

模型実験手法による沿道建物後背地の騒音分布予測について

白井 清嗣 高山 孝 小林 正雄

(大気保全部)

要 旨

模型実験手法による道路交通騒音予測の実用化のため、実験技術上の諸問題について検討を進め、予測精度の向上を図っているところである。今回は、沿道建物後背地の騒音分布状況の予測について、予測精度に特に影響すると思われる次の問題点について検討を行った。

①実現場での地面吸収現象について、模型実験でも実質的に相似化し得る地表面材料を選定するための予備実験を行った。②マイクロホンの指向性について、実用的な対応策の検討をした。③実現場における測定値と比較することにより、実験技術の検討を行った。

これにより、模型実験手法による沿道建物後背地における騒音分布予測について、実用的予測精度が得られることを確認できた。

1 はじめに

新規に道路の建設を計画したり、既存の道路に騒音防止対策を行う場合には、道路交通騒音の予測が必要となる。都内の道路は、道路構造や周辺状況が単純でないことが多く、数値計算やコンピュータ・シミュレーション手法によって騒音予測を行うことが困難である場合がある。このような数学的予測手法を用いることが適切でない複雑な市街地道路等周辺を^{1)~3)}対象とする場合には、模型実験手法が特に有用である。

しかし、模型実験手法を適用して実際に予測を行うためには、実験技術上の種々の問題点について検討が必要である。^{4)~10)}そのため、実験技術上の諸問題について検討を進め、予測精度の向上を図って来たところである。本年度は、道路沿道の建物後背地における騒音分布状況の予測に適用するため、予測精度に特に影響すると思われる次の問題点について検討した。

- ① 実現場での騒音伝搬においては、地面吸収現象がある。模型実験においても、この現象を実質的に相似化し得る地表面模型材料についての検討
- ② 模型実験で使用する高周波領域の音の測定では、マイクロホンの指向性が鋭くなる。これについての実用的な対応策についての検討

- ③ 比較的広い地域を予測対象とする模型実験において、実現場の模型化にあたっての実験技術全般についての検討

これらの検討を行うため、地表面材料の選定のための予備実験、及び都内の実現場2例についての本実験を行い、実測値により実験手法の実用性を確認した。

2 実験方法

(1) 実験施設

模型実験室の床面積は14.6m×6.8mで、高さは4.0mである。模型実験室の天井及び壁面は、実現場の天空を再現できるよう吸音仕様(グラスウール厚 300mm)であり、床面はモルタル仕上げである。実験に使用する平面台は9m×5.4mである。実験用音源としてはジェットノイズによる線状音源を使用している。詳細は既報のとおりである。^{11)~13)}

(2) 模型実験の方法

実物に対する模型の縮尺比を $1/n$ (本報告では、前報と同様 $1/40$ を採用した。)とすると、寸法 L 、波長 λ 、周波数 f は、次の関係にある。

$$(a) \text{ 長さ} : L_R = n L_M$$

$$(b) \text{ 波長} : \lambda_R = n \lambda_M$$

(c) 周波数: $f_R = f_M / \pi$

(ただし、添字_Rは実物、添字_Mは模型を表す。)

模型実験は、この幾何学的相似則のもとに行う。予測精度に特に影響すると思われる地表面材料の吸音特性については、現実の地面吸収現象と実質的に相似性のある材料の選定を試みた。この予備実験をもとに、実現場の2例の本実験を行い、実測値と比較した。

ア 予備実験の方法

模型実験は平坦道路(車道幅16m, 歩道幅4m)を想定し、上下線の車道部分の各中央に線状音源を置いた。後背地の地面は平坦とし、車道端から先の地表面部分を、次の4種類の地表面材料に変えて実験した。模型実験に使用する平面台は、①塩化ビニル板で作られている。この上に、②グラスクロス(1枚)、③ネル布地(薄手)、④ウレタンフォーム(2mm厚)の3種類の材料を敷いた。グラスクロスは平面台上に直接敷いたが、ウレタンフォーム及びネルは別の塩化ビニル板にスプレー糊で貼付したものを作成し、これを平面台上に敷いた。

4種類の地表面材料を用いた模型実験の結果は、道路交通騒音予測計算方法に関する日本音響学会式によって計算した結果と比較した。この音響学会式は、多くの実測値をもとに、等間隔等パワーモデルを仮定した計算式に、地表面の影響による減音効果などによる補正值(いわゆる a_i)を加えた式であり、広く使われている。比較のための計算は、平均車頭間隔を十分に小さくする交通量を想定して計算し、線状音源を用いた模型実験と同様の条件となるようにした。

イ 本実験の方法

都内の幹線道路沿道にある2例の住宅団地について、現地測定と模型実験とを行った。実現場の騒音測定は、平日の午前11時頃に行った。模型は実用性を考慮し、ある程度実現場を単純化した模型を製作することにした。実現場を音響的にマクロ的な視野から眺めることにより、出来るだけ実現場の事物を単純化したうえで、精密な模型を製作することを心掛けた。実現場の住宅はコンクリート製建物であり、ベランダ等が付設されているが、これら住宅棟の模型は、単純な直方体とみなして塩ビ板で製作した。実現場の地面は、アスファルト、ジャリ、草地、樹木等が混在しているが、模型での地面は、一樣として車道端から先の地面部分にネルを敷いた。

(3) 測定系システム

測定系システムの概要は図1のとおりである。音響測定は、コンピュータ制御によるマイクロホン移動装置によって行う。測定結果はコンピュータで解析し、水平及び垂直断面の騒音コンター図等が出力されるシステムである。

マイクロホンは、B&K社製の1/2インチコンデンサマイクロホンを使用した。測定対象となる周波数領域(10KHz~50KHz)では指向性が鋭くなる¹⁴⁾。そのため、マイクロホンを向ける方向が問題となる。マイクロホンの向きは、①常に音源方向あるいは音の主たる到来方向に向けて測定する方法を採り、②常に一定のまま測定する方法との比較を行った。

使用したマイクロホンは、マイク部とプリアンプ部とを接続した長さは、通常約10cmである。この長さでは建物間隔の狭い箇所へ挿入することはできない。また、マイクロホン移動装置が指定した測定位置をずらさずに向きの変更を行うためには、音の入射軸方向の長さの短い方が容易である。そのため、マイク部とプリアンプ部との間にL字アダプターを介して直角に接続し、入射軸方向の長さを約2cmにしたマイクロホンを今回使用した。

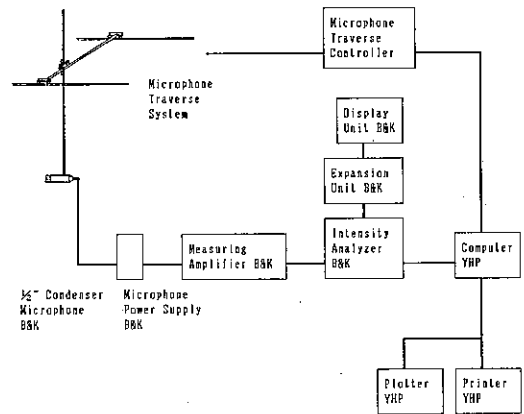


図1 Measuring System

(4) 騒音評価値の算出方法

騒音評価値は、現実の道路交通騒音に換算したdB(A)である。1/3オクターブバンドの音圧レベルを測定し、測定値をコンピュータに取り込んだのち、コンピュータ

計算によりこれを求めた。騒音評価値の算出方法は、模型実験で測定したスペクトルを、①模型実験の測定値の基準とするスペクトル、及び②現実の平均的道路交通騒音の測定値にA特性補正を加えたスペクトル、によって現実の道路交通騒音に換算する方法である。今回使用した各スペクトルは図2のとおりである。なお、騒音評価値の算出に使用する周波数範囲は、前報と同様、10KHz～50KHz（現実の道路騒音に換算して250Hz～1250Hz）に限定して行った。

3 実験結果

(1) 予備実験

ア 各種材料による実験結果

①塩化ビニル、②グラスクロス、③ネル、④ウレタンフォームの4種類の地表面材料を用いた際の垂直断面コンターは、それぞれ図3(a), (b), (c), (d)のとおりであった。コンター図上の各測定点の数値は、小数点以下を四捨五入した測定値である。各地表面材料の道路端からの距離ごとの高さによる測定値の差（たとえば、「12m

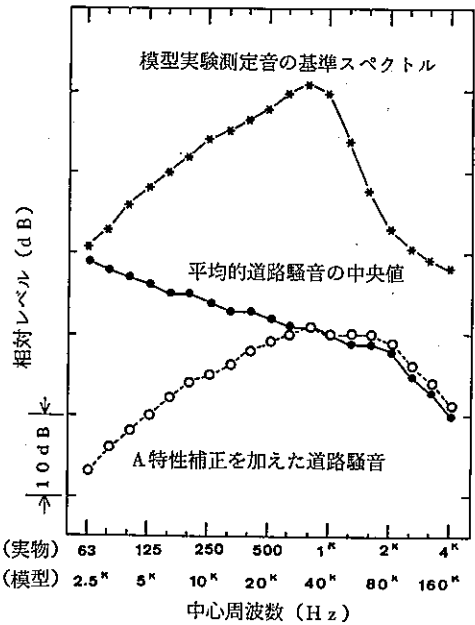
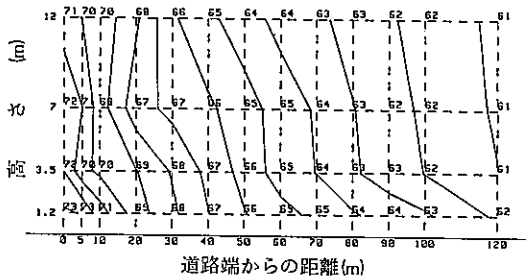
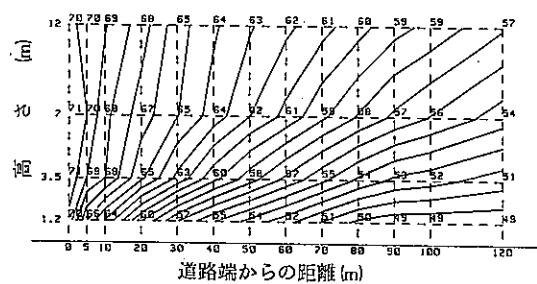


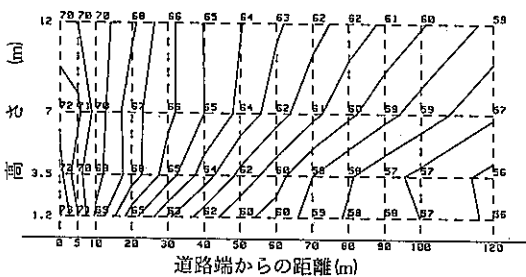
図2 騒音評価値の算出に使用したスペクトル



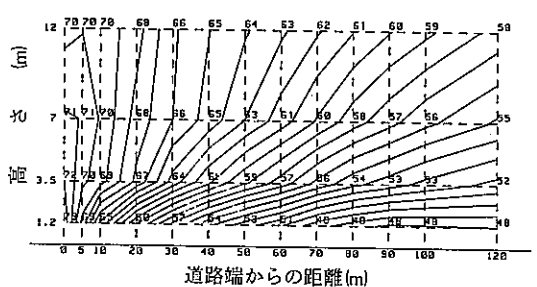
(a) 地表面材料に塩ビを用いた場合



(c) 地表面材料にネルを用いた場合



(b) 地表面材料にグラスクロスを用いた場合



(d) 地表面材料にウレタンフォームを用いた場合

図3 模型実験による平面道路の騒音分布コンター (dB (A))

-1.2m値) を求め比較すると、このかぎりにおいては、①塩ビは反射性であり、②グラスクロス、③ネル、④ウレタンフォームの順に吸音性が強くなると言える。

イ マイクロホンの向き

図3の各図は、各測定点ごとにマイクロホンの向きを鉛直方向に変え、マイクロホンが常に線状音源の方向に向くようにして測定した結果である。

この実験では、マイクロホンの向きを水平に一定のまま測定すると、最も道路近傍の測定点で、音源の方向に対し最大56°傾いた方向を向くことになる。マイクロホンの向きを水平に一定のまま測定した結果(地表面材料に塩ビを用いた場合)は、図4のとおりである。図3(a)のマイクロホンの向きを変えた場合と比較して、直近の線状音源に対し23°以上の角度となる位置の測定点(図4で○を付した測定点)で、最大6 dB少なくて測定された。道路から離れた他の測定点では、マイクロホンの向きによる測定値への影響はなかった。

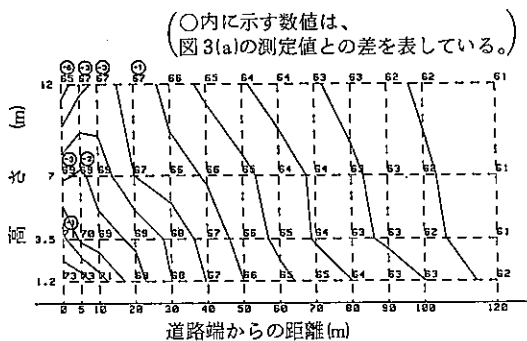


図4 マイクロホンの向き一定のまま測定した騒音コンター (dB (A)) (地表面材料に塩ビを用いた場合)

ウ 日本音響学会式による計算

日本音響学会式による計算は、模型実験と同じ道路幅を想定し、線状音源を置いた位置に仮想車線を設定した。各仮想車線それぞれについて、交通量5000台/h、速度40km/h、小型車類100%を想定して計算した。この計算結果から求めた垂直断面コンターは、図5のとおりである。コンター図上の各測定点の数値は、計算結果の小数点以下を四捨五入した値である。

エ 模型実験と音響学会式との比較

4種類の地表面材料を用いた実験結果である図3(a), (b), (c), (d)のうち、道路端からの距離ごとの高さによる

測定値の差(たとえば、「12m値-1.2m値)が、図5に最も近似していたものは、図3(c)の地表面材料にネルを用いた場合であった。ネルを用いた模型実験と計算結果との距離減衰曲線を求めると、図6のとおりである。模型実験で得られる騒音レベルは相対レベルであるため、図6の騒音レベルは、距離20m高さ1.2mにおける計算値を基準として相対レベル表示した。

図6において、ネルを用いた模型実験値と計算値との比較をすると、線状音源に最も近くかつ高い位置の1点

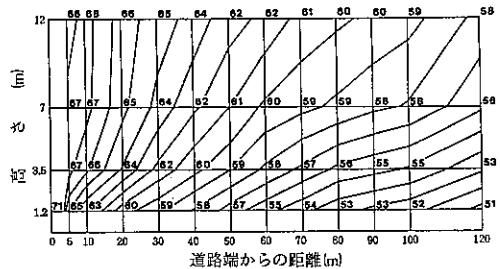


図5 音響学会式による平面道路の騒音分布コンター (dB (A))

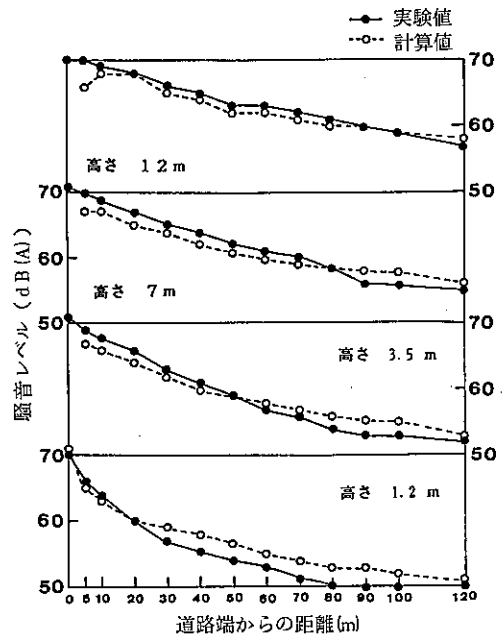


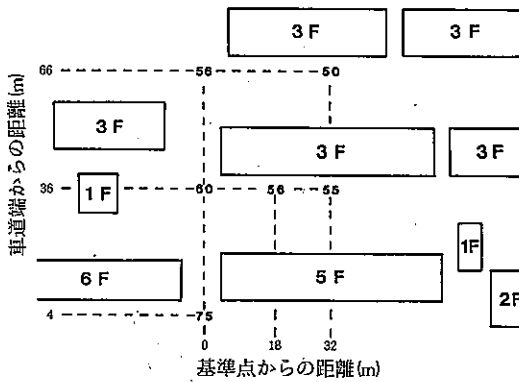
図6 模型実験値と計算値の距離減衰曲線 (地表面材料にネルを用いた場合)

(距離5m, 高さ12mの測定点)を除き, 全ての測定点において±3dB以内であった。

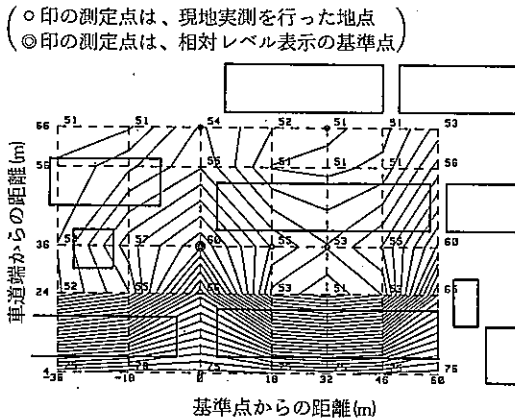
(2) 本実験

ア ケース1

ケース1の現場状況及び騒音実測値は, 図7(a)のとおりである。道路に面して5階建と6階建の住宅棟が建ち, その後ろに3階建の住宅棟と1階建の集会所等が配置している。対象道路は4車線道路で, 車道幅14m, 歩道幅4mである。交通量は, 大型車類44台/10分, 小型車類471台/10分であった。騒音測定高さは, 地上1.2mである。



(a) 現地での実測結果 (dB(A))



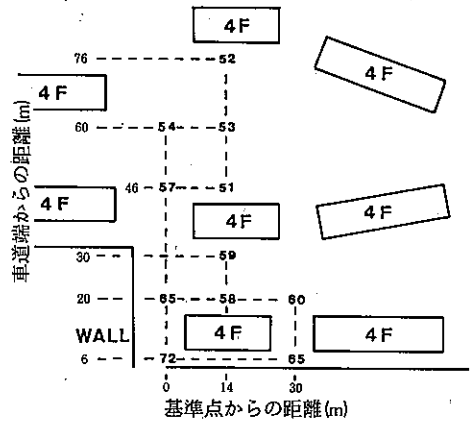
(b) 模型実験による測定結果 (dB(A))

図7 現地実測結果と模型実験結果
(ケース1の場合)

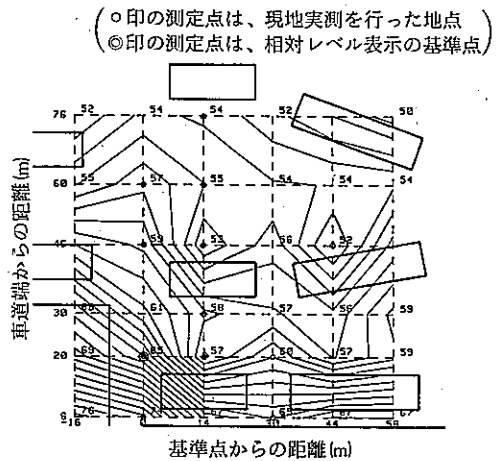
一方, 模型実験により求めた水平断面コンターは, 図7(b)のとおりである。図7(a)の騒音レベルは, 36m地点の現場測定値を基準点として相対レベル表示をした。模型実験で得られる騒音レベルは相対レベルであるので, 前報においても, 実現場と模型の両者の測定値がともに安定する20m付近の測定点を実現場と模型の共通の基準点としている。しかし, ケース1では距離20m地点の現場測定値がないため, 36m地点を共通の基準点(図7(a)で◎印を付した測定点)として相対レベル表示した。

イ ケース2

ケース2の現場状況及び騒音実測値は, 図8(a)のとおり



(a) 現地での実測結果 (dB(A))



(b) 模型実験による測定結果 (dB(A))

図8 現地実測結果と模型実験結果
(ケース2の場合)

りである。図8(a)の図中、右側には道路に面して高さ2mのスレート塀があり、左側にも塀を介して塀がある。その後ろには、4階建の住宅棟が建ち並び、中央部には児童公園がある。対象道路は4車線道路で、車道幅13m、歩道幅3mである。交通量は、大型車類47台/10分、小型車類435台/10分であった。

スレート塀の模型は、ボール紙で製作した。模型実験の結果は図8(b)のとおりである。図8(b)の騒音レベルは、20m地点の現場測定値を共通の基準点(図8(b)で◎印を付した測定点)として相対レベル表示をした。

ウ マイクロホンの向き

図7(b)及び図8(b)の測定におけるマイクロホンの向きは、直接音の及ぶ測定点では音源の方向に向け、建物等の影となり音が迂回して伝搬する測定点では音の主たる到来方向に向けて測定した結果である。

これに対し図9は、建物等の有無にかかわらず、マイクロホンの向きを線状音源に対し直角に一定のまま測定した結果(ケース2の場合)である。図9に示すとおり、建物や塀により音が迂回する測定点(図9で○を付した測定点)では、図8(b)と比較して最大3dB少なく測定された。

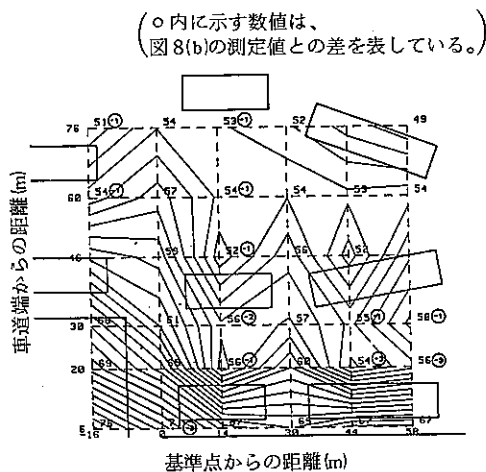


図9 マイクロホンの向き一定のまま測定した騒音コンター (dB (A)) (ケース2の場合)

エ 実測値と実験値との比較

ケース1及びケース2の実測値と実験値とを比較すると、図10のとおりである。本実験における実測値と実験

値との差は、すべて±3dB以内であり、実用的予測精度の範囲内であることが確認できた。

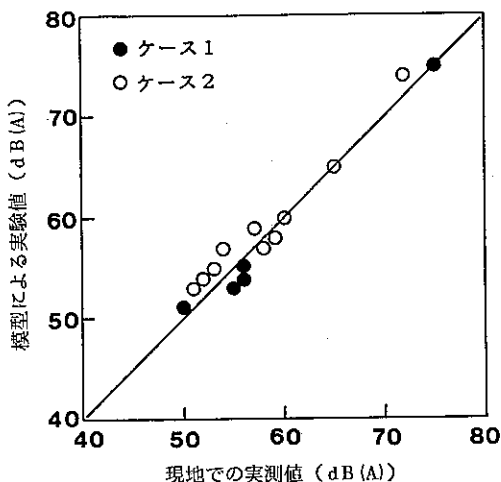


図10 模型実験値と現場実測値との比較

4 考 察

(1) 地表面吸収の相似化

音響模型実験では、幾何学的相似則のほかに、音響現象に関する他の物理量の相似性について検討する必要がある。模型実験で使用する地表面材料の選定にあたり、地表面の音響インピーダンス特性の相似性を考慮した報告がある。^{(15)~(17)} 模型での吸音率が実物のn倍の周波数で等しくなる模型材料を選択した報告もある。^{(20)~(21)} しかし、実物及び模型材料の音響インピーダンス特性の測定は容易ではない。また、吸音率の測定には残響室や残響箱が必要となり、対応する周波数の吸音率が厳密に等しい材料を選定することは実際的には困難な面がある。^{(6)~(9)}

道路騒音予測のための模型実験では、実用的な予測精度を得ることが目的であると考え。このような場合には、音響インピーダンス特性や吸音率の厳密な相似性を追求するよりも、むしろ最終的な測定計算結果の相似性を考慮することが重要であると考え。今回、現実の地表面における伝搬特性と実質的に相似となる地表面材料の選定を行い、これにより実用的予測精度を得られることが確認できた。しかし、実験した材料の種類は十分とは言えない。また、ネルを用いた場合の減衰曲線は、音

響学会式による計算よりも吸音性が大きい傾向にある。予測精度の向上のために、さらに多くの地表面材料について実験する必要がある。

(2) マイクロホンの指向性の対応策

実現場で使用する騒音計のマイクロホンは、無指向性である。しかし、模型実験で使用する高周波領域ではマイクロホンの指向性が鋭くなる。マイクロホンの向きを一定のまま測定した場合と常に音の主たる到来方向に向けて測定した場合とでは、状況によっては無視できない測定値の差が生じることがわかった。

マイクロホンの指向性に対する実用的対応策としては、マイクロホンの向きを常に音の主たる到来方向に向けるという方法を採用することが必要であると考えられる。

(3) 実験技術の蓄積の重要性

模型実験で縮尺比1/40を採用することは、比較的広範囲にわたる地域の予測に適している。このような広範囲の地域を予測対象とする場合には、実現場を音響的に単純化し、模型としていかにシミュレート化できるかが、予測精度と実用性とを高めるのに特に不可欠な実験技術であると考えられる。模型実験手法の予測精度をより向上させ、様々の現場状況に対応し得る技術を会得するためには、実験技術上のノウハウをさらに蓄積してゆく意外に方法はないと考える。

5 おわりに

道路沿道の建物後背地における騒音分布予測は、模型実験手法により実用的な予測精度において行い得ることが確認できた。模型実験手法は数学的手法と比較し、広範囲の地域を対象することでき、しかも建物の配置等の変更を容易に行うことができる。このような理由から、道路沿道対策の計画や実施などにあたっては、模型実験手法は特に有用な予測手法であると言える。来年度は、模型実験手法の実用化に向けてのまとめを行う。

参考文献

- 1) 日本音響学会：音響工学講座⑤騒音・振動（下），コロナ社，昭和57年，p.59～65
- 2) 建設省：沿道地域の居住環境整備に関する総合技術の開発報告書，昭和59年，p.5～12
- 3) 山本貢平：道路交通騒音予測—計算機と模型—，騒音制御 12, 3, p.5～8 (1988)
- 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 4, p.63～68
- 5) 平野興彦：模型実験の技法と測定法，騒音制御 2, 3, p.28～33 (1978)
- 6) 山下恭弘ら：模型実験に使用する音源，材料，騒音制御 6, 5, P.28～33 (1982)
- 7) 長谷勝幸ら：騒音対策のための模型実験について，騒音制御 6, 5, p.10～16 (1982)
- 8) 山下充康：騒音伝搬性状解析に適用する模型実験，騒音制御 6, 5, p.34～38 (1982)
- 9) 山下充康：道路交通騒音予測に適用される縮尺模型実験，騒音制御 11, 2, p.24～27 (1987)
- 10) 山下充康：騒音予測のための模型実験技法の研究，小林理学研究所報告 19, No.1—1979
- 11) 高山 孝ら：道路騒音伝搬に関する模型実験について，東京都環境科学研究所年報1988, p.169～172
- 12) 高山 孝ら：模型実験による自動車道路の遮音塀の検討，東京都環境科学研究所年報1989, p.214～217
- 13) 高山 孝ら：模型実験による道路構造別騒音伝搬の検討，東京都環境科学研究所年報1990, p.160～163
- 14) Brüel & Kjør : Instructions and Applications, Half-inch Condenser Microphones
- 15) 日本音響学会：音響工学講座③建築音響，コロナ社，昭和63年，p.150～159
- 16) 江守一郎：模型実験の理論と応用，技報堂出版，1988年，P.240～249
- 17) 白木万博：騒音防止設計とシミュレーション，応用技術出版，1987年，p.328～337
- 18) Martin Almgren : Scale Model Simulation of Outdoor Sound Propagation Above a Rigid Surface, Inter-Noise 85, p.445～448
- 19) D. A. Hutchins : Scale Model Studies of Noise Propagation Over Finite Surface, Inter-Noise 82 p.807～809
- 20) 足立義雄ら：残響室法を用いた種々の地表面吸音特性—模型実験手法研究(1)—，日本音響学会講演論文集（昭和60年3月），p.363～364
- 21) 足立義雄ら：模型材料の特性と選択—模型実験手法研究(3)—，日本音響学会講演論文集（昭和61年3月），p.405～406