

土木研究所資料

沿道の地表面性状を考慮した
道路交通騒音の模型実験に関する研究

昭和63年12月

建設省土木研究所
道路部交通環境研究室

Copyright © (1988) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

沿道の地表面性状を考慮した 道路交通騒音の模型実験に関する研究

交通環境研究室 室長 中山 隆
宮川隆己

要 旨

沿道に存在する地表面は、騒音の伝播に大きな影響を及ぼすと考えられるが、道路交通騒音の模型実験ではそれらの音響特性を再現するまでには至っていない。本資料では、各種地表面の音響特性について調査を行い、それを模型上で再現する材料について調査、検討を行ったものである。

キーワード：道路交通騒音，模型実験，地表面，音響特性

目 次

まえがき	1
1. 研究の方法	2
2. 地表面の音響特性	4
2.1 距離減衰特性	4
2.2 残響室法吸音率	13
2.3 距離減衰特性と残響室法吸音率の関係	16
3. 地表面の再現性	17
3.1 模型材料の収集	17
3.2 模型材料の残響室法吸音率	18
3.3 模型材料の距離減衰特性	20
4. 道路交通騒音の伝播に対する地表面の影響	24
5. 模型実験の適合性	25
5.1 騒音実測	25
5.2 模型実験	25
5.3 適合性の検討	28
6. ま と め	31
参 考 文 献	32

ま え が き

道路交通が交通手段として大きな役割を占めるにともない、自動車の保有台数及び交通量が急激に増大し、主要幹線道路の沿道地域や都市部では、騒音、大気汚染等の公害が社会問題になっている。道路整備事業を行う場合には、環境影響評価が求められ、既存の道路は、各種の環境保全対策が求められることがある。道路交通騒音は、道路環境問題のかかなりの部分を占めており、予測及び対策に関する優先順位も高い。ところで、道路交通騒音の予測は、主に一列等パワー等間隔モデル¹⁾（以下、予測計算式という。）をもとにして行われているが、このモデルは、半無限の平坦な完全反射面付近におけるエネルギー伝播理論にもとづいて導かれたものであるため、複雑な沿道条件のもとの適用には限界がある。それに対して、模型実験ではそのような条件を考慮して検討できるため、有効な予測方法となる場合がある。

模型実験では、相似則を満足させることが実験の精度を上げるうえでの重要なポイントとなる。しかし、道路交通騒音の模型実験において、騒音の伝播に大きな影響を及ぼすと考えられる沿道に存在する各種地表面の音響特性を模型上で再現するには至っていない。そこで、各種地表面の音響特性について調査を行い、それを再現する模型材料について調査、検討を行った。また、それら模型材料及び既存の研究成果を考慮した模型実験を行い、実測値との照合を行うことにより模型実験の適合性について検討している。

昭和 63 年 12 月

1. 研究の方法

研究は、次の手順に従って進め、とりまとめている。

- (1) 地表面の音響特性として、残響室法吸音率及び距離減衰特性を調査し、物理的な境界条件の把握を行う。また、残響室法吸音率と距離減衰特性の関係を検討し、模型材料の選定時における残響室法吸音率の有用性を検討する。
- (2) 模型材料の残響室法吸音率の測定を行い、実地表面の吸音率と比較することにより地表面の特性を再現できる模型材料を選定する。
- (3) (2)の模型材料について、無響室において距離減衰の測定を行い、地表面特性の再現性を検討する。
- (4) 地表面模型材料を使用した道路交通騒音の模型実験を行い、実測値と比較することにより、模型実験の適合性を検討する。

以上の流れを図-1に示す。これより、音響的な相似則に基づいた地表面特性の模型上での再現が可能となり、道路交通騒音の予測手法としての模型実験の精度向上が促進されるものと思われる。

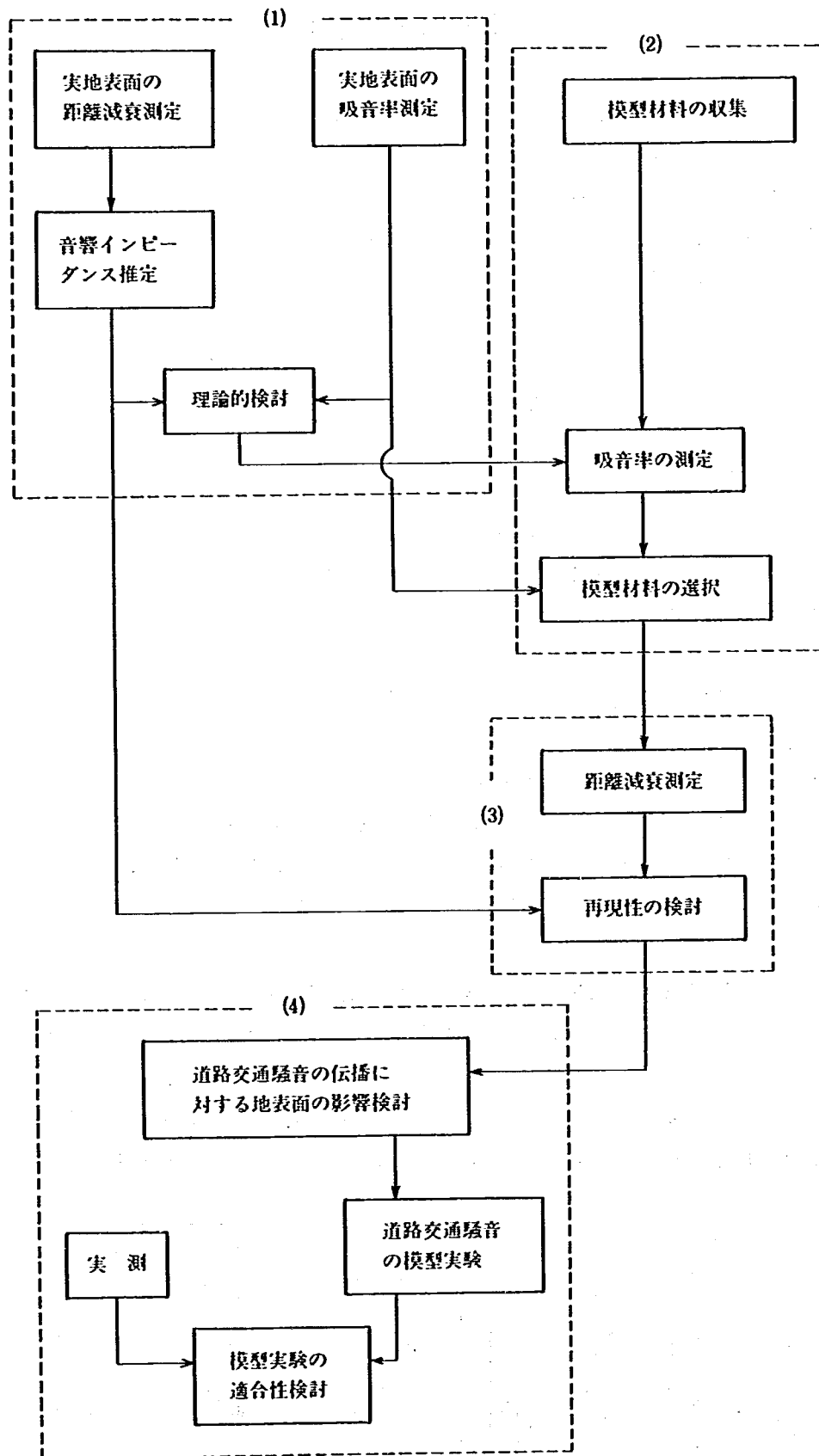


図-1 研究の流れ

2. 地表面の音響特性

騒音伝播において地表面の影響として直接現われる現象は、音の過剰減衰である。ここに言う過剰減衰とは、音源から離れることによって生じる幾何学的な減衰と空気の吸収による減衰以外の要因による減衰で定義される量である。この過剰減衰は、音響的な立場からみると地表面が吸音材として作用しているために生じるものである。一般に吸音材料の特性を表わす物理量としては、音響インピーダンスが最も基本的な値であるが、地表面の場合にはこの値を直接的に測定することは測定誤差が大きいこと、再現性がないことなどが正確に把握することは不可能である。従って、地表面の音響特性としては距離減衰特性及び残響室法吸音率に着目し、調査・検討を行った。なお、この報告書において距離減衰とは、幾何学的減衰、空気の吸収による減衰及び過剰減衰を合わせたものを言う。

2.1 距離減衰特性

図-2に示す音源と受音点の位置で野外測定を行った。対象とした地表面は次の通りである。なお、cについては測定場所の制約上最大受音距離を40 mとした。

- a : 音源から80 mまでコンクリート
- b : " 草地 (30 cm程度)
- c : 音源から40 mまで裸地 (締め固められた状態)
- d : 音源から80 mまで芝地
- e : 音源から40 mまで裸地, 40 mから80 mまで芝地
- f : 音源から40 mまで芝地, 40 mから80 mまで裸地

測定データの分析は、80 Hz ~ 4 KHz (1/3 オクターブバンド中心周波数) について、0.5 秒間隔で500個の瞬時値をサンプリング処理し、 L_{50} 値を算出した。

図-3~8に距離減衰値(音源の出力レベルを基準(0 dB)として相対値で示したもの)を示す。a~dについて音源から離れた受音点での音圧レベルを比較すると、コンクリート及び裸地以外の地表面では吸音効果による大きな減衰が現われている。スペクトルの特性については、直接音と地表面による反射音の干渉作用によるレベルの落込みの位置にずれが生じており、草地及び芝地のように音響的に"ソフト"な地表面、すなわち音響インピーダンスが小さい地表面ほどレベルの落込みの現われる周波数が低域に

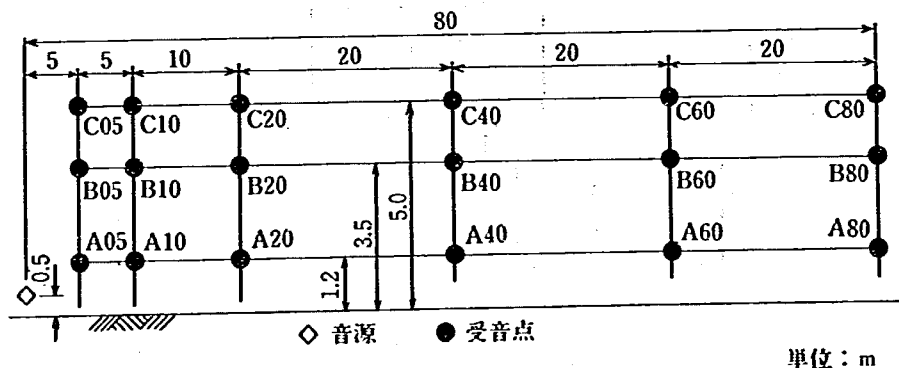


図-2 音源とマイクロホンの位置関係

移行している。

地表面が複数の種類で構成されている場合は、受音距離 60 m 及び 80 m で e と f に音圧レベルの差が生じているのに対し、d と f にあまり違いがみられないことから、音源に近い地表面の特性が支配的であるものと考えることができる。

測定を行った各地表面について音響インピーダンスを決定するパラメータの推定を行った。音響インピーダンスは次のように定義されている。

$$Z_n = \kappa \cdot \rho \cdot c \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Z_n : 音響インピーダンス

ρ : 空気密度 (g/cm^3)

c : 音速 (cm/s)

κ : 比音響インピーダンス

比音響インピーダンスを求めるモデル式としては、簡単さと適合性の良さから Delany & Bazley の実験式²⁾ (式(2)) が多くの調査研究に用いられている。

$$\kappa = 1 + 9.08 (f/\sigma)^{-0.75} + i \cdot 11.9 (f/\sigma)^{-0.73} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 κ : 比音響インピーダンス (複素数)

σ : 流れ抵抗 (cgs rays/cm)

f : 周波数 (Hz)

このモデルは、地表面の音響特性を流れ抵抗値 (以下 σ 値という) という一つのパラメータで表わすものである。各種の地表面に対応した σ 値は、既にいくつかの研究例がある (表-1)。ここでは、各地表面の特性に応じた σ 値を求めるために、 σ 値をいくつか設定してこのインピーダンスモデルを用いて音響インピーダンスを算出し、さらに過剰減衰値を算出した。この過剰減衰値と実測から求められた過剰減衰値を比較し、既存の研究成果を考慮しつつ最適と思われる σ 値を求めた。過剰減衰値の算出には、a~d は川井の近似解⁵⁾ を、e と f は井清のモデル⁶⁾ を用いた。各地表面について求めた σ 値を表-2 に示す。また、この σ 値による計算値と実測値の対応を図-9~14 に示す。

ここで求めた σ 値は、表-1 に示す他の研究結果と比較しても妥当なものと思われる。

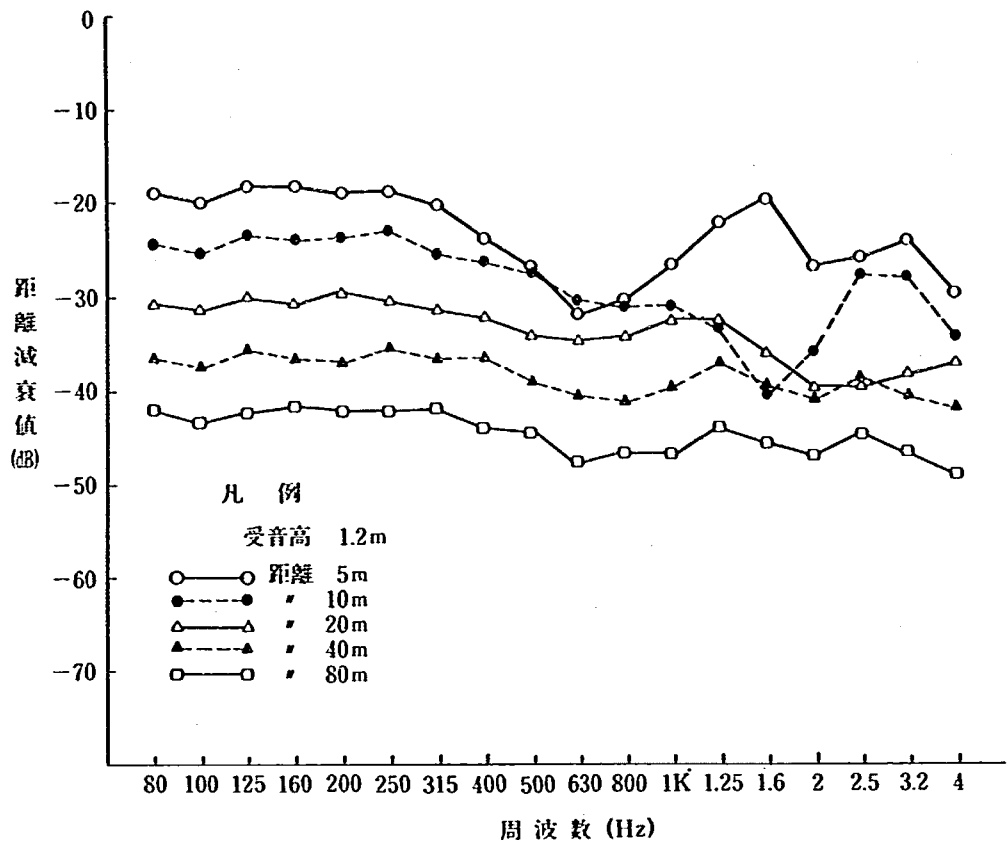


図-3 地表面の距離減衰 (a: コンクリート)

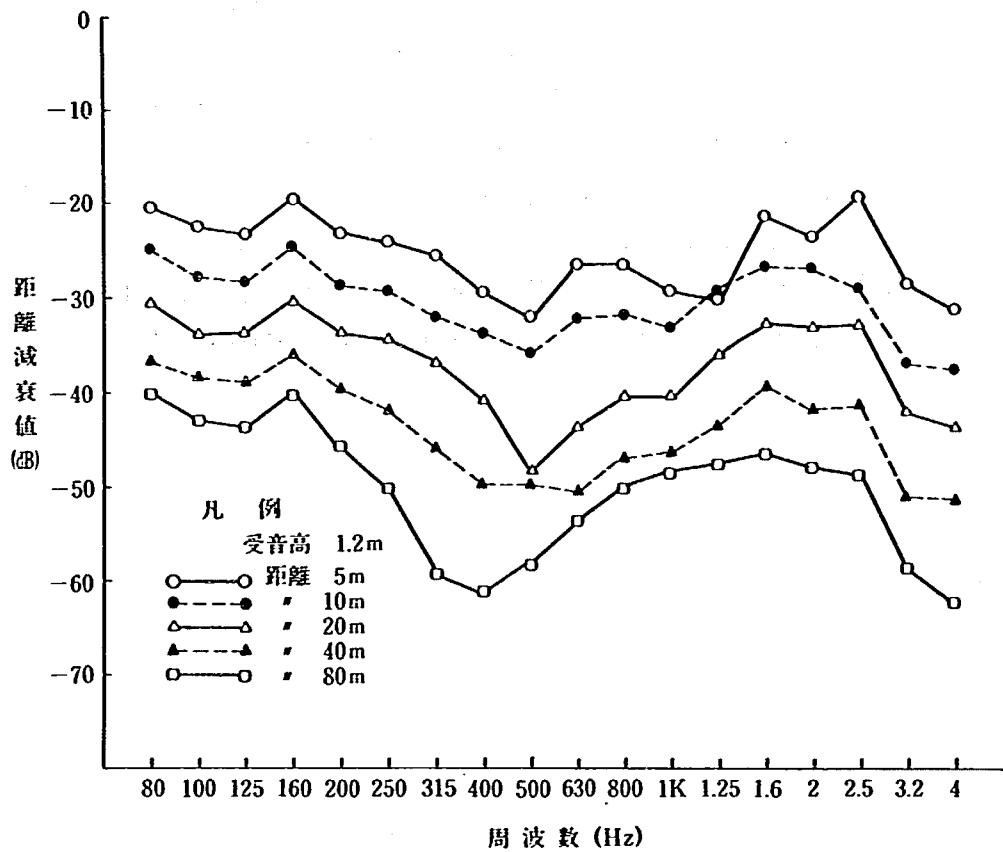


図-4 地表面の距離減衰 (b: 草地)

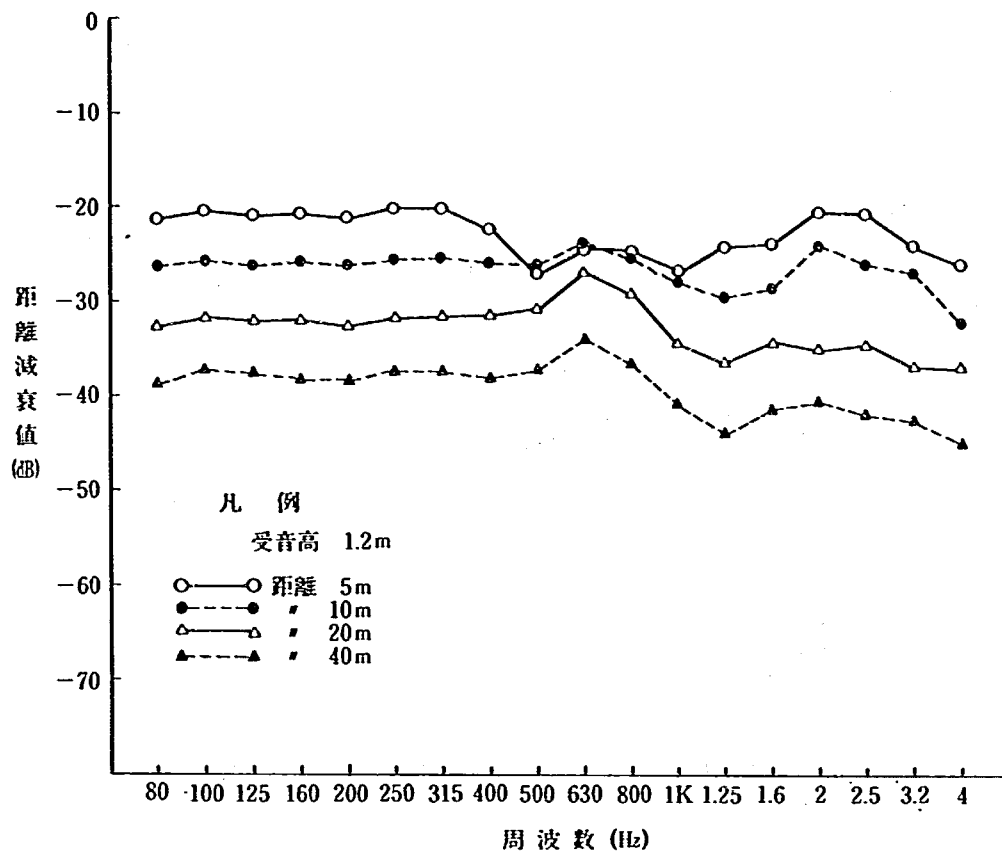


図-5 地表面の距離減衰(c: 裸地)

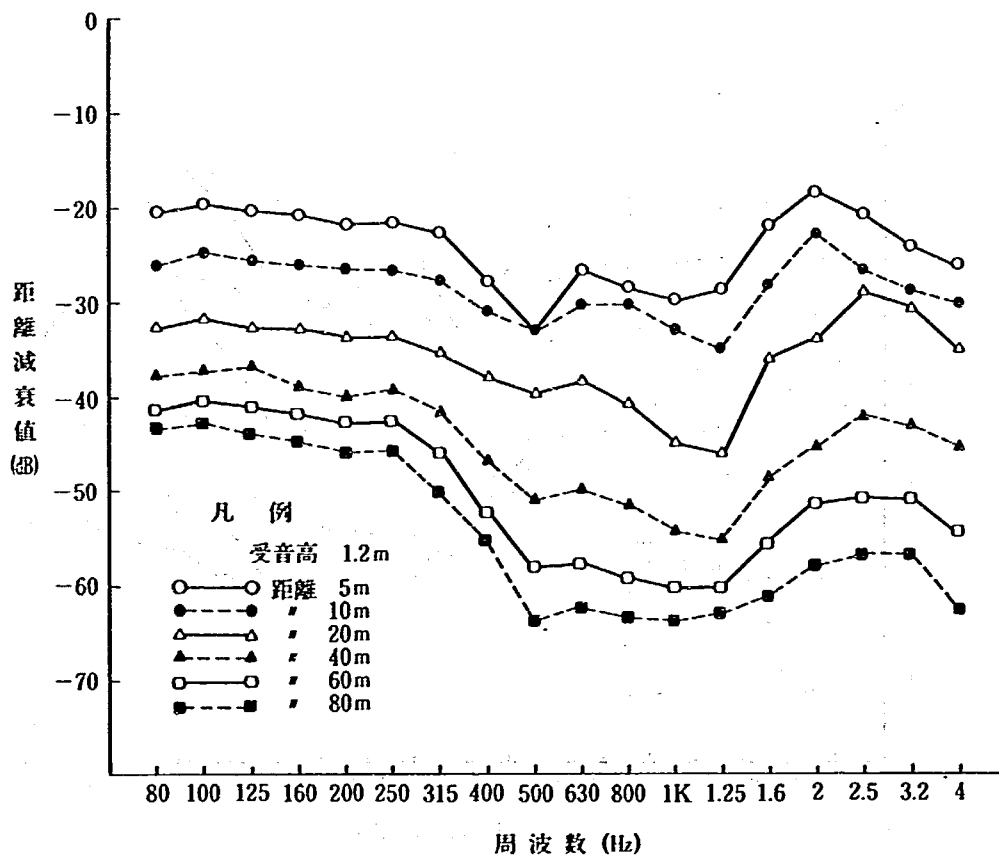


図-6 地表面の距離減衰(d: 芝地)

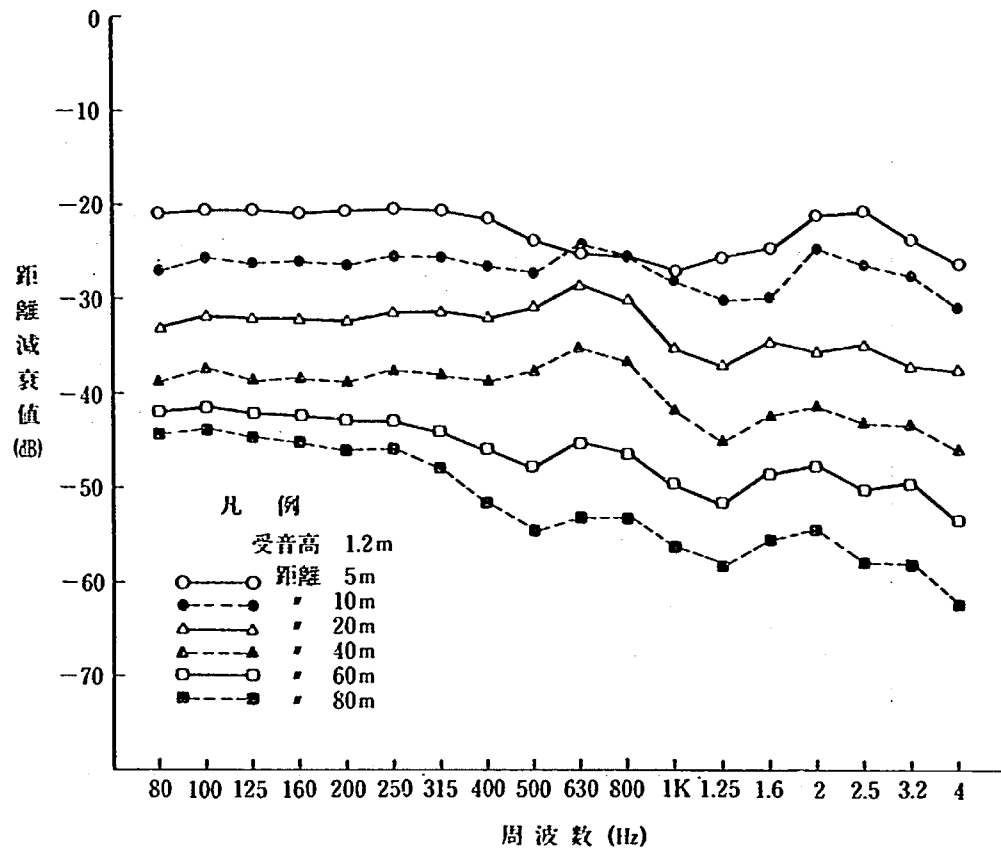


図-7 地表面の距離減衰 (e: 裸地→芝地)

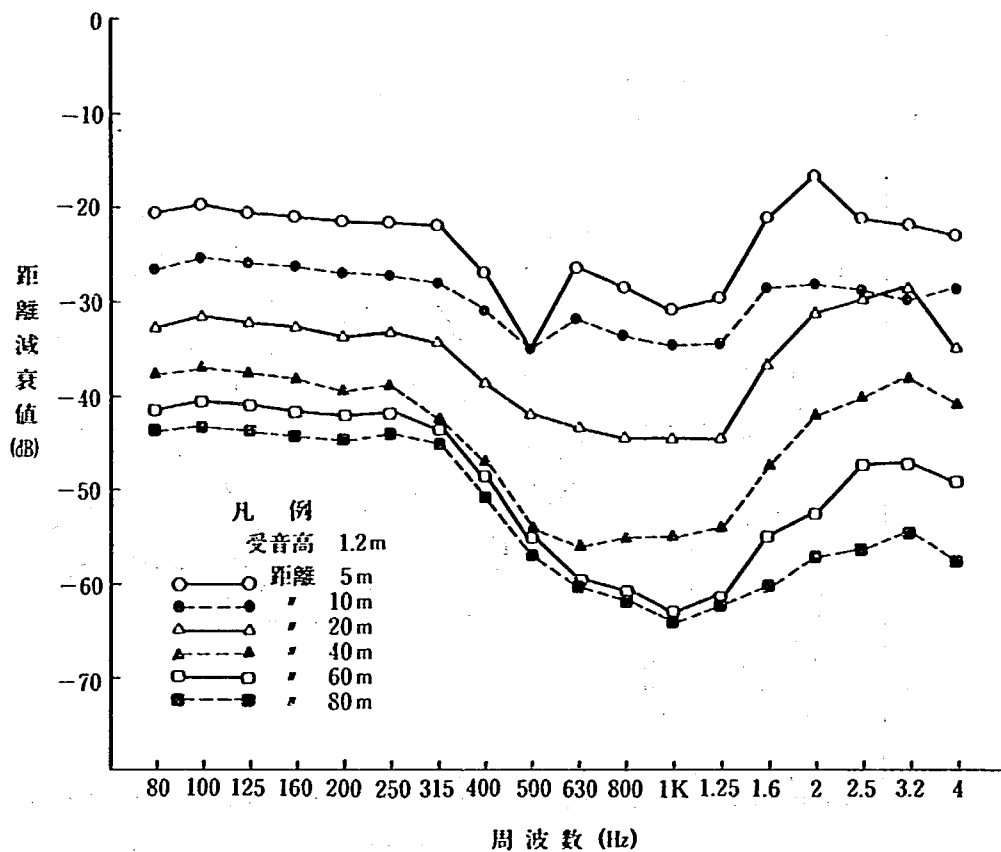


図-8 地表面の距離減衰 (f: 芝地→裸地)

表-1 各種の地表面に対応した σ 値の研究例

a) ³⁾ Ranges of effective flow resistivity that give the best agreement between predicted and measured spectra after propagation over various types of ground surface.

Description of surface	Flow resistivity cgs rayls. (1 cgs rayls = 1000 Pa s/m ²)
Dry snow, new fallen 0.1 m over about 0.4-m older snow	10 - 30
Sugar snow	25 - 50
In forest, pine, or hemlock (Ref. 22)	20 - 80
Grass: rough pasture, airport, public buildings, etc.	150 - 300
Roadside dirt, ill-defined, small rocks up to 0.1-m mesh	300 - 800
Sandy silt, hard packed by vehicles	800 - 2500
"Clean" limestone chips, thick layer (0.01- to 0.025-m mesh)	1500 - 4000
Old dirt roadway, fine stones (0.05-m mesh) interstices filled	2000 - 4000
Earth, exposed and rain-packed	4000 - 8000
Quarry dust, fine, very hard-packed by vehicles	5000 - 20 000
Asphalt, sealed by dust and light use	~ 30 000
Upper limit set by thermal-conduction and viscous boundary layer	2×10^5 to 1×10^6

b) ⁴⁾ Delany-Bazleyの実験式モデルで地表面の音響インピーダンス Z_s および伝搬定数 k_s を求める場合、各地表面に適当な σ の値(σ はcgs単位)

地表面の種類	σ (cgs rayls/cm)
コンクリート	20,000
アスファルト	20,000
硬い土壌表面	5,000
柔い土壌表面	1,250
芝生	300
砂利	150
雪(厚さ 3cm)	75
雪(厚さ 2m)	15

表-2 地表面の σ 値

地表面	コンクリート	裸地	草地	芝生
σ 値(cgs rayls/cm)	80000	2000 ~ 4000	100	300

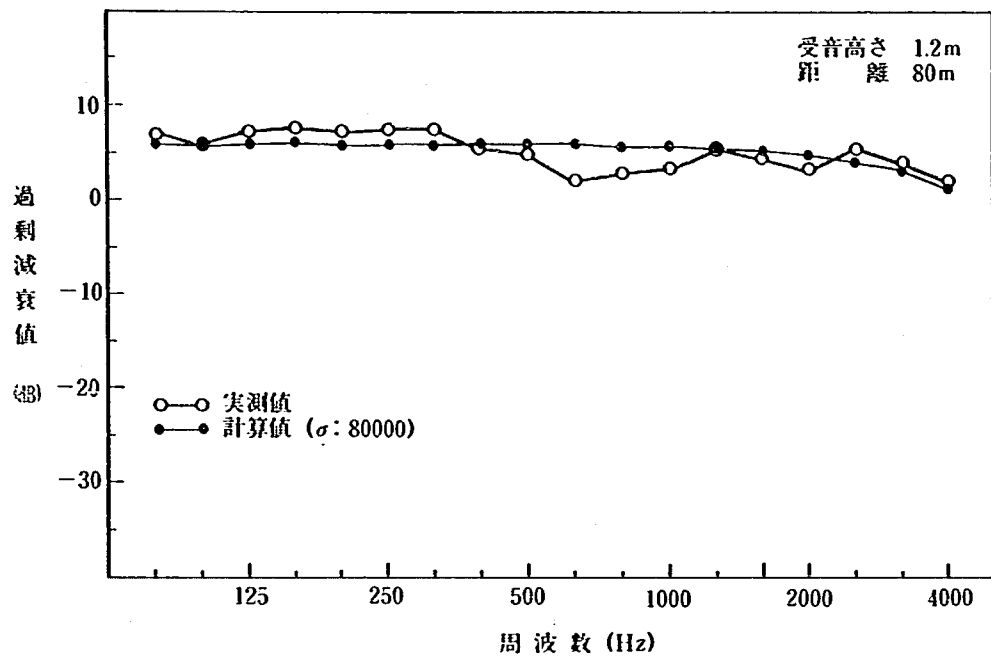


図-9 実測値と計算値の対応 (a: コンクリート)

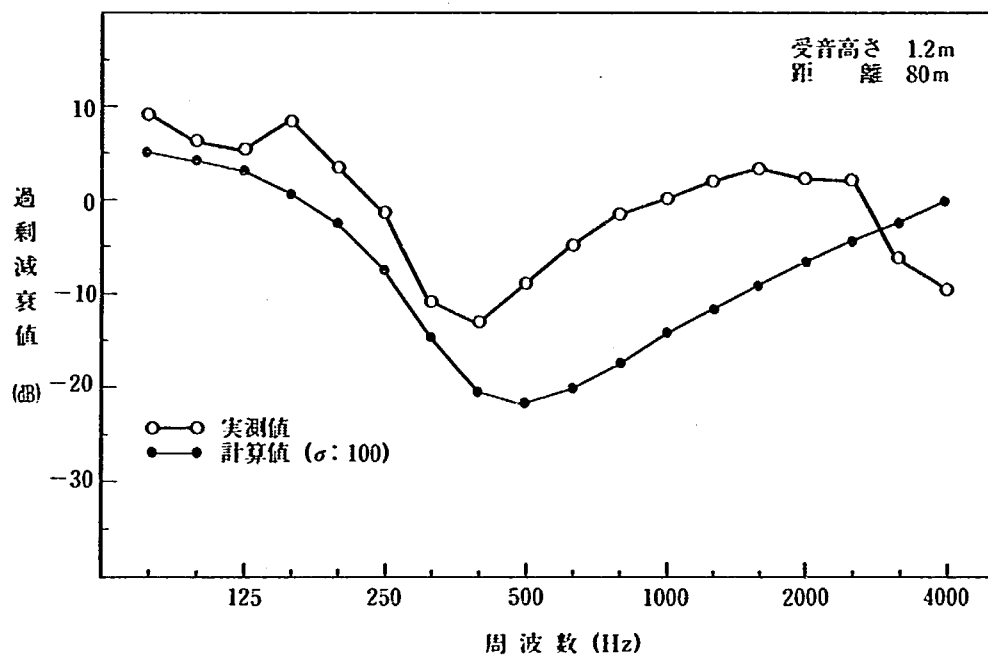


図-10 実測値と計算値の対応 (b: 草地)

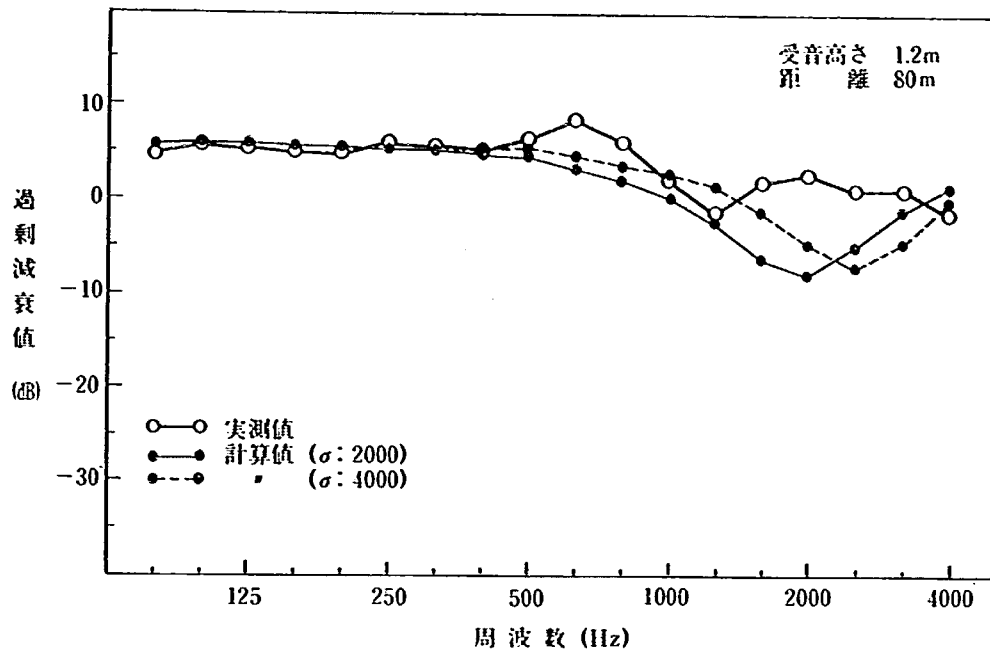


図-11 実測値と計算値の対応 (c : 裸地)

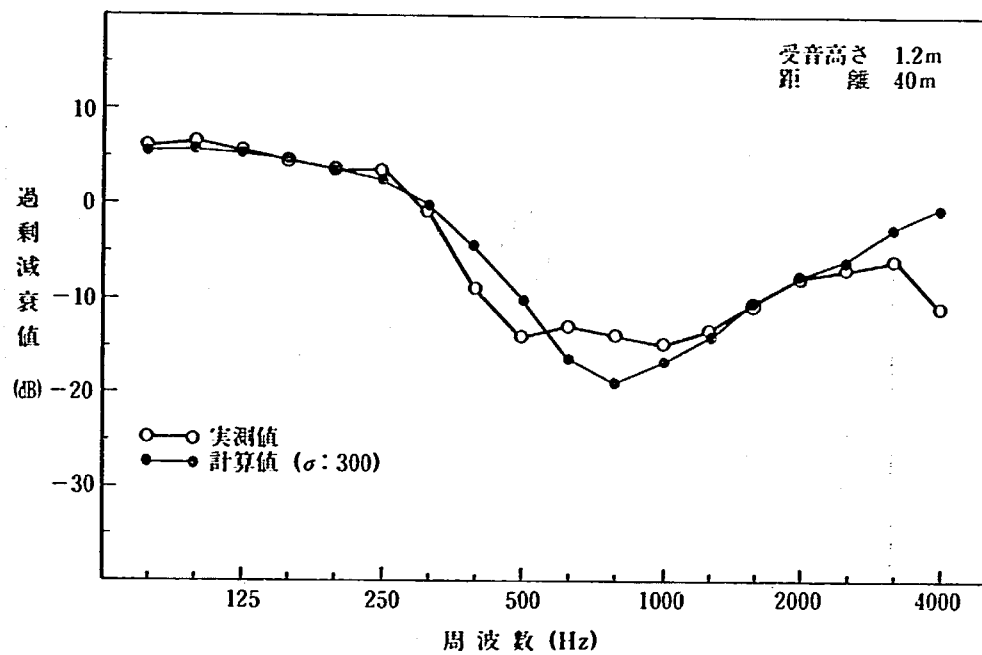


図-12 実測値と計算値の対応 (d : 芝地)

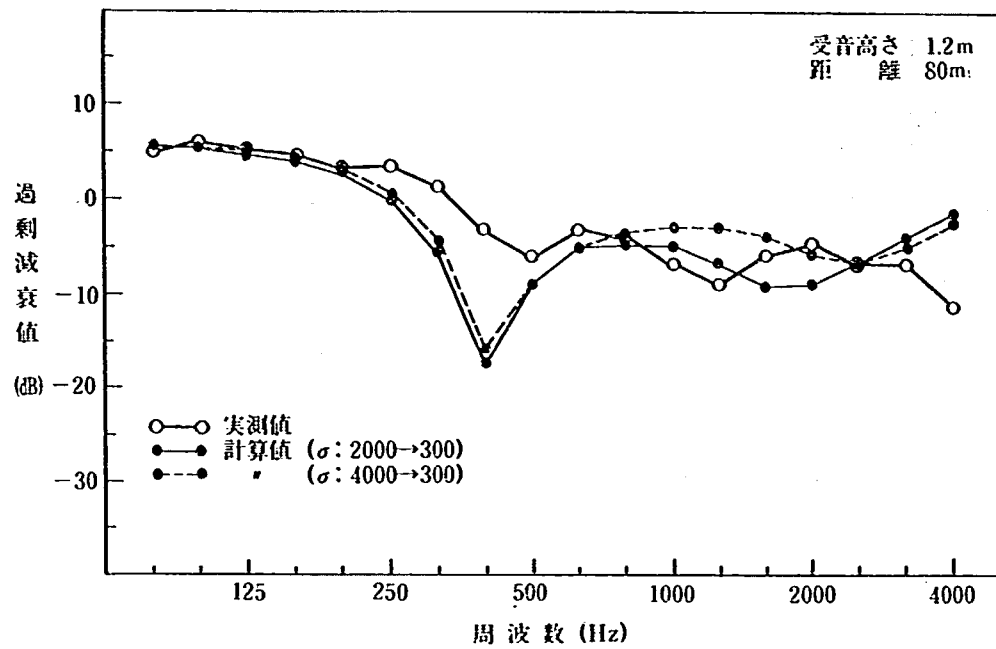


図-13 実測値と計算値の対応 (e: 裸地→芝地)

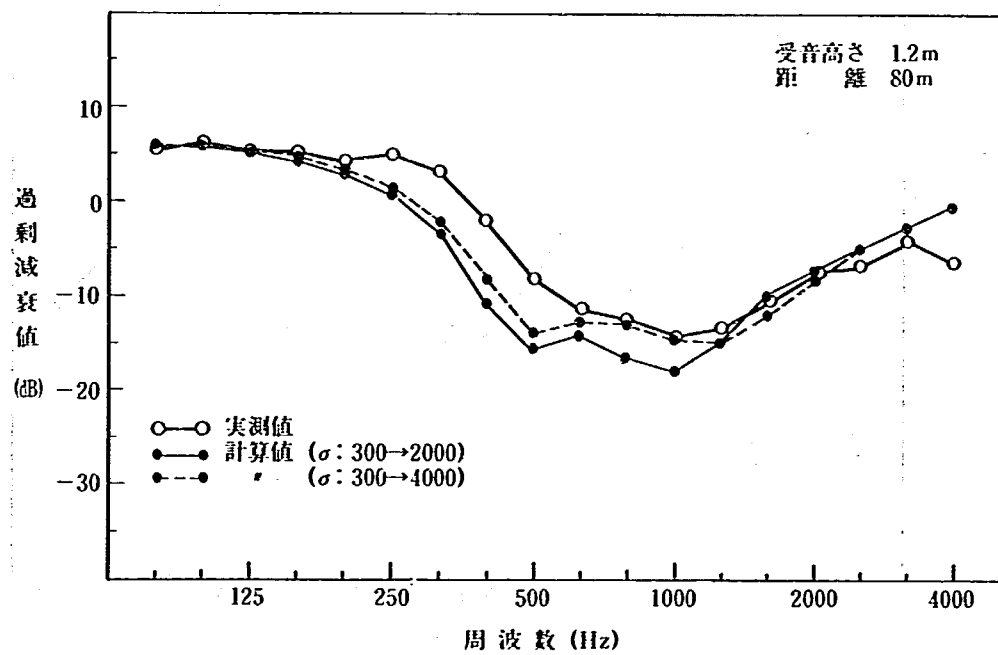


図-14 実測値と計算値の対応 (f: 芝地→裸地)

2.2 残響室法吸音率

残響室内に実際の地表面を 10m² 移設し、JIS A 1409「残響室法吸音率の測定方法」に基づいて測定を行った。残響室法吸音率の算出方法は次式の通りである。

$$\alpha = 55.3 V (1 / (C_1 T_1) - 1 / (C_2 T_2)) / S \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 α : 残響室法吸音率

T_1 : 試料を入れたときの残響時間 (sec)

T_2 : 試料を入れないときの残響時間 (sec)

V : 残響室の容量 (m³)

S : 試料の面積 (m²)

C_1 : 実験時の音速 (m/sec) $C_1 = 331.5 + 0.61 T_1$

C_2 : 空室時の音速 (m/sec) $C_2 = 331.5 + 0.61 T_2$

T_1 : 試験時の室内温度 (℃)

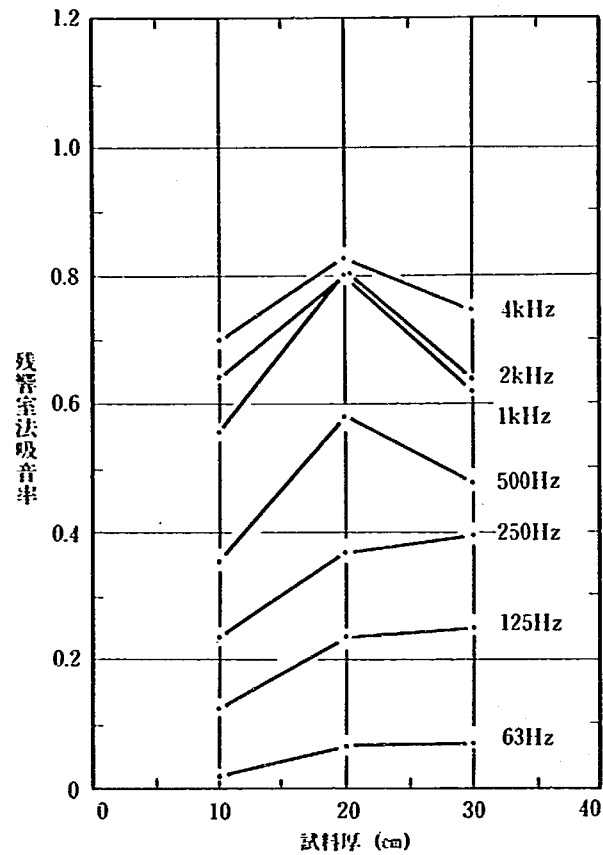
T_2 : 空室時の室内温度 (℃)

はじめに、野外の地面と音響的に等価であると見なすために必要な土の厚さを求める予備実験を行った。予備実験に用いた地表条件は裸地（軟らかい地面を足で踏み固めたもので平坦とした。）であり、試料厚さは 10 cm, 20 cm, 30 cm の 3通りとした。測定周波数は 63 Hz～5 KHz (1/3 オクターブバンド) である。図-15 に結果を示す。試料の厚さが増すにつれて 250 Hz 以下の周波数で多少吸音率が増加する傾向にあるが、試料の厚さ 30 cm ではほぼ一定値となっている。ただし、500 Hz 以上の高い周波数でバラついているのは、周波数が高くなり波長が短くなるにつれて、残響室内に再現した地表の凹凸が影響したと考えられる。従って、野外の地面の吸音率は不明であるために、吸音率が一定となる試料厚さ 30 cm で本実験を行った。本実験の測定試料の種類と条件を表-3 に示す。なお、砂利、草地及び芝地の測定時の地面の硬さは、乾燥時の単位積重量が 0.7 g/cm³ 程度である。

図-16 に砂利敷地面の吸音率を参考データ⁷⁾とともに示す。測定は 2 回行い、2 回目の測定は 1 回目設置した砂利を取り去った後に新たに敷き直して行なったものである。砂利の設置条件が同一であっても砂利表面の形状変化が 1 KHz 以上の周波数に影響し、多少のばらつきを生じている。また、間隙の影響により高域の周波数で高い吸音率を示している。

図-17 は、草地と芝地の吸音率を示している。中高音域を中心に草地は芝地よりも吸音率が増加する傾向があるが、背丈の違いによる差は僅かである。630 Hz 付近の中高域にピークが現われるのは、多孔質材料の示す特性と類似している。

図-18 は締め固め状態の異なる裸地の吸音特性を示している。締め固めの状態は乾燥時の単位体積重量で表わしている。締め固めの程度により大幅に吸音率が変化している。例えば、軟らかい畑地に相当すると思われる条件（単位体積重量 0.6 g/cm³）では、250 Hz 以上の周波数で吸音率が 0.8 程度であり草地と同程度の吸音率を示すのに対して、硬いグラウンドに相当すると思われる条件（単位体積重量 0.8 g/cm³）では、すべての周波数で 0.2 程度の吸音率である。



図－15 試料厚さと吸音率の関係

表－3 試料の種類と条件

地表面の種類	条 件 と 測 定 状 況
砂 利 敷 地 面	土の厚さが27 cmになるように整地し、その上に粒径1.5～4 cmの砂利(碎石)を3～5 cmの厚さに敷きつめた。
背丈の低い草地	根ごと掘り起こした草を地盤に移植した。この時、付着土の表面が出るようにし、間隙は土で埋めた。草丈は30 cm程度である。
背丈の高い草地	低い草地と同様に移植した。草丈は80 cm程度である。
芝 地	約40 cm×40 cmに切った芝(付着土の厚さ2～5 cm程度)を草地と同様に設置した。この時、表面が平坦になるようにした。
軟らかい地面	地盤を耕して軟らかくした。表面はならして平坦にした。
通 常 地 面	軟らかい地面を足で踏み固めた。表面はならして平坦にした。
硬 い 地 面	電動バンタを使用し、できる限り締め固めた。表面は、ならして平坦にした。

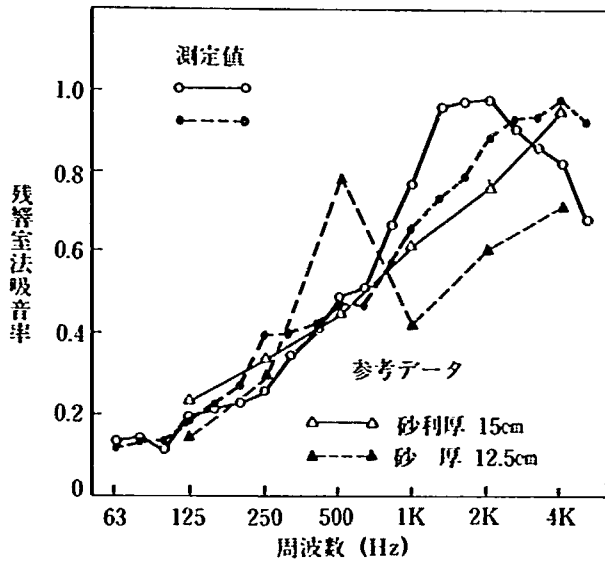


図-16 砂利敷地面の吸音率

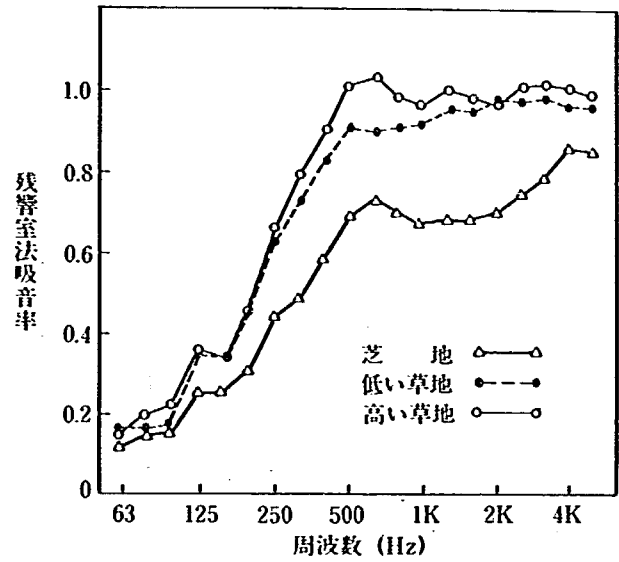


図-17 草地及び芝地の吸音率

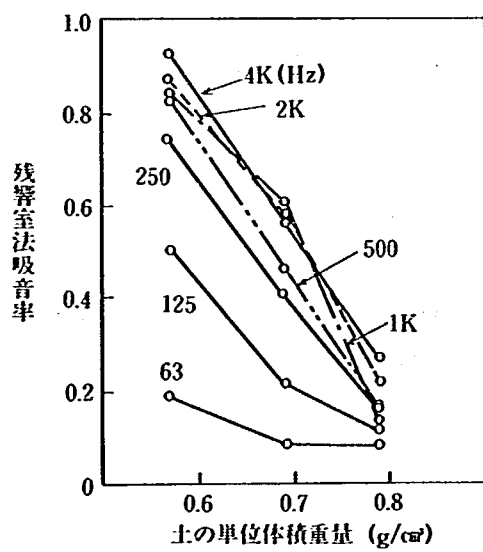


図-18 裸地の吸音率

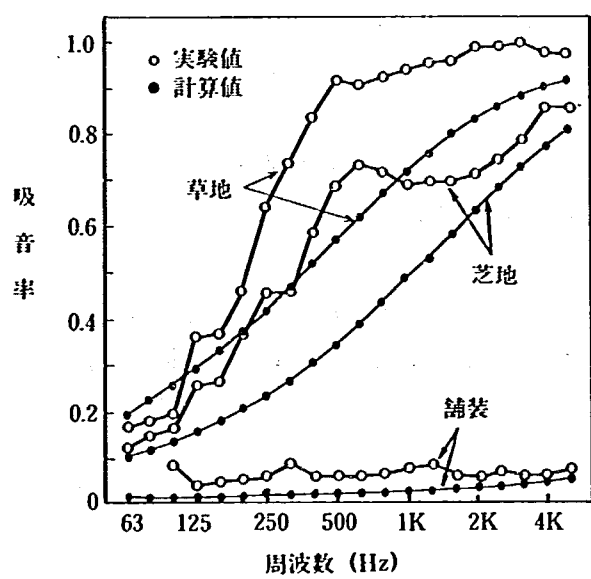


図-19 実験値と計算値の比較

2.3 距離減衰特性と残響室法吸音率の関係

2.1 で求められた σ 値で計算されたランダム入射吸音率⁸⁾と残響室法吸音率の関係を示す。ランダム入射吸音率の理論計算式は次の通りである。

$$\alpha_s = \frac{\int_0^{\pi/2} \alpha_\theta \cos \theta \sin \theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta} = 8 \int_0^{\pi/2} \frac{r \cos^2 \theta \sin \theta}{(r \cos \theta + 1)^2 + x^2 \sin^2 \theta} d\theta \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$Z_n = \rho c (r + ix) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 α_s : ランダム入射吸音率

θ : 音の入射角度

α_θ : 入射角度 θ に対する吸音率

Z_n : 音響インピーダンス

一般に、音響インピーダンス Z_n は音の入射角度 θ の関数であるが、局所作用性（音響インピーダンスが音の入射角度に無関係である性質）を仮定すると次式の如く計算できる。

$$\alpha_s = \frac{8 \cdot r}{r^2 + x^2} \left[1 - \frac{r}{r^2 + x^2} \log(r^2 + x^2 + 2r + 1) + \frac{r^2 - x^2}{x(r^2 + x^2)} \tan^{-1} \left(\frac{x}{r+1} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(6)$$

図-19 は、コンクリート舗装面と背丈の低い草地及び芝地について式(6)で計算されたランダム入射吸音率と残響室法吸音率を対比したものである。 σ 値が小さいほどランダム入射吸音率は大きな値を示す。草地及び芝地の計算値については、中高音域に吸音率のピークができる多孔質材料の特性を表わしていない。しかし、周波数が高くなるに従い、吸音率が大きくなる傾向は計算でも現われている。

一般に、実際の吸音材料について音響インピーダンスの測定値から式(6)で計算したランダム入射吸音率は、その材料を直接残響室で測定した残響室法吸音率とは必ずしも一致しない。⁸⁾ その原因は、次によるものなどと考えられる。

- ・実際の材料についての局所作用性の近似度の不十分性
- ・式(4)で入射角度の統計平均を行うときの条件と実際の残響室音場とのずれ
- ・試料の面積効果

このような原因と測定値の誤差等を考慮しても、図-19 において距離減衰特性と残響室法吸音率が対応しているものと判断できる。従って、地表面の距離減衰特性を再現する模型材料の選定にあたっては、残響室法吸音率によりおおまかな判定が可能である。

3. 地表面の再現性

3.1 模型材料の収集

一般に模型材料の吸音材としては、布地、フェルト、ガラスクロス、グラスウール等が主に使用されている。地表面の模型材料としては、以下に示す条件を満たしていなければならない。

- ① 吸音特性は、吸音材料と下地材料の間にできる空気層に大きく影響を受ける。従って、品質が均一であり、シワになりにくいものであること。
- ② 実験に使用するマイクロホンが影響を受けないように、静電気を帯びにくいこと。
- ③ 吸音特性だけでなく幾何学的な相似則も満足し易いもの。
- ④ 材料の加工及び設置が容易であること。
- ⑤ 安価であること。

これらの条件を満たすものとして、被服材料と工業用フェルト製品に着目し、それらの使用方法（重ね合わせ）も含め模型材料としての地表面の再現性を検討した。模型材料と使用方法の検討対象を表-4に示す。

表-4 検 討 対 象

試料番号	試 料 名	区 分	使 用 法
1	ベ ル ベ ッ ト	被 服 材 料	1 枚
2	"	"	2 枚 重 ね
3	"	"	3 枚 重 ね
4	フ ラ ン ネ ル	"	1 枚
5	"	"	2 枚 重 ね
6	ク レ ー プ デ シ ン	"	1 枚
7	ボ イ ル	"	"
8	"	"	2 枚 重 ね
9	"	"	3 枚 重 ね
10	フェルトッパ(6mm)	工業用フェルト	1 枚
11	フェルトッパ(15mm)	"	"
12	フェルトン(10mm)	"	"
13	ポリニール(3mm)	"	"
14	ポリニール(5mm)	"	"
15	"	"	2 枚 重 ね
16	"	"	3 枚 重 ね
17	ニ ッ ト	被 服 材 料	2 枚 重 ね
18	"	"	3 枚 重 ね
19	バ イ リ ー ン	"	2 枚 重 ね
20	メ ル ト ン	"	"
21	オ ー ガ ン デ イ	"	1 枚

3.2 模型材料の残響室法吸音率

道路交通騒音の代表的な周波数範囲を 100 Hz～3.2 KHz として、縮尺 1/10 及び 1/20 に対応した模型材料を選択するために、1 KHz～64 KHz (1/1 オクターブバンド) の範囲で測定した。測定では、周波数が高い領域にまで及ぶので、音源の音響出力の限界、拡散音場での音の空気吸収の影響などの問題が生じ、通常に残響室で測定することは困難である。そこで、当研究所の第 3 残響室の縮尺 1/8 の模型を厚さ 25 mm のアクリル樹脂板で製作し、空気吸収の影響を除外するために模型残響室内の空気を窒素ガスで置換して測定した。測定機器の構成を図-20 に示す。当該材料を模型実験時に使用するときの状況と同様にするために、模型材料はラワンベニヤ下地 (厚さ 5 mm) に薄い両面テープで貼付けた。(テープの面積は材料面積の 11%)

測定結果を表-5 に示す。なお、表中の厚さは材料を 12 枚重ねて測定した値から表-4 に示す枚数の値を計算したものである。材料を重ね合わせて使用したときには、材料が薄いものであれば波長の短い高音域で吸音率が増加し (図-21)、材料が厚いものであれば波長の長い低音域でも吸音率が増加する傾向を示した。(図-22)

得られた吸音率と 2.2 の吸音率を対比し、各縮尺に対応した模型材料を表-6 に示す通り選定した。

表-5 模型材料の残響室法吸音率

試料 番号	残 響 室 法 吸 音 率							厚 さ (mm)
	1 / 1 オクターブバンド中心周波数 (KHz)							
	1	2	4	8	16	32	64	
1	0.099	0.240	0.264	0.601	0.770	0.928	1.087	1.8
2	0.207	0.564	0.748	0.940	0.932	0.907	1.098	3.6
3	0.467	0.831	0.875	0.957	0.980	1.010	1.111	5.4
4	0.158	0.270	0.310	0.555	0.688	0.726	0.938	1.5
5	0.193	0.397	0.526	0.849	0.965	0.890	1.009	3.0
6	0.058	0.134	0.127	0.180	0.192	0.170	0.203	0.1
7	0.023	0.151	0.138	0.195	0.255	0.268	0.433	0.25
8	0.015	0.173	0.161	0.234	0.320	0.348	0.599	0.5
9	0.122	0.176	0.181	0.296	0.427	0.508	0.772	0.75
10	0.328	0.639	0.732	0.903	0.851	0.677	0.886	6.0
11	0.703	1.050	1.066	0.931	0.971	0.894	0.989	15.0
12	0.500	0.907	0.974	0.965	0.992	0.906	0.886	10.0
13	0.138	0.216	0.224	0.288	0.315	0.224	0.140	3.0
14	0.151	0.246	0.271	0.379	0.399	0.233	0.204	5.0
15	0.238	0.387	0.416	0.543	0.440	0.502	0.490	10.0
16	0.348	0.473	0.533	0.604	0.631	0.700	0.570	15.0
17	0.113	0.214	0.280	0.558	0.756	0.818	0.893	2.0
18	0.172	0.345	0.452	0.854	1.012	0.978	1.180	3.0
19	0.111	0.257	0.271	0.442	0.554	0.608	0.788	1.0
20	0.183	0.362	0.471	0.837	0.981	1.092	1.155	3.0
21	0.096	0.120	0.075	0.021	0.191	0.370	-	0.2

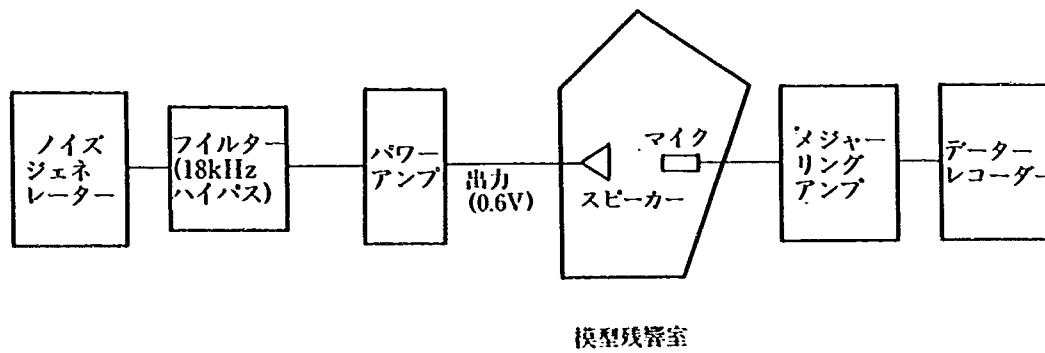


図-20 測定機器の構成

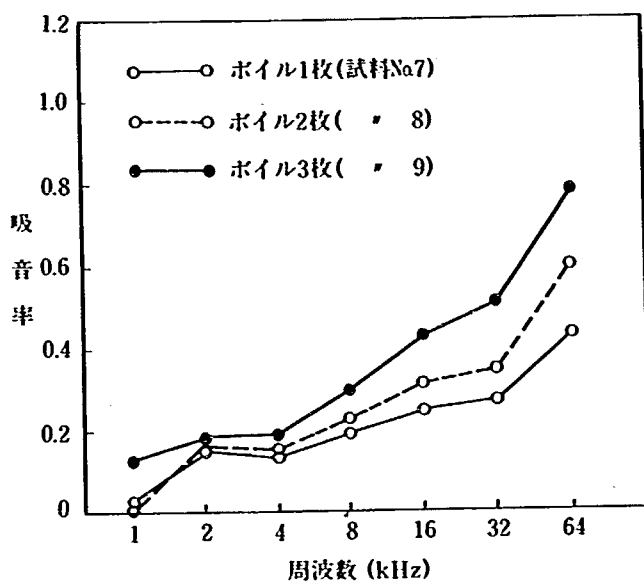


図-21 ボイルの吸音率

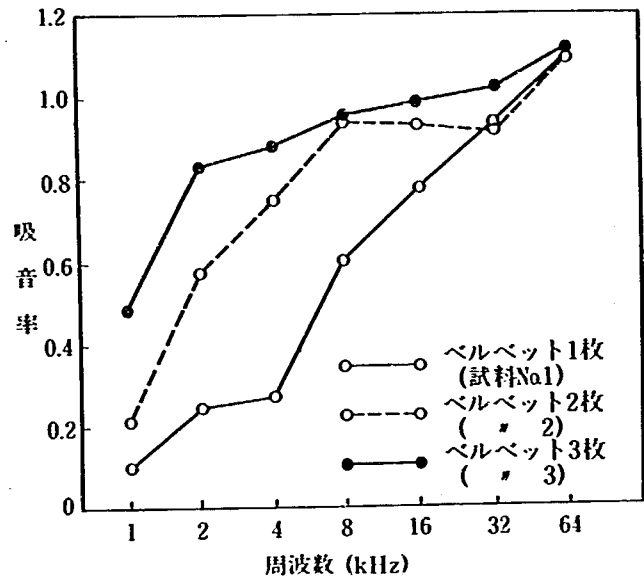


図-22 ベルベットの吸音率

表-6 選定された模型材料

縮尺 地表面	1/10	1/20
砂 利	1	4
芝	16	4
低 い 草	2	5
軟 い 地 面	10	10
通 常 地 面	15	19
硬 い 地 面	6	6

注) 表中の値は試料番号を示す

3.3 模型材料の距離減衰特性

2.1のc～fについて、縮尺1/10及び1/20を対象として無響室で測定を行った。ここで、cについては音源からの距離80mまで測定を行った。模型材料としては、実物の吸音特性と似たものとして3.2で選定したものを含めて各縮尺地表面について3種類ずつ選定した。それを表-7に示す。なお、表中のラワンベニア素地については参考データ⁹⁾を参照した。

音源と受音点の位置関係は2.1と同様であり、音源にはジェットノイズ点音源を使用した。測定周波数は、縮尺1/10の時には800Hz～40KHz、縮尺1/20の時には1.6KHz～80KHz(1/3オクターブバンド)とした。無響室における模型材料の設置状況は図-23に示す通りであり、ラワンベニア下地上に両面テープで貼っている。

表-7 距離減衰の測定を行う模型材料

縮 尺 比	地表面の種類	模 型 材 料
1 / 10	裸 地	6
		21
		ラワンベニア素地
	芝 地	16
		1
		5
1 / 20	裸 地	6
		21
		ラワンベニア素地
	芝 地	16
		4
		19

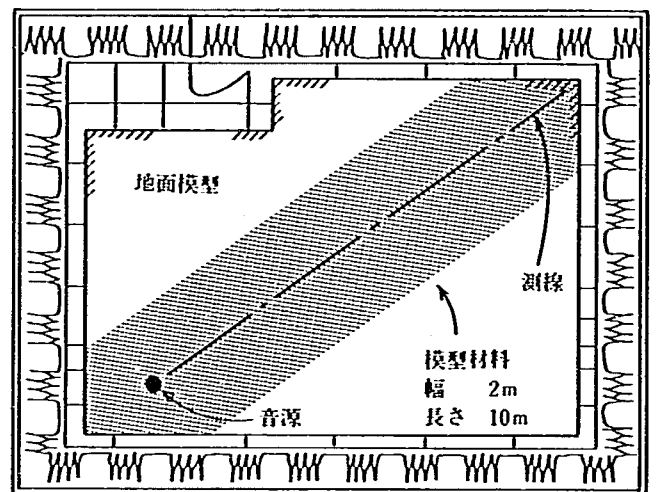


図-23 模型材料の設置状況

注) 表中の番号は表-3に対応

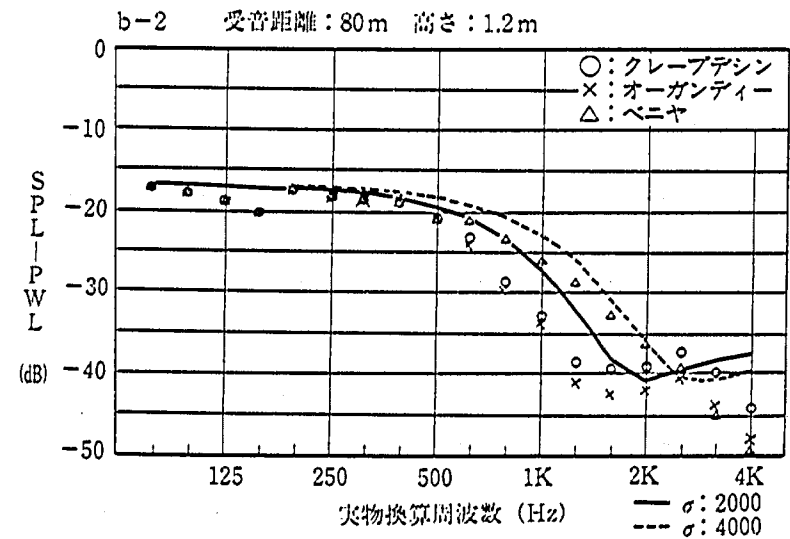
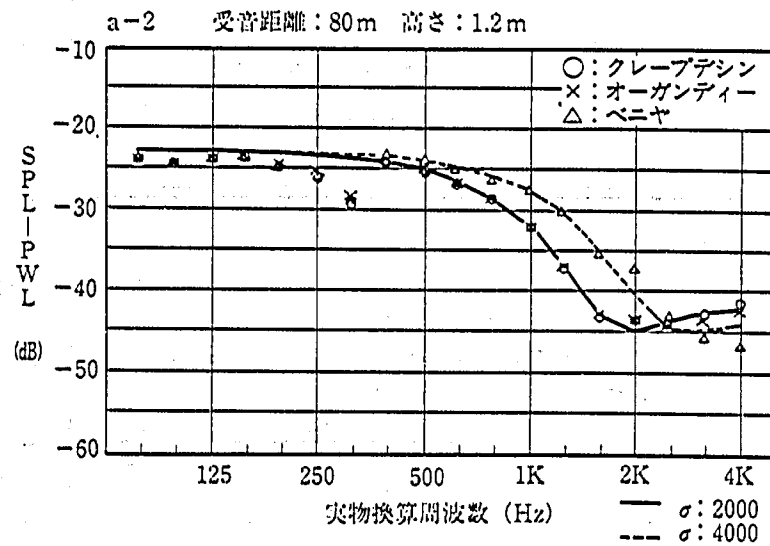
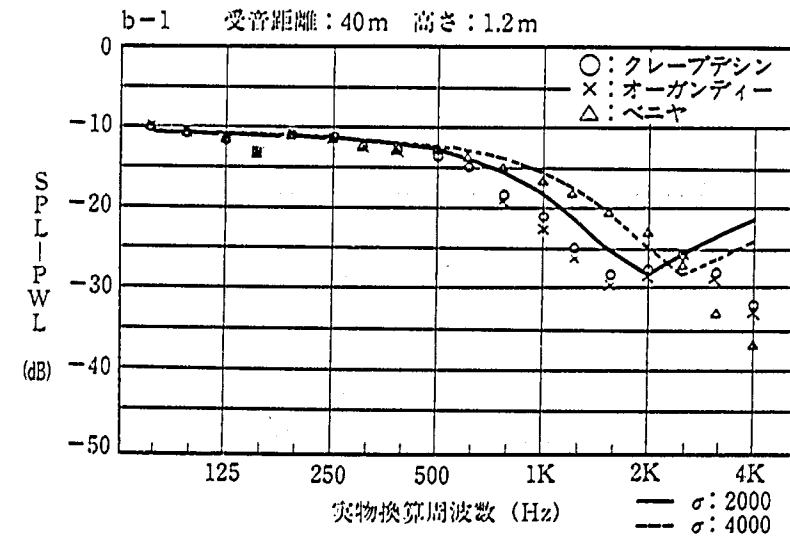
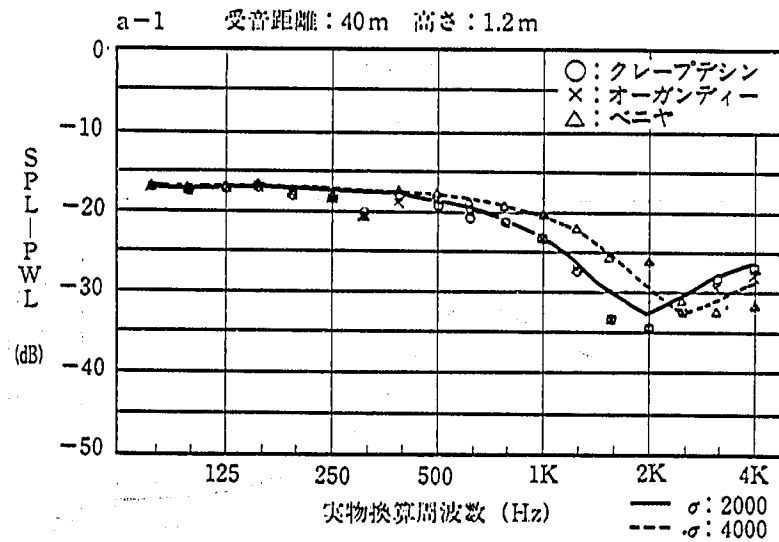
測定結果を検討するために、地表面の音響インピーダンスを2.1で決定された σ 値を用いて計算された理論計算値と測定結果の比較を行った。cとdの距離減衰値(音源の出力レベルを基準とした相対値)を図-24～25に示す。dの距離減衰がやや大きめになっているが、各材料とも地表面の特性を再現できている。

これらの中から、計算値との整合性を考慮し、次のものを裸地及び芝地の模型材料として選定した。

裸地: 縮尺1/10 クレープデシン1枚, 縮尺1/20 オーガンディー1枚

芝地: 縮尺1/10 ベルベット 1枚, 縮尺1/20 バイリーン2枚重ね

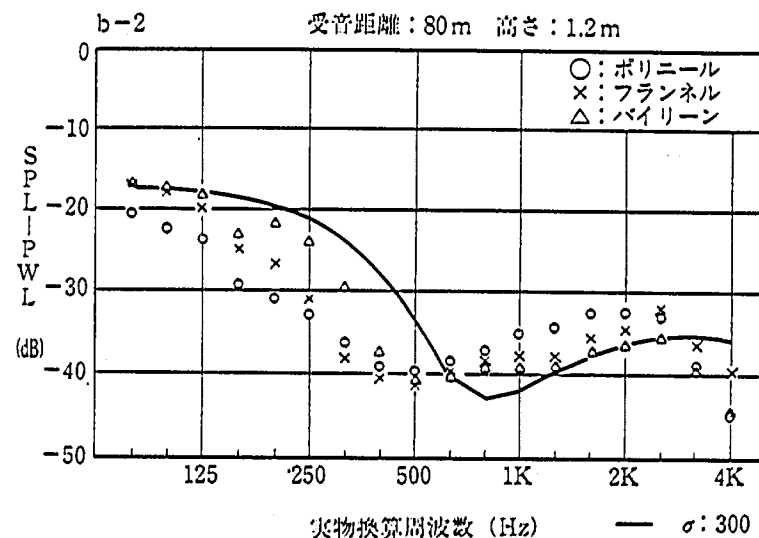
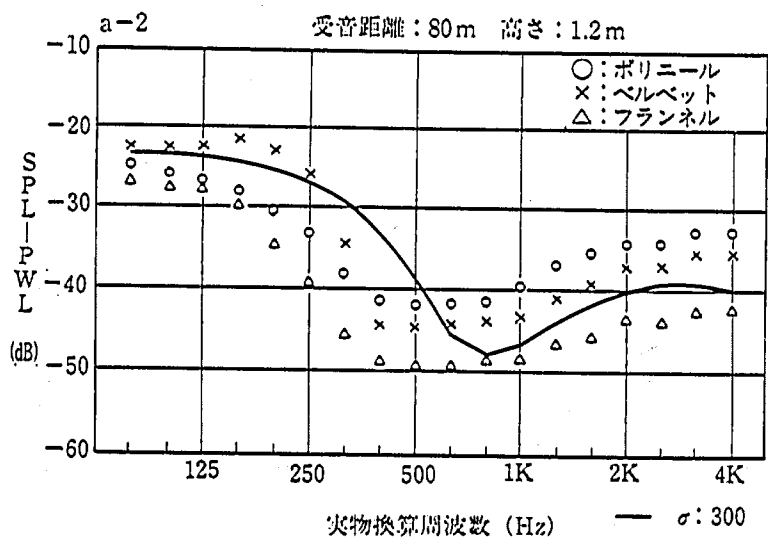
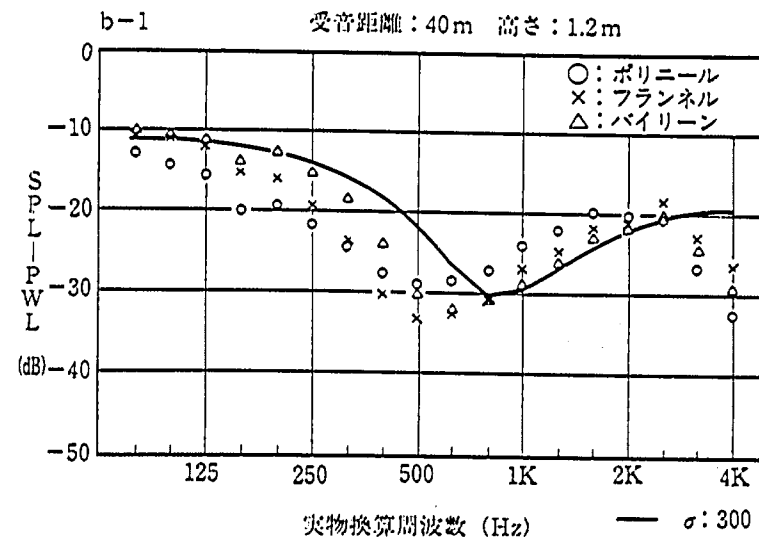
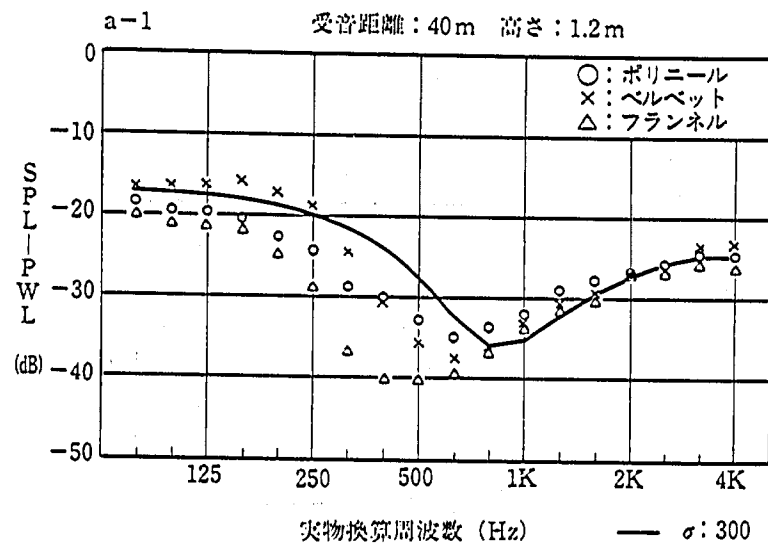
また、これら模型材料を使用したeとfの測定結果も地表面の特性をほぼ再現できた(図-26～27)。



a: 縮尺1/10

b: 縮尺1/20

図-24 裸地の距離減衰



a：縮尺1/10

b：縮尺1/20

図-25 芝地の距離減衰

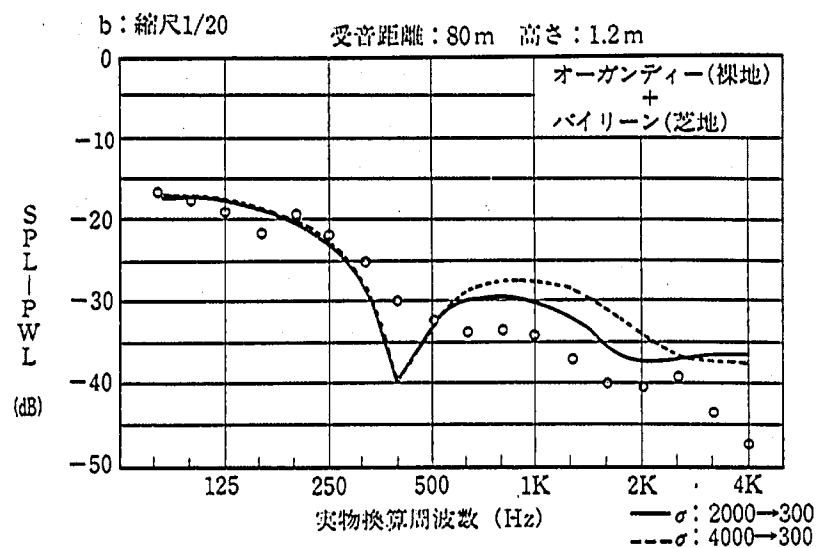
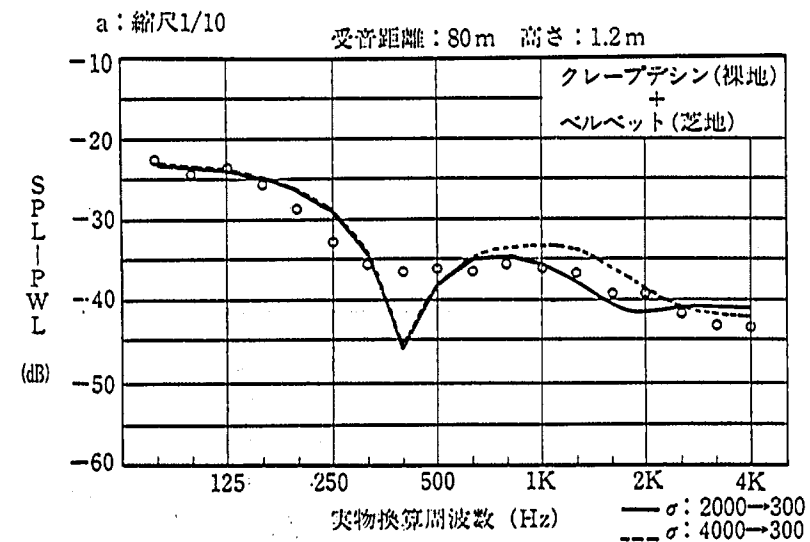


図-26 距離減衰(裸地→芝地)

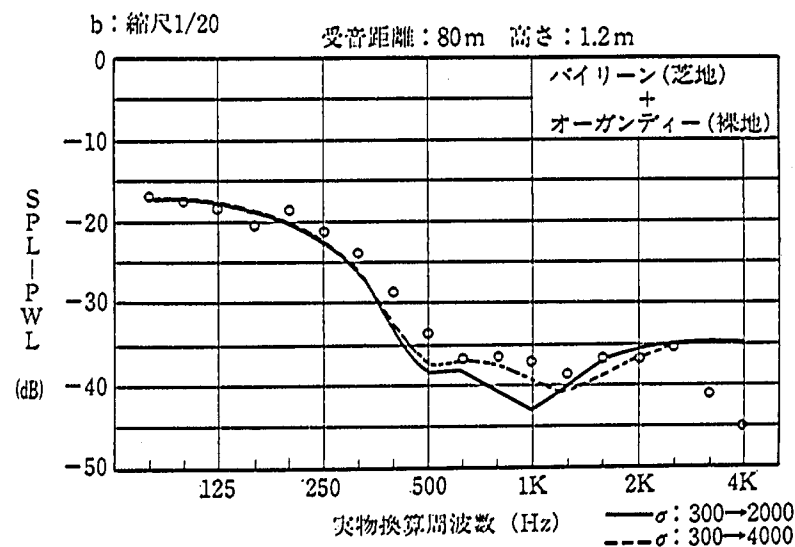
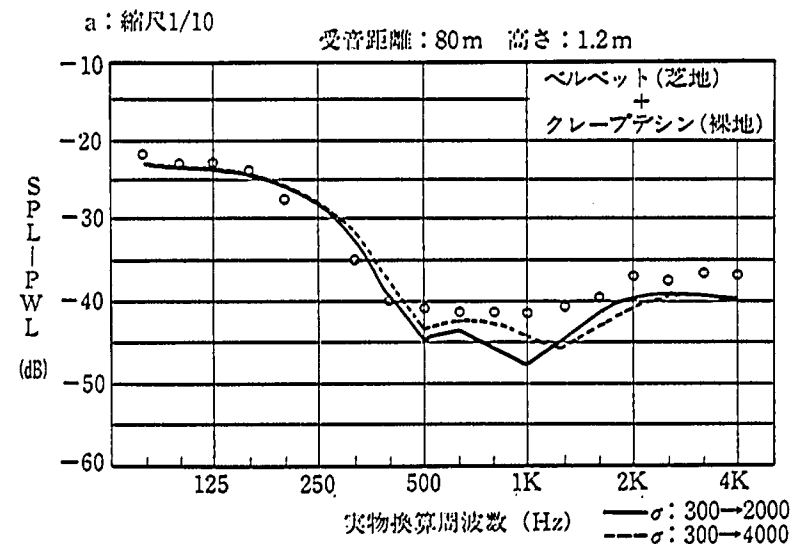


図-27 距離減衰(芝地→裸地)

4. 道路交通騒音の伝播に対する地表面の影響

これまでは周波数毎に地表面の過剰減衰特性を検討してきたが、道路交通騒音を目的として実験を行う場合には、周波数別に道路交通騒音スペクトル¹⁰⁾(表-8)の重みを持った合成値(以下O.A.値とする。)での評価が必要である。そこで、2.1で求められた σ 値で理論計算された周波数別の距離減衰値を、O.A.値で表わしたものを図-28に示す。これによると、減衰特性は2グループに大別できることがわかる。また、前節で距離減衰特性を検討した裸地と芝地は、それらグループを代表するものである。従って、選定された模型材料は沿道の地表面性状を考慮した道路交通騒音の模型実験を行う場合には、有用なものと考えられる。

表-8 道路交通騒音の平均スペクトル

周波数 (Hz)	相対レベル (dB)	周波数 (Hz)	相対レベル (dB)
63	-17.3	630	-0.8
80	-14.6	800	-0.2
100	-12.2	1000	0
125	-10.2	1250	-0.9
160	-8.2	1600	-2.0
200	-6.3	2000	-3.2
250	-4.7	2500	-4.9
315	-3.5	3150	-6.8
400	-2.4	4000	-8.8
500	-1.6		

注) 表中の相対レベルは、1 KHzを基準としている。

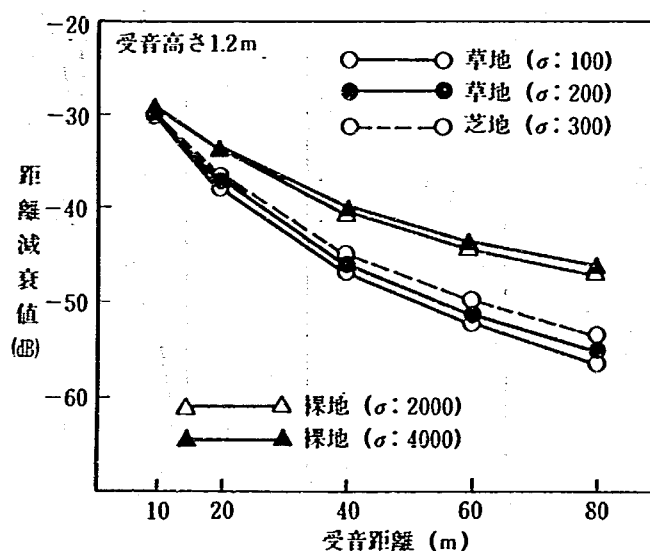


図-28 O.A. 値の距離減衰

5. 模型実験の適合性

これまでの研究成果（既存の研究成果も含む）を生かした道路交通騒音の模型実験を行い、実測値と実験値の適合性を検討する。検討対象としては、道路構造が平坦で沿道の土地利用条件が異なる以下の2通りのケースである。

- 1) 沿道が野球グラウンドで、低い丈の草地が広がっている。（ケース1）
- 2) 沿道に複数の建物が存在する。（ケース2）

5.1 騒音実測

ケース1は、平坦な2車線道路の沿道に低い丈の草地が広がっている。ケース2は、平坦な4車線道路で沿道に警察署、販売店、民家等の建物が建っており、建物の敷地周辺は畑である。各ケースでの受音点の位置を図-29に示す。

各受音点での騒音レベルは、データレコーダーに収録した。測定時間は10分間であり、測定回数はケース1が10回、ケース2が5回である。測定周波数範囲は63 Hz～4 KHz（1/3オクターブバンド）である。測定データは、5秒間隔で100個の瞬時値をサンプリング処理し、 L_{50} 値を算出した。表-9には、騒音レベルと同時に測定した交通量、平均走行速度を示す。

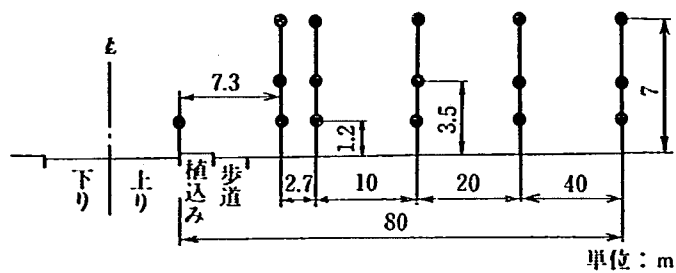
5.2 模型実験

(1) ケース1

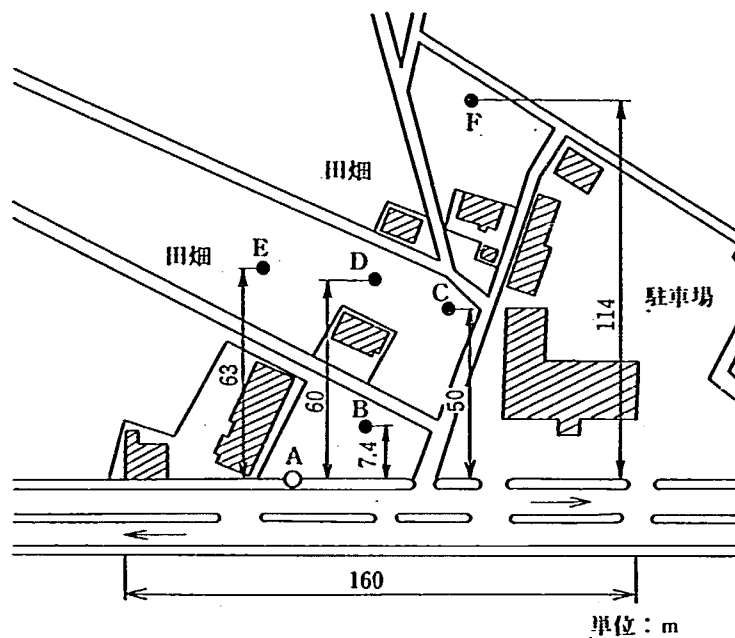
縮尺は1/10及び1/20とし、無響室内に現地状況を再現した（写真-1）。模型には、路面はアクリル板、草地はベルベット1枚（縮尺1/10時）及びバイリーン2枚重ね（縮尺1/20時）を使用した。音源は、縮尺1/10の場合には軸回転式線音源を、縮尺1/20の時には軸回転式線音源とジェットノイズ点音源の2種類を用いた。点音源の場合は、ハイブリッドシミュレーションで騒音レベルを求めるものである。なお、縮尺1/10の場合の実験では、最大受音距離を実験室の制約上40mとした。

(2) ケース2

縮尺は1/20であり、畑は軟らかい地表面であるためバイリーン2枚重ね、建物はベニヤ板（表面はアクリルペイント2回塗り）で模型を制作した。音源は、軸回転式線音源であり、上下車線それぞれの中央に設置した。写真-2に実験状況を示す。



a. ケース1



b. ケース2

図-29 受音点位置

表-9 交通条件

測定回数	ケース 1			ケース 2		
	交通量 (台/h)	大型車混入率 (%)	平均速度 (Km/h)	交通量 (台/h)	大型車混入率 (%)	平均速度 (Km/h)
1	1008	31.5	50.1	2220	15.7	57.9
2	1380	21.3	49.0	2040	21.5	58.1
3	1248	17.3	50.6	2022	15.4	57.6
4	1134	30.2	45.1	2106	12.3	57.9
5	1254	33.5	45.8	1920	14.7	59.6
6	1272	27.4	49.8			
7	1098	30.6	47.2			
8	1116	26.9	48.5			
9	1014	30.8	46.3			
10	1176	21.9	48.8			

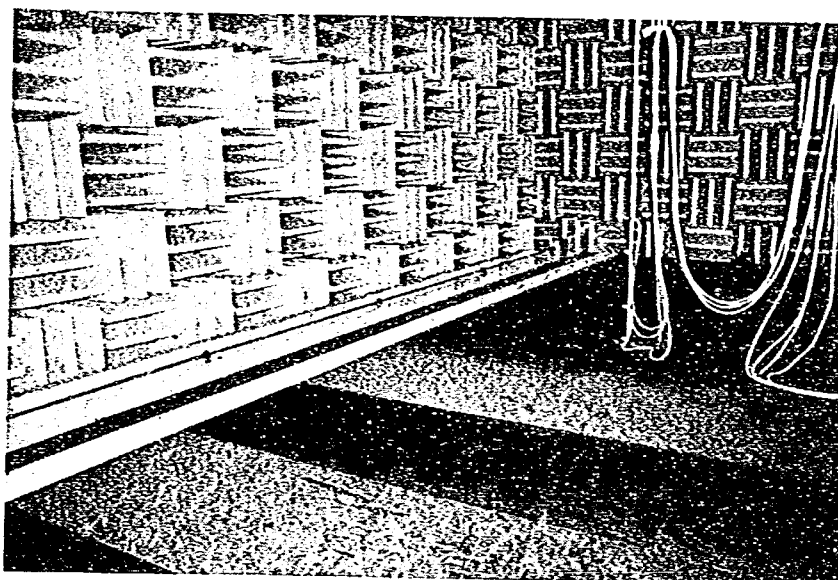


写真-1 ケース1の実験状況

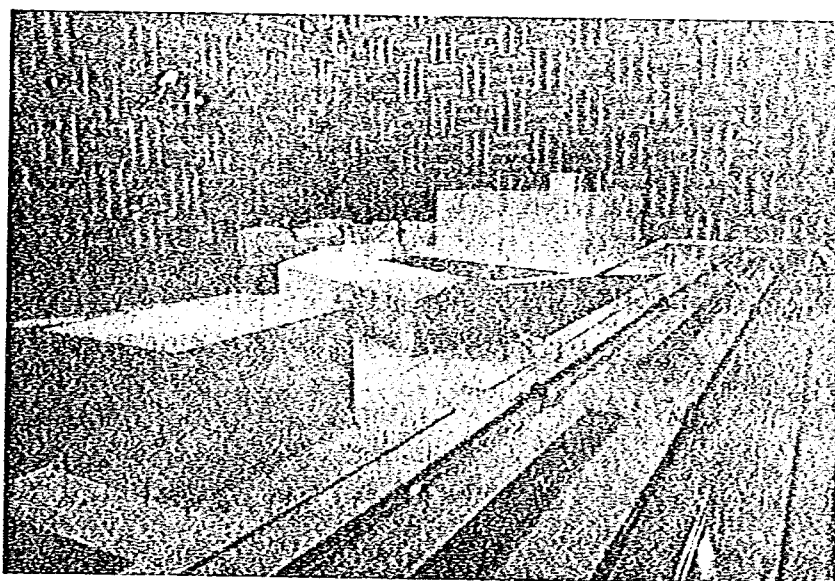
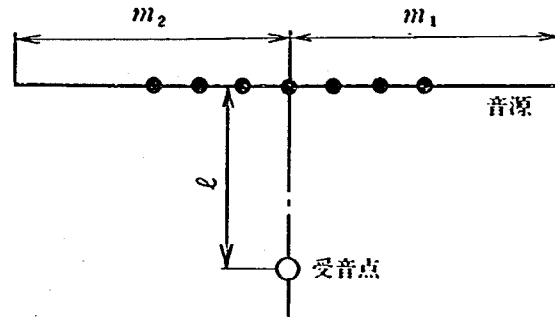


写真-2 ケース2の実験状況

実験により得られた騒音レベルは全て空気吸収補正を行うものとし、線音源を使用した場合の補正値は、実験時の音源長を考慮し適当な数の仮想点音源に置き換えて次式により算出した。



$$L_a = 10 \log_{10} \sum_{f=1}^n 10^{\frac{PWL(f)}{10}} - 10 \log_{10} \sum_{f=1}^n 10^{\frac{L(f)}{10}} \dots\dots\dots (7)$$

$$L(f) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{m_1 + m_2} \left(\int_0^{m_1} 10^{\frac{\Delta L(x)}{10}} dx + \int_0^{m_2} 10^{\frac{\Delta L(x)}{10}} dx \right) \right\} \dots\dots\dots (8)$$

$$\Delta L(x) = PWL(f) - K(f) \sqrt{x^2 + l^2} \dots\dots\dots (9)$$

- ここで、 L_a : 受音点での空気吸収補正量 (dB)
 n : 周波数 (1/3 Oct. B.) のバンド数
 $PWL(f)$: 仮想点音源の周波数 f でのパワーレベル (dB(A))
 $L(f)$: 全仮想点音源からの周波数 f での音圧レベル (dB(A))
 m_1 : 受音点より右側の音源長 (m)
 m_2 : 受音点より左側の源長 (m), ($m_1 + m_2 = 10 \text{ m}$)
 $\Delta L(x)$: 位置 x にある仮想点音源からの周波数 f での音圧レベル (dB(A))
 x : 受音点位置を原点として右及び左にある仮想点音源の位置を示す座標
 $K(f)$: 周波数 f での 1 m あたりの空気吸収量¹⁾ (dB)

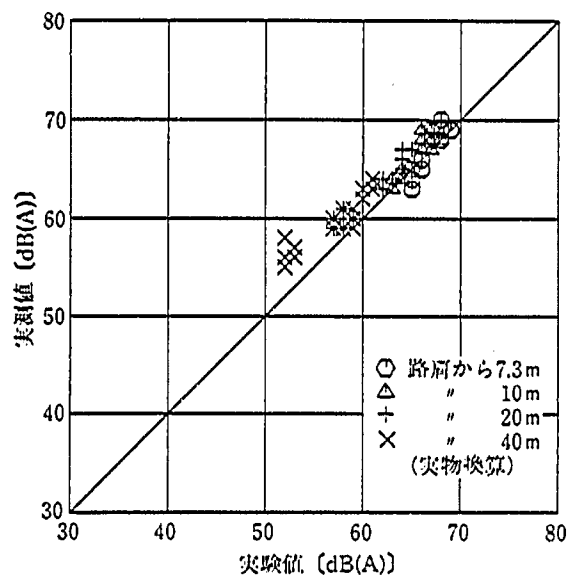
なお、ケース 2 については、音源と受音点の間に障害物 (建物) が無いものとして求めた。

5.3 適合性の検討

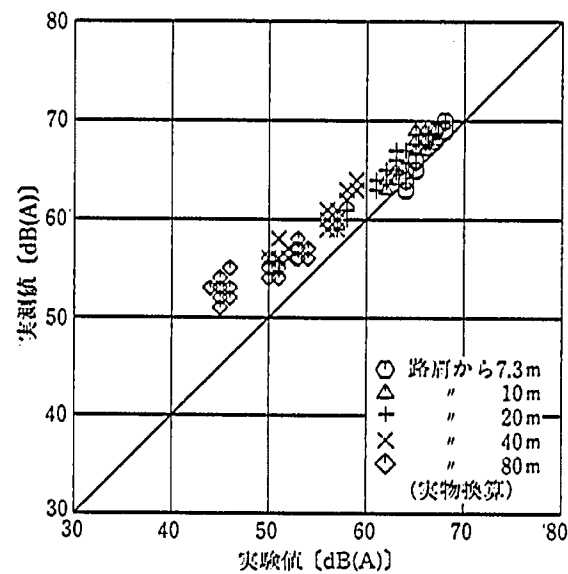
ここでは、基準点 (路肩端の高さ 1.2 m の受音点) における実測値を用いて模型実験値を基準化し、基準化された模型実験値と実測値との適合性を検討する。

ケース 1 での実測値と模型実験値との対応を図-30 に示す。両者は全体的に良い対応を示している。また、線音源と点音源を使用した場合の実験値を比較すると、ほぼ同様の傾向を示しているが、縮尺 1/20 で線音源を使用した場合は、距離の遠い受音点において模型実験結果が小さめとなっている。

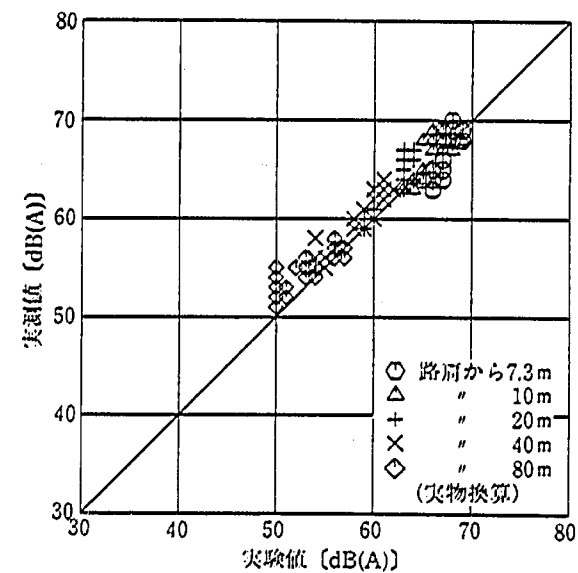
ケース 2 での対応を図-31 に示す。距離の遠い受音点及び建物付近の受音点でも良く対応している。これより、本模型実験が回折、反射及び吸音などが介入する複雑な伝播過程においても、有効なものであることがわかる。



a. 縮尺1/10, 線音源



b. 縮尺1/20, 線音源



c. 縮尺1/20, 点音源

図-30 実測値と実験値の対応(ケース1)

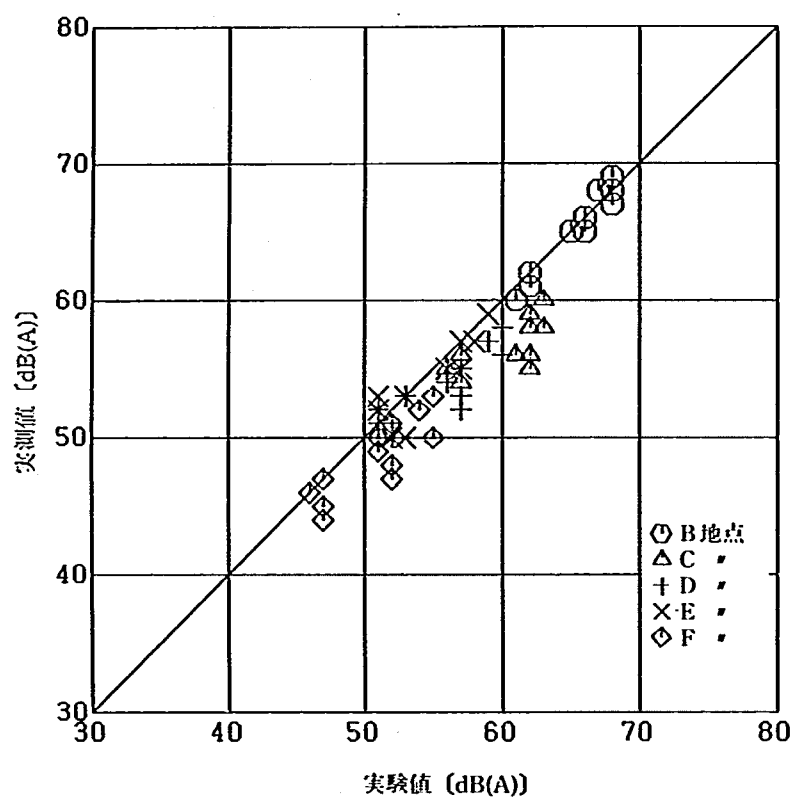


図-31 実測値と実験値の対応(ケース2)

6. ま と め

以上の検討から得られた結論をまとめると以下ようになる。

- (1) 地表面の距離減衰及び残響室法吸音率は、地表面の性状によって大きく変化しており、締め固められた裸地に比べ草地等は距離減衰、吸音率共に大きい。
- (2) 距離減衰特性と残響室法吸音率はほぼ対応しており、地表面の特性を再現する模型材料を選定する場合、吸音率の比較をすることによりおおまかな判定が可能である。
- (3) 残響室法吸音率によって選定した材料は地表面の距離減衰特性を再現できた。
- (4) 道路交通騒音に対する地表面の距離減衰は、音響的に“ハード”なもの（締め固められた裸地系）と“ソフト”なもの（草地系）の二つのグループに大別され、縮尺 1 / 10 及び 1 / 20 の時にそれらグループの特性を再現できる模型材料として次のものが得られた。
裸地系：縮尺 1 / 10 クレープデシン 1 枚、縮尺 1 / 20 オーガンディー 1 枚
草地系：縮尺 1 / 10 ベルベット 1 枚、縮尺 1 / 20 バイリーン 2 枚重ね
- (5) 道路交通騒音に対する模型実験を行なったが、実験による推定値は実測値とよい対応を示した。

本研究により、音響学的相似則に沿った模型上での地表面の境界条件の再現ができ、実測値に対する現行の模型実験手法に従った実験値の適合性を把握できた。しかし、さらに精度の高い模型実験を行うために、次に示すようないくつかの課題が残されている。

- ・様々な縮尺に応じた各種模型材料の確立
- ・模型製作の精度が与える影響の把握
- ・縮尺比と実験精度の関係の把握
- ・縮尺が小さいときの実験における機器の問題
- ・高周波数での空気吸収補正方法の確立

これらの課題等について、今後さらに研究を推進することが必要である。

最後に、本報告は主に昭和57年度から5か年にわたり研究された「騒音模型実験手法に関する研究」の成果をとりまとめたものであるが、研究を行うにあたり多大なご指導を頂いた足立義雄道路部長、中須賀聡前研究員（現横浜国道工事事務所）及び明嵐政司研究員に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所, (財)国土開発技術研究センター, 1983(2): 沿道の騒音分布予測手法に関する研究, 建設省総合技術開発プロジェクト
- 2) M. E. Delany & E. N. Bazley, 1970: Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials, Applied Acoustics, 3, 105 - 116
- 3) T. F. W. Embleton, J. E. Piercy & G. A. Daigle, 1983: Effective flow resistivity of ground surfaces determined by acoustical measurements, J. A. S. A., 74(4), 1239 - 1244
- 4) 井清武弘, 1982: 騒音の伝播に与える地表面の影響, 日本音響学会誌, 38(5), 270 - 276
- 5) 川井孝雄, 1983: Locally reacting な境界面上の音の伝播に関する考察, 日本音響学会誌, 39, 374 - 379
- 6) 井清, 鈴木, 田中, 1981(5): 異なる地表面境界近くの音場に関する検討, 日本音響学会講演論文集, 65 - 66
- 7) 前川純一: 建築音響
- 8) (社)日本音響材料協会, 1976: 建築音響シリーズ<材料編>I 吸音材料
- 9) 東京大学生産技術研究所石井研究室, 1976: 音響模型実験材料の吸音特性に関する研究報告書
- 10) (社)日本音響学会, 1975: 道路交通騒音の予測計算手法に関する研究報告書
- 11) American National Standards: Method for the calculation of the absorption of sound by the atmosphere, ANSI S1. 26 - 1978

沿道の地表面性状を考慮した
道路交通騒音の模型実験に関
する研究

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2681号
昭和63年12月(1988)

交通環境研究室 中山 隆
宮川隆己

要 旨 沿道に存在する地表面は、騒音の伝播に大きな影響を及ぼすと考えられるが、道路交通騒音の模型実験ではそれらの音響特性を再現するまでには至っていない。本資料では、各種地表面の音響特性について調査を行い、それを模型上で再現する材料について調査、検討を行ったものである。

キーワード：道路交通騒音、模型実験、地表面、音響特性

郵便はがき

40円切手
はいて下さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

交通環境研究室 御中

No. 11

土木研究所資料第2681号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印