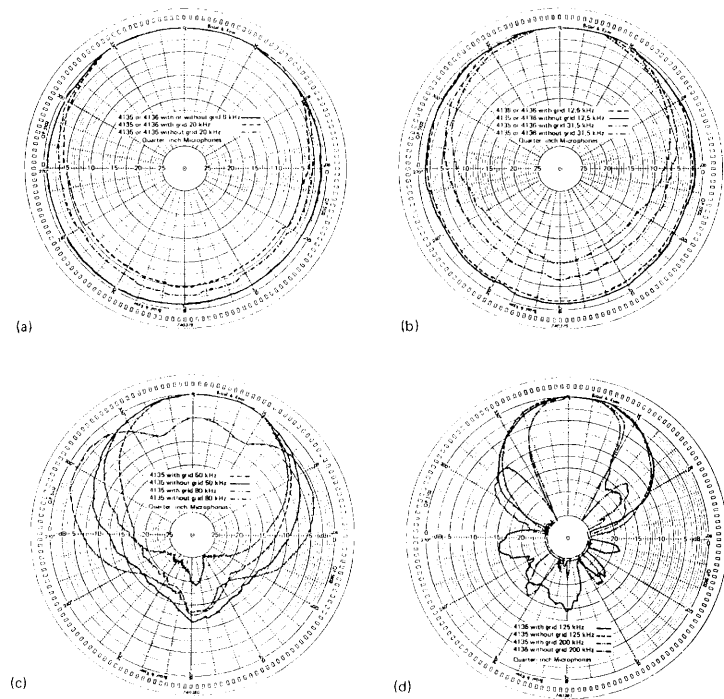


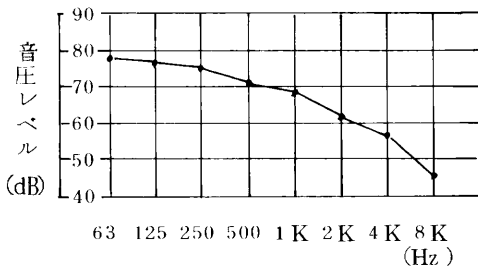
図 12  $\frac{1}{4}$  インチコンデンサーマイクロホン (タイプ 4135) の指向特性

## 2.6 スペクトルの補正

模型音源を使用して計測を行なう場合、模型音源の音響特性（パワー、スペクトル）は常に一定であり、実験時の騒音スペクトルと現場の自動車交通騒音のスペクトルを対応させる必要がある。

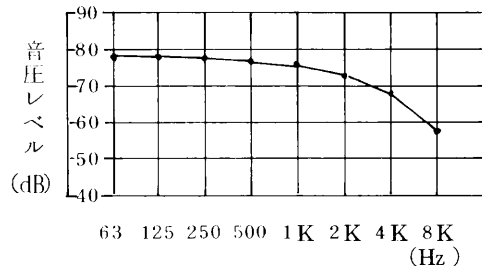
今回の実験では、産業道路（6車線道路）、首都高速道路（4車線道路）で現地騒音測定を行なったが、産業道路では、近接車線際より4m地点、首都高速道路では、2m地点において、路面より高さ1.2m地点の騒音スペクトルを基準スペクトルとして採用した。

現地騒音スペクトルの測定結果（中央値）を図13に示した。



交通騒音スペクトル 図13.1

（産業道路  $l=4m$ ,  $h=1.2m$ ）



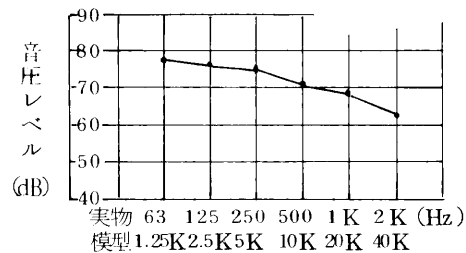
交通騒音スペクトル 図13.2

（首都高速  $l=2m$ ,  $h=1.2m$ ）

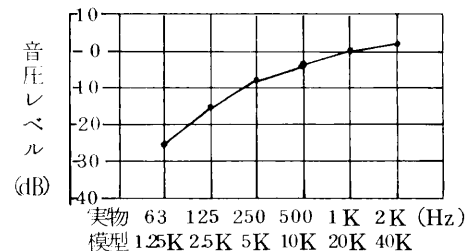
### スペクトル補正の手順

模型音源のスペクトルを産業道路（6車線道路）の交通騒音スペクトルに合わせるための手順を以下に示す。

- (イ) 産業道路において、近接車線より  $l=4m$ 、高さ  $h=1.2m$  点でのオクターブバンドレベルのうち、補正を行う125Hz~2KHzまでの値を図イに示す。
- (ロ) 図イに示された基準スペクトルに対してA特性の聴感補正を行なった結果を図ロに示す。この時の



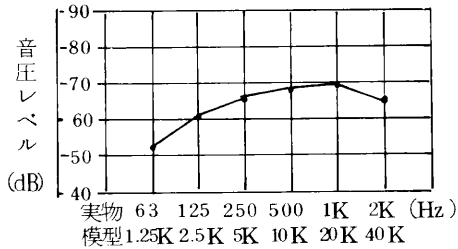
図イ．現地交通騒音スペクトル分析結果



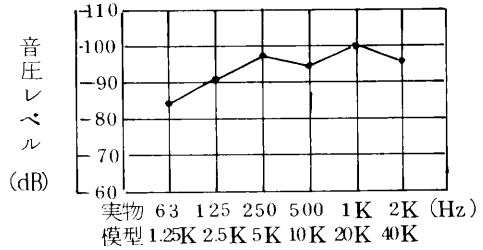
図ロ．A特性聴感補正值

A特性の聴感補正値を図ロに示す。

(イ) 今回の実験で使用している模型音源の産業道路(6車線)基準点( $l=4m$ ,  $h=1.2m$ )での $1/3$ オクターブバンドレベルをオクターブバンドレベルに変換した結果を図ニに示す。



図ハ.基準スペクトルにA特性の聴感補正を行った結果

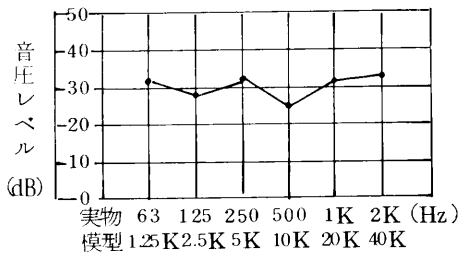


図ニ.模型6車線道路基準点オクターブバンドレベル

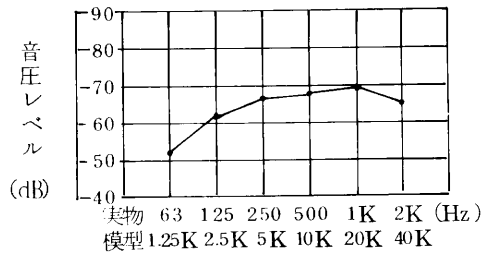
(ロ) 図ニのスペクトルと、図ハに示された産業道路(6車線)交通騒音スペクトルにA特性の聴感補正を行ったものとの差を図ホに示す。

(ハ) 図ホの補正量を入れたプログラムを作成し、計算機(オリベッティ・P602)にセットし、模型音源の基準点での $1/3$ オクターブバンドレベルを測定し、これをオクターブバンドレベルに変換すると図へようになる。

この結果は現地測定結果の図ハに対応している。



図ホ.現地測定結果と模型6車線道路基準点レベルの差



図ヘ.計算機を通しての模型基準点オクターブバンドレベル

このように補正量を組み込んだプログラムを作成し、計算機にセットし、模型音源の測定点のスペクトルを現場の測定点より得られたスペクトルに対応させた。

## 2.7 基準点の騒音レベルの決定

2.6で述べたように、基準点の基準スペクトル(図13)を決定し、騒音レベルは次に示す方法を採用した。

- (1) 産業道路（6車線）では道路端4m，首都高速道路（4車線）では2mで，高さが1.2mの地点での騒音レベルを音響学会式で推定する。
- (2) 基準点の現地騒音測定結果の騒音レベル（産業道路，首都高速道路）と音響学会式との差は±1.0dBの範囲内であった。
- (3) (1)，(2)より，基準点の騒音レベルを，産業道路においては7.4dB(A)，首都高速道路においては8.0dB(A)と決定した。

これらの決定方法に関する詳細データを下表に示す。なお，騒音レベル，交通量等の数値は，昼間4回の測定値の平均である。

表3. 現地騒音測定結果

測定点	騒音レベル (中央値) dB(A)	上り				下り				上下合計	
		車体構成		交通量 台/h	走行速度 km/h	車体構成		交通量 台/h	走行速度 km/h	交通量 台/h	走行速度 km/h
		大型車 混入率	小型車 混入率			大型車 混入率	小型車 混入率				
産業道路	7.4	0.444	0.556	1,188	6.0	0.393	0.607	1,068	6.0	2,256	6.0
首都高速道路	8.0	0.176	0.824	1,836	7.0	0.247	0.753	1,992	7.0	3,828	7.0

## 2.8 推定計算

2.7における騒音レベルの算出は，昭和50年2月に日本音響学会より発表された推定計算式を使用した。

計算内容は次に示すとおりである。

$$L_{50} = L_w - 8 + 2.0 \log_{10} \ell + 1.0 \log_{10} \left( \pi \frac{\ell}{d} \tanh 2\pi \frac{\ell}{d} \right) + \alpha$$

$L_{50}$ ：騒音レベル中央値〔dB(A)〕

$\ell$ ：車線から受音点までの距離〔m〕

$d$ ：平均車頭間隔  $d = 1000 V/Q$ 〔m〕

$Q$ ：交通量〔台/h〕

表4. 実測値と推計値の比較

測定点	実測値dB(A)	推計値dB(A)
産業道路 (道路端4m地点)	7.4	7.3.2
首都高速道路 (道路端2m地点)	8.0	7.9.2

V : 速度 [ km/h ]

$L_w$  : 1台の車から発生する騒音のA特性による平均パワーレベル [ dB(A) ]  
( 2車分類 )

$$L_w = 87 + 0.2V + 10 \log_{10}(a_1 + a_2)$$

$a_1$  : 小型車混入率

$a_2$  : 大型車混入率

$$a_1 + a_2 = 1$$

$\alpha$  : 補正值  $\alpha = \alpha_d + \alpha_i$

$\alpha_d$  : 回折による補正值

$\alpha_i$  : 沿道における地表面条件等種々の原因による補正值

### 3. 測定解析結果及び考察

#### 3.1 模型道路断面

今回行った実験は  $1/20$  の縮尺模型で、基本道路断面を図 14 に示す。平面道路 ( 6車線一般道路 ) の場合とこれに高架道路 ( 4車線高速道路 ) がかった場合の状況下に、各種遮へい条件を変えて計測を行った。

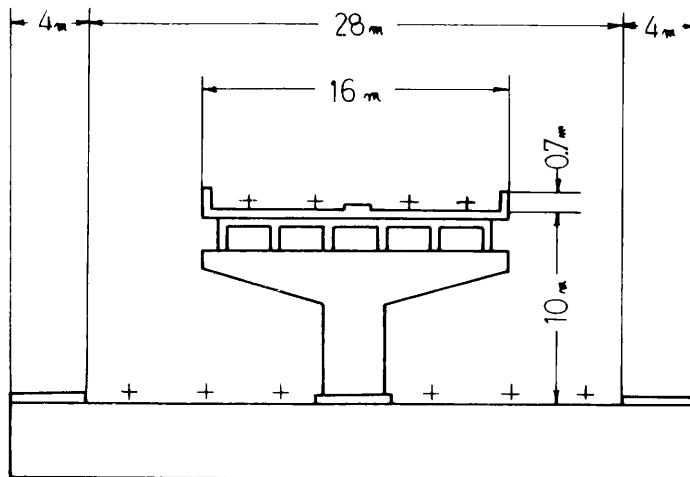
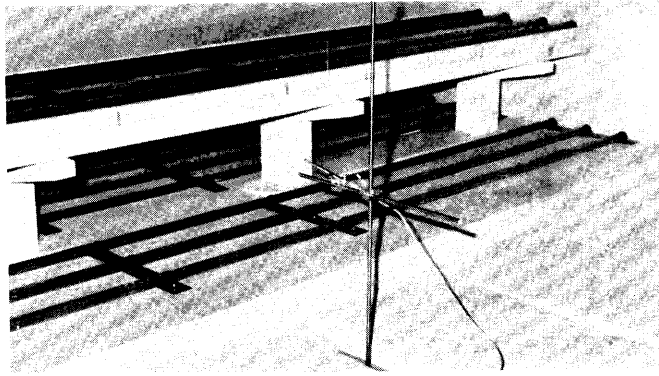


図 14. 基本道路断面図 ( 実物寸法 )



道路模型外観

### 3.2 受信点位置

本実験の受信点は、図15に示すように、高さ方向は、地上0.2 mと2 m, 4 m, 16 mまでとし、水平方向は、民地境界を0 m地点として60 m地点まで測定点を設けた。

### 3.3 実験ケース

今回の模型実験における各実験ケースの条件を次に示す。

#### (1) 道路構造

平面道路(6車線), 高架道路(4車線)

#### (2) 平面道路の場合

イ) 遮音壁の無い場合

ロ) 遮音壁を設置した場合

材質……………反射型, 吸音型

設置位置………受信点側, 反対側, 両側

高さ……………3 m, 5 m, 8 m, 10 m

ハ) 中央分離帯に壁のある場合

中央分離帯の壁

高さ……………3 m, 5 m

両面とも吸音性にしたもの

両側の壁

高さ……………8 m, 10 m

材質……………反射型, 吸音型

#### (3) 高架道路の場合

イ) 遮音壁の無い場合



ロ) 遮音壁を設置した場合

材質……………反射型，吸音型

設置位置………受音点側，反対側，両側

高さ……………2 m ， 3 m ， 5 m

ハ) 中央分離帯に壁のある場合

中央分離帯の壁

高さ……………3 m ， 5 m

両面共吸音性にしたもの

両側の壁

高さ……………3 m ， 5 m

材質……………反射型，吸音型

### 3.4 実験結果

3.3に示す各ケースについて実験を行なっているが，データ数が多いことと紙面の都合の都合上，これらの中から音圧分布の1部を図16～図20に示す。

図16 ……音圧分布図

平面道路音源，遮音壁なし

図17 ……音圧分布図

平面道路音源，遮音壁なし，平面道路の上に高架構造あり

図18 ……音圧分布図

高架道路音源，遮音壁なし(但し，面壁0.7 mあり)

図19 ……音圧分布図

高架道路音源，遮音壁3 m(反射性)

図20 ……音圧分布図

高架道路音源，遮音壁3 m(吸音性)

### 3.5 考察

イ) 図16と図17より平面道路の上に高架構造が設けられた場合，本実験では平面道路の自動車音が高速裏面と路面との間で反射をくり返して，道路近傍において騒音レベルが上昇するという事は見られなかったが，現実にこの裏面反射の問題が起きているので，この高架道路の裏面反射の影響については，高架道路の幅員，高さ，高架裏面の吸音条件及び道路周辺の建物の状況等の諸要因との関係について今後検討する。

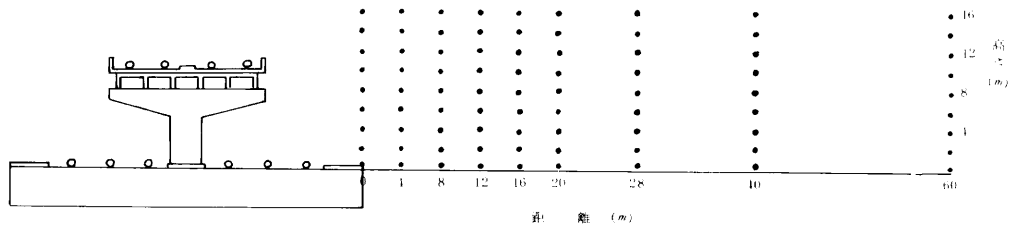


图15 受音点位置图

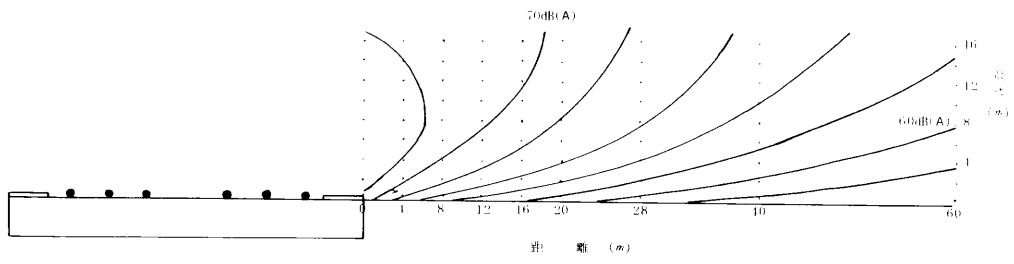


图16 平面道路音压分布图

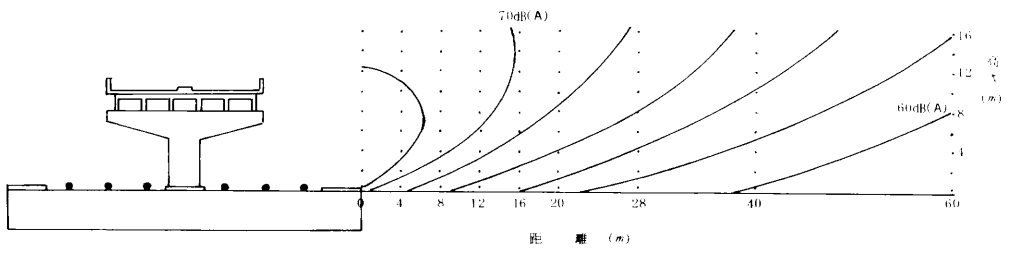


图17 平面道路(高架構造設置)音压分布图

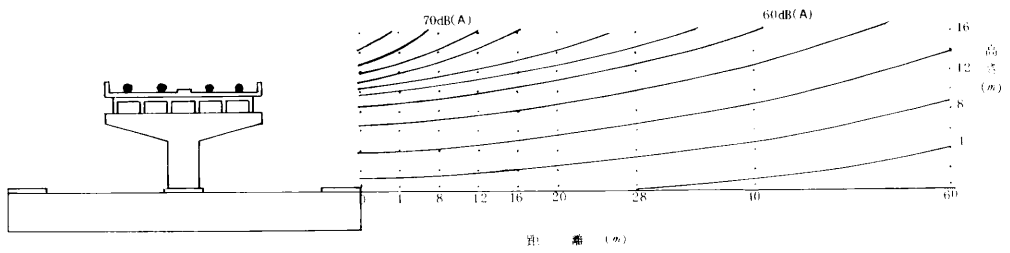


图 18 高速公路音压分布图

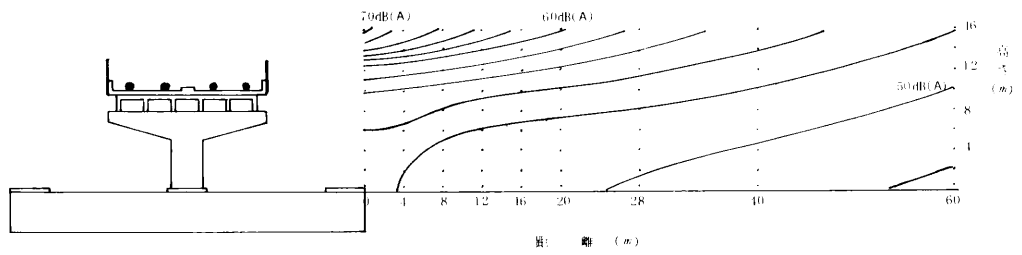


图 19 高架道路 (3m 反射性隔音障设置) 音压分布图

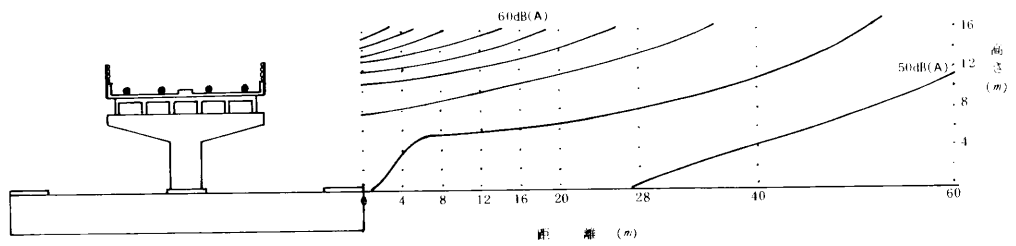


图 20 高架道路 (3m 吸音性隔音障设置) 音压分布图

ロ) 図 18 と図 19 より遮音壁を設置した場合の効果が全体的に大きく見られるが、この遮音壁の高さを変化させていった場合の遮音効果については次回報告したい。

ハ) 反射性遮音壁と吸音性遮音壁の遮音効果については図 19 と図 20 よりはっきりした傾向を見つけることは難かしいようであるが、全体的には反射性遮音壁に比べて吸音性遮音壁の方が遮音効果があらわれていることがわかる。

#### 4. おわりに

本報告では、紙面の都合もあり、各実験ケースの全容を示すことが出来ず、一部のケースについてのみにとどまったが、この実験では多くのデータを得ているので、今後、自動車騒音対策に有効に利用出来るよう処理し、報告する予定である。

#### 参考文献

- 1) 山本照二，若栗尚：スケールモデルによる室内音響研究の実施上の問題点，NHK 技研年報，Vol 8，No. 8（1965）
- 2) 橋秀樹，石井聖光：音響模型実験のための内装材・吸音特性のシミュレーション，日本音響学会誌，Vol 28，No. 4（1972）
- 3) 山下充康，子安勝：線状音源に対する障壁の遮音効果（模型実験による検討），日本音響学会誌，Vol 29，No. 4（1973）
- 4) 山下充康：効果とその測定（縮尺模型実験とその応用），音響技術，Vol 4，No. 1（1975）