

## 交差点における道路交通騒音の予測手法について

小林 正雄 高山 孝

### 1 はじめに

近年における自動車数の増加や自動車専用道路の建設等により、道路騒音が都心部及び周辺部での主な騒音源となっている。現在のところ、道路に面する地域の環境基準の達成率も低く、道路交通騒音の防止対策の検討が急がれている。更に、道路周辺の良好な環境を保つため、道路の新設・改造の際には、周辺への影響予測を事前に行うことが重要となってきた。

このような状況から、当研究所では市街地道路に適用し得る道路交通騒音の予測手法の実用化を目的とし、調査研究を行ってきた。

現在まで行われた調査・研究は、道路を車の流れにより定常交通流区間と非定常交通流区間に分け、基礎データの収集等を行ってきた。前報では、このデータを基に、定常交通流区間を対象とした、シミュレーションによる道路交通騒音予測手法の検討及びその検証について報告した。

今回は、非定常交通流区間（交差点等）に適用し得る道路交通騒音予測モデルを作成したので、シミュレーションモデルの構成及び検証結果等について報告する。

### 2 研究概要

予測手法の開発の進め方は次の方法を採用した。

- ① 道路交通の現状を調査し、騒音予測に役立つと思われる項目について整理する。
  - ② 上記項目を基にシミュレーションモデルを試作し、大型電算機による試行を繰返し、設定目標精度に到達するかの検討を行う。
  - ③ 目標をほぼクリアすれば、実用的なパーソナルコンピュータを用いたシミュレーションモデルを作成し、検証調査を行って実用化を図る。
- 定常交通流区間におけるシミュレーション予測手法は

上記の方法で行い、実用的な予測手法が得られた。当初非定常交通流区間についても、このような方法で開発を進めることを考え、複雑な交通流をマクロ的に捉え次のように計画し、現場調査を実施した。

- ① 信号が赤から青への数十秒間を加速走行状態時と考え、加速パワーレベルによる定常交通流とみなす。
- ② その後の青の状態は、一般走行パワーレベルによる定常交通流とみなす。

上記を交差点の主、副道路で繰返す。

このシミュレーション開発も定常交通流区間の場合と同様の手順で進めたが、加速走行時については、設定目標精度が得られなかった。この原因としては、加速時の交通量が明確でなく、現状と一致しない点が考えられた。

このような経過から、新たな予測手法の検討を行い、交差点については、現実の車の動きに近似させた予測手法を採用することとした。作成したシミュレーションの検証については交差点の車の動き方、各方向へ向う車の割合、騒音、信号状況等のデータが必要となるので、新たに検証調査を実施した。この調査を基に行った検証では、良好な結果を得ることができた。

以下は、このシミュレーションの内容と検証結果である。

### 3 予測モデルの作成

今回はモンテカルロ法による疑似交通流を表現する方法として、乱数によって性格づけられた車を順次発生させ、この車を走行させて行く方法を採用した。騒音については、車の走行に沿って経過時間毎に計算する方法とした。したがって、車が走行している状態の中で、ある一定の時間間隔を定め、この間隔ごとの時間断片上における車の種類・位置・速度等からパワーレベルを計算

し、各車と受音点の位置関係から騒音レベルを求めて行くこととなる。車の走行は、道路を進行方向で分割して走行させ、実態に出来るだけ近い方法とした。

予測モデルのフローを図1に示す。図2は一般に多くみられる4車線道路と2車線道路の交差点の例を示す。

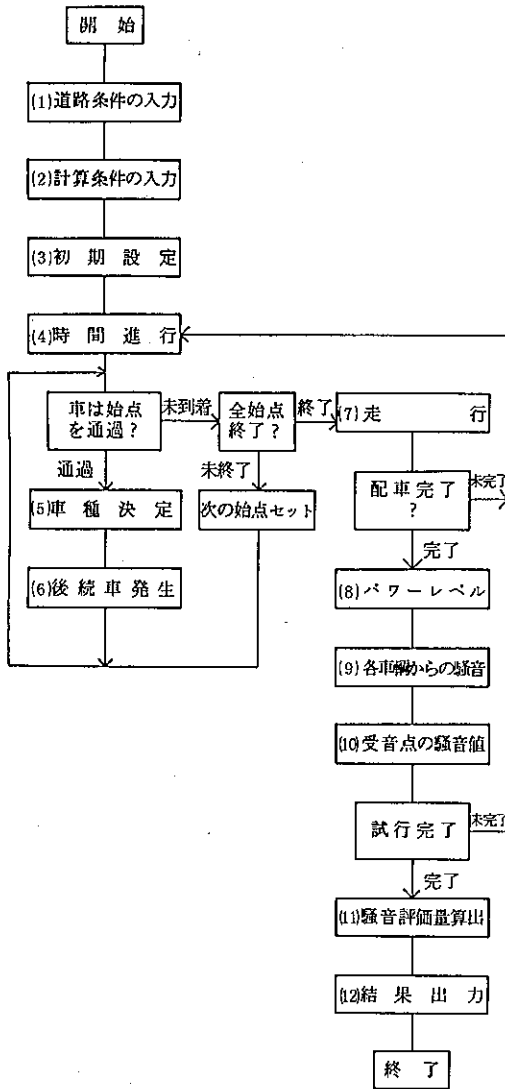


図1 シミュレーションのフロー

以下に、図2の例を用いて、このモデルのフローの説明を行う。

(1) 道路条件の入力

道路の位置、信号の状態、交通条件、防音壁等の配置

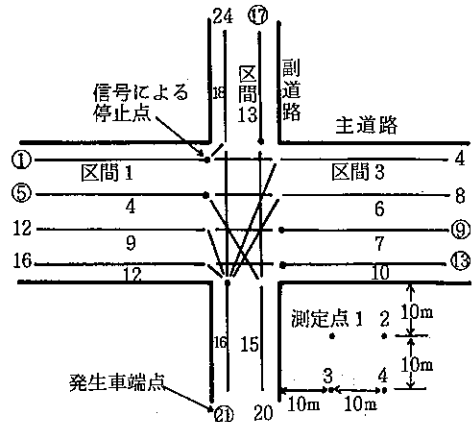


図2 交差点モデル

及び高さ等の諸条件を入力する。道路の位置については、車線の中心座標(X, Y, Z)を、分割された道路の端点ごとに入力して行く。

ア 騒音の予測地点及びそれに影響を与える道路の範囲を考慮し、シミュレーションの対象範囲を決定し、X・Y・Z軸の大きさを定める。

イ 道路の位置は車線中心とし、同一車線ごとに車線の両端(以下端点という)を決め、まず端点の個数を指定する。図2の入力例の場合、端点個数は24個である。

ウ 端点の座標(X, Y, Z)を入力する。

エ 端点が道路の開始点か又は信号による停止点かを指定する。

オ 道路区間(開始端点と終了端点間)情報を指定する。

- ① 道路区間個数の指定
- ② この区間における平均車速の指定
- ③ 進行方向で結合する道路区間の個数を指定
- ④ 進行先の道路区間に対する結合率(車の分岐率)を指定

カ 発生車テーブルの設定

ここでは、走行させる車の条件を指定する。端点のうち、車を発生する端点の番号を指定する。例示では車を発生する端点は6個である。その他には、音源の高さ、交通量、車種構成比を入力する。

キ 信号状態の指定

- ① 交差点の信号、横断信号等の信号の種類を指定

② 信号間隔の指定

ク 防音壁等の指定

シミュレーションの範囲内にある防音壁等について、その座標を入力する。

(2) 計算条件の指定

各種計算に必要な以下の項目について指定する。

ア 過剰減衰項の指定

$K \log (D/R)$  の  $K$ ,  $R$  について指定する。

イ 暗騒音の指定

ウ 乱数の初期値の指定

エ 試行回数と試行間隔の指定

オ 車の大きさ、車間間隔の係数の指定

車の大きさは、赤信号で前の車が停止した時の車の間隔。前車が減速したときの車間間隔は、車の速度と追従関係によって算出されるが、実際の走行状態ではこれよりさらに短縮された車間間隔となっている。そこで、車間間隔の係数とは、この短縮される率のことで許容率（車間間隔を詰めても良い度合い）である。

カ 加速度・減速度の指定

キ 騒音評価値の指定

$L_x$  の必要値を指定する

ク 計算地点の指定

計算地点を任意の地点かメッシュで指定する。

(3) 初期設定

ア 先行車を各道路上の音源位置の始点に配置する。

イ 先行車と後続車の時間間隔を設定する。

ウ 流れを初期配車の状態にセットしておく。

(4) 時間進行

経過時間を試行間隔分進める。

(5) 車種決定

一様乱数を発生させ、車種を決定する。

(6) 後続車の発生

今までの後続車を先行車に置き換え、新たに後続車を発生させ、先行車との時間間隔を指数乱数を用いて決める。

(7) 走行

車を速度と時間により走行させる。

(8) パワーレベル

車のパワーレベル  $L_w$  は、正規乱数を用いて決定し、次の式で与えられる。

$$L_w = PwL + \sigma \times R + 0.2 \times V$$

$PwL$  : 車種により決まる定数で、音響学会式による。

$\sigma$  : 車種により決まる  $PwL$  の標準偏差で、音響学会式による。

$R$  : 平均が 0、標準偏差が 1 の正規乱数

$V$  : 車速 (km/h)

ただし、加速時においては、加速時の速度が 55km/h 以下のとき、速度の如何に拘らず  $V=55\text{km/h}$  時の  $PwL$  とする。また、停止時は  $V=0\text{km/h}$  とする。なお、加速は信号が赤から青、又は車間間隔が安全間隔を超えたとき加速状態となる。加速状態は、その区間の平均速度を超えるまでは続く。減速は信号が青から黄又は赤になったとき、あるいは安全車間距離が保てなかったとき減速状態となる。減速状態は、車速が 0 km/h になるまで続く。

(9) 各車両からの騒音

各車両から受音点に達する騒音レベル  $L$  を、次式により計算する。

$$L = L_w - 8 - 20 \log D - \alpha d - K \log (D/R)$$

$D$ : 受音点から車までの距離 (m)

$\alpha d$ : 回折減衰による補正值 (dB (A))

(10) 受音点の騒音

各車両からの騒音レベルを合成し、走行全車両による騒音レベル  $L_i$  を求める。

$$L_i = 10 \log_{10} \left( \sum_{k=1}^n 10^{\frac{L_k}{10}} \right)$$

以上、フローに従って説明したように、まず(1)・(2)・(3)で計算条件を入力する。そして、(4)から(10)までを試行回数くり返し計算を終了する。そして、試行が完了した後、(1)騒音評価値を指定条件により算出し、その結果を(10)出力する。

4 検証調査

(1) 調査概要

作成したシミュレーションによる予測手法の精度を検討するため、新たに調査場所を選定し、検証調査を行った。調査場所の選定に当たっては、特に以下について留意した。

- ① 対象道路では車がスムーズに走行している区間で、赤信号による停止車は次の青信号で全車発進できること。

表1 調査場所

測定No.	測定道路	測定場所	道路タイプ
1	国道16号	八千代市米本	B
2	"	船橋市小室	A
3	"	野田市山崎	B
4	"	野田市中根	A
5	"	埼玉県庄和町	B
6	"	春日部市小渕	B
7	"	大宮市深作西	A
8	新青梅街道	武蔵村山市三ツ木	C
9	"	東村山市本町	A
10	国道20号	府中市若松	C
11	"	府中市府中	C
12	尾久橋通り	足立区皿沼	B

道路タイプ	主道路幅	副道路
A	20m×10m	
B	20m×15m	
C	14m×10m	

- ② 比較的交通量が多く、近くに他の信号がないこと。
- ③ 道路の両側が平坦開放地で、開放面の大きさは、交差点から50m以上あること。
- ④ 主道路と副道路は直交していること。

選定した調査場所は表1に示すように、主に郊外の国道が対象となり、4車線と2車線道路の交差点12カ所である。

測定は騒音と交通量等について、10分間の同時測定を2回行い、シミュレーションに必要なデータを収集した。

(2) 調査方法

ア 測定地点

交差点の騒音測定は、交差した道路により分割される4地域で、測定することが望ましいが、主道路、副道路の上・下交通流が同じであれば、主道路に対して発進側と停止側の2地域で良いことになる。今回選定した調査場所では、発進・停止側とも開放された場所が少なかったため、この調査では1現場につき、発進側か停止側の1地域だけ測定することとした。図2に示した例では、停止側に測定地点を4カ所配置したものである。各測定地点は原則として、主・副道路端から10m又は20m離れて配置した。

イ 調査項目

(ア) 騒音レベル dB (A)

$$L_{eq} \cdot L_{10} \cdot L_{50} \cdot L_{90}$$

(イ) 信号間隔

青・黄・赤・右折についての時間間隔 (秒)

(ウ) 交通量

車種 (大型車類・小型車類) 別、車線別交通量及び右・左折率

(3) 調査結果

調査結果は交通量は表2に、騒音は表3に示した。各地点の騒音は、調査対象が4車線の国道であったため、比較的高い結果となっている。中央値 ( $L_{50}$ ) でみると、交差点の角に近いNo.1地点では1カ所を除いて (調査場所2, 69dB (A)) 残りの11現場では70dB (A) 以上となっている。最大は76dB (A), 平均は73dB (A) であった。

交通量については、主道路1車線あたりの交通量は最少390台/h, 最多1600台/hで最頻は500~700台/hであった。副道路については、最少24台/h, 最多600台/hで最頻は200~400台/hであった。

5 検証

調査場所ごとに、騒音の測定地点 (No.1~No.4) を対象とし、前記のシミュレーション予測手法により、騒音 ( $L_{eq} \cdot L_{50} \cdot L_{10}$ ) を計算した。

計算条件は

- ① 試行間隔は1秒間とした。
- ② 試行回数は実測に合わせて600回とした。
- ③ 過剰減衰項は  $R=10$ ,  $K=11$  とした。
- ④ 車速は定常交通流区間では55km/h, 交差点内は20km/h又は30km/hとした。
- ⑤ 加速度・減速度は  $1 \text{ m/sec}^2$  とした。

のように設定した。

この計算結果と実測値、及びその差について、表3に示す。なお、参考として図3~図5に代表的な調査場所の計算による平面コンター及び高さ方向の騒音分布を示す。図3の測定場所2は副道路の交通量の少ない例、図4・図5の測定場所5は副道路の交通量が比較的多い例である。

予測精度について、レベル差 (実測値-計算値) を使って検討を行った。騒音評価値別のレベル差を12現場の延48地点の平均でみると、 $L_{eq}$  は0.8dB (A),  $L_{10}$  は0.7dB (A),  $L_{50}$  は0.9dB (A), 標準偏差はそれぞれ1.50, 1.97, 2.10であった。

計算値のうち、中央値 ( $L_{50}$ ) についてさらに検討するため、測定地点別の差の分布を表4に示した。また、

表2 検証調査結果(交通量)

調査場所 1				調査場所 2				調査場所 3				調査場所 4															
車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)												
	大型	小型			大型	小型			大型	小型			大型	小型		大型	小型										
7	47	16	37	100	0	1,620	7	33	21	46	98	92	14	34	92	8	1,644	7	58	13	29	92	8	1,194			
10	38	27	35	88	12	942	10	28	26	46	94	6	534	10	55	13	32	91	9	774	10	60	12	28	98	2	534
1	52	14	34	91	9	672	1	37	19	44	100	0	774	1	48	16	36	83	17	766	1	65	11	24	95	5	606
4	32	25	43	94	6	570	4	29	27	44	92	8	558	4	51	15	34	98	2	798	4	55	14	31	82	18	522
13	19	24	57	79	左12 右9	276	13	33	20	47	0	左73 右27	66	13	13	26	61	左19 右14	216	13	38	19	43	59	左7 右34	246	
16	33	20	47	52	左12 右36	306	16	33	20	47	74	右0	24	16	6	28	66	左42 右26	336	16	43	17	40	52	左18 右30	264	
調査場所 5				調査場所 6				調査場所 7				調査場所 8															
車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)												
	大型	小型			大型	小型			大型	小型			大型	小型													
7	45	17	38	88	12	900	7	50	15	35	98	2	912	7	29	21	50	99	1	624	7	9	27	64	92	8	558
10	35	19	46	69	31	648	10	51	15	34	96	4	498	10	41	18	41	98	2	528	10	53	14	33	94	6	612
1	53	14	33	83	17	558	1	49	15	36	95	5	510	1	48	15	37	100	0	546	1	43	17	40	82	18	540
4	36	19	45	93	7	486	4	50	15	35	92	8	390	4	47	16	37	100	0	516	4	25	22	53	97	3	438
13	68	10	22	76	左21 右4	576	13	0	30	70	28	左33 右39	108	13	0	30	70	左60 右0	30	30	13	11	27	62	左42 右10	114	
16	61	12	27	76	左7 右17	540	16	20	24	56	46	左45 右9	66	16	0	30	70	左22 右56	54	16	27	22	51	50	左38 右12	214	
調査場所 9				調査場所 10				調査場所 11				調査場所 12															
車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)	車線	車種構成比		右・左 折率(台/h)												
	大型	小型			大型	小型			大型	小型			大型	小型													
7	14	26	60	69	31	558	7	14	26	60	99	1	432	7	10	27	63	89	11	558	7	36	19	45	71	29	798
10	23	23	54	83	17	726	10	21	24	55	67	33	630	10	32	20	48	77	23	630	10	46	16	38	85	15	786
1	40	18	42	83	17	762	1	29	21	50	96	4	450	1	36	19	45	89	11	618	1	48	16	36	93	7	672
4	21	24	55	93	7	606	4	17	25	58	75	25	414	4	15	26	59	53	47	624	4	41	18	41	91	9	672
13	20	24	56	64	左17 右19	414	13	16	25	59	30	左42 右28	384	13	17	25	58	左16 右36	438	13	17	25	58	56	左27 右17	378	
16	25	23	52	61	左32 右7	600	16	17	25	56	72	左8 右20	246	16	35	20	45	左16 右15	372	16	38	18	44	66	左8 右26	468	

表3 実測値と計算値

測定No.	測地 定点	Leq			L <sub>10</sub>			L <sub>50</sub>		
		実測値	計算値	差	実測値	計算値	差	実測値	計算値	差
1	1	77.2	78.5	-1.3	81	82	-1	75	76	1
	2	77.5	78.8	-1.3	81	83	-2	75	76	1
	3	71.6	71.6	0	75	75	0	70	70	0
	4	72.8	72.7	0.1	76	76	0	72	72	0
2	1	71.4	69.9	1.5	76	73	3	69	68	1
	2	68.3	69.9	-1.6	72	73	-1	66	68	-2
	3	68.2	65.7	2.5	72	69	3	66	65	1
	4	66.0	65.6	0.4	70	69	1	64	65	-1
3	1	76.6	77.5	-0.9	79	81	-2	76	76	0
	2	78.9	77.7	1.2	83	82	1	77	75	2
	3	75.2	71.1	4.1	78	73	5	74	70	4
	4	69.6	69.2	0.4	73	72	1	69	69	0
4	1	76.4	73.7	2.7	79	78	1	75	72	3
	2	73.8	72.5	1.3	77	76	1	73	71	2
	3	75.2	71.5	3.7	78	74	4	74	69	5
	4	68.9	68.5	0.4	72	71	1	68	68	0
5	1	73.1	73.2	-0.1	76	77	-1	72	72	0
	2	71.7	71.7	0	75	75	0	70	70	0
	3	68.8	71.3	-2.5	72	75	-3	67	70	-3
	4	67.7	68.9	-1.2	71	71	0	67	68	-1
6	1	73.8	74.0	-0.2	78	78	0	70	71	-1
	2	75.9	76.2	-0.3	81	80	1	71	73	-2
	3	68.3	67.1	1.2	73	70	3	65	66	-1
	4	75.1	76.2	-1.1	80	80	0	71	72	-1
7	1	75.8	73.2	2.6	80	76	4	73	70	3
	2	76.0	72.9	3.1	80	76	4	73	69	4
	3	68.1	65.0	3.1	72	69	3	64	64	0
	4	64.3	64.7	-0.4	69	68	1	61	63	-2
8	1	77.1	77.0	0.1	81	82	-1	75	72	3
	2	77.8	75.8	2.0	82	79	3	74	71	3
	3	74.7	71.7	3.0	78	73	5	72	66	6
	4	65.8	65.7	0.1	69	69	0	64	65	-1
9	1	75.0	74.6	0.4	78	78	0	73	72	1
	2	74.5	72.5	2.0	78	76	2	71	70	1
	3	71.1	71.6	-0.5	74	75	-1	70	69	1
	4	69.7	68.4	1.3	72	72	0	68	68	0
10	1	74.1	71.7	2.4	78	76	2	72	68	4
	2	75.9	74.2	1.7	80	80	0	73	69	4
	3	69.2	67.2	2.0	72	74	-2	68	64	4
	4	65.9	63.4	2.5	70	68	2	65	62	3
11	1	73.3	81.1	-7.8	77	81	-4	71	72	-1
	2	75.2	75.3	-0.1	79	79	0	72	72	0
	3	71.7	71.3	0.4	74	75	-1	70	67	3
	4	67.0	66.4	0.6	70	69	1	66	66	0
12	1	74.8	74.1	0.7	78	78	0	73	72	1
	2	76.3	75.4	0.9	79	80	-1	71	73	-2
	3	72.4	73.1	-0.7	76	76	0	70	69	1
	4	67.6	67.6	0	70	70	0	65	67	-2
平均			0.8			0.7			0.9	
標準偏差			1.50			1.97			2.10	

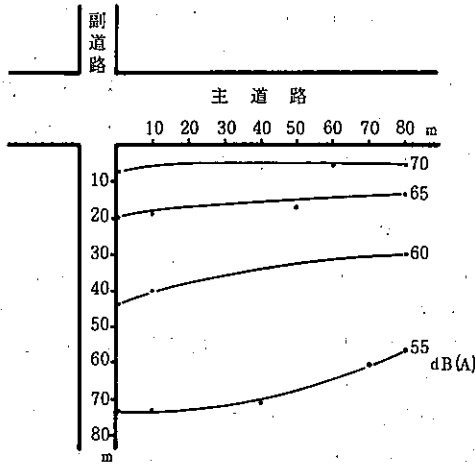


図3 平面コンター (測定 No.2)

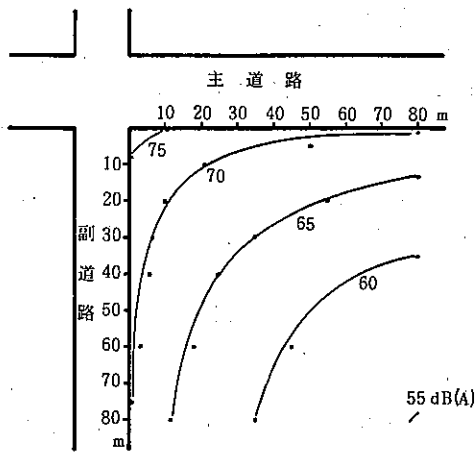


図4 平面コンター (測定 No.5)

実測値と計算値の関係について、図6に示した。測定地点別のレベル差についてみると、No.3地点(主道路から20m, 副道路から10m)が比較的大きなバラツキがみられた。No.4地点(20m, 20m)ではレベル差が小さく、実測値と計算値が良く一致していた。

次にレベル差が±5dB(A)以内の比率は、測定地点1で100%、測定地点2で100%、測定地点3で92%、測定地点4で100%、全体では98%であった。また、レベル差が±3dB(A)以内の比率は、測定地点1で92%、測定地点2で83%、測定地点3で67%、測定地点4で100%、全体で85%となった。

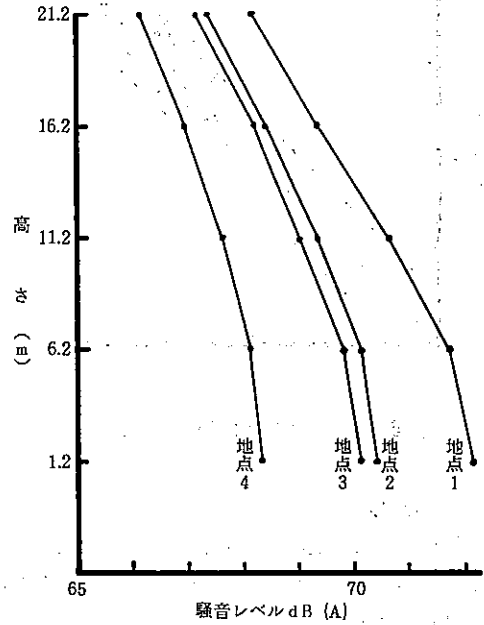


図5 高さ方向の騒音分布 (測定 No.5)

以上の結果、このシミュレーションによる予測値は良好な精度が得られたといえよう。

表4 地点別の差の分布 (L<sub>50</sub>)

レベル差 (実測-計算)	ひん度				計
	測定地点1	2	3	4	
6			1		1
5			1		1
4	1	2	2		5
3	3	1	1	1	6
2		2			2
1	4	2	3		9
0	2	2	2	5	11
-1	2		1	4	7
-2		3		2	5
-3			1		1
±5dB(A) 以内の比率 %	100	100	92	100	98
±3dB(A) 以内の比率 %	92	83	67	100	85

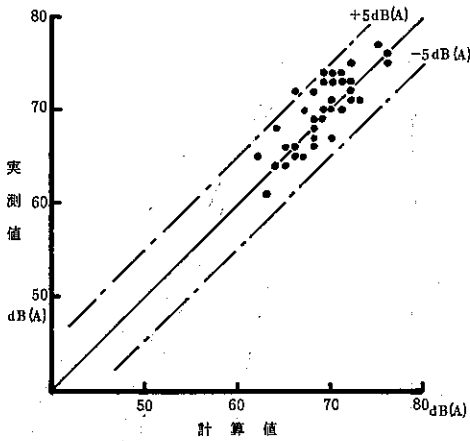


図6 実測値と計算値の比較 (L<sub>50</sub>)

### 6 まとめ

交差点における、道路交通騒音の予測手法として、電算機によるモンテカルロシミュレーションを作成した。

この結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 予測手法として、モンテカルロ法によるシミュレーションを採用した。シミュレーションの内容は ①疑似交通流は乱数により性格づけられた車を配置し、走行させる。②騒音の計算は一定の経過時間ごとに行い、必要回数を実施後、騒音評価値を算出する。
- (2) 各変数に利用した乱数は次の通りである。  
 車種：一様乱数  
 パワーレベル：正規乱数  
 車の進路の振り分け：一様乱数  
 車頭間隔：通過時間間隔が指数乱数
- (3) パワーレベルは音響学会方式とした。ただし、加速時については、加速時の速度が  $V=55\text{km/h}$  以下のとき、 $V=55\text{km/h}$  のパワーレベルを使用した。
- (4) 1台の車からの受音点の騒音レベルは、超過減衰を見込み、補正項  $\Delta L_g = K \log(D/R)$  を採用した。

- (5) 今回の検証調査では、シミュレーションの精度は目標を満足し、交差点から20mくらいの範囲では、設定した予測精度（中央値では±3 dB (A) 以内に75%が入る）では85%という好結果が得られた。また、中央値で±5 dB (A) 以内に98%が入った。

### 7 おわりに

今回、交差点における道路交通騒音の予測手法として、電算機によるシミュレーションを作成し、その精度についても検証したところ、一応初期の目的は達せられたと考えている。

問題点としては、今回の検証調査の条件に限られた範囲であり、種々の条件での検証を行っていないことである。したがって、今後は①交通量の少ない交差点、②信号個所、③定常交通流区間、④交差点後背地等での検証が必要と考えている。

なお、パーソナルコンピュータによる予測手法の開発も合わせて行ったが、計算時間が長いこと、メモリ容量から試行回数、計算地点数に制限が多いこと等により、実用的なモデルの作成には至らなかった。

本シミュレーションモデルのプログラムの作成は、株式会社数理計画に委託したものである。

### 参考文献

- 1) 高山 孝他：騒音予測のための多車線定常交通流調査結果について、東京都公害研究所年報 (1983)
- 2) 佐々木實他：道路特殊個所の騒音予測方法に関する検討、日本音響学会誌 (No.9 1984)
- 3) 東京都環境保全局：自動車騒音低減対策検討調査報告書 (1983)
- 4) 小林正雄他：定常交通流区間の道路交通騒音予測手法について、東京都環境科学研究所年報 (1986)
- 5) 小林正雄他：シミュレーションによる道路交通騒音の予測について、東京都環境科学研究所年報 (1987)