

道路交通騒音予測のための模型実験手法に関する研究

白井 清 嗣 高 山 孝 上 原 幸 雄
(大気保全部)

要 旨

道路構造及び道路周辺状況が複雑な都市型道路における道路交通騒音予測手法として、模型実験手法は有用な手法である。しかし、本手法を実用に供するためには、実験技術上の問題点を検討し、現場測定による検証を行わなくてはならない。これまで、遮音壁、道路構造、沿道建物など各ケースごとに現場測定及び模型実験を実施し、実験上の技術的問題点について検討してきたところである。

今回検討したケースは、平面交差道路及び都内に多く設置されている立体交差道路（オーバーパス及びアンダーパス）である。これまでのケースと異なり2以上の道路を対象とするため、各道路からの発生騒音のレベル差の扱い方が問題となる。本報告では、各道路の換算交通量から音圧レベル差を計算し、このレベル差となるようあらかじめ各線状音源の放出空気量を調節する方法を採った。この方法により、等価騒音レベル L_{eq} については実用的予測精度が得られることが確認できた。

1 はじめに

新規に道路を建設したり、既存の道路に騒音対策を行う場合には、騒音予測が必要となる。しかし、都内の道路構造は一般に単純でなく、一様に連続していないことが多い。また、道路周辺には沿道建物等が複雑に配置している状況である。このような都市型道路は、いわゆる日本音響学会による道路騒音予測式の適用条件にあてはまらないことが多い。一方、コンピュータ・シミュレーション手法を用いる場合にも、道路構造及び周辺状況等が複雑過ぎるため、境界条件の入力及び騒音伝播の計算が困難である場合がある。

模型実験手法は、道路周辺状況等が複雑である場合にも有用な手法である。模型の場合には局面の変化が容易に行えるため、防止対策等の検討にも優れた手法であると言える。しかし、模型実験手法を実用に供するためには、実験技術上の種々の問題点について検討が必要であり、現場実測値による検証を行わなくてはならない。

これまで年度計画に基づき、遮音壁による効果、各種の道路構造、沿道建物による影響などそれぞれのケースごとに検討を行って来た。今回対象としたケースは、平面交差道路及び都内に多く存在する立体交差道路（オ

バーパス及びアンダーパス）である。

今回のケースは、これまでのケースと異なり2以上の道路を対象としている。線状音源を用いた模型実験では、各道路騒音のレベル差の扱い方が問題となるため、このようなケースでの実験手法について検討を行った。本報告では、各道路の音圧レベル差を換算交通量から計算で求め、各線状音源の放出空気量を調節することにより、このレベル差をあらかじめ設定する方法を採った。この方法により、時間率騒音レベルの中央値 L_{50} の予測精度はかならずしも充分ではないが、等価騒音レベル L_{eq} については実用的予測精度が得られることを確認できた。

2 模型実験の方法

(1) 模型実験の相似則

模型実験を行う場合には、実物条件と模型条件との間に相似則を満足させなくてはならない。実物に対する模型の縮尺比を $1/n$ とすると、次の関係にある。

$$\begin{aligned} \text{長さ} & ; L_R/L_M = n \\ \text{波長} & ; \lambda_R/\lambda_M = n \\ \text{周波数} & ; f_R/f_M = 1/n \end{aligned}$$

ただし、添字 R 及び M は、それぞれ実物及び模型を表す。

すなわち、実物の寸法に対し模型の寸法は $1/n$ とすると、周波数は n 倍になり、この幾何学的相似則のもとに実験することになる。寸法以外の他の物理量については、つぎの相似関係のもとで実験する。

空気吸収については、実験にあたって湿度のチェックが必要であるが、通常無視し得ると考えられる⁵⁾。吸音率については、 n 倍の周波数においてできるだけ近似する材料を選択する。音響障害物による回折減衰値は、フレネルナンバー N ($N = 2\delta/\lambda$, δ : 経路差, λ : 波長) が同じならば等しくなる。実物に対する模型での経路差及び波長はともに $1/n$ となるため、回折減衰値は相似則が成り立つ。

本研究は、実用的なある程度広い面積をもつエリアについての騒音予測を対象としている。そのため、使用音源、測定計器、簡易無響室の広さ等を考慮し、実用的な縮尺比として $1/40$ を採用した。

(2) 実験室の音響特性

模型実験施設の概要は表1のとおりである。実験に使用する平面台は $9\text{m} \times 5.4\text{m}$ である。使用する線状音源は、図1のとおり 6.3ϕ の真ちゅう製パイプで製作する。線状音源1ユニットは、長さ 1m であり、 6.3ϕ の真ちゅう製パイプに 0.3ϕ の空気放出孔が 50mm 間隔で直角に交互にあいている。線状音源のユニットを通常9本接続して 9m の線状音源として使用する。各ユニットの接続部には圧縮空気供給ホースがあり、空気放出孔からジェットノイズが放射する仕組みである。各ホースそれぞれには流量調節バルブが付属しており、発生音圧レベルを細かく調整できるようになっている。

表1 模型実験施設の仕様

模型実験室	
床面積	: $6.8 \times 14.6\text{m}$
天井高	: 4.0m
吸音仕様	: 300mm 厚グラスウール
床仕上げ	: モルタル仕上げ
音源用圧縮空気供給装置	
コンプレッサー能力	: 11kW (TOSCON SP-105)
エアータンク容量	: 2m^3
使用圧力	: $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下

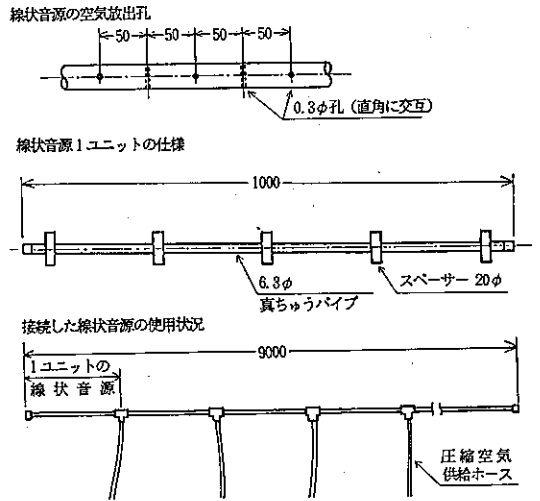


図1 線状音源の仕様

実験室の音響特性は次のとおりである。

① 線状音源による距離減衰特性

実験室の音響特性を調べるため、線状音源1本(長さ 9m)を平面台の床上 60cm の高さに固定した。(以下、「標準位置」という。)図2は、この線状音源の中央部において、音源から距離 10cm ごとに音圧レベルを測定したものである。低い周波数では壁面反射の影響が見られる。しかし、本報告で使用している周波数範囲は $10 \sim 50\text{kHz}$ であるので、線音源減衰の仮定条件(倍距離 3dB 減衰)を満たしていると見なし得る。

② 線状音源による音場

実験にあたっては、線状音源の軸方向音圧レベルを均一に設定する必要がある。そのため、線状音源から一定距離 (50cm) にて音圧レベルを測定し、線状音源に付属する各ホースバルブにより圧縮空気の流量調節を行っている。表2は、線状音源からの放射音圧レベルのチェックに使用する測定機器である。軸方向音圧レベル差は $\pm 0.5\text{dB}$ 以内に調整することができる。

線状音源の軸方向音圧レベルを調節した音場は、図3のとおりである。図3は、線状音源を標準位置に固定した線状音源の床上 60cm の平面音場における 31.5kHz の周波数帯域の結果である。線状音源の中央部分の $4 \sim 5\text{m}$ (実寸法で $160 \sim 200\text{m}$) では、線状音源にはほぼ平行に減衰しており、このエリアでは線状音源が有限長であることの影響はないと見なすことができる。

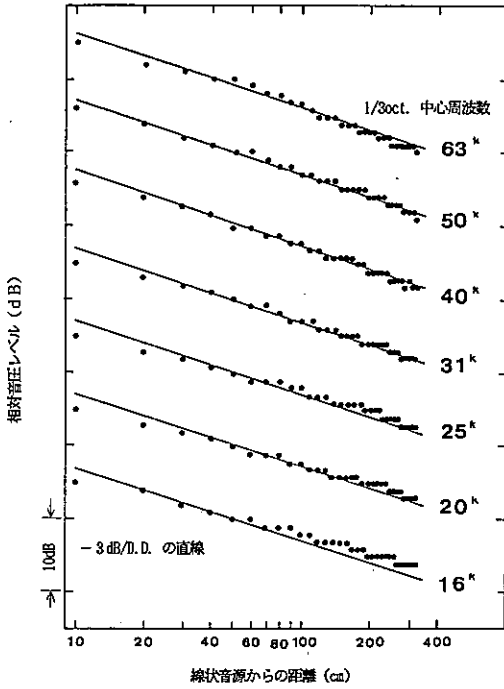


図2 線状音源の距離減衰特性

表2 事前チェックに使用する測定器

マイクロホン ; B&K 1/2インチコンデンサマイクロホン
計測用増幅器 ; B&K 2636型
バンドパスフィルタ ; B&K 1617型
レベルレコーダ ; リオンLR-03型

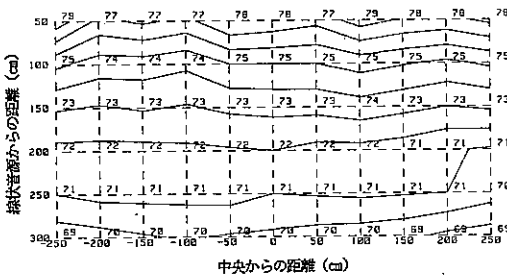


図3 線状音源による音場 (dB)

(3) 線状音源の特性

① 供給空気圧と放射音の特性

図4は線状音源への供給空気圧を変えた場合の音圧スペクトルの変化である。線状音源を標準位置に固定し、音源中心から距離50cmにおいて、供給空気圧を0.5kg/cm²刻みに変えて測定した結果である。放射音のスペクトル変化は、供給空気圧に応じてほぼ平行に移動していることがわかる。

② 線状音源の放射音指向特性

図5は線状音源の法線方向指向特性である。線状音源を標準位置に固定し、線状音源中央部で距離50cmで測定した結果である。法線方向の測定角度を15°刻みに変え

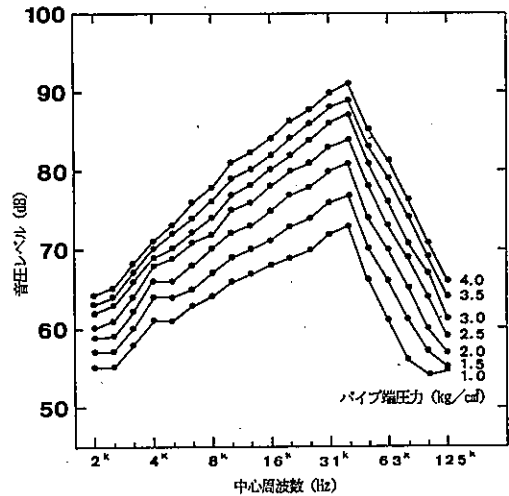


図4 線状音源の放射音

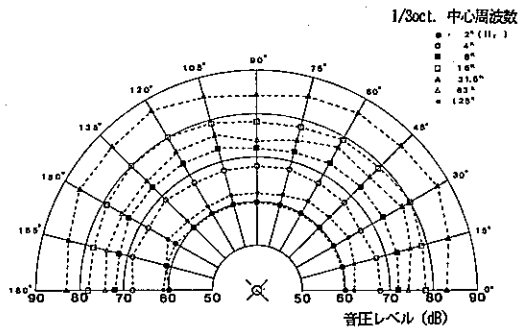


図5 線状音源の放射音指向特性

て0°～180°まで測定した。線状音源の法線方向指向特性は、実用上差し支えないと見なせる。

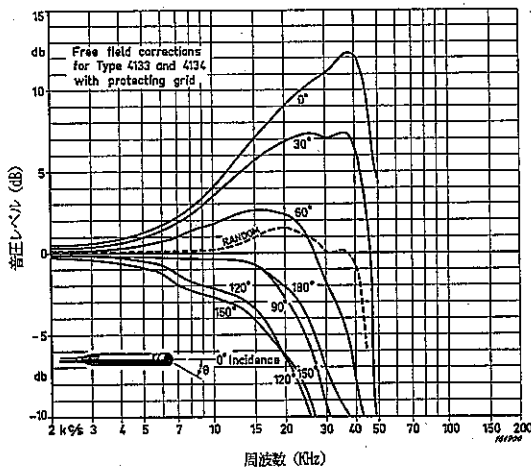
(4) 模型材料

模型実験に使用する材料は、実物のn倍の周波数で同じ吸音率をもつ材料を選定することが望ましい。しかし、このような模型材料を厳密に選定することは事実上困難な面が多いため、本報告では反射材か吸音材かというおおまかな分類により行っている。コンクリート・アスファルト製の道路面、高架橋梁、建物等は反射体として扱い、これらの模型は塩化ビニール板等を用いて製作している。草地等の地表面は吸音材として扱い、ネル布地等を用いている。また、遮音壁等の吸音面は、発泡性のウレタンフォーム等を用いて製作を行っている。

(5) 測定システム

測定システムは、多点測定を正確かつ迅速に行えるよう、コンピュータ制御によるマイクロホン移動装置を用いたシステムである。詳細は前報のとおりである。マイクロホンから計測器までの接続ケーブルが長くなるため、ケーブルの途中にはパワーサプライ及び計測用増幅器を使用している。

使用するマイクロホンには、参考図1のような指向特性がある⁶⁾。測定にあたってはこの指向特性を無視することはできず、マイクロホンを常に主たる音の到来方向に向けて測定するなどの対応策が必要である。今回の模型実験では、音圧レベル測定位置へのマイクロホン移動はコンピュータ制御で行った後、直視型周波数分析器を



参考図1 マイクロホンの指向性

見ながらマイクロホンの向きを変え、音圧レベルが最大となる方向で測定する方法を採った。

模型実験の測定値は、①平均的道路交通騒音のスペクトル、②模型実験での基本スペクトル、③対応する周波数でのA特性補正スペクトルを用いて、現実的道路交通騒音に換算している。

3 交差道路の模型実験結果

(1) 平面交差道路

4車線道路(車道幅20m)と2車線道路(車道幅16m)との平面交差道路を実現場測定の対象とした。後背地は草地となっている。図6のように、車道端から距離10mおきに測定ポイントを設け、計22ポイントで L_{50} 及び L_{eq} について実現場測定を行った。騒音測定時間は10分間で測定値は数回測定した平均である。図6の騒音測定値は L_{eq} である。平面交差道路の上り下り(内回り外回り)別の10分当りの車種別交通量は、表3のとおりである。

模型実験では、線状音源を各道路の上り下り(内回り外回り)に1本づつ設定した。後背地は草地のためネル布を敷いた。各道路の上り下り(内回り外回り)ごとに換算交通量(大型車1台を小型車8台と換算)を計算し、各道路の上り下り(内回り外回り)の相対音圧レベル差を求めた。相対音圧レベル差の計算結果は、小数点以下

表3 各交差道路の車種別交通量

(台/10分)

各 交 差 道 路		大型車	小型車	
平面交差道路	4車線道路	測定側	28	125
		反対側	40	109
	2車線道路	測定側	40	45
		反対側	34	65
オーバースタッド道路	オーバースタッド	測定側	12	170
		反対側	16	159
	交差する道路	測定側	59	231
		反対側	21	220
	左右折道路(測定側)	13	56	
アンダースタッド道路	アンダースタッド	測定側	61	229
		反対側	58	230
	交差する道路	測定側	12	141
		反対側	9	143
	左右折道路(測定側)	9	79	

を四捨五入して0 dBであった。これに基づき、各線状音源の相対音圧レベル差を等レベルに設定した。

図7は、模型実験による騒音コンター図の出力結果 (Leq) である。

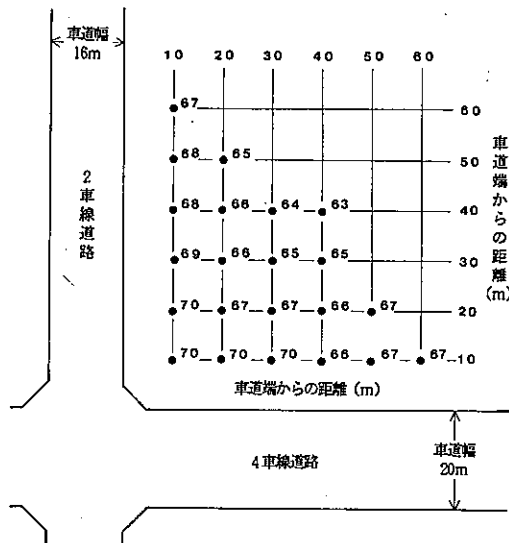


図6 平面交差道路の現場状況及び現場測定値 Leq (dB (A))

部を基準として、交差道路は+2 dB, 右左折道路は-2 dBであった。このレベル差となるよう線状音源の放空気量の調節を行った。

図9は、模型実験によるオーバース道路の騒音コン

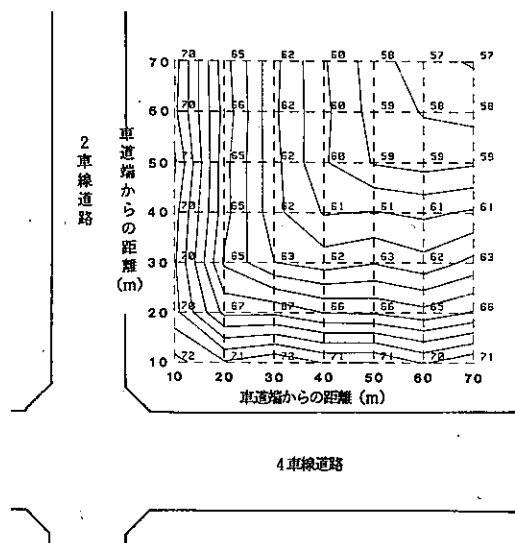


図7 平面交差道路の模型実験結果 Leq (dB (A))

(2) オーバース

図8のようなオーバースの立体交差道路を実現場測定の対象とした。オーバース部は4車線道路(15m幅)であり、その両脇には右左折道路が1車線づつ(7m幅)ある。オーバース道路に交差する道路は4車線道路(17m幅)である。後背地には、空き地、ビル、住宅がある。測定ポイントはオーバースに平行に右左折道路の車道端から距離4m地点に設けた。実現場の騒音測定点数は計13ポイントである。各道路の上り下り(内回り外回り)別の車種別交通量は、表3のとおりである。

模型実験では、線状音源をオーバース部の内回り外回りに各1本、交差道路の上り下りに各1本、測定側の右左折道路に1本を設定した。右左折道路は、線音源と仮定するには不十分な交通量ではあるが、測定ポイントが道路近傍であり無視することはできないため線状音源を設定した。後背地には、ビル模型を現場と同様に並べた。(1)と同様に各道路の上り下り(内回り外回り)別に換算交通量を計算し、各線状音源の相対音圧レベル差を求めた。相対音圧レベル差の計算結果は、オーバース

ター図出力結果 (Leq) である。

(3) アンダーパス

図10のようなアンダーパスの立体交差道路を実現場測定の対象とした。アンダーパス部は4車線道路(幅19m)である。アンダーパス部の両脇には、緑地帯(幅10m)があり、その外側に右左折道路1車線(幅10m)がある。アンダーパス道路に交差する道路は2車線道路(幅12m)である。後背地には、空き地、ビル、住宅がある。測定ポイントはアンダーパスに平行に右左折道路の車道端から距離4m、16m及び35m地点に設けた。実現場での騒音測定点数は計14ポイントである。図10は車道端から距離4m、16m、35mでの実現場測定値(括弧書きの数値は16m、35mの模型実験値である)である。各道路の上り下り(内回り外回り)別の車種別交通量は、表3のとおりである。

模型実験では線状音源をアンダーパスの上り下りに各1本、交差道路の内回り外回りに各1本、測定側の右左折道路に1本を設定した。後背地には、ビル模型を並べた。(1)と同様に各道路の上り下り(内回り外回り)別

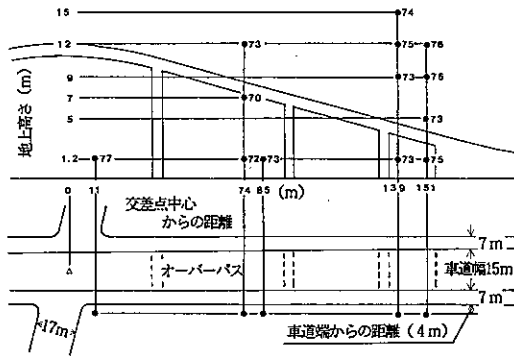


図8 オーバーパスの現場状況及び現場測定値 Leq (dB (A))

に換算交通量を計算し、各線状音源の相対音圧レベル差を求めた。計算による相対音圧レベル差は、アンダーパスを基準として、交差道路は-5 dB、左右折道路は-10

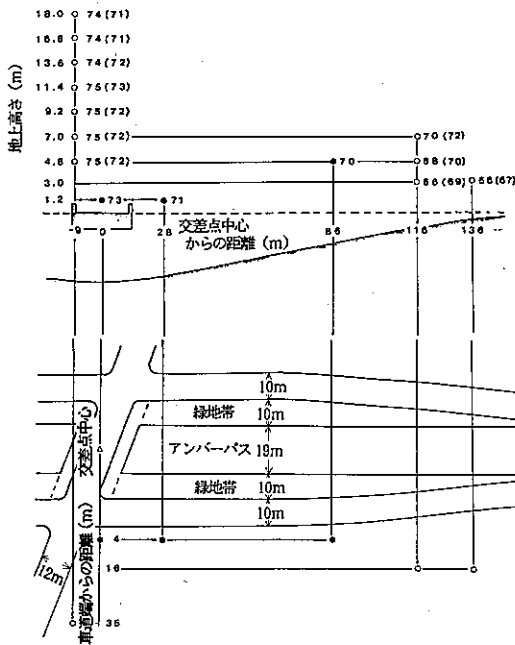


図10 アンダーパスの現場状況図及び現場測定値 Leq (dB (A))

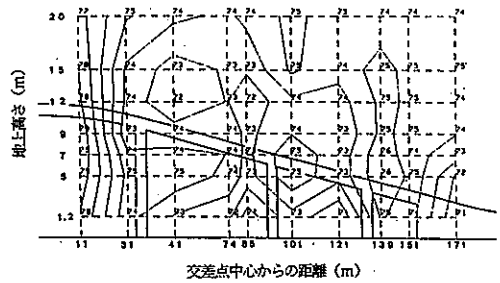


図9 オーバーパスの模型実験値 Leq (dB (A))

dBであった。このレベル差となるよう各線状音源の放出空気量を調節した。

図11は、アンダーパス道路の車道端から距離4 mの位置における模型実験の騒音コンター図出力結果 (Leq) である。

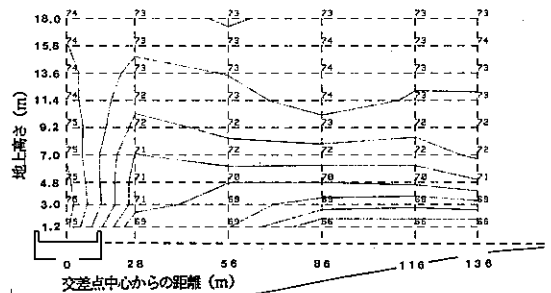


図11 アンダーパスの模型実験値 Leq (dB (A))

(4) 現場実測値と模型実験値との比較

平面交差道路、オーバーパス及びアンダーパスの各立体交差道路について、 L_{50} の現場実測値と模型実験値とを比較した結果は、図12のとおりである。模型実験による L_{50} 値は測定値の95%以上が±5 dB以内であった。

一方、各交差道路の現場実測値と模型実験値とを Leq 値で比較した結果は、図13のとおりである。 Leq 値では測定値の95%以上が±3 dB以内にある。本報告の実験方法による Leq 値は、実用的な予測精度の範囲内にある。

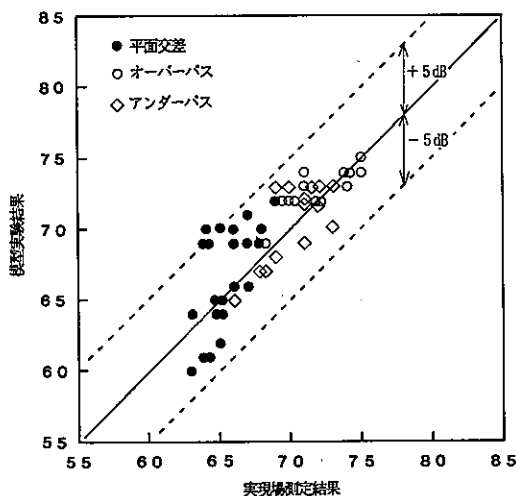


図12 実現場測定値と模型実験値との L_{50} の比較
dB (A)

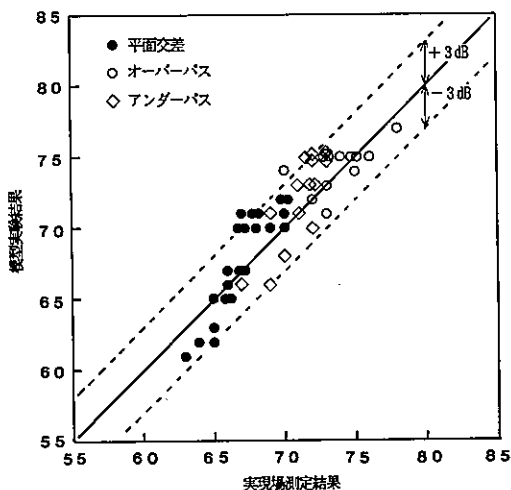


図13 実現場測定値と模型実験値との L_{eq} の比較
dB (A)

4 考 察

(1) 交差道路についての騒音予測

① 線音源と仮定することの問題点

立体交差道路のうちオーバースタック及びアンダーパスの部分は、交通量が多かつ定常走行をしているため、線音源と見なし得る。しかし、平面交差道路、及び立体交差道路に付随する平面交差部分は信号による車両の発停がある。また、立体交差道路に付随する右左折道路は線音源と見なすには不十分な交通量であり、線状音源を用いた模型実験を交差道路に適用するには問題点がある。

② 2以上の道路を対象とすること

2以上の道路の相対レベル差の扱い方として、本報告では線状音源にレベル差を設定する方法を採った。貯気槽の能力が十分に大きく、各ホースごとに調節バルブを取り付けているため、一度レベル設定を行うと音圧レベルの変動はない。実験が比較的容易にできることが確認できた。

もう1つの方法として、1の道路ごとにそれぞれ測定し、各測定値に相対レベル差を設けてエネルギー加算する方法が考えられる。しかし、この方法は測定および計算に要する作業が複雑となると思われる。

いずれの方法にしても、騒音レベルのエネルギー加算をすることになり、 L_{eq} 値を求めることになる。 L_{50} 値は統計計算による量であり、2以上の道路が存在する場

合、その予測精度を高めることは難しい。

③ 交差道路に適用した場合の予測精度

今回の実現場測定地点は、現場の事情から道路近傍で行なった。模型実験による予測精度は、これまでの実験例から道路近傍よりも後背地の方が良い。オーバースタックやアンダーパスに付随する右左折道路の影響等が無視できるようなある程度後背地の騒音予測であるなら、予測精度もさらに高いものとなると考えられる。また、アンダーパスやオーバースタックの傾斜道路によるパワーレベルの変化は考慮していないが、このようなレベル差も初期設定できるならば、 L_{eq} の予測精度はさらに高くなることが考えられる。

(2) 模型実験手法の予測精度

本研究では模型実験の縮尺比として1/40を採用している。これよりも縮尺比を小さくすると、使用する周波数帯域は低くなり、吸音処理が簡単な簡易無響室での実験はできなくなる。無響室内で実験しようとする広いエリアの予測はできない。一方、縮尺比を1/40より大きくすると、使用する周波数帯域は高くなり、発生音源や測定計器等に難点がでてくる。これらを考え合わせると、比較的広いエリアの騒音予測を行うためには、縮尺比1/40で簡易無響室を用いて実験を行うことが最も実用的な縮尺比であると言えよう。

縮尺比1/40を採用した本研究における模型実験手法

の予測精度は、これまでの実験結果から±3 dB程度である。建設省土木研究所における模型実験においても、模型実験手法による予測精度を±3 dB程度としている。模型実験手法の実用的予測精度としては、この程度であろうと思われる。

(3) 模型実験手法の活用

模型実験手法と並行してコンピュータ・シミュレーション手法についても検討してきた。模型実験による予測方法とコンピュータ・シミュレーションによる予測方法とは、それぞれメリットとデメリットがある。一般的には、比較的単純な道路構造で道路近傍について予測する際にはコンピュータ・シミュレーション手法が適し、比較的複雑な道路構造で建物後背地を予測する際には模型実験手法が適していると言えよう。これらのメリットとデメリットをよく踏まえて、それぞれの予測手法の活用を図ることが必要がある。

5 おわりに

これまで行ってきた道路交通騒音予測のための模型実験手法に関する研究は、実用的な騒音予測精度を得られることの確認ができた。そのため、現場実測値との比較による模型実験手法の技術的検討については今回の報告をもって終了することとする。コンピュータ・シミュレ-

ーション手法についての検討結果については、次年度に報告する予定である。

次年度からはこれまで開発してきた模型実験手法及びコンピュータ・シミュレーション手法等の騒音予測手法を活用し、具体的な道路交通騒音対策について検討してゆきたい。

参考文献

- 1) 高山 孝ら；道路騒音伝播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，p169～172.
- 2) 高山 孝ら；模型実験による自動車道路の遮音壁の検討，東京都環境科学研究所年報1989，p214～217.
- 3) 高山 孝ら；模型実験による道路構造別騒音伝播の検討，東京都環境科学研究所年報1990，p160～163.
- 4) 白井清嗣ら；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，東京都環境科学研究所年報1991，p199～205.
- 5) 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，p10～16 (1982).
- 6) Brüel & Kjær；Instructions and Applications, Half-inch Condenser Microphones.
- 7) 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，p7～10，(昭和59年).