

011

ISSN 0386—5878

土研資料第1952号

マイクロフィルム第 号

土 木 研 究 所 資 料

道路交通騒音の L_{eq} に関する調査研究

昭和 58 年 3 月

建設省土木研究所

道路部交通環境研究室

Copyright © 57年度 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 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承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

わが国では、道路交通騒音の評価量として JIS Z 8731「騒音レベルの測定方法」に規定されている騒音レベルの中央値 L_{50} を用いており、公害対策基本法や騒音規制法に基づく騒音の基準値もこれによっている。 L_{50} は測定、算出が容易であり、これまでに道路交通騒音の L_{50} 予測計算手法は日本音響学会などにより整備されている。

一方、騒音レベルの評価法には等価騒音レベル (Leq : Equivalent sound pressure level) で表わす方法もあり、諸外国の多くはこの Leq を騒音レベルの評価として用いている。わが国ではこれらについてまだ調査研究の段階にあるが、 L_{50} と Leq の両者を含めるように現在 JIS 規格が改訂されつつある。JIS の改訂と関連して、行政関係での基準値等を Leq で表現することの是非についてはいくつかの問題があり、議論を要する面が多い。しかし、今後の道路環境の評価が多様性をもって行われるには、Leq についてその基礎的特性を検討しておくことも重要であると考えられる。本報告は道路交通騒音を対象として、それを実測し、その調査結果を分析することにより、Leq の測定、予測に関する基礎的特性をまとめたものである。

昭和 58 年 3 月

交通環境研究室 足 立 義 雄
 石 田 稔

目 次

ま え が き

1. 実測データの概要	1
2. Leq の基礎的特性	5
3. Leq の実測値と計算値の差	38
4. 沿道建築物背後の Leq 計算	57
5. 掘割構造道路の Leq	69
6. Leq の感覚的特性に関する文献	74
あ と が き	78

1. 実測データの概要

本調査では、平面、高架、建物周辺などにおいてこれまでに収集されている道路交通騒音実測データを利用している。以下に基礎データとした騒音実測調査の概要を記す。

1-1 調査対象地点

対象地点は、平面道路で3地点、高架道路で1地点、建物周辺で4地点の合計8地点である。各実測地点の状況を図1-1(1)~(8)に示す。

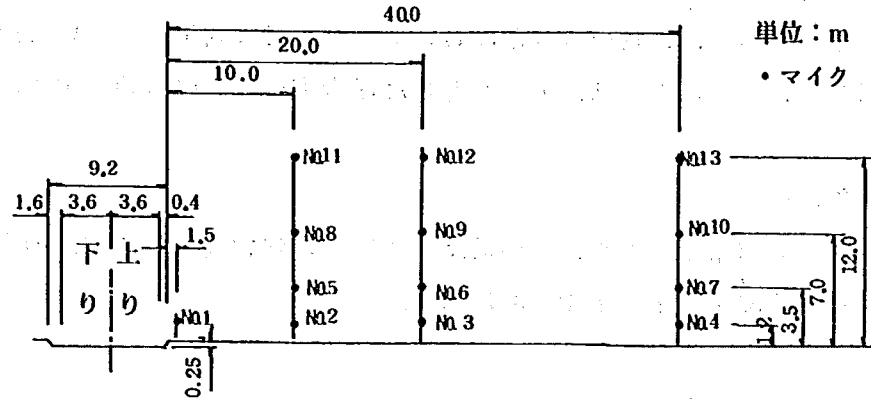


図 1 - 1 (1) 調査場所の状況 (A)

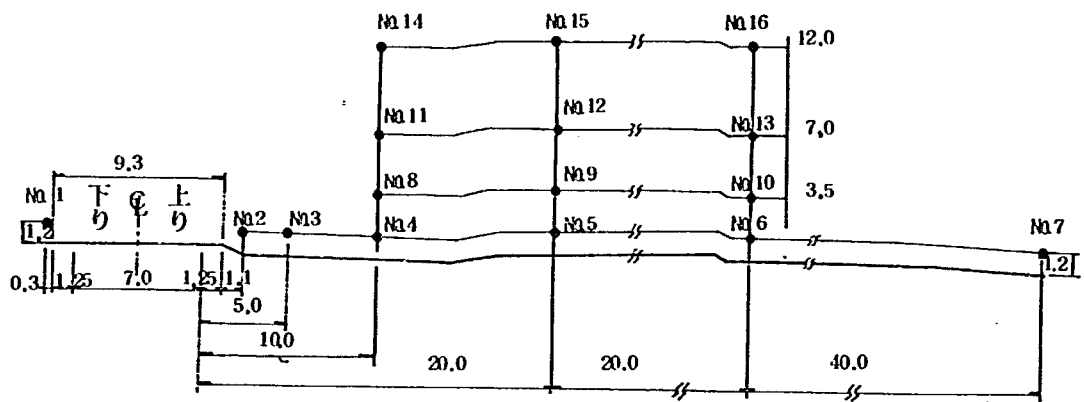


図 1 - 1 (2) 調査場所の状況 (B)

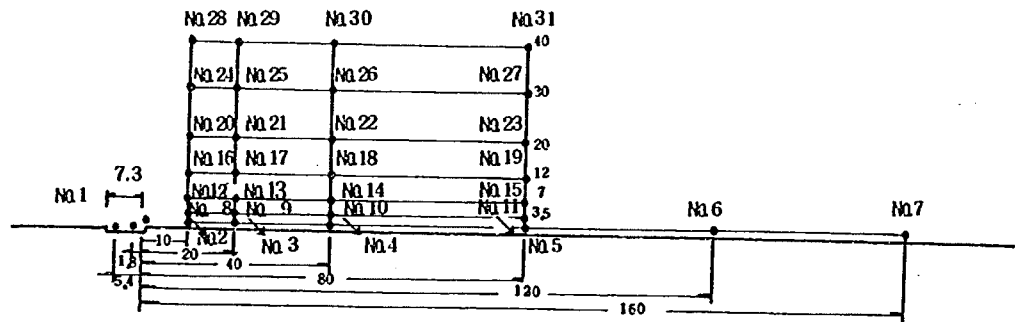
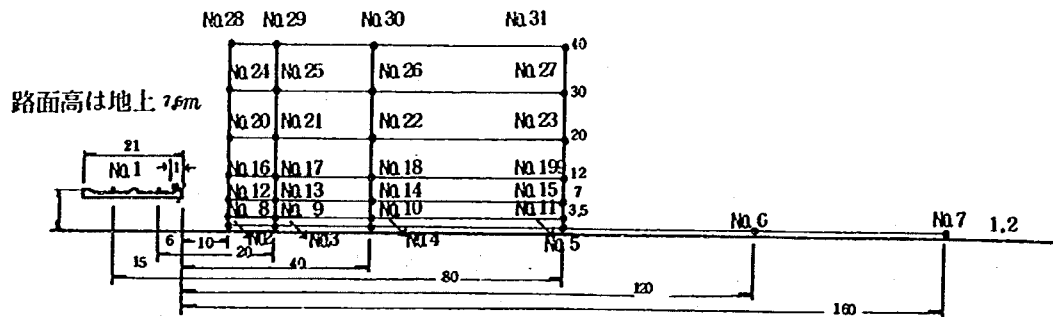


図 1 - 1 (3) 調査場所の状況 (C)



No.1は路面から 1.2 m

図 1 - 1 (4) 調査場所の状況 (D)

単位：m

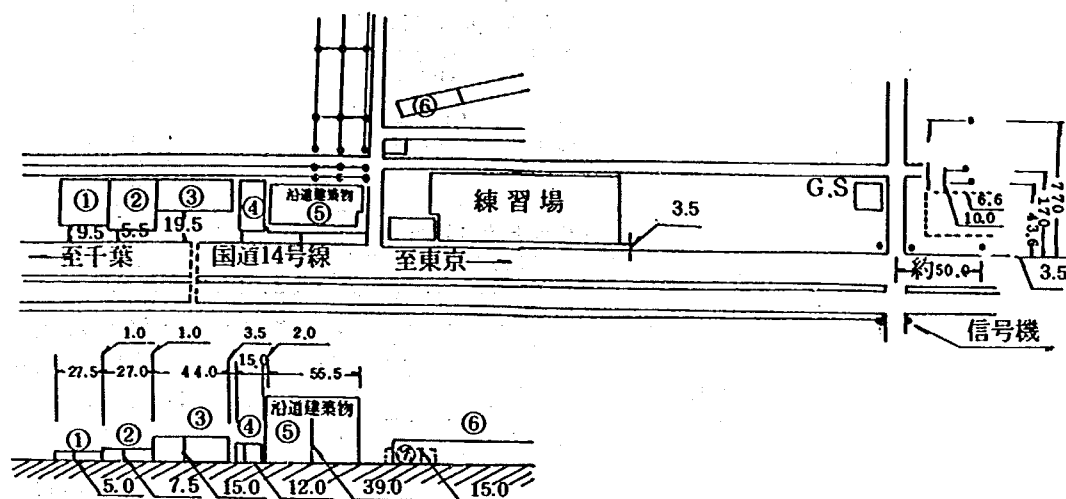


図 1 - 1(5) 調査場所の状況 (E)

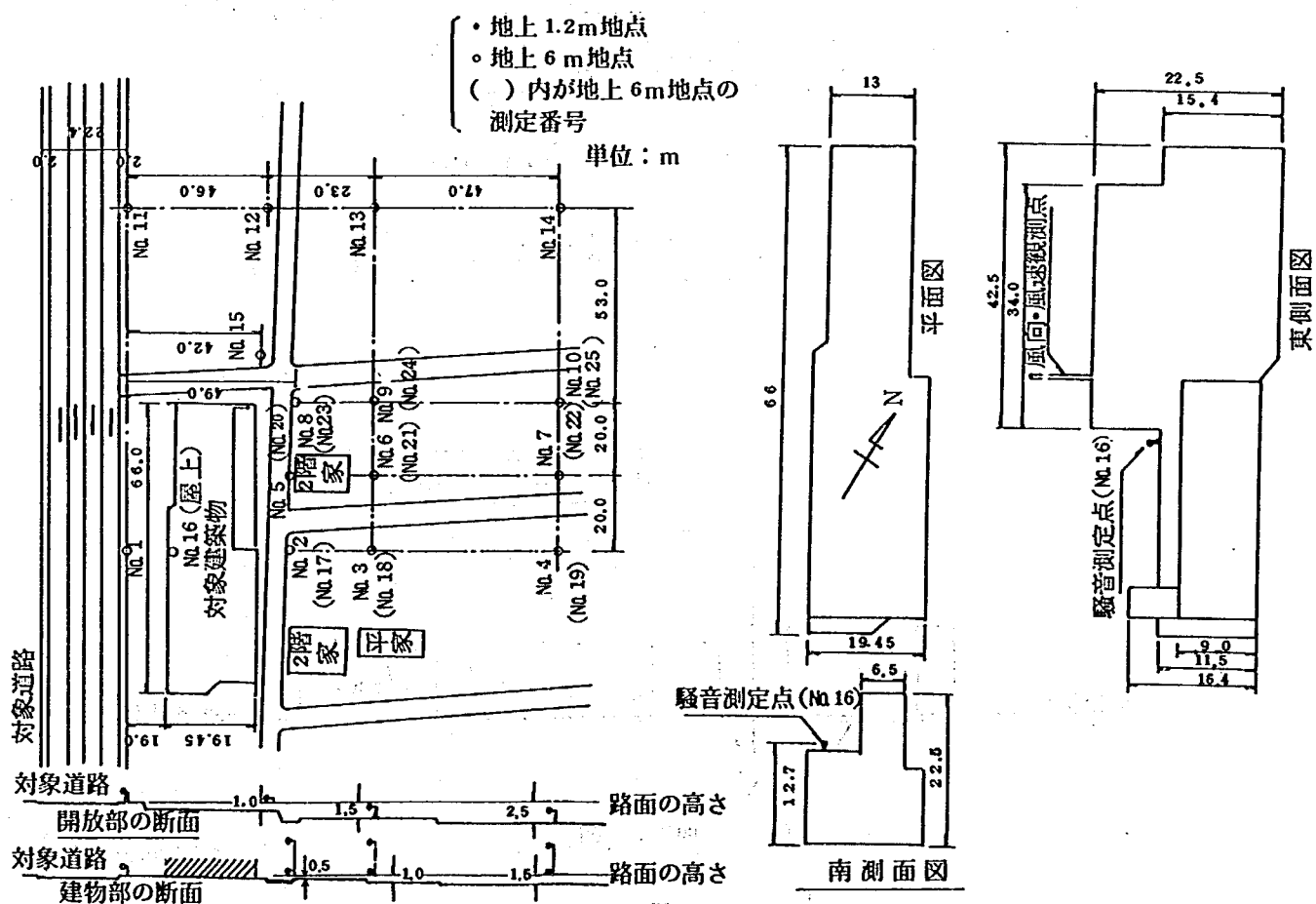
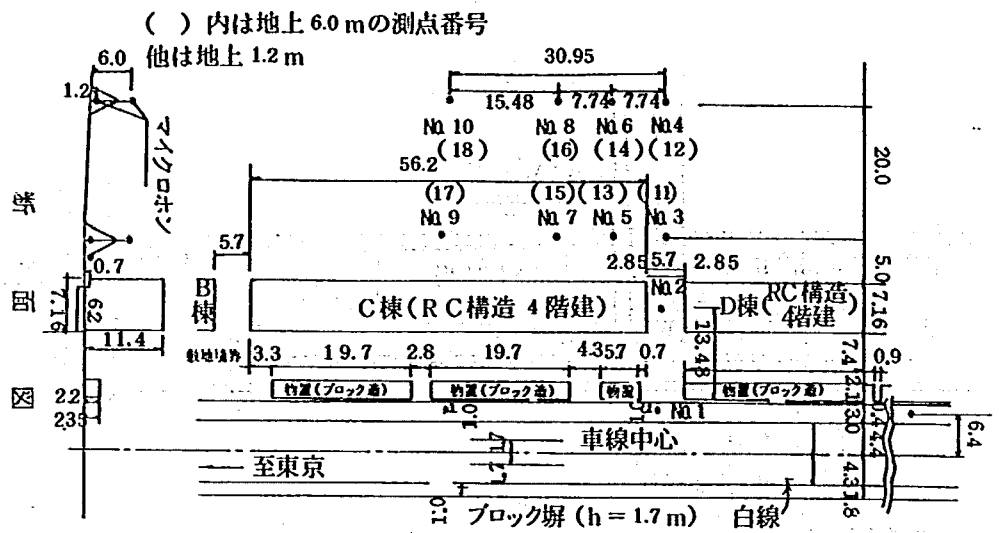
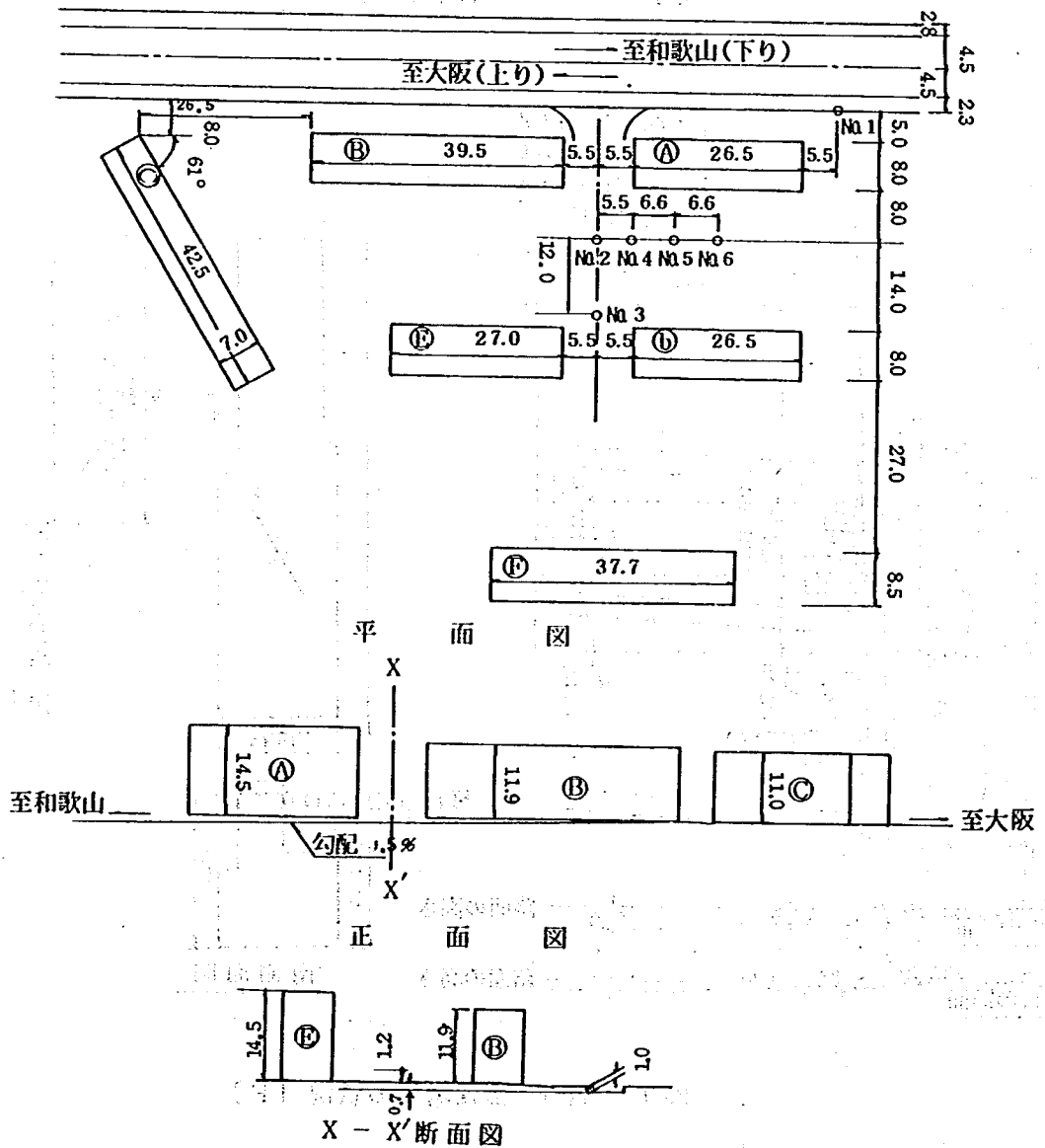


図 1 - 1(6) 調査場所の状況 (F)



寸法の単位は m

20m 10 5 0



1-2 データの概要

調査地点別測点数，交通量などのデータの概要を表1-1に示す。データはA特性の騒音レベル統計値（ L_5 ， L_{50} ， L_{95} ）， Leq であり，サンプリング時間は500秒，サンプリング周期は統計値では5秒， Leq では0.1秒を基本としている。

表1-1 データの概要

	測点数	測定回数	車線数	交通量範囲	大型車混入率	平均車速
(A)	13	9	2	336~1,194台/h	1.7~39.2%	62 km/h
(B)	16	14	2	210~1938	5.3~32.7	45
(C)	31	12	2	720~1482	12.8~29.6	48
(D)	31	12	4	792~2088	12.8~28.9	46
(E)	35	9	4	2,796~4,548	6.5~26.0	43
(F)	25	8	4	372~3,180	6.5~43.1	64
(G)	18	6	2	1,008~1,464	16.5~29.5	49
(H)	6	8	2	438~1,406	2.9~16.4	39

2. Leq の基礎的特性に関する検討

2-1 サンプリング周期と精度

ある時間帯Tの Leq とは，変動する騒音レベル $L(t)$ の時間T内で積分したエネルギー量と等価になる定常騒音のレベルであり，次式で定義されている。

$$Leq = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T 10^{L(t)/10} dt \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

上式は積分演算を行うことを表わしているが，このような演算機能を有している Leq 計測器はわが国ではまだ一般に使用される段階には至っていない。

通常の騒音計を用いて Leq を求める場合は，変動騒音を一定の時間間隔（サンプリング周期） ΔT でサンプリングし，そのエネルギー平均レベルを次式で計算して， Leq の近似値が求められる。

$$Leq \approx 10 \log_{10} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{Li/10} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

N：サンプル総数

Li ：i番目のサンプル騒音レベル

ある測定時間内の Leq を騒音レベルのサンプリングによって求める場合，その測定精度は，サンプリング周期 ΔT を小さくするほど向上するが，騒音レベルの分布の歪度にも影響され

という実測調査例がある¹⁾。騒音レベル分布の歪の度合は、交通条件や測定位置に強く影響されるものである。ここでは、実測時間長が500秒間の道路交通騒音を例にとり、 ΔT や測定位置などと測定精度の関係を検討した。検討に使用した騒音データは、平面道路周辺の〔A〕、〔B〕及び建物周辺の〔H〕のものである。

ΔT に対応した L_{eq} の精度を検討するために、 ΔT を0.1秒から10秒まで変化させて式(2.2)により L_{eq} を算出し、 $\Delta T=0.1$ 秒(サンプル総数 $N=5000$)で求められた L_{eq} を真の L_{eq} 値と仮定し、他の ΔT で算出された L_{eq} の誤差 ΔL_{eq} を調べた。

$$\Delta L_{eq}(\Delta T) = L_{eq}(\Delta T) - L_{eq}(0.1) \dots\dots\dots (2.3)$$

$\Delta L_{eq}(\Delta T)$: サンプル周期 ΔT での誤差

$L_{eq}(\Delta T)$: サンプル周期 ΔT での L_{eq} 値

$L_{eq}(0.1)$: サンプル周期0.1 secでの L_{eq} 値

なお、ここでのサンプリングのスタート点は、各サンプリング周期とも同一とした。

平面道路〔A〕、〔B〕のデータでサンプリング周期 $\Delta T=0.5 \sim 10.0$ 秒で求められる L_{eq} 値について $\Delta T=0.1$ 秒(サンプル数 $N=5000$)で求められた L_{eq} を基準値としこれに対する誤差 ΔL_{eq} の標準偏差および平均値を表2-1に示す。サンプリング周期を大きくとると、誤差の分散が大きくなり、さらに誤差の平均値は負側に大きくなっている。

表2-1 サンプル周期と L_{eq} の誤差

サンプリング周期 ΔT	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
ΔL_{eq} の標準偏差	0.109	0.172	0.272	0.574	0.859
ΔL_{eq} の平均値	-0.003	0.003	-0.040	-0.105	-0.221

平面〔A〕地点(データ数14~16)における測定時間帯別、サンプリング周期別の ΔL_{eq} を表2-2に示す。3及び13回目における $\Delta T=5, 10$ 秒の ΔL_{eq} の標準偏差が特に大きい。これらの測定時間帯には大型トラックのクラクションおよび救急車のサイレンが含まれていたものであり、大きな衝撃音や間欠音が含まれる場合には L_{eq} の測定精度が悪くなることがわかる。

建物周辺で収録した道路交通騒音のサンプリング間隔と L_{eq} 誤差の関係を表2-3に示す。比較のため平面における同距離地点のサンプリング誤差をあわせて示した。建物間隙における騒音レベル分布は平坦地に比べて歪みが大いと考えられるため、誤差の平均、標準偏差は若干大きい。

表 2 - 2 ΔL_{eq} の標準偏差

測定時間帯番号	ΔL_{eq} の標準偏差 σ_e (dB(A))				
	$\Delta T=0.5s$	$\Delta T=1.0s$	$\Delta T=2.0s$	$\Delta T=5.0s$	$\Delta T=100s$
1	0.04	0.07	0.22	0.34	0.42
2	0.05	0.05	0.20	0.27	0.55
3	0.06	0.17	0.35	1.29	1.93
4	0.04	0.16	0.22	0.37	0.75
5	0.05	0.07	0.20	0.59	0.83
6	0.05	0.12	0.09	0.44	0.78
7	0.17	0.36	0.71	0.71	0.79
8	0.04	0.09	0.12	0.20	0.46
9	0.04	0.07	0.10	0.50	0.48
10	0.00	0.08	0.16	0.23	0.64
11	0.03	0.11	0.13	0.27	0.73
12	0.05	0.13	0.20	0.13	0.56
13	0.19	0.43	0.48	1.22	1.65
14	0.04	0.06	0.07	0.32	0.39

表 2 - 3 サンプル間隔と誤差

誤差平均/誤差の標準偏差

サンプリング間隔		1 秒	2 秒	5 秒	10 秒
道路端からの距離 20~21 m	平 面	0.01 / 0.10	0.00 / 0.17	-0.04 / 0.45	-0.05 / 0.75
	建物間隙	0.01 / 0.25	-0.09 / 0.38	-0.24 / 1.32	-0.36 / 1.67
	建物背後	-0.06 / 0.25	-0.07 / 0.55	-0.13 / 0.54	0.06 / 0.70
道路端からの距離 35~40 m	平 面	-0.03 / 0.13	-0.05 / 0.17	-0.11 / 0.43	-0.11 / 0.43
	建物間隙	0.01 / 0.38	0.06 / 0.55	-0.24 / 0.69	-0.63 / 0.76

図2-1は平面(A),(B)のデータについて道路中心からの距離 ℓ 及び平均車頭間隔 d の比 ℓ/d を変数にとった場合の ΔLeq の散布図である。平面道路のデータでは、 ℓ/d が小さいほど ΔLeq のばらつきが大きく、誤差の平均値が負側に偏っている。一般に、受音点が道路端近くにある場合や交通量が非常に少ない場合には、騒音レベルの分布が正の歪をもつようになり、サンプリング処理を行うと高レベル側の測定度数が不安定になる。したがって、騒音レベル分布の高レベル値の頻度に左右される Leq 値は、分布が正側に大きく歪んでくるほど誤差が生じやすくなる。また変動騒音について、あるサンプリング方法によって得られる音の強さの平均値を $\bar{I}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i$ とし、これに対応する Leq 値を Leq_j とすると、サンプリング測定による Leq_j の平均値(期待値)は

$$\begin{aligned} E(Leq_j) &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Leq_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10 \log_{10} \bar{I}_j / I_0 \\ &= 10 \log_{10} (\bar{I}_1 \cdot \bar{I}_2 \cdots \bar{I}_n)^{1/n} / I_0 \quad \cdots \cdots \cdots (2.4) \\ &= 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{I}_j \right)^{1/n} / I_0 \end{aligned}$$

Leq の真値は

$$Leq^* = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{I}_i / I_0 \quad \cdots \cdots \cdots (2.5)$$

(ただし、 I_0 : 音の強さの基準値)

となり、 $E(Leq_j)$ は I_j の相乗平均で与えられ、 Leq^* は $\bar{I}_j$ の相加平均で与えられるので、 $E(Leq_j) \leq Leq^*$ となる。したがって、サンプリング誤差 ΔLeq は負側に偏ることになる。

建物周辺(H)のデータについて ℓ/d と ΔLeq の散布図を図2-2に示す。建物周辺のデータの場合には、各サンプリング周期とも ℓ/d の大小と ΔLeq のばらつきに一定の傾向はみられない。測定位置と Leq サンプリング誤差(平均誤差、標準偏差)の関係を図2-3に示す。

既述のように一般に、サンプリング処理したときの誤差 ΔLeq は、騒音のレベル変動が緩やかであれば小さく、レベル変動が急激に起こるような場合には大きくなる傾向にある。したがって、開放平坦地の場合と比べると、建物間隙の測定点では、自動車が見通し部を通過する際にレベルの急変が起こるために、サンプリング処理したときの誤差 ΔLeq は大きくなるのが推察でき、逆に建物背後では、レベル変動は比較的緩やかであるので ΔLeq が小さくなるのが推察できる。

ここで、図2-3によれば、建物間隙については、開放平坦地よりも ΔLeq の標準偏差は大きい。また、建物背後についても、開放平坦地と比べて標準偏差がやや大きい傾向にあることがわかる。これは、建物背後として分析した測定点の中には、建物間隙に近い傾向とみられる建物端の測定点が含まれていることが一因と考えられる。

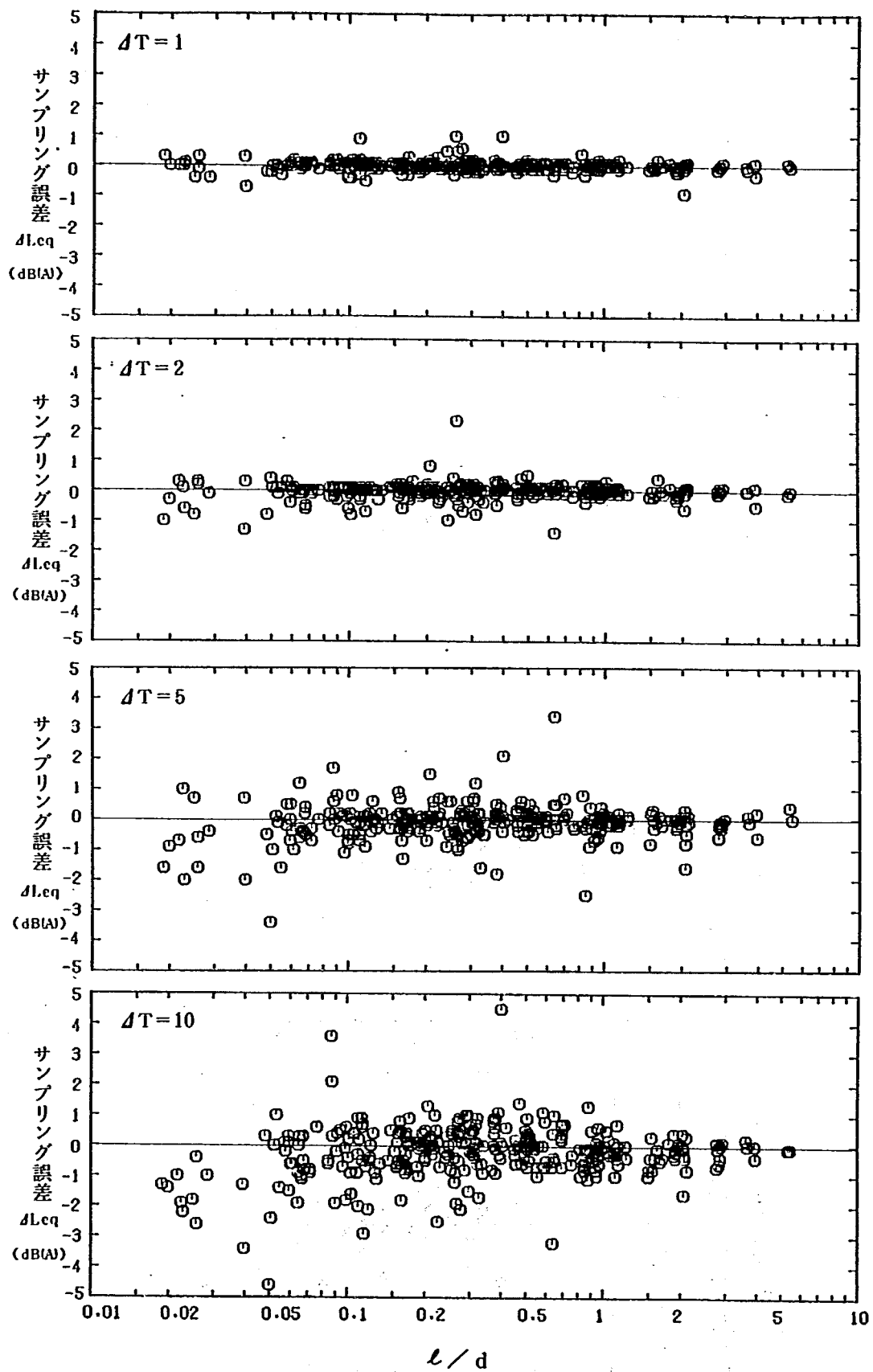


図2-1 l/d 比と ΔL_{eq} (平面 (A)(B))

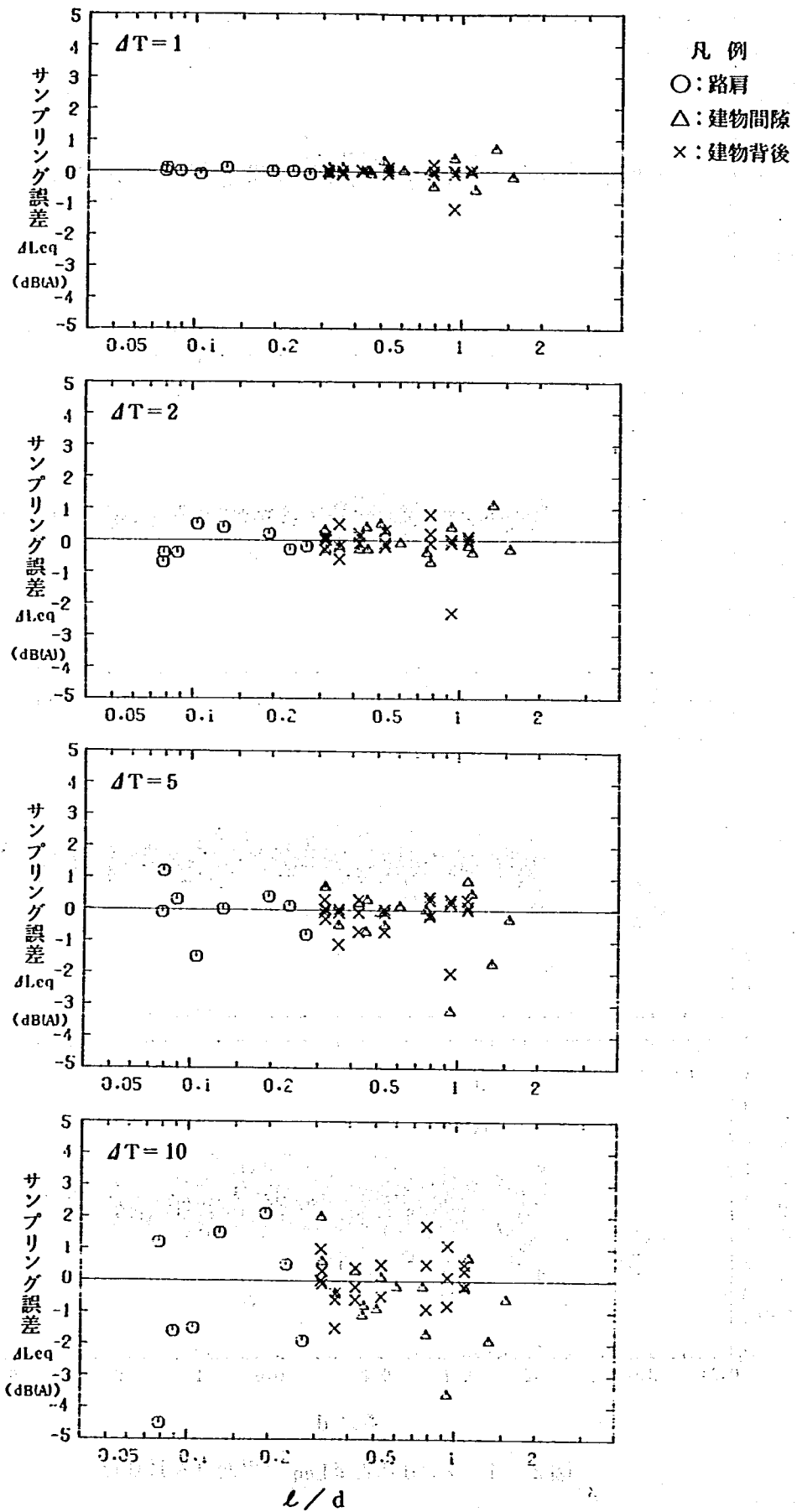
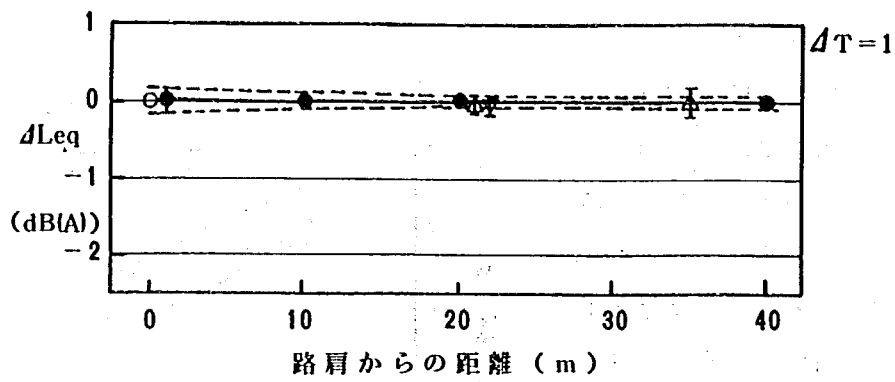


図 2-2 l/d と ΔLeq (建物周辺(H))



凡例

標準偏差
平均

- : 開放平坦部
- : 道路端
- △ : 建物間隙
- ▽ : 建物背後

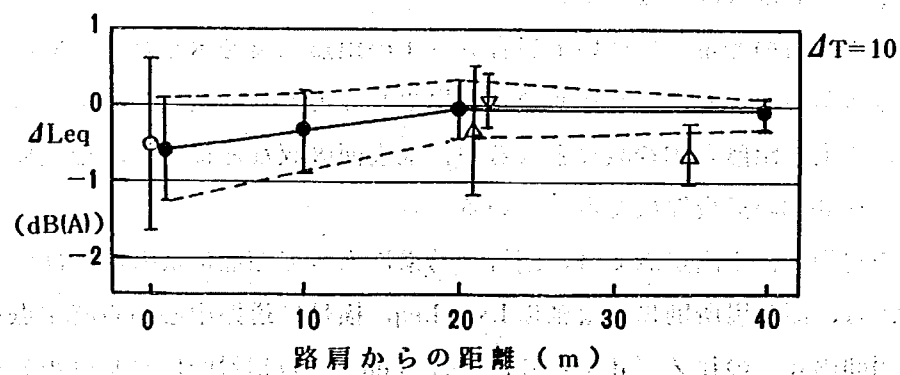
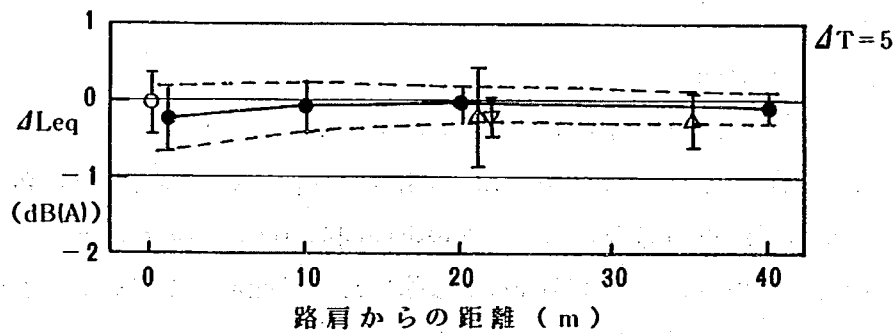
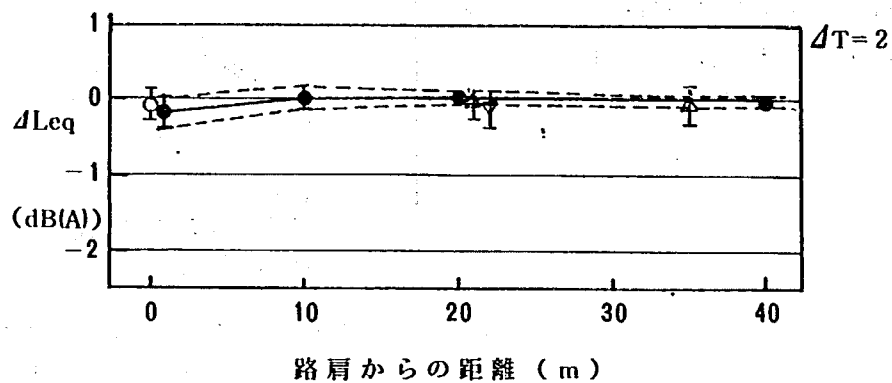


図 2-3 路肩からの距離と Leq の誤差分布

2-2 サンプル時間長と誤差

平面道路 (A), (B) における道路端の 1 時間連続測定データを用いて, 種々のサンプリング時間長による L_{eq} の変動と L_{eq} 1 時間値との対応を検討した。図 2-4 は $T=3,000$ 秒, $\Delta T=0.1$ 秒で算出される L_{eq} を基準としたときのサンプリング時間長による誤差 ΔL_{eq} の分布の中央値と 90% レンジ値を表わしている。サンプリング間隔が 5 秒以内の場合, $T=500$ 秒のときの L_{eq} 誤差はおおむね 3 dB (A) 以内となっている。

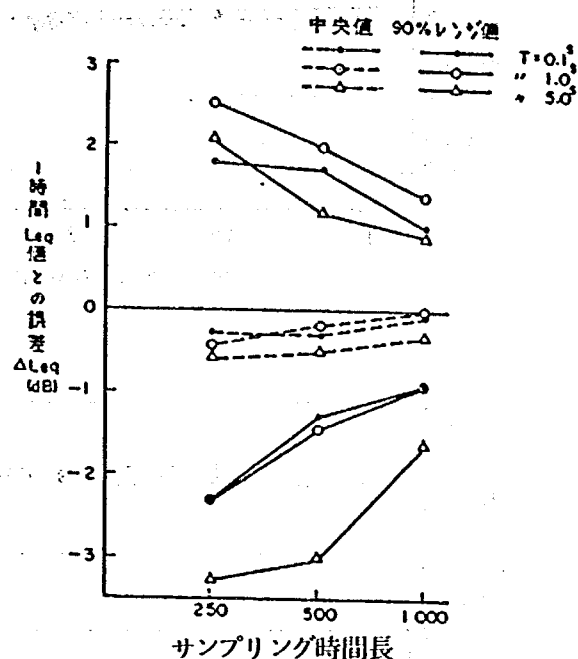


図 2-4 サンプル時間長と ΔL_{eq} の中央値, 90%レンジ値

2-3 L_{eq} と L_x の関係

(1) 実測値における L_{eq} と L_x の関係

ここでは, 平面道路, 高架道路及び沿道建物周辺での実測騒音レベルを用いて, L_{eq} と L_x の交通条件等による変動特性ならびに L_{eq} と L_x の相互関係について検討した。各調査場所における地上 1.2 m の測定点の騒音レベルと平均車頭間隔(d)との関係を図 2-5 (1)~(5)に示す。なお, d の変域が小さいもの (E), (G) は除いた。平面道路の開放部における道路端付近の測定ではレベル分布幅 ($L_5 - L_{95}$) が大きく, d が大きくなるほど L_{eq} と L_{50} の差が大きくなる関係があるが, 逆に, 高架道路や建物背後などのレベル分布幅の小さい測定点では L_{eq} と L_{50} はほぼ一致している。

図 2-6 は, 地上 1.2 m の測定点について騒音レベルの距離減衰を示したものである。平面道路では, 距離 ℓ が長くなるほどレベルの分布幅や L_{eq} と L_{50} の差が小さくなっている。また L_{eq} は, 理論上倍距離 3dB の減衰となるが, 地表面吸収などによる超過減衰が顕著に表れ, 倍距離 5~6dB の減衰性状を示している。

なお, 高架道路や建物背後の測定点では, 回折の効果によって距離による減衰は少ない。

図 2-7 (1)~(7) は, 測定場所別に, 縦軸に $L_x - L_{eq}$, 横軸に道路中心から測定点までの距離 ℓ と平均車頭間隔 d との比 ℓ/d をとり, L_x と L_{eq} との相対関係やレベル分布幅の様相を示したものである。同図より, 騒音レベルの分布幅 ($L_5 - L_{eq}$) は, ℓ/d が大きくなるにつれて小さくなる。建物周辺 (図 2-7 (6)) では, その遮音効果によって, 平面道路などに比べて同一の ℓ/d に対しさらにレベルの分布幅が小さくなっている。また,

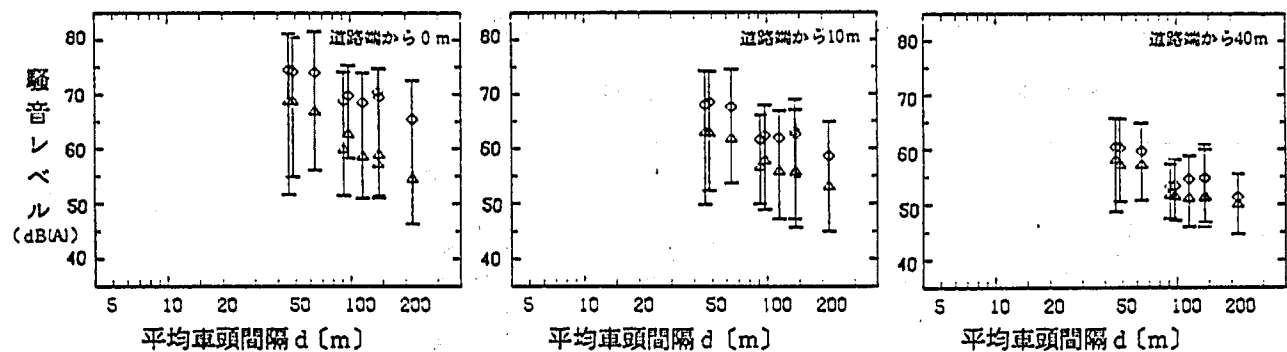


図 2-5(1) 騒音レベルと平均車頭間隔 d の関係
(平面道路 (A))

凡 例

- L_5
- ◇ L_{eq}
- △ L_{50}
- L_{95}

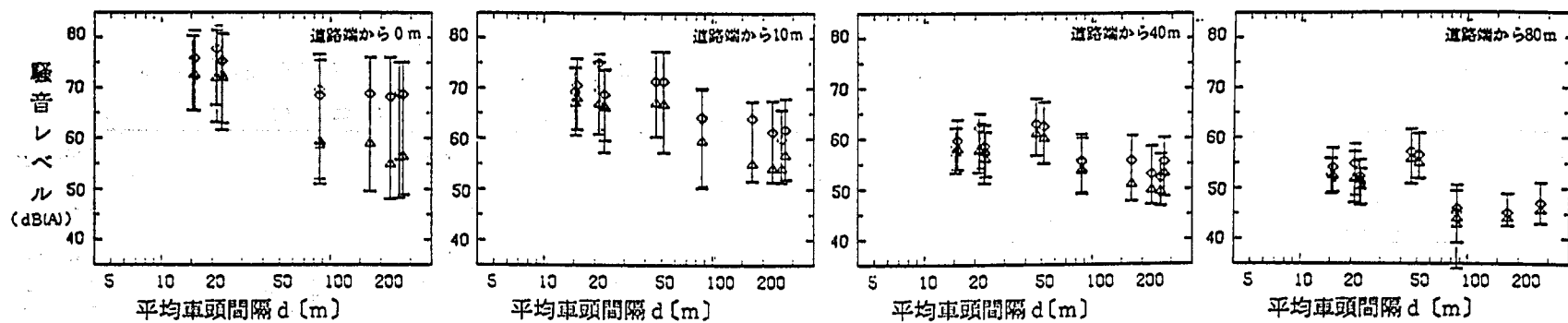


図 2-5(2) 騒音レベルと平均車頭間隔 d の関係
(平面道路 (B))

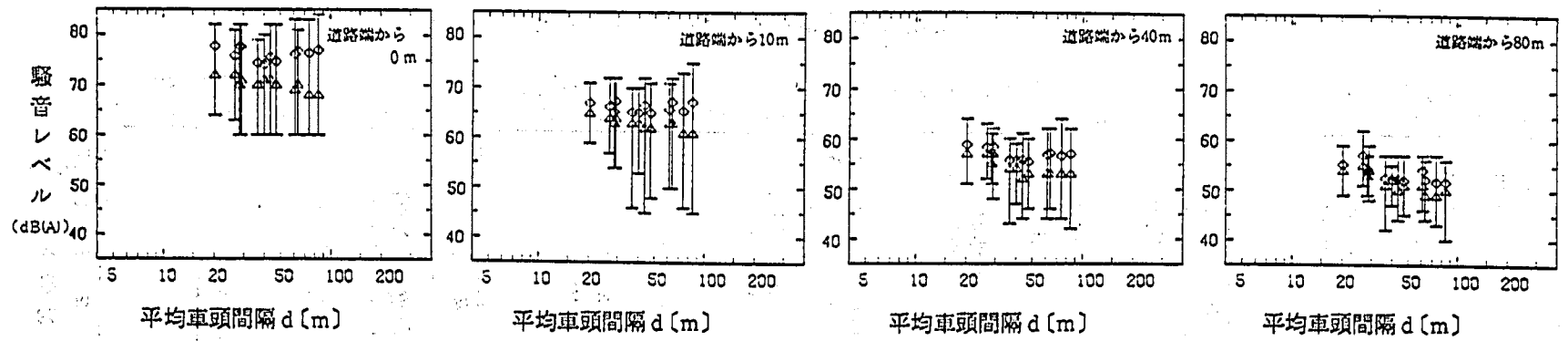


図2-5(3) 騒音レベルと平均車頭間隔 d の関係
(平面道路 (C))

凡 例
 L_5
 L_{eq}
 L_{50}
 L_{95}

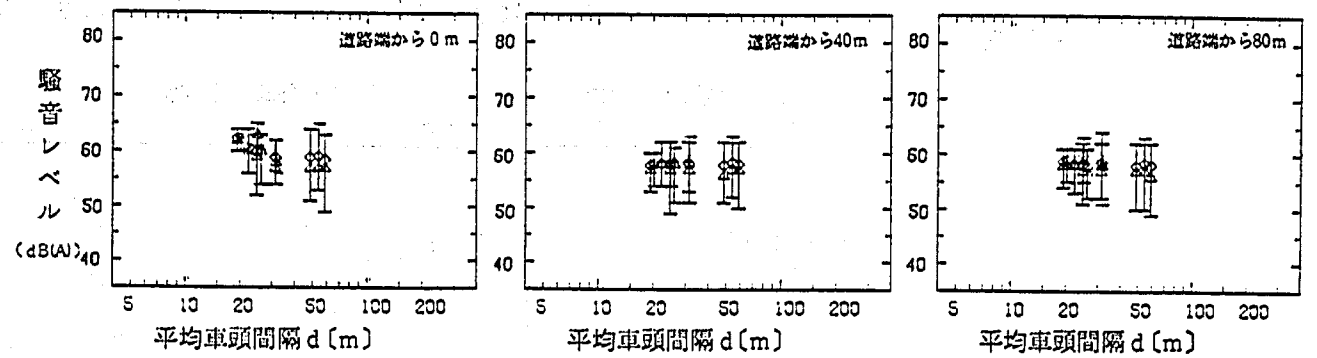
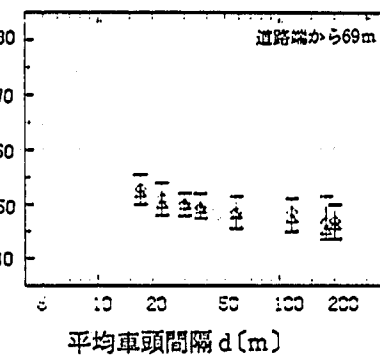
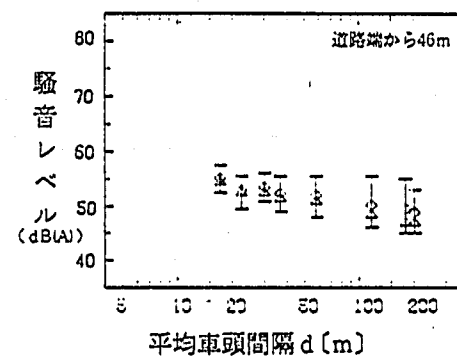
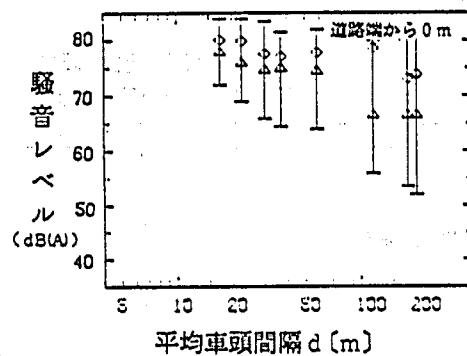


図2-5(4) 騒音レベルと平均車頭間隔 d の関係
(高架道路 (D))



建物背後

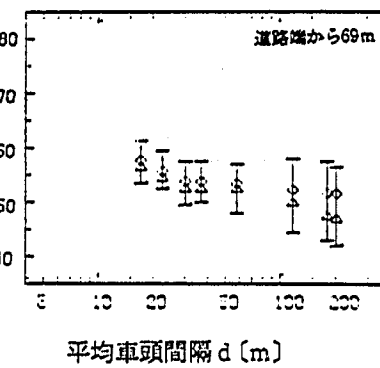
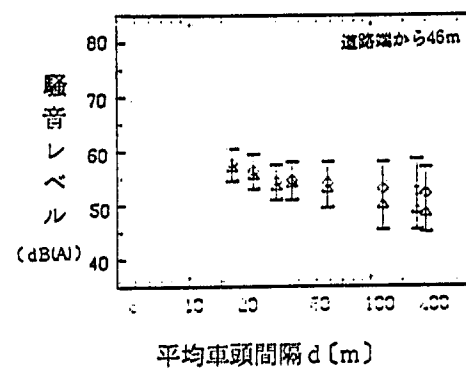
凡 例

L_5

L_{eq}

L_{50}

L_{95}



建物端部

図 2-5 (5) 騒音レベルと平均車頭間隔 d の関係
(建物周辺 [F])

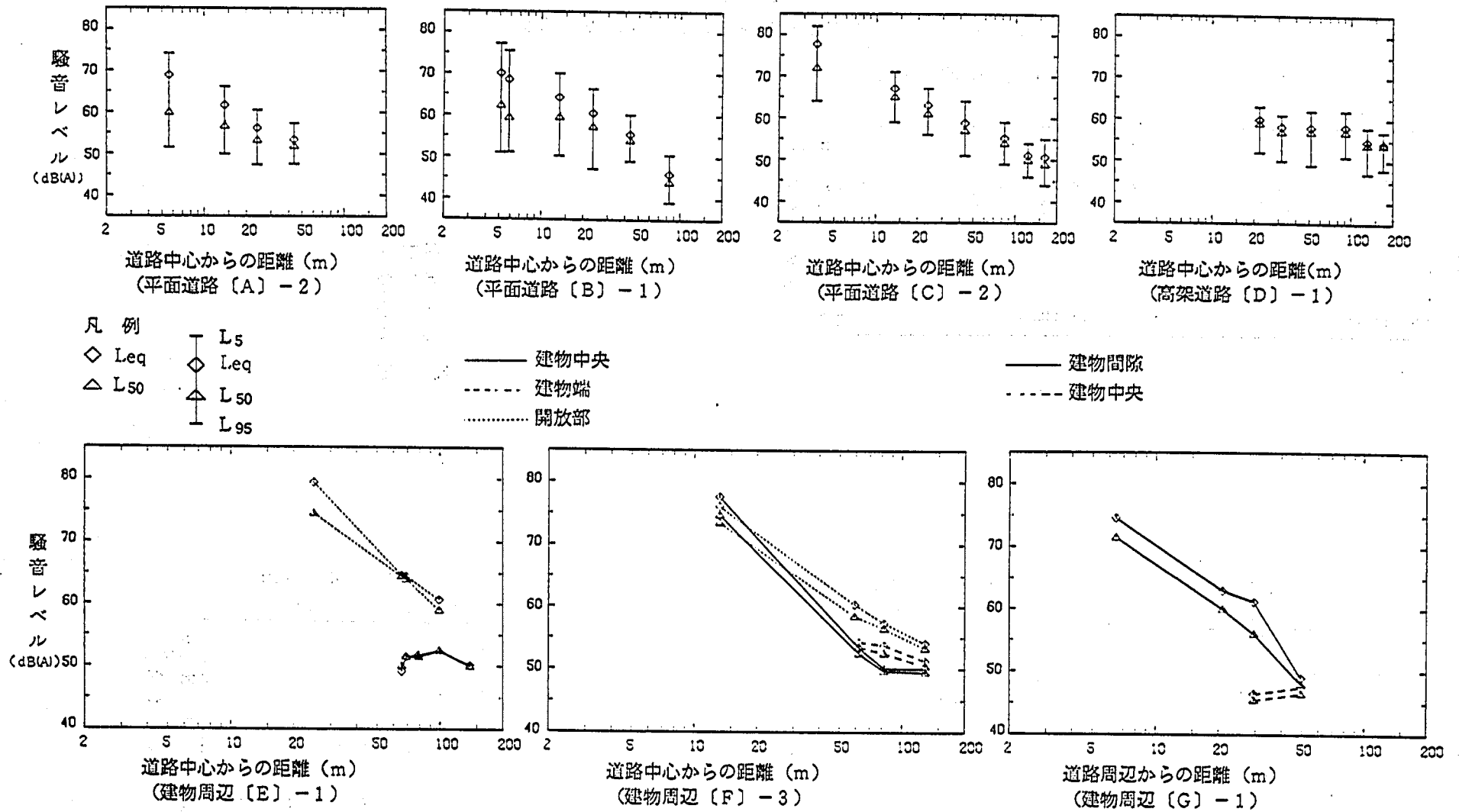


図 2 - 6 騒音レベルと道路中心からの距離 L の関係

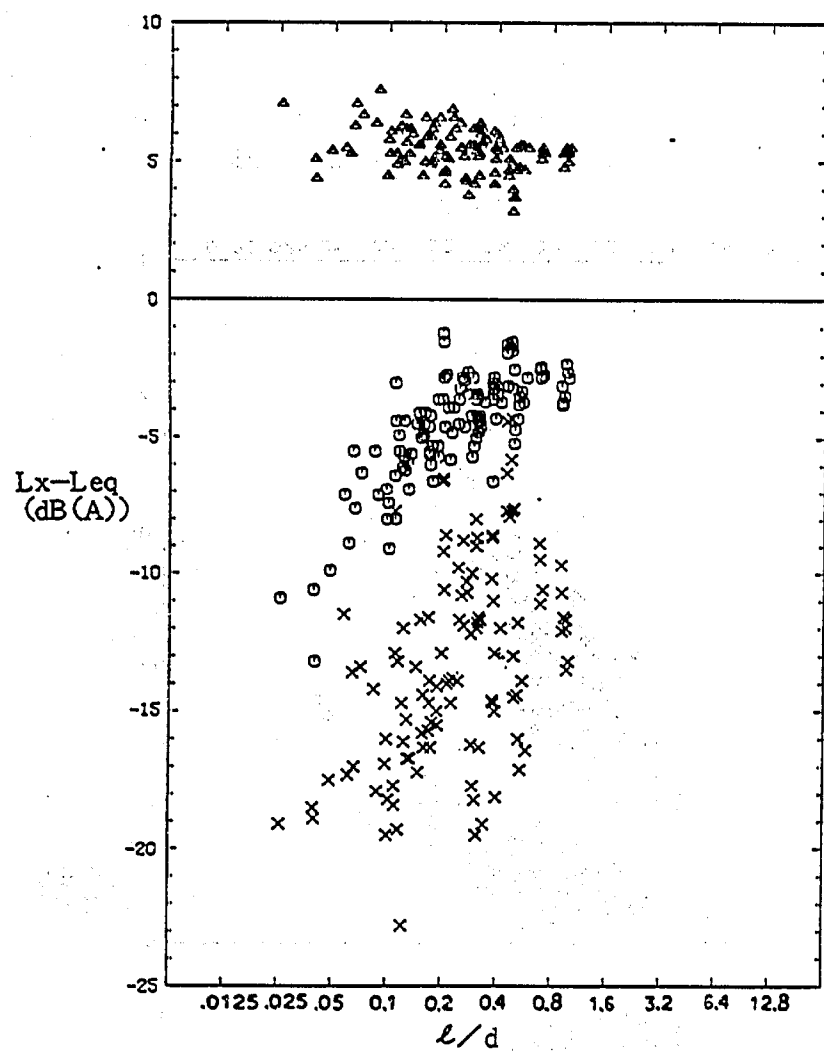


図 2-7(1) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(平面道路 [A])

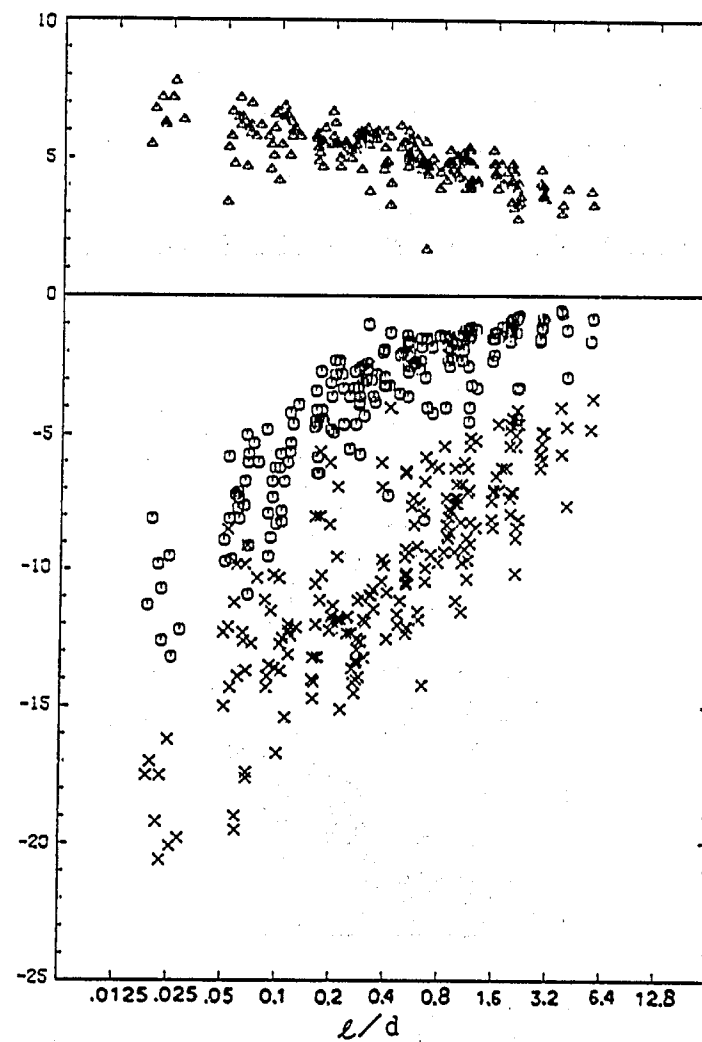


図 2-7(2) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(平面道路 [B])

凡 例
 $\triangle$: $L_5 - L_{eq}$
 $\circ$: $L_{50} - L_{eq}$
 $\times$: $L_{95} - L_{eq}$

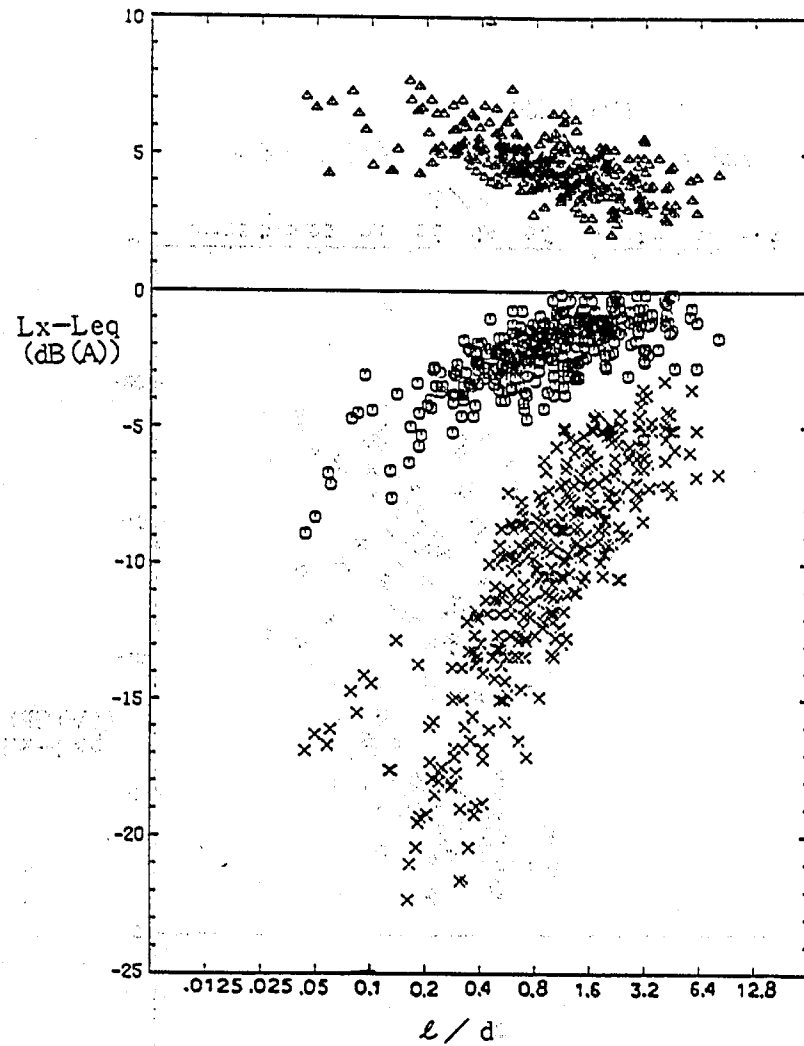


図 2 - 7 (3) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(平面道路 [C])

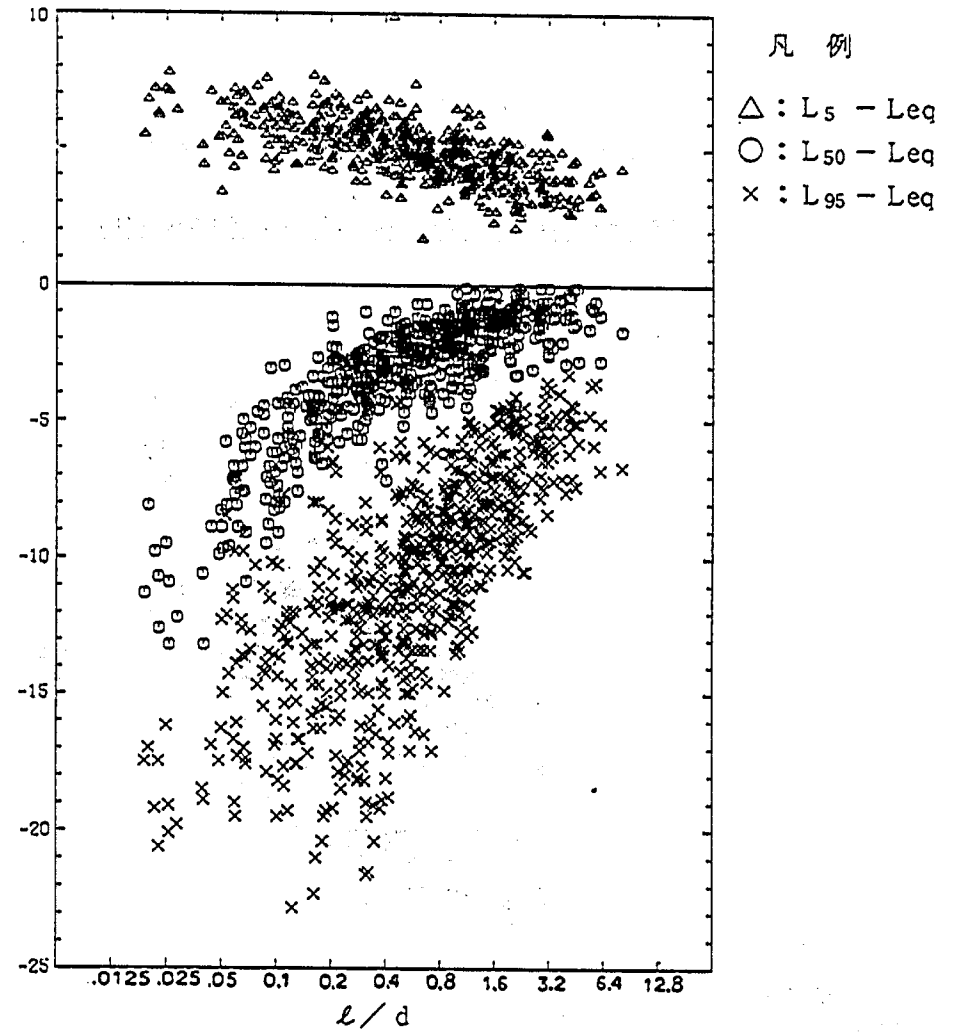


図 2 - 7 (4) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(平面道路 [A+B+C])

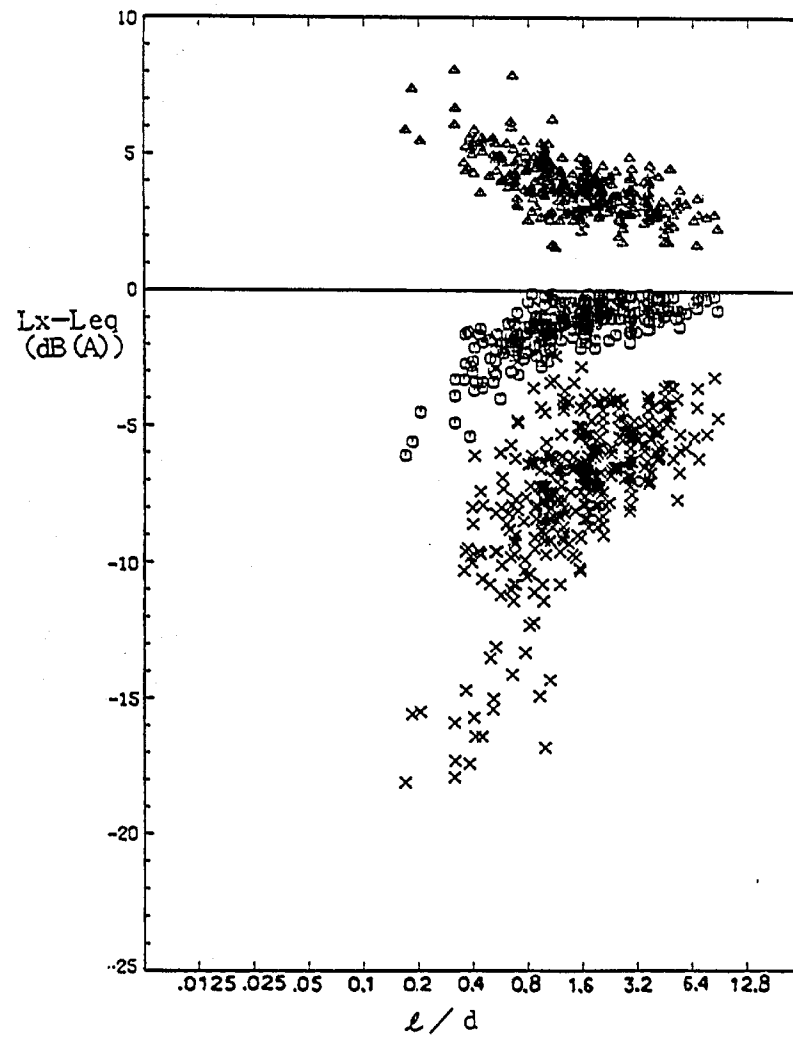


図 2-7 (5) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(高架道路 [D])

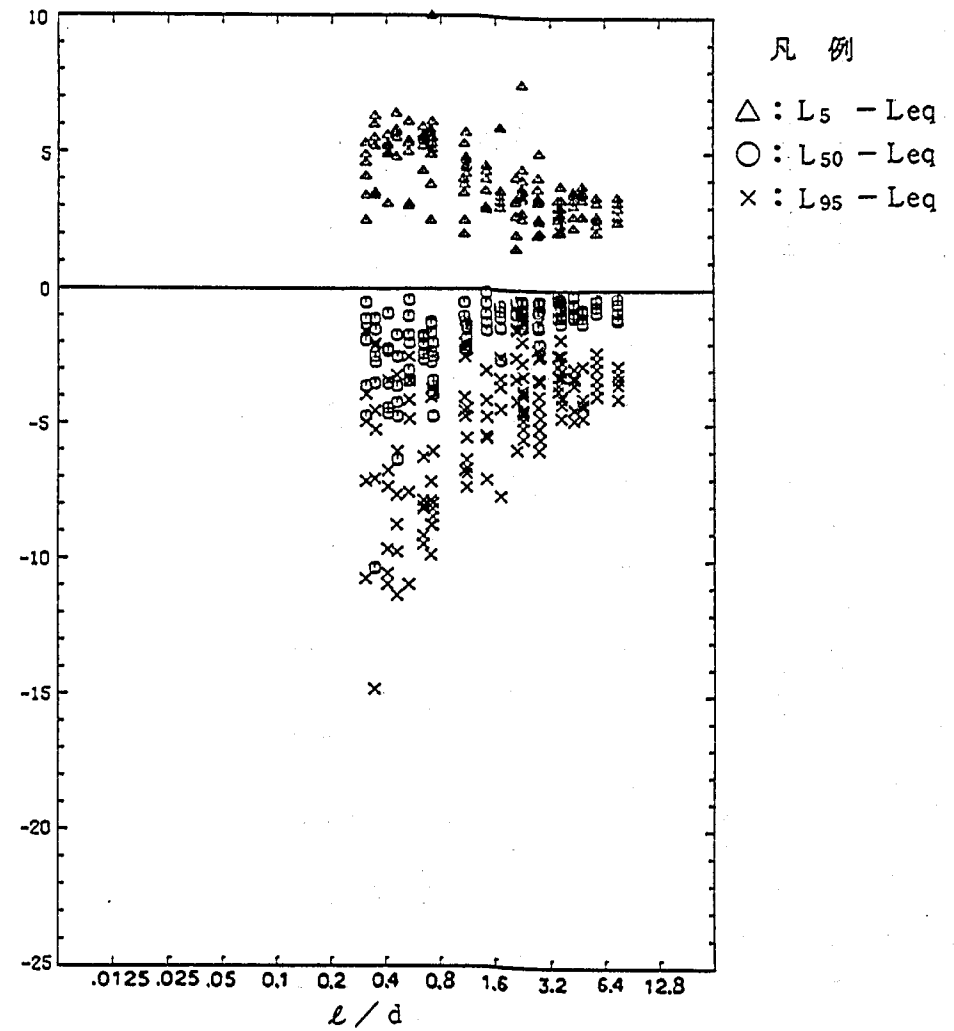


図 2-7 (6) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(建物周辺 [F])

凡 例

- $\triangle$: $L_5 - L_{eq}$
- $\bigcirc$: $L_{50} - L_{eq}$
- $\times$: $L_{95} - L_{eq}$

($L_5 - L_{eq}$) が $\log(\ell/d)$ にほぼ比例して減少するのに対して、($L_{50} - L_{eq}$) と ($L_{95} - L_{eq}$) は、 ℓ/d の指数関数的な変化を示している。

ここで、($L_{50} - L_{eq}$) と ℓ/d との指数回帰式を求めると、表 2-4 の結果が得られた。回帰曲線を図 2-8 に示す。この回帰式によって L_{eq} と L_{50} の相互関係が良好な精度で推定できるものと考えられる。

表 2-4 $L_{50} - L_{eq}$ と ℓ/d との回帰式

道路区別	ケース	サンプル数	$L_{50} - L_{eq} = b_0(\ell/d)^{b_1}$		相関係数	標準偏差 dB(A)
			b_0	b_1		
平面道路	(A+B+C)	698	-1.78	-0.52	0.873	1.07
高架道路	(D)	358	-1.25	-0.64	0.769	0.62
建物周辺	(F)	143	-1.39	-0.58	0.650	1.10

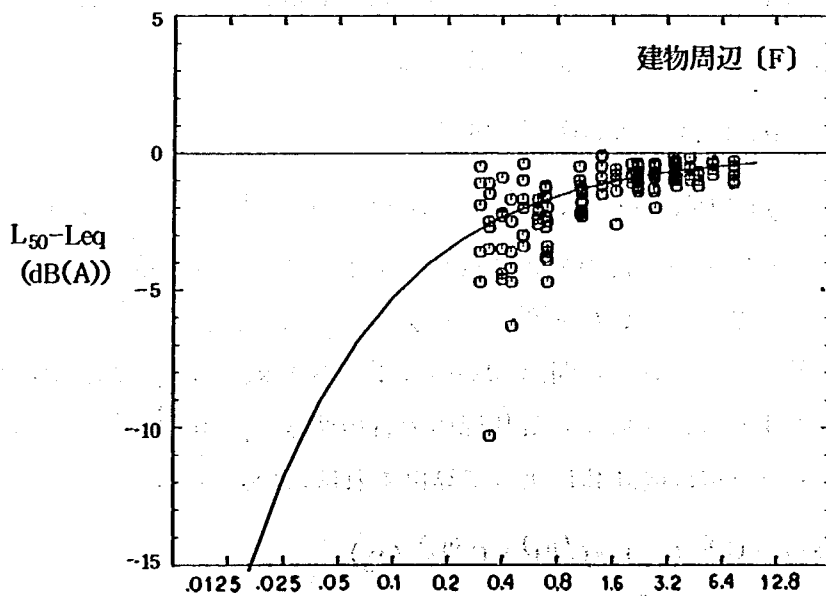
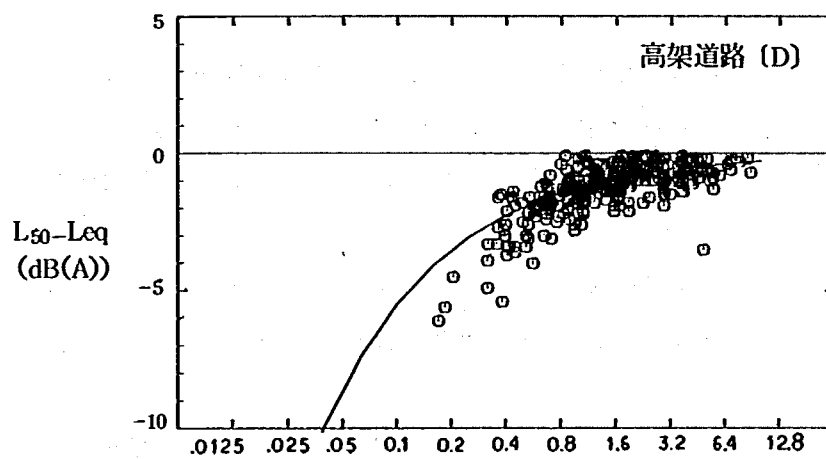
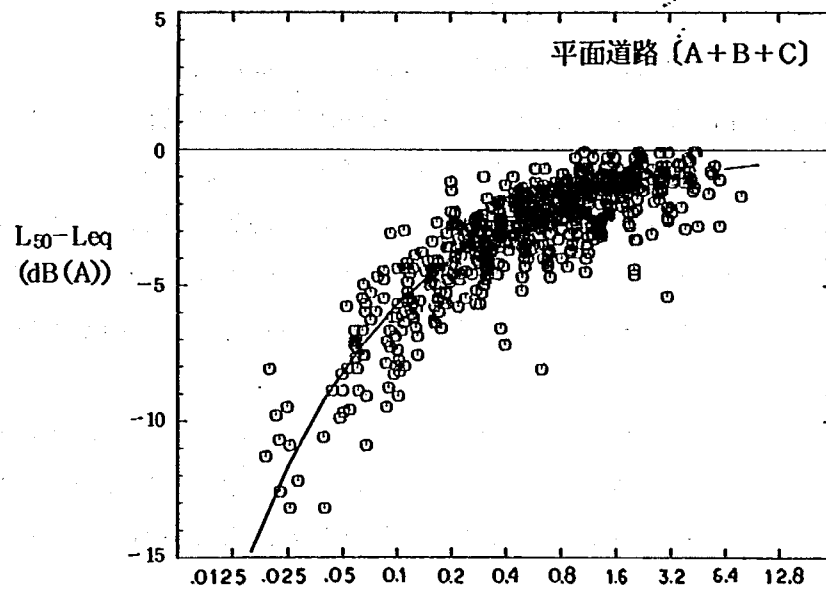


図 2-8 $L_{50} - L_{eq}$ と l/d の関係

(2) 理論モデルにおける L_{eq} と L_x の関係

道路交通騒音のレベル変動に影響を及ぼす要因としては、自動車騒音のパワーレベル、指向特性等の音源条件、交通量、車種構成、車頭間隔等の交通条件、道路構造、沿道建築物、地表面性状等の境界条件など、多くのものが考えられる。このレベル変動を解析する場合、自動車交通流のモデル化、音源特性のモデル化、境界条件に応じた減衰特性のモデル化とに分離して解析することができる。ここでは、自動車交通流の車頭間隔が指数分布に従うとしたいわゆる指数分布モデルを取りあげ、その L_{eq} と L_x の変動特性を解析し、実測値との適合性を検討する。

指数分布モデルにおける L_x は、等間隔モデルのように簡単な解析解が得られておらずいくつかの近似計算法が発表されている²⁾。本報告書では、独立な確率変数の和の分布関数が各々の分布関数の合成積で計算できることを利用して、指数分布モデルにおける音圧レベル分布の数値計算を行うことにした。

1) 分布合成計算法³⁾

一車線上を走行する自動車の車頭間隔が平均 d の指数分布に従う場合、長さ T の区間に n 台の車が存在する確率は平均 $\lambda = T/d$ のポアソン分布 $P_\lambda(n) = \lambda^n \cdot e^{-\lambda} / n!$ で与えられる。したがってこの区間 T から生じる音圧レベル (x) の分布関数 $F_\lambda(x)$ は次のようになる。

$$F_\lambda(x) = \sum_{n=0}^{\infty} P_\lambda(n) F^{(n)}(x) = e^{-\lambda} + \sum_{n=1}^{\infty} P_\lambda(n) F^{(n)}(x) \dots\dots\dots (2.6)$$

ただし、 $F^{(n)}(x)$ は区間 T 内に互いに独立に存在する n 台の車による音圧レベルの分布関数である。

ここで $F^{(n)}(x)$ に対応する音の強さ $(y = 10^{\frac{x}{10}-12})$ の分布関数 $G^{(n)}(y)$ を考えることにする。いま、 n 台の車による音の強さの確率変数を $Y^{(n)}$ で表わし、 $n = n_1 + n_2$ とすると、 $Y^{(n)}$ の分布関数 $G^{(n)}$ は次の合成積で与えられる。

$$\begin{aligned} G^{(n)}(y) &= P_r \{ Y^{(n)} = Y^{(n_1)} + Y^{(n_2)} \leq y \} \\ &= \int G^{(n_1)}(y-t) dG^{(n_2)}(t) = G^{(n_1)} * G^{(n_2)}(y) \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

したがって、 $n = 1$ の場合の分布関数 $G^{(1)}$ が定まれば、合成積を繰返すことによって任意の n に対する $G^{(n)}$ あるいは $F^{(n)}$ を計算することができる。

分布関数 $F^{(n)}$ の値を等レベル間隔 Δx の音圧レベル $x_k = x_{k-1} + \Delta x$, ($\Delta x > 0, k = 1, 2, \dots$) で求めるものとすれば、対応する等比間隔の音の強さ $y_k = 10^{\frac{x_k}{10}-12} = r \cdot y_{k-1}$, ($r = 10^{\Delta x/10}$) において、以下の分布合成計算によって算出すればよい。

$$\begin{aligned} F^{(n)}(x_k) &= G^{(n)}(y_k) = G^{(n_1)} * G^{(n_2)}(y_k) \\ &= \sum_i \sum_j P_i^{(n_1)} \cdot P_j^{(n_2)} \cdot H_i * H_j(y_k) \dots\dots\dots (2.8) \end{aligned}$$

ただし、 $n = n_1 + n_2$ であり、 $G^{(1)}$ は次式のような折れ線近似で与えるものとする。

$$G^{(n)}(y) = \sum_k P_k^{(n)} \cdot H_k(y) \quad \dots (2.9)$$

$$P_k^{(n)} = P_r \{ y_{k-1} < Y^{(n)} \leq y_k \}$$

$$= G^{(n)}(y_k) - G^{(n)}(y_{k-1})$$

$$H_k(y) = \begin{cases} 0 & ; y \leq y_{k-1} \\ (y - y_{k-1}) / (y_k - y_{k-1}) & ; y_{k-1} < y \leq y_k \\ 1 & ; y > y_k \end{cases} \quad \dots (2.10)$$

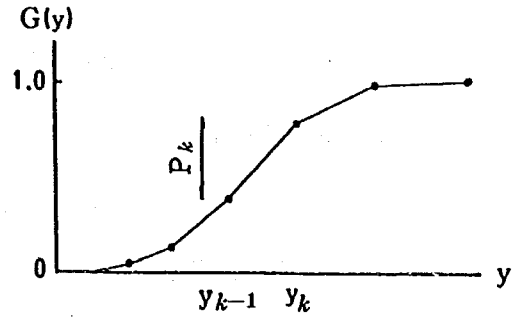


図2-9 分布関数の近似

式(3.14)中の $H_i * H_j(y_k)$ は、音の強さの区間 (y_{i-1}, y_i) と区間 (y_{j-1}, y_j) にそれぞれ独立に一様分布する確率変数 Y_i と Y_j の和が y_k 以下になる確率を与えるものであり、 $i \geq j$ の場合を考えると次式で求めることができる。

$$H_i * H_j(y_k) = \begin{cases} 0 & ; y_k \leq y_{i-1} + y_{j-1} \\ \frac{(y_k - y_{i-1} - y_{j-1})^2}{2(y_i - y_{i-1})(y_j - y_{j-1})} & ; y_{i-1} + y_{j-1} < y_k \leq y_{i-1} + y_j \\ \frac{2y_k - 2y_{i-1} - y_j - y_{j-1}}{2(y_i - y_{i-1})} & ; y_{i-1} + y_j < y_k \leq y_i + y_{j-1} \\ 1 - \frac{(y_k - y_i + y_j)^2}{2(y_i - y_{i-1})(y_j - y_{j-1})} & ; y_i + y_{j-1} < y_k \leq y_i + y_j \\ 1 & ; y_k > y_i + y_j \end{cases} \quad \dots (2.11)$$

分布関数 $F^{(n)}(x_k)$ を 0.5 dB の等レベル間隔 ($x_k = x_{k-1} + 0.5$, $y_k = 1.122 \cdot y_{k-1}$) で求めるものとすれば、式(2.8)と式(2.10)を用いてまとめて次式で与えることができる(〔付〕参照)。

$$F^{(n)}(x_k) = F^{(n_1)}(x_{k-6}) \cdot F^{(n_2)}(x_{k-6}) + \sum_{\ell=0}^5 \{ P_{k-\ell}^{(n_1)} \cdot A_{\ell}^{(n_2)} + P_{k-\ell}^{(n_2)} \cdot A_{\ell}^{(n_1)} \} \quad \dots (2.12)$$

ただし

$$A_0 = 0.029F(x_{k-19}) + 0.146F(x_{k-20}) + 0.170F(x_{k-22}) + 0.134F(x_{k-24})$$

$$+ 0.127F(x_{k-26}) + 0.115F(x_{k-29}) + 0.091F(x_{k-32}) + 0.069F(x_{k-36})$$

$$+ 0.073F(x_{k-40})$$

$$A_1 = 0.008F(x_{k-13}) + 0.167F(x_{k-14}) + 0.212F(x_{k-15}) + 0.189F(x_{k-16})$$

$$+ 0.168F(x_{k-17}) + 0.150F(x_{k-18}) + 0.101F(x_{k-19}) + 0.005F(x_{k-20})$$

$$A_2 = 0.018F(x_{k-10}) + 0.278F(x_{k-11}) + 0.335F(x_{k-12}) + 0.290F(x_{k-13})$$

$$+ 0.079F(x_{k-14})$$

$$A_3 = 0.030F(x_{k-8}) + 0.405F(x_{k-9}) + 0.455F(x_{k-10}) + 0.110F(x_{k-11})$$

$$A_4 = 0.235F(x_{k-7}) + 0.623F(x_{k-8}) + 0.142F(x_{k-9})$$

$$A_5 = 0.408F(x_{k-6}) + 0.578F(x_{k-7}) + 0.014F(x_{k-8})$$

なお P.M. Nelson⁴⁾も式 (2.12) と同様な表示により、独立な 2 つの音圧レベルの和の分布関数を 1dB 刻みで与える算出式を示している。しかしながら Nelson の方法は、和の分布関数を与えるために、適宜に種々の 2 変数を組合せる方法を採用してその確率を与えている。したがって Nelson の方法では、式 (2.8) と式 (2.11) で与えられるような、統一的に任意のレベル間隔で和の分布関数を求めることができない。

さて、任意の 1 台の車が区間 T を定常走行するとき、その音圧レベルの分布関数 $F^{(II)}$ は、パワーレベルの分布関数 F_{PWL} と減衰量の分布関数 F_{ATT} との合成積で計算される。

$$F^{(II)}(x_k) = F_{PWL} * F_{ATT}(x_k) \dots\dots\dots (2.13)$$

いま、自動車を点音源とみなし、そこから放射される音が球面波として障害物のない自由空間中を伝播するものと仮定すると、長さ T の直線道路の中央から距離 ℓ の受音点における F_{ATT} は次式で考えられる。

$$F_{ATT}(x) = \begin{cases} 0 & ; x < -10 \log_{10} 4\pi \{ \ell^2 + (T/2)^2 \} \\ 1 - \frac{2}{T} \sqrt{\frac{1}{4\pi} 10^{-x/10} - \ell^2} & ; -10 \log_{10} 4\pi \{ \ell^2 + (T/2)^2 \} \leq x \leq -10 \log_{10} 4\pi \ell^2 \\ 1 & ; x > -10 \log_{10} 4\pi \ell^2 \end{cases} \dots (2.14)$$

しかしながら、伝播経路中に回折減衰や他の超過減衰を考慮する場合は、解析的に F_{ATT} を求めることができないので、道路上に点音源を配置し、その減衰量と配置間隔から F_{ATT} を近似的に求めなければならない。

2) Leq と Lx の数値計算

音圧レベルの分布合成計算法を用いて指数分布モデルにおける Lx と Leq の数値計算を行うとともに、実測値との適合性を調べた。ただし、計算条件として、道路長を 20km にとり、車種構成を大型車混入率が 15% の 2 車種分類とした。各車種のパワーレベルは、標準偏差が 4dB の正規分布に従うものとし、大型車の平均パワーレベルは小型車よりも 10dB 大きく設定している。

図 2 - 10 (1) は横軸に ℓ/d をとり、平面道路における $Lx-Leq$ の変動特性を示したものであり、実測値とよく対応している。

図 2 - 10 (2) は、(D) の高架道路において、地上 1.2 m で路肩より 10 m (測点 D - 2) および 80 m (測点 D - 5) の受音点に対する $Lx-Leq$ の変動特性を示している。計算値では回折減衰の影響により、平面道路に比べてレベル分布幅 (L_5-L_{95}) が小さくなっており、回折経路差の大きい測点 D - 2 の方で顕著に表われている。実測値においても同様な

傾向を見ることができるが、 L_{95} では計算値との差が大きくなっている。

(F)の建物周辺部を対象とした図2-10(3)-aは、建物中央部の背後105mの測点F-2および背後77.5mの測点F-4における L_x - L_{eq} の変化を示している。この建物背後の測点もレベル分布幅が小さく、計算値と実測値はよく一致している。また図2-10(3)-bは、同じく建物端部の測点における L_x - L_{eq} の変動状況を示したものであり、計算値は実測値とよく一致している。なお建物端の背後では、騒音レベルの最大値（建物端の正面に自動車が存在するときのレベル）は開放部と変わらないが、自動車が建物の影に入出することによってレベルの急激な立下りや立上りが生じ、計算値の方では、部分的に平面道路の場合よりも分布幅が広がっている。

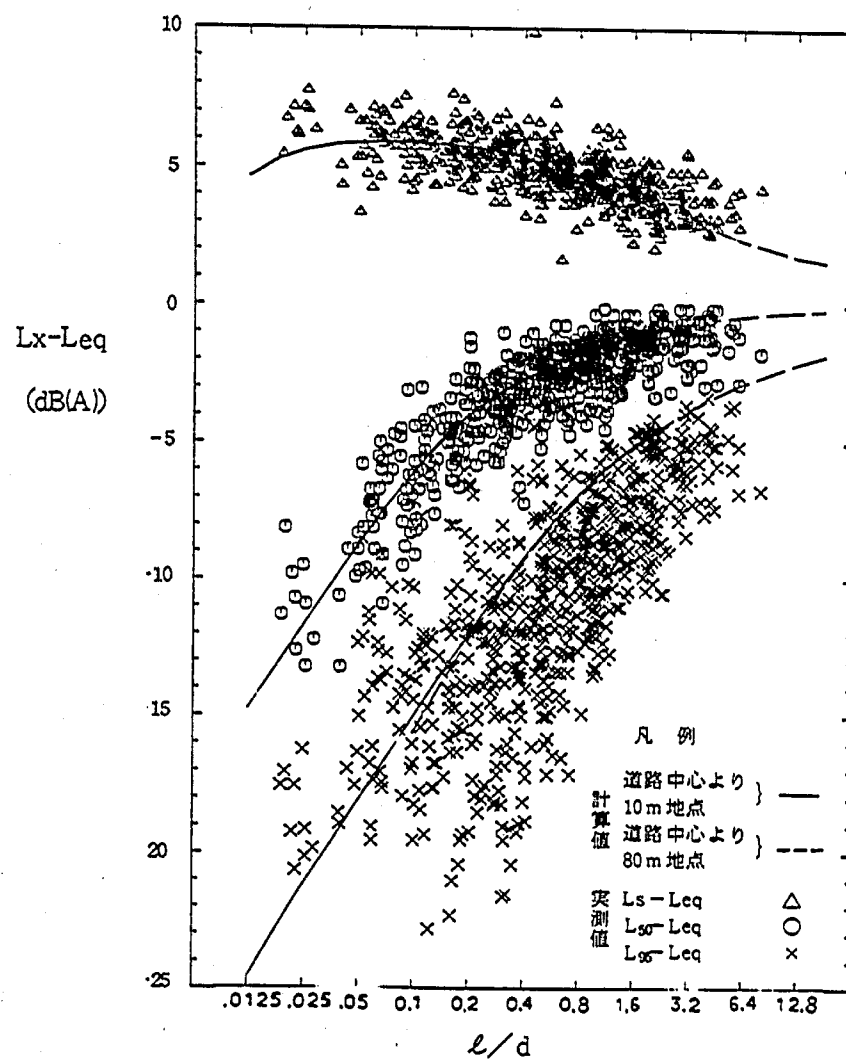


図 2-10(1) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(平面道路 [A+B+C])

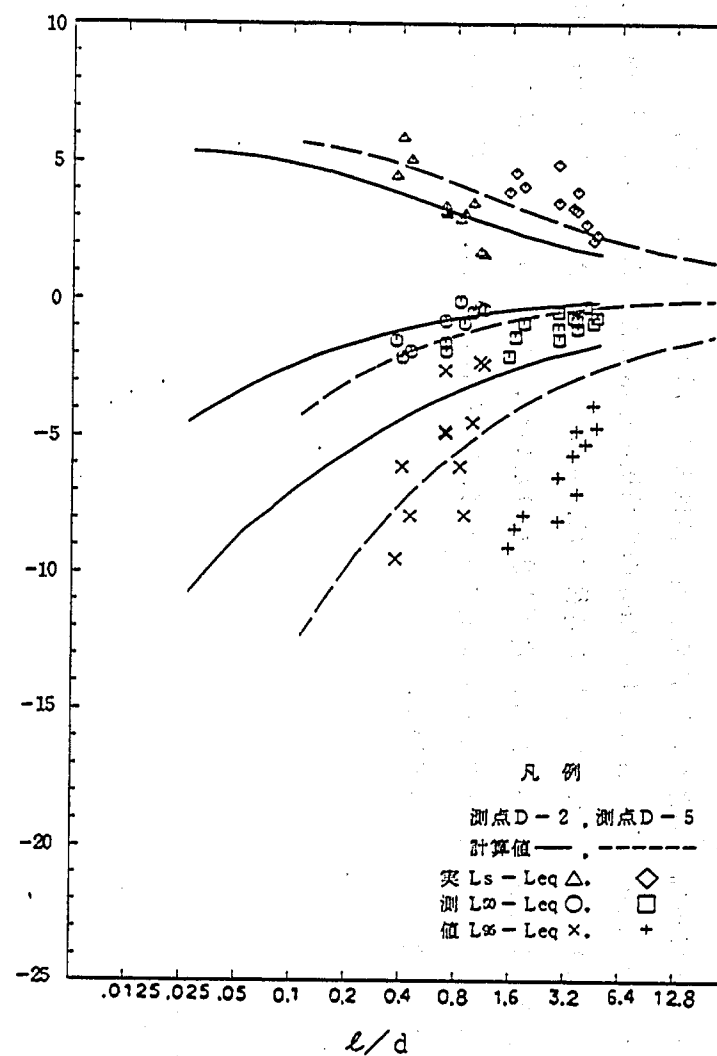


図 2-10(2) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(高架道路 [D])

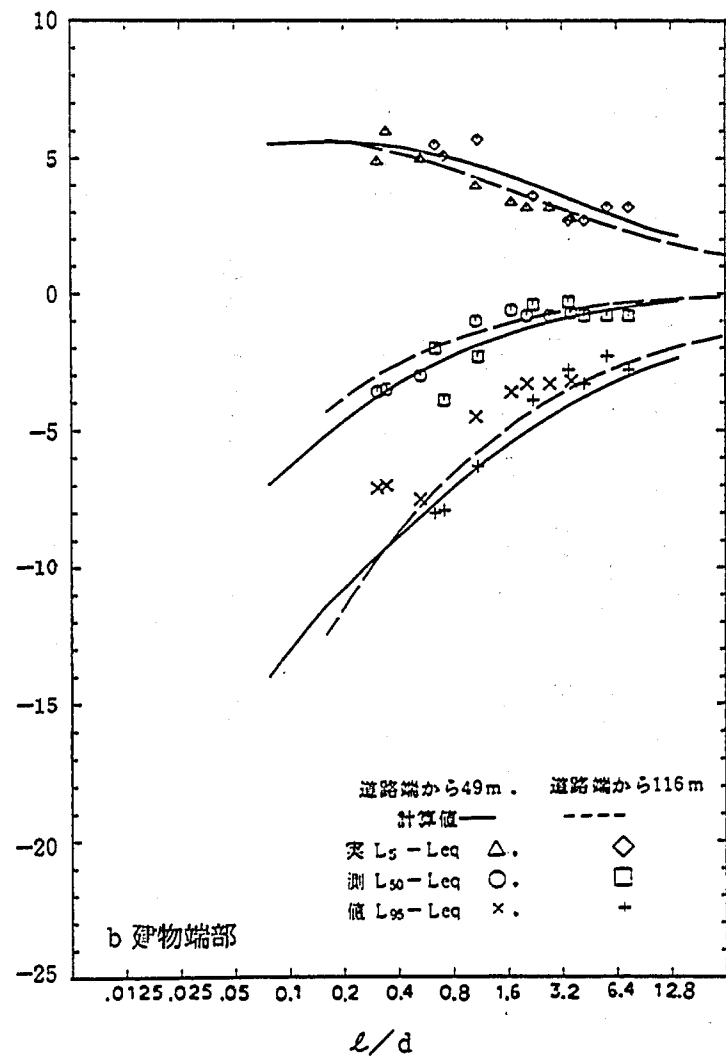
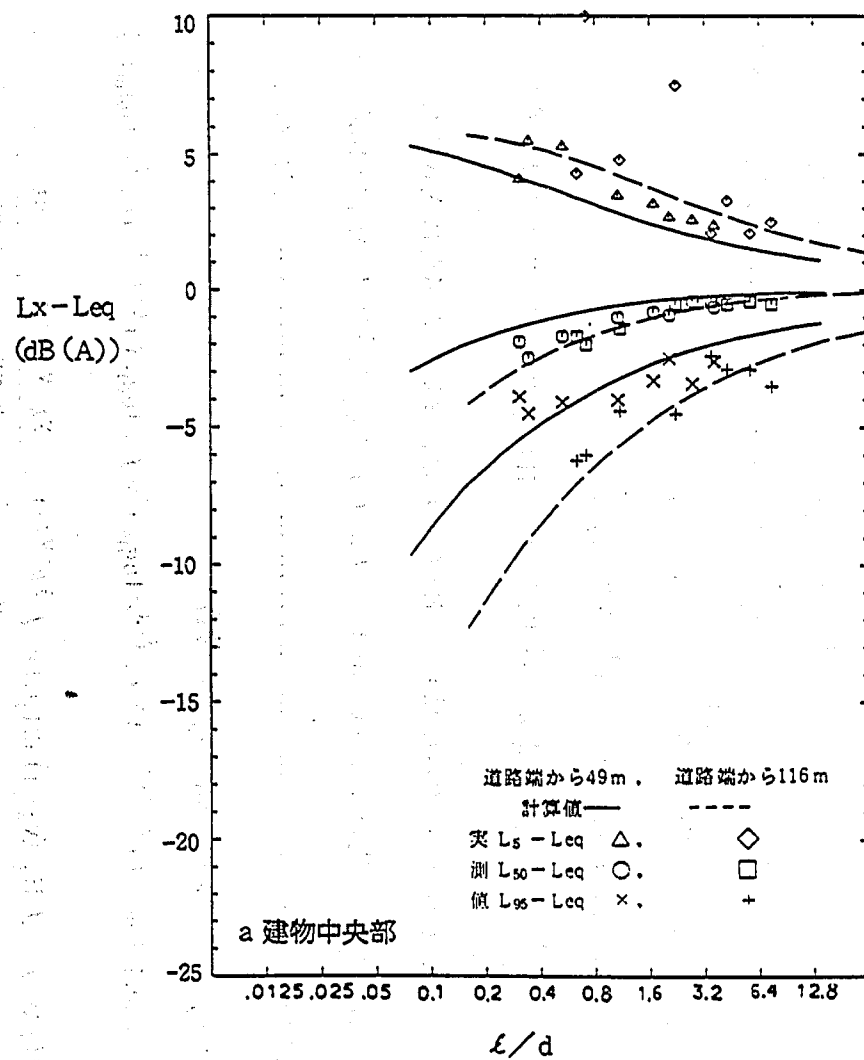


図2-10(3) $L_x - L_{eq}$ と l/d の関係
(建物周辺〔F〕)

[付] レベル分布の合成計算

1 基本式

2つの独立な音圧レベル $X^{(1)}$ と $X^{(2)}$ の和 $X^{(3)}$ の分布関数 $F^{(3)}(x)$ は、 $X^{(1)}$, $X^{(2)}$ それぞれの音の強さ ($Y^{(1)}$, $Y^{(2)}$) の分布関数 $G^{(1)}$, $G^{(2)}$ の合成積を計算することによって得ることができる。

ここで音圧レベルの分布関数は、等間隔の音圧レベル x_k , $\{x_k = x_0 + k \cdot dx; dx > 0\}$ において不連続な関数として与えられ、対応する音の強さの分布関数は、次式で与えられるものとする。

$$F(x) = G(y) = \sum_{k=1}^{\infty} P_k \cdot H_k(y) \quad \dots\dots\dots (\text{付. 1})$$

ただし、

$$P_k = P_r \{x_{k-1} < X \leq x_k\} = P_r \{y_{k-1} < Y \leq y_k\} = G(y_k) - G(y_{k-1})$$

$$H_k(y) = \begin{cases} 0 & ; y \leq y_{k-1} \\ \frac{y - y_{k-1}}{y_k - y_{k-1}} & ; y_{k-1} < y \leq y_k \\ 1 & ; y > y_k \end{cases}$$

$$y_k = 10^{-12 + X/10} = (10^{-12 + X_0/10}) \cdot (10^{dx/10})^k = y_0 \cdot r^k \quad \dots\dots\dots (\text{付. 2})$$

このとき音圧レベル $X^{(1)}$ と $X^{(2)}$ の和 $X^{(3)}$ が x_k 以下になる確率 $F^{(3)}(x_k)$ は、次のようになる。

$$\begin{aligned} F^{(3)}(x_k) &= P_r \{X^{(3)} = 10 \log_{10} (10^{\frac{X^{(1)}}{10}} + 10^{\frac{X^{(2)}}{10}}) \leq x_k\} \\ &= G^{(3)}(y_k) = P_r \{Y^{(3)} = Y^{(1)} + Y^{(2)} \leq y_k\} \\ &= G^{(1)} * G^{(2)}(y_k) = \sum_i \sum_j P_i^{(1)} \cdot P_j^{(2)} \cdot H_i * H_j(y_k) \quad \dots\dots\dots (\text{付. 3}) \end{aligned}$$

ただし、分布関数 H_i と H_j の合成積 $H_i * H_j(y_k)$ は、 $i \geq j$ の場合に次式で与えられる。

i) $y_k \leq y_{i-1} + y_{j-1}$ の場合 ; $i > k$ or $\{i \leq k \text{ and } j \geq \log_{10} (r^{k-i+1} - 1) r^i / \log_{10} r\}$

$$H_i * H_j(y_k) = 0 \quad \dots\dots\dots (\text{付. 4a})$$

ii) $y_{i-1} + y_{j-1} < y_k \leq y_{i-1} + y_j$ の場合

; $\{i \leq k \text{ and } \log_{10} (r^{k-i+1} - 1) \cdot r^{i-1} / \log_{10} r \leq j < \log_{10} (r^{k-i+1} - 1) r^i / \log_{10} r\}$

$$\begin{aligned} H_i * H_j(y_k) &= \int H_i(y_k - t) dH_j(t) = \int_{y_{j-1}}^{y_k - y_{i-1}} \frac{y_k - y_{i-1} - t}{y_i - y_{i-1}} \cdot \frac{dt}{y_j - y_{j-1}} \\ &= \frac{(y_k - y_{i-1} - y_{j-1})^2}{2 (y_i - y_{i-1}) (y_j - y_{j-1})} = \frac{(r - r^{i-k} - r^{j-k})^2 \cdot r^{2k-i-j}}{2 (r-1)^2} \quad \dots\dots (\text{付. 4 b}) \end{aligned}$$

iii) $y_{i-1} + y_j < y_k \leq y_i + y_{j-1}$ の場合 ; $\{ i=k \text{ and } j < \log_{10}(r-1) r^{k-1} / \log_{10} r \}$

or $\{ i < k \text{ and } \log_{10}(r^{k-i}-1) r^{i+1} / \log_{10} r \leq j < \log_{10}(r^{k-i+1}-1) r^{i-1} / \log_{10} r \}$

$$\begin{aligned} H_i * H_j(y_k) &= \int_{y_{j-1}}^{y_j} \frac{y_k - y_{i-1} - t}{y_i - y_{i-1}} \cdot \frac{dt}{y_j - y_{j-1}} = \frac{(y_k - y_{i-1} - y_{j-1})^2 - (y_k - y_{i-1} - y_j)^2}{2(y_i - y_{i-1})(y_j - y_{j-1})} \\ &= \frac{(2r - 2r^{i-k} - r^{j-k+1} - r^{j-k}) \cdot r^{k-i}}{2(r-1)} \quad \dots\dots\dots (\text{付. 4c}) \end{aligned}$$

iv) $y_i + y_{j-1} < y_k \leq y_i + y_j$ の場合

; $\{ i < k \text{ and } \log_{10}(r^{k-1}-1) r^i / \log_{10} r \leq j < \log_{10}(r^{k-i}-1) r^{i+1} / \log_{10} r \}$

$$\begin{aligned} H_i * H_j(y_k) &= \int_{y_{j-1}}^{y_k - y_i} 1 \cdot \frac{dt}{y_j - y_{i-1}} + \int_{y_k - y_i}^{y_j} \frac{y_k - y_{i-1} - t}{y_i - y_{i-1}} \cdot \frac{dt}{y_j - y_{j-1}} \\ &= 1 - \frac{(y_k - y_i + y_j)^2}{2(y_i - y_{i-1})(y_j - y_{j-1})} = 1 - \frac{(r - r^{i-k+1} - r^{j-k+1})^2 \cdot r^{2k-i-j}}{2(r-1)^2} \quad \dots\dots (\text{付. 4d}) \end{aligned}$$

v) $y_k > y_i + y_j$ の場合 ; $\{ i < k \text{ and } j \leq \log_{10}(r^{k-i}-1) r^i / \log_{10} r \}$

$$H_i * H_j(y_k) = 1 \quad \dots\dots\dots (\text{付. 4e})$$

2 分布合成計算 (0.5 dB 間隔の場合)

式 (付. 3) で与えられる分布関数 $F^{(3)}(x_k)$ を 0.5 dB の等レベル間隔 ($\Delta x = 0.5$; $r = 10^{\Delta x/10} = 1.122$) で求めるものとする。

合成積 $H_i * H_j(y_k)$ は, $i \geq j$ の場合について考えると, 式 (付. 4) により次のようになる。

(1) $i > k$ の場合 ; $y_k < y_{i-1} + y_{j-1}$

$$H_i * H_j(y_k) = 0$$

(2) $i = k$ の場合

i) $j \geq \log_{10}(r-1) r^k / \log_{10} r$ の場合 ; $j \geq k - 18.3$

$$H_i * H_j(y_k) = 0$$

ii) $\log_{10}(r-1) r^{k-1} / \log_{10} r \leq j < \log_{10}(r-1) r^k / \log_{10} r$ の場合 ; $j = k - 19$

$$H_i * H_j(y_k) = (r - 1 - r^{-19})^2 r^{19} / 2(r-1)^2 = 0.029$$

iii) $j < \log_{10}(r-1) r^{k-1} / \log_{10} r$ の場合 ; $j < k - 19.3$

級数の項数が多くなるため, $H_i * H_j, H_i * H_{j-1}, \dots\dots, H_i * H_{j'}$ をまとめて, $H_i * H_{j,j'}$ として求めることにすると以下のようなになる。

$$H_i * H_{j,j'}(y_k) = 1 - (r^j + r^{j'-1})/2 (r^i - r^{i-1})$$

$$= \begin{cases} 0.175 & ; j = k-20, j' = k-21 \\ 0.345 & ; j = k-22, j' = k-23 \\ 0.479 & ; j = k-24, j' = k-25 \\ 0.606 & ; j = k-26, j' = k-28 \\ 0.721 & ; j = k-29, j' = k-31 \\ 0.812 & ; j = k-32, j' = k-35 \\ 0.881 & ; j = k-36, j' = k-39 \\ 0.954 & ; j = k-40, j' = 1 \end{cases}$$

(3) $i \leq k-1$ の場合

$H_i * H_j$ の値を表-A・1に示す。なお $i \leq k-7$ の場合は、 $y_k > y_i + y_j$ となり常に $H_i * H_j(y_k) = 1$ となる。

以上により、 $\sum_{j=1}^{j_2} P_j = F(x_{j_2}) - F(x_{j_1-1})$ となることを考慮してまとめると、 $F^{(3)}(x_k)$ は次式で与えられる。

$$F^{(3)}(x_k) = \sum_i \sum_j P_i^{(1)} \cdot P_j^{(2)} \cdot H_i * H_j(y_k) \\ \approx F^{(1)}(x_{k-6}) \cdot F^{(2)}(x_{k-6}) + \sum_{n=0}^5 (P_{k-n}^{(1)} \cdot A_n^{(2)} + P_{k-n}^{(2)} \cdot A_n^{(1)})$$

$$A_0 = 0.029F(x_{k-19}) + 0.146F(x_{k-20}) + 0.170F(x_{k-22}) + 0.134F(x_{k-24}) \\ + 0.127F(x_{k-26}) + 0.115F(x_{k-29}) + 0.091F(x_{k-32}) + 0.069F(x_{k-36}) \\ + 0.073F(x_{k-40})$$

$$A_1 = 0.008F(x_{k-13}) + 0.167F(x_{k-14}) + 0.212F(x_{k-15}) + 0.189F(x_{k-16}) \\ + 0.168F(x_{k-17}) + 0.150F(x_{k-18}) + 0.101F(x_{k-19}) + 0.005F(x_{k-20})$$

$$A_2 = 0.018F(x_{k-10}) + 0.278F(x_{k-11}) + 0.335F(x_{k-12}) + 0.290F(x_{k-13}) \\ + 0.079F(x_{k-14})$$

$$A_3 = 0.030F(x_{k-8}) + 0.405F(x_{k-9}) + 0.455F(x_{k-10}) + 0.110F(x_{k-11})$$

$$A_4 = 0.235F(x_{k-7}) + 0.623F(x_{k-8}) + 0.142F(x_{k-9})$$

$$A_5 = 0.408F(x_{k-6}) + 0.578F(x_{k-7}) + 0.014F(x_{k-8})$$

表 A - 1 $r = 1.122$ ($\Delta x = 0.5$ dB) とした場合の $H_i * H_j(y_k)$

$i =$ $j =$	k	$k - 1$	$k - 2$	$k - 3$	$k - 4$	$k - 5$	$k - 6$	$k - 7$
i	0	0	0	0	0	0	0.999	1
$i - 1$	↓	↓	↓	↓	↓	0.408	1	↓
$i - 2$	↓	↓	↓	↓	0	0.986	↓	↓
$i - 3$	↓	↓	↓	↓	0.235	1	↓	↓
$i - 4$	↓	↓	↓	0	0.858	↓	↓	↓
$i - 5$	↓	↓	↓	0.030	1	↓	↓	↓
$i - 6$	↓	↓	↓	0.435	↓	↓	↓	↓
$i - 7$	↓	↓	0	0.890	↓	↓	↓	↓
$i - 8$	↓	↓	0.018	1	↓	↓	↓	↓
$i - 9$	↓	↓	0.296	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 10$	↓	↓	0.631	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 11$	↓	0	0.921	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 12$	↓	0.008	1	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 13$	↓	0.175	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 14$	↓	0.387	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 15$	↓	0.576	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 16$	↓	0.744	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 17$	↓	0.894	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 18$	0	0.995	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 19$	0.029	1	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 20$	0.175 ^{*)}	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 21$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 22$	0.345	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 23$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 24$	0.479	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 25$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 26$	0.606	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 27$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 28$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 29$	0.721	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 30$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 31$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 32$	0.881	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 33$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 34$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 35$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 36$	0.881	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 37$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 38$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 39$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 40$	0.954	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
$i - 41$	"	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
:	:	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1	0.954	1	1	1	1	1	1	1

*) $H_i * H_j, H_i * H_{j-1}, \dots, H_i * H_{j'}$ をまとめて平均化して求めた値

2-4 Lx による Leq 推定

Lx 値から Leq を推定する場合、あらかじめ騒音レベルの分布を想定し、その分布に即した Leq を算出する方法がある。

ここでは騒音レベルの分布を正規分布と仮定して導かれた (2.15), (2.16) 式と歪をもった分布と仮定して導かれた (2.17) 式⁵⁾ について実測値をあてはめ、検証した。

$$Leq = L_{50} + \frac{(L_5 - L_{95})^2}{94} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$Leq = L_{50} + \frac{(L_5 - L_{50})^2}{23.5} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$Leq = m + 10 \log_{10} \left\{ \frac{2}{\sqrt{\pi} (\sigma_1 + \sigma_2)} \left\{ \sigma_1 e^{a^2 \sigma_1^2} \operatorname{erfc}(a \sigma_1) + \sigma_2 e^{a^2 \sigma_2^2} (\sqrt{\pi} - \operatorname{erfc}(a \sigma_2)) \right\} \right\} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= -0.1144 (L_5 - L_{50}) + 0.7671 (L_{50} - L_{95}) \\ \sigma_2 &= 0.7671 (L_5 - L_{50}) - 0.1144 (L_{50} - L_{95}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$m = L_{50} - 0.5524 (L_5 + L_{95} - 2L_{50})$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \sqrt{2} \ln 10 / 20 = 0.16282 \\ \operatorname{erfc}(x) &= \int_x^\infty -t^2 dt \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.19)$$

検討に用いた実測値は、平面道路〔A,B,C〕、高架道路〔D〕および沿道建物周辺〔E,F,G〕での値である。測定場所別、推定式別に推計 Leq と実測 Leq との対応関係を散布図として図 2-11 に示す。各手法による Leq の推計値は概ね、実測値とよい対応を示しているが (2.16) 式が特によい対応を示しているようである。Leq 推計残差 (実測値 - 推計値) の平均値および標準偏差を表 2-5 に示す。(2.16) 式の誤差平均値および標準偏差が最も小さい。全般に (2.15) 式では推計値が小さめに、(2.16), (2.17) 式では推計値が大きめに算出されている。

表 2 - 5 Leq 推計残差の平均と標準偏差

	(2.15) 式	(2.16) 式	(2.17) 式
平 面 〔A,B,C〕	0.226 / 1.225	0.008 / 0.479	-0.468 / 0.628
高 架 〔D〕	-0.216 / 0.697	-0.001 / 0.406	-0.235 / 0.485
建 物 〔E〕	-0.382 / 0.754	-0.157 / 0.413	-0.345 / 0.550
" 〔F〕	0.436 / 1.031	-0.035 / 0.615	-0.310 / 0.735
" 〔G〕	0.109 / 0.848	-0.029 / 0.516	-0.372 / 0.601

騒音レベル分布幅を表わす指標 (L_5-L_{95}) と推計残差との関係を図 2-12 に示す。いずれの手法もレベル分布の幅が広がると残差のバラツキが大きくなる傾向があり、中でも比較的 (2.15) 式でその傾向が顕著である。また、(2.17) 式では、(L_5-L_{95}) が大きくなると残差が負側に偏るという傾向が、各箇所に共通してみられるのに対し (2.15) 式では、残差の偏り傾向が、〔B〕と〔C〕で逆になるように、必ずしも一定していない。これらの残差の特性は、騒音レベルの分布形状に強く影響されていると考えられる。

そこで、騒音レベル分布の歪を表わす指標として ($L_5+L_{95}-2\cdot L_{50}$) を考え、この値と推計残差との関係を示したものが図 2-13 である。(2.15) 式の結果をみると、原点を通る正勾配の直線状に残差が分布しており、その傾きは、各ケースとも同程度となっている。また (2.16) 式による残差は、レベル分布の歪にあまり影響されることなく平坦な分布をしており、(2.17) 式による残差は、歪の 0 を中心として凸型の分布をしている。

図 2-14 には、残差と道路中心から受音点までの距離 l 及び l と平均車頭間隔 d との比 l/d との関係を示した。 l あるいは l/d が大きくなるにつれて、残差のバラツキが小さくなる傾向が見られる。

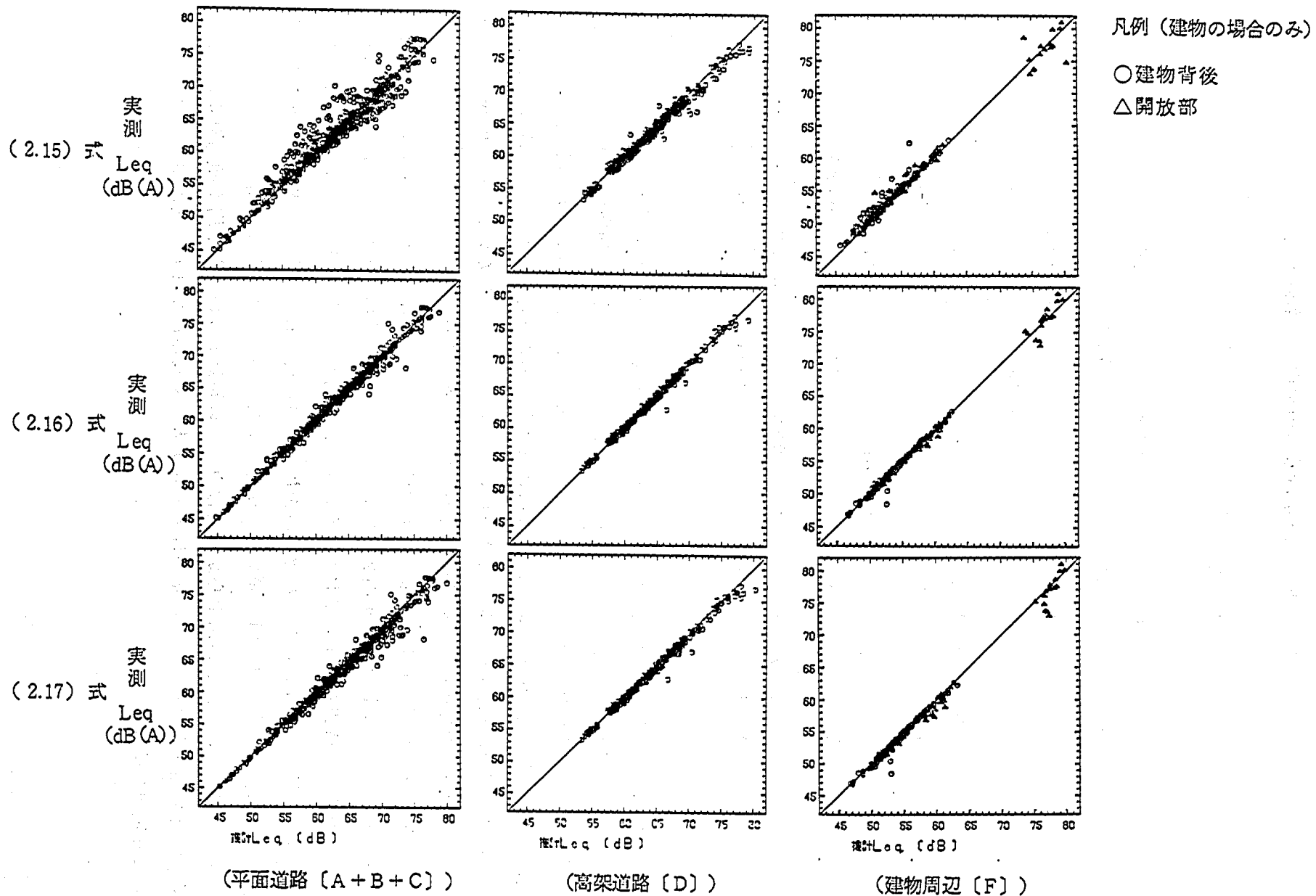


図 2-11 実測 L_{eq} と推計 L_{eq} の関係

凡例
× 建物背後
△ 開放部

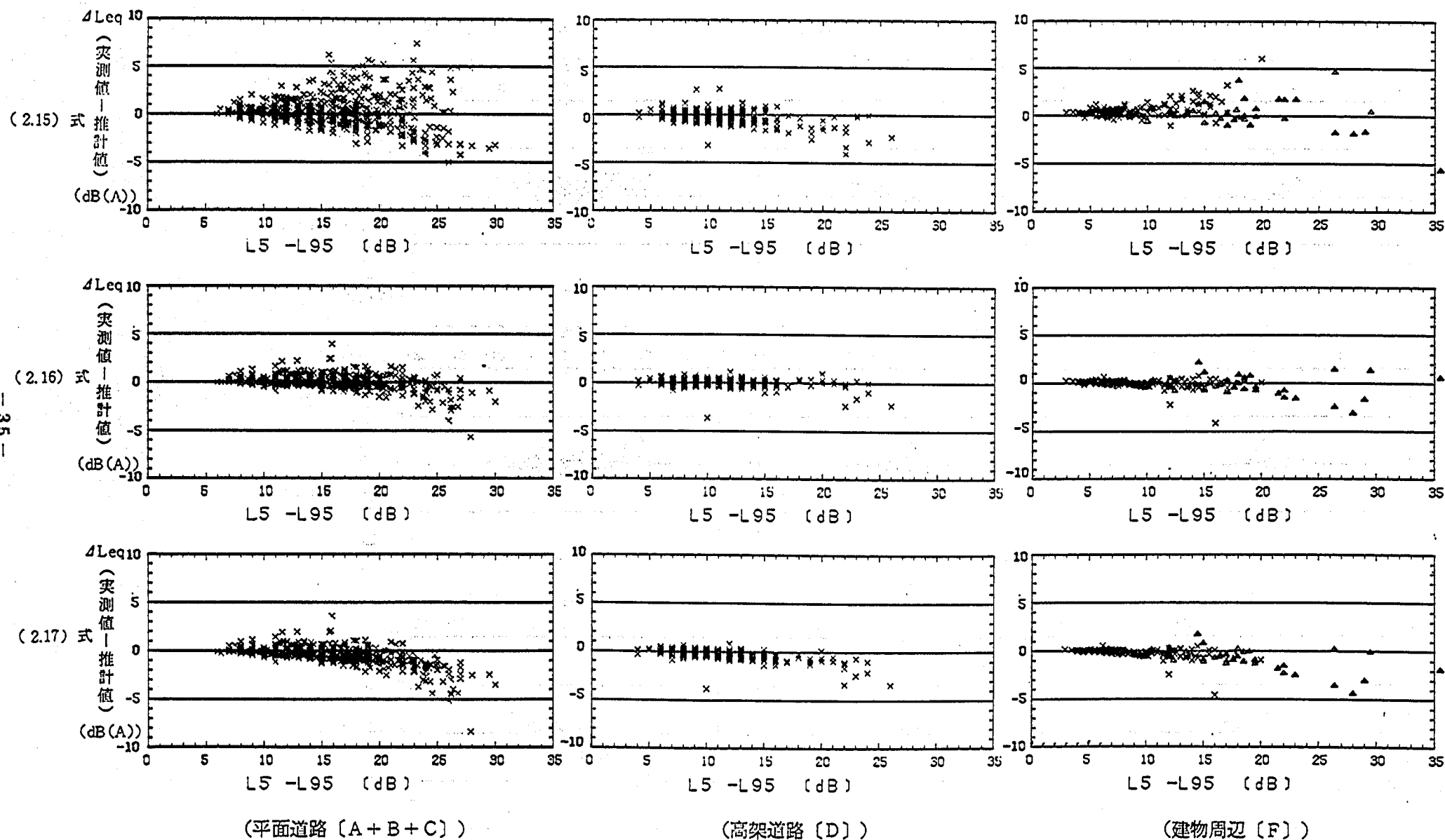


図 2-12 ΔLeq と $(L_5 - L_{95})$ の関係

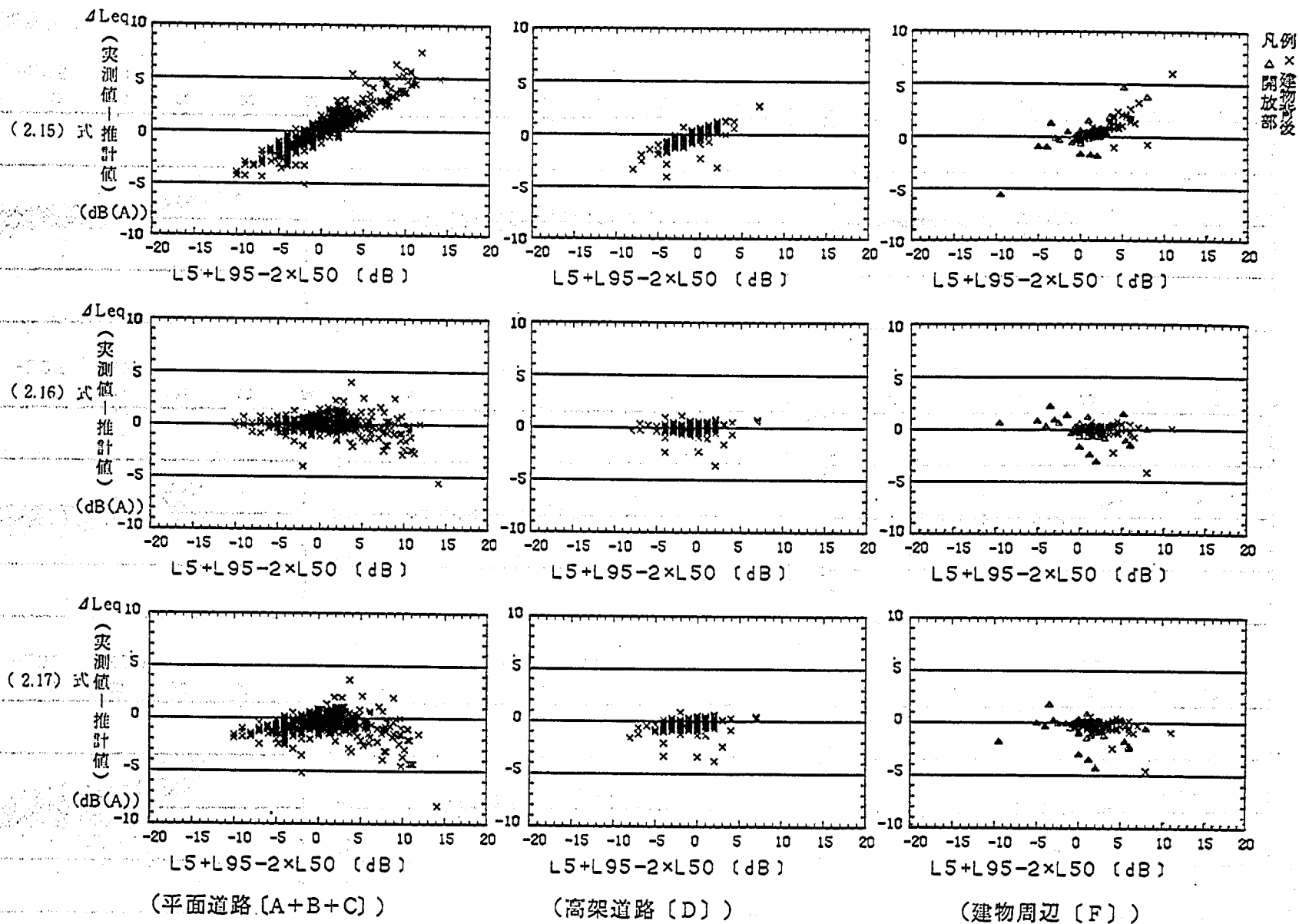


図 2-13 ΔLeq と $(L_5 + L_{95} - 2 \times L_{50})$ の関係

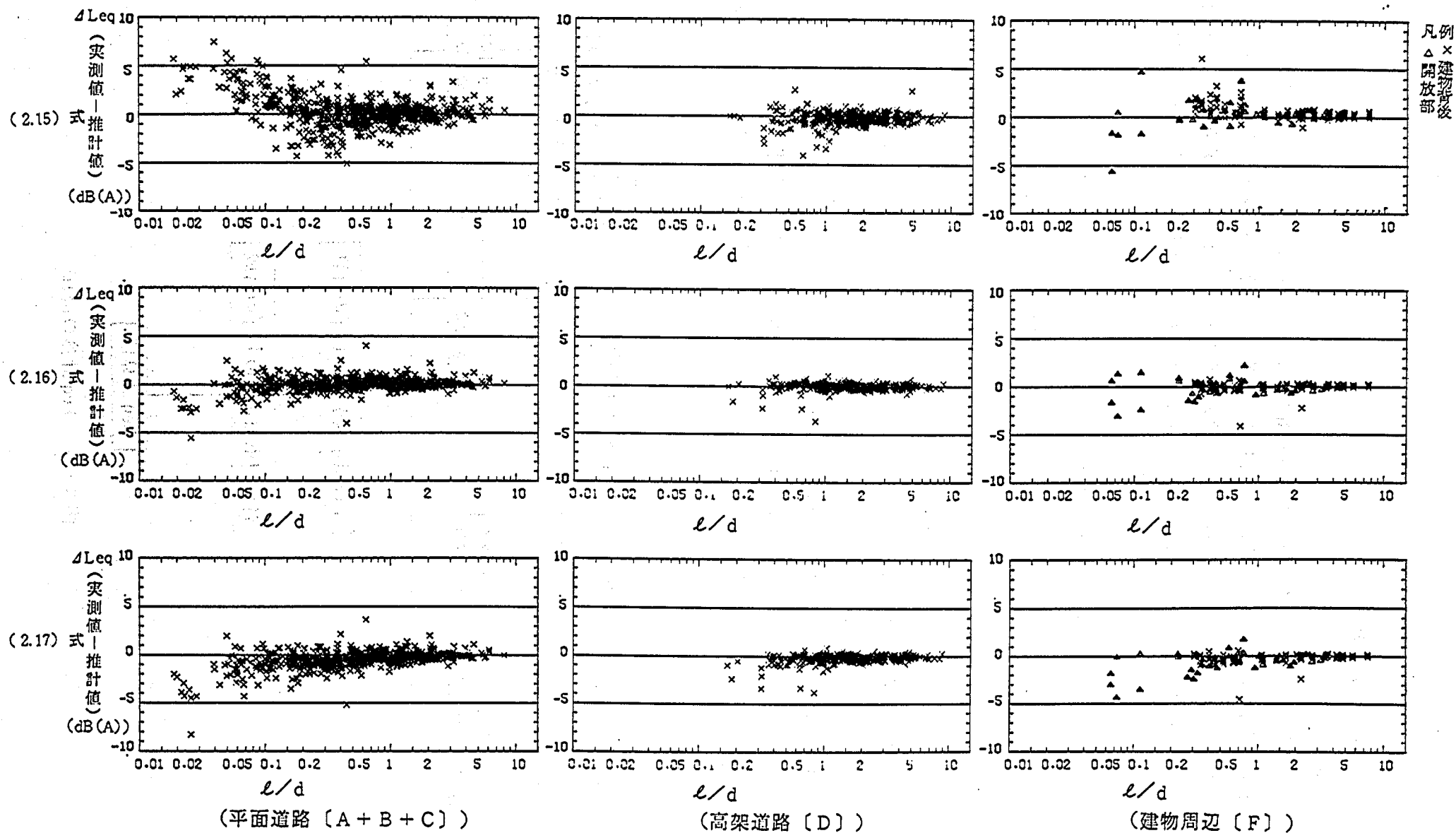


図 2-14 ΔLeq と l/d の関係

3. Leqの実測値と計算値の差

3-1 Leq 計算式

Leq は騒音レベルのエネルギー平均値に相当するレベルであるから、交通流の状態（車頭間隔の確率分布）に影響される L_{50} などと比べて簡単に計算することができる。日本音響学会が提示した L_{50} による道路騒音の予測計算方法を参考にし、同様な仮定条件として音響パワーの等しい無指向性点音源とみなされる車が、無限長の道路上を等速度で走行しているものとすれば、次式となる。

$$\overline{Leq} = \overline{Lw} - 10 \log_{10} 2\ell d + \alpha_d \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$\overline{Lw}$: 一台の車から発生する騒音のエネルギー平均による A 特性
パワーレベル (dB(A))

ℓ : 車線から受音点までの距離(m)

d : 平均車頭間隔, $d = 1000V/N$ (m)

V : 平均走行速度 (km/h)

N : 交通量 (台/h)

α_d : 回折による補正值 (dB(A))

この Leq 計算式の流れ図を図 3-1 に示す。ここで、音源を配置する仮想車線の設定に際しては、隣接する 2~3 車線毎にまとめ、その車道中央に 1 つの仮想車線を設けるものとする。

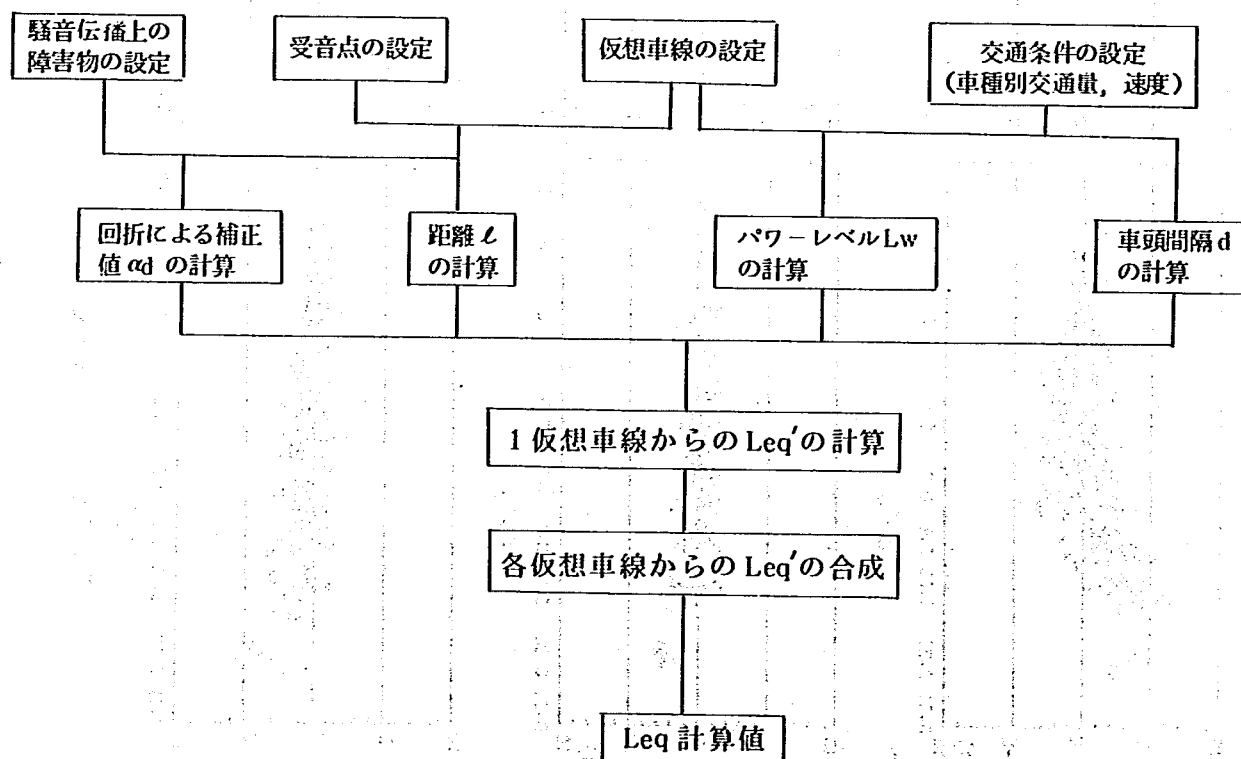


図 3-1 Leq 計算の流れ

(3.1) 式は、簡単なモデルにより以下のような手順で得たものである。

図3-2に示すように、無指向性点音源とみなせる j 番目の車から受音点に到達する音の強さを $I_j(x)$ とする。道路区間 $[x_1, x_2]$ を一定速度 V_j で走行する間の I_j の時間平均値 $\overline{I_j}$ は次式で与えられる⁶⁾

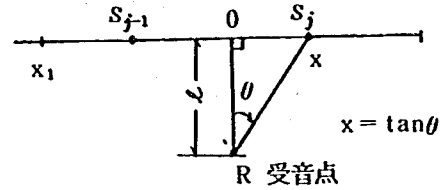


図3-2 道路交通騒音のモデル

$$\begin{aligned}\overline{I_j} &= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} W_j(t) C(t) dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{x_1}^{x_2} \frac{W_j(x) C(x)}{V_j} dx \\ &= \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} W_j(x) C(x) dx \quad \dots\dots\dots (3.2)\end{aligned}$$

ただし、 $W_j(x)$ は自動車 j の地点 x における音響パワー、 $C(x)$ は地点 x から受音点に到達する音の伝播特性（減衰率）を表わす関数である。

ここで、自動車交通流は定常でありその単位時間交通量を N 、走行速度を一定値 V とすれば、区間 $[x_1, x_2]$ 内に存在する自動車の平均台数 $N_{x1,2}$ は、平均車頭間隔を $d = V/N$ とし、 $N_{x1,2} = (x_2 - x_1)/d$ となる。さらに、自動車 j の音響パワー W_j は一定であり、自動車の1台当りの平均パワーを $\overline{W} = \sum_j^n W_j / n$ とする。

以上の仮定条件の下で、道路区間 $[x_1, x_2]$ から生じる音の強さ I を観測すると、その平均値 $\overline{I}$ は次のようになる。

$$\begin{aligned}\overline{I} &= \frac{1}{T} \int_0^T \sum_j \overline{I_j} dt = \sum_{j=1}^{N_{x1,2}} \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} W_j C(x) dx \\ &= \frac{\overline{W}}{d} \int_{x_1}^{x_2} C(x) dx \quad \dots\dots\dots (3.3)\end{aligned}$$

上式の $C(x)$ は音の伝播特性を表わす関数である。いま、道路は直線であり、音は半球面波として伝播し、その減衰特性は伝播距離と回折によるものだけを考えることにすれば、 $C(x)$ は次式で与えられる。

$$C(x) = \frac{A(x)}{2\pi (\ell^2 + x^2)} = \frac{10^{-dLp(x)/10}}{2\pi (\ell^2 + x^2)} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ただし、 $A(x)$ ：地点 x から受音点に至るまでの間の回折による

減衰率、 $A(x) = 10^{-dLp(x)/10}$

$dLp(x)$ ：地点 x から受音点に至るまでの間の回折減衰量

ℓ ：受音点から道路までの距離

式(3.4)を式(3.3)に代入し、積分変数を x から角度 θ に交換すると(図3-2参照)

$$\begin{aligned}\bar{I} &= \frac{\bar{W}}{d} \int_{x_1}^{x_2} \frac{A(x)}{2\pi(\ell^2 + x^2)} dx \\ &= \frac{\bar{W}}{d} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{A(\theta)\ell \sec^2 \theta d\theta}{2\pi\ell^2(1 + \tan^2 \theta)} \\ &= \frac{\bar{W}}{2\ell d} \cdot \frac{\theta_2 - \theta_1}{\pi} \cdot \frac{1}{\theta_2 - \theta_1} \int_{\theta_1}^{\theta_2} 10^{-\Delta L_p(\theta)/10} d\theta \quad \dots\dots\dots (3.5)\end{aligned}$$

となる。したがって、道路区間 $\{x_1, x_2\}$ からの音のエネルギー平均レベル $Leq(x_1, x_2)$ は、次式で求められる。

$$Leq(x_1, x_2) = \bar{L}_w - 10 \log_{10} 2\ell d + \alpha_\theta - \Delta L_d(x_1, x_2) \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

ただし、 $\bar{L}_w$: 自動車1台当りのエネルギー平均パワーレベル

$$\bar{L}_w = 10 \log_{10} \bar{W} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

α_θ : 道路区間の見込み角による補正值

$$\alpha_\theta = 10 \log_{10} (\theta_2 - \theta_1) / \pi \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

$\Delta L_d(x_1, x_2)$: 道路区間 $\{x_1, x_2\}$ の平均回折減衰量

$$\Delta L_d(x_1, x_2) = -10 \log_{10} \frac{1}{\theta_2 - \theta_1} \int_{\theta_1}^{\theta_2} 10^{-\Delta L_p(\theta)/10} d\theta \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

ここで、対象とする道路区間を無限長に拡張することにとすると、

$\theta_1 = -\pi/2$, $\theta_2 = \pi/2$ と置いて、

$$\alpha_\theta = 10 \log_{10} (\pi/2 + \pi/2) / \pi = 0$$

$$\begin{aligned}\Delta L_d(-\infty, \infty) &= -10 \log_{10} \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} 10^{-\Delta L_p(\theta)/10} d\theta \\ &= -\alpha_d\end{aligned}$$

となる。したがって、上式と式(3.6)により、無限長の直線道路からの Leq は、式(3.1)の予測基本式で与えられることがわかる。

3-2 音源のパワーレベル

予測基本式(3.1)に含まれるエネルギー平均のパワーレベル $\bar{L}_w$ は、車種構成および走行速度に応じて定められる。

本報告では表3-1の2分類もしくは3分類の車種分類にもとづく次のパワーレベル推定式によって $\bar{L}_w$ を算出した。

2車種分類の場合

$$\overline{Lw} = 90.5 + 0.15V + 10 \log_{10} (a_1 + 9.3 a_2) \quad \dots\dots\dots (3.10a)$$

V : 平均走行速度 (km/h)

a_1 : 小型車類混入率

a_2 : 大型車類混入率, $a_1 + a_2 = 1$

3車種分類の場合

$$\overline{Lw} = 88.7 + 0.15V + 10 \log_{10} (b_1 + 2.6 b_2 + 14.1 b_3) \quad \dots\dots\dots (3.10b)$$

b_1 : 乗用車類混入率, b_2 : 小型貨物車類混入率

b_3 : 大型車類混入率, $b_1 + b_2 + b_3 = 1$

表 3 - 1 車 種 分 類

2分類の場合	3分類の場合	対応するプレート番号
大 型 車 類	大 型 車 類	1, 2, 9
小 型 車 類	小型貨物車類	4 (ライトバンを除く), 6, 3 ^s , 6 ^s , 8 ^s , 二輪車
	乗 用 車 類	3, 4 (ライトバンのみ), 5

注 (1) プレート番号の肩に添字 s のあるのは, 小型プレートを意味する。

(2) プレート番号 8 (特種車) は実態により区分する。

参考(1) プレート番号 2 (バス) には, 大型バス以外にマイクロバスも含まれる。

(2) プレート番号 1 (普通貨物) には, いわゆる大型トラック (200PS 以上, 総重量 8 トン以上, 積載量 5 トン以上) 以外に 200PS 以下のトラックも含まれる。

この, $\overline{Lw}$ の推定式 (3.10) は, 建設省の各技術事務所が昭和 54, 55 年度に実施した自動車騒音パワーレベル調査結果から土木研究所が以下のように算出したものである。

同調査によれば, 3 分類の車種別平均パワーレベル Lw と速度との関係は, 次の回帰式で示される。

$$\left. \begin{array}{l} 1) \text{ 乗 用 車 類 : } Lw_1 = 88.2 + 0.14V \approx 87.7 + 0.15V, \sigma_1 = 2.9 \text{ dB(A)} \\ 2) \text{ 小型貨物車類 : } Lw_2 = 91.0 + 0.16V \approx 91.5 + 0.15V, \sigma_2 = 3.4 \text{ dB(A)} \\ 3) \text{ 大 型 車 類 : } Lw_3 = 98.9 + 0.14V \approx 98.4 + 0.15V, \sigma_3 = 3.9 \text{ dB(A)} \end{array} \right\} \quad \dots (3.11)$$

ただし, 上式右は近似式として, 速度の回帰係数を 0.15 に統一し, サンプルデータの速度平均 $\overline{V} \approx 50 \text{ km/h}$ で Lw が一致するように定数項を修正した式である。

さて, 回帰式からの残差が, 速度 V にかかわらず一定の分散 σ^2 を持つ正規分布に従うと仮定すると, パワーレベルのエネルギー-平均値 $\overline{Lw}$ は, $Lw + \sigma^2 \ln 10/20$ と等しくなる。したがって, 車種別の $\overline{Lw}$ は次式で与えられる。

$$\left. \begin{array}{l} 1) \text{ 乗 用 車 類 : } \overline{Lw_1} = 88.7 + 0.15V \\ 2) \text{ 小型貨物車類 : } \overline{Lw_2} = 92.8 + 0.15V \\ 3) \text{ 大 型 車 類 : } \overline{Lw_3} = 100.2 + 0.15V \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.12)$$

これらを車種混入率に応じて合成し、1台当りのエネルギー平均パワーレベルを推定するものが式(3.10)である。

なお、参考として本報告書の検討に用いた Lw 推定式と音響学会式の Lw 推定式を比較して表3-2、図3-3に示す。 $V = 50\text{km/h}$ のとき、大型車、小型貨物車でそれぞれ1dB(A)今回の回帰式の方が小さく、乗用車はほとんど差がない。

表3-2 音響学会式と今回用いた Lw 推定式

		Lw 推 定 式	Lw (dB(B))		
			$V=40\text{ km/h}$	$V=50\text{ km/h}$	$V=60\text{ km/h}$
今回の回帰式	大 型 車	$Lw = 98.4 + 0.15V$	104.4	105.9	107.4
	小型貨物車	$Lw = 91.5 + 0.15V$	97.5	99.0	100.5
	乗 用 車	$Lw = 87.7 + 0.15V$	93.7	95.2	96.7
音響学会式	大 型 車	$Lw = 97 + 0.2V$	105.0	107.0	109.0
	小型貨物車	$Lw = 90 + 0.2V$	98.0	100.0	102.0
	乗 用 車	$Lw = 85 + 0.2V$	93.0	95.0	97.0

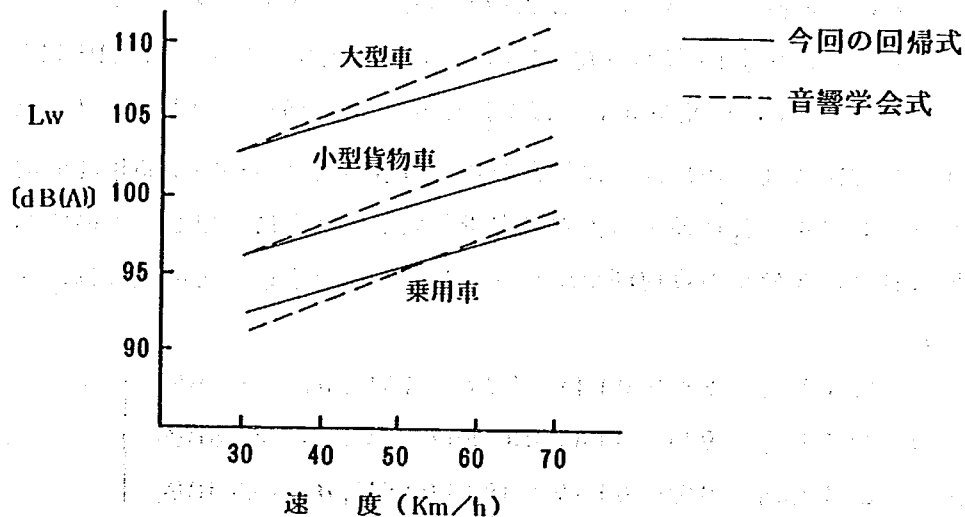


図3-3 Lw 回帰直線

3-3 回折による補正

道路構造が高架、盛土、切土等の場合、あるいは道路端に遮音壁などが設置されている場合で、その道路横断の形状が十分な距離にわたって不変と見なせるときには、音響学会式の L_{50} の場合と同様に以下に示す方法により、回折による補正值 α_d を求めた。

- i) 音源の高さは道路面から 0.3 m とする。
 - ii) 図 3-4 に示す方法で行路差 δ を算出する。なお受音点から音源を見通せる場合には、 δ の値を負にする。
 - iii) 図 3-5 を使用して行路差 δ に対応する補正值 α_d を求める。
 - iv) 盛土、切土、掘割構造におけるのり肩のように、回折を生じる端部が鈍角の楔形になっており、しかもその障害物の両面が反射性の場合には、図 3-5 から求められる補正值よりも絶対値が 2 dB 小さな値を補正值 α_d とする。
- 注) 地面からの反射音の加算は、原則として行わない。

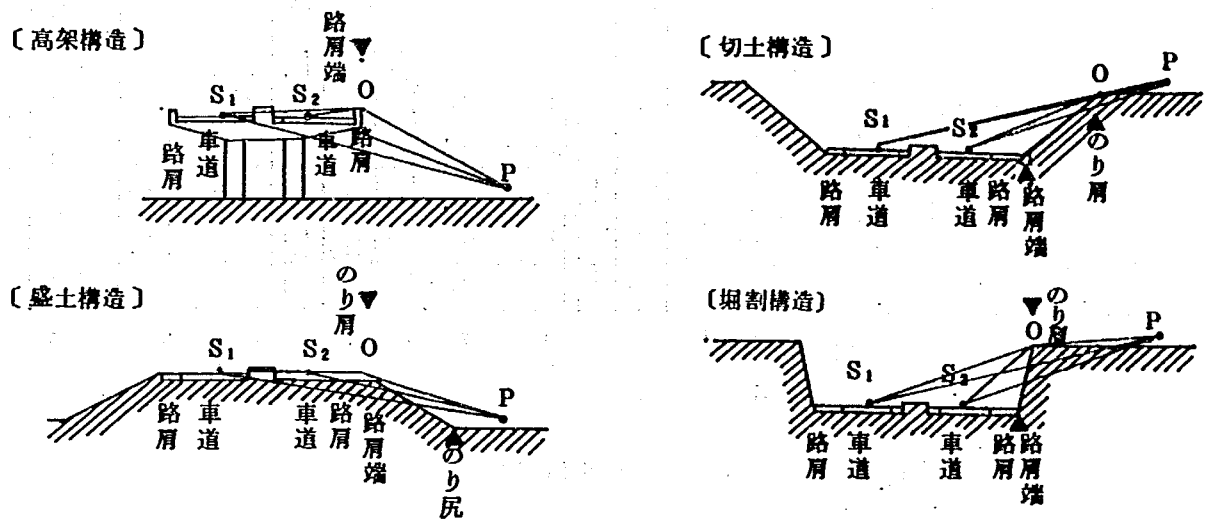


図 3-4 障害物による行路差 δ の算出

(注) O: 音響障害物の頂点
P: 受音点位置
S₁, S₂: 音源位置、各車道(上り、下り)の中心線上で路面より 0.3 m の高さとする。

$$\delta_i = \overline{S_i O} + \overline{OP} - \overline{S_i P} \quad (i = 1, 2)$$

図 3-5 障害物による行路差 δ の算出

なお、電子計算機などを利用して騒音予測を行う場合、図 3-5 の曲線を近似した次の α_d 計算式を用いるとよい。

$$\alpha_d = \begin{cases} 1 + 2 \log_{10} |\delta| & ; -0.3 \leq \delta < -0.01 \\ -10 - 10 \log_{10} (0.2 + 2.5 |\delta|) & ; -0.01 \leq \delta \end{cases} \quad \dots\dots (3.13)$$

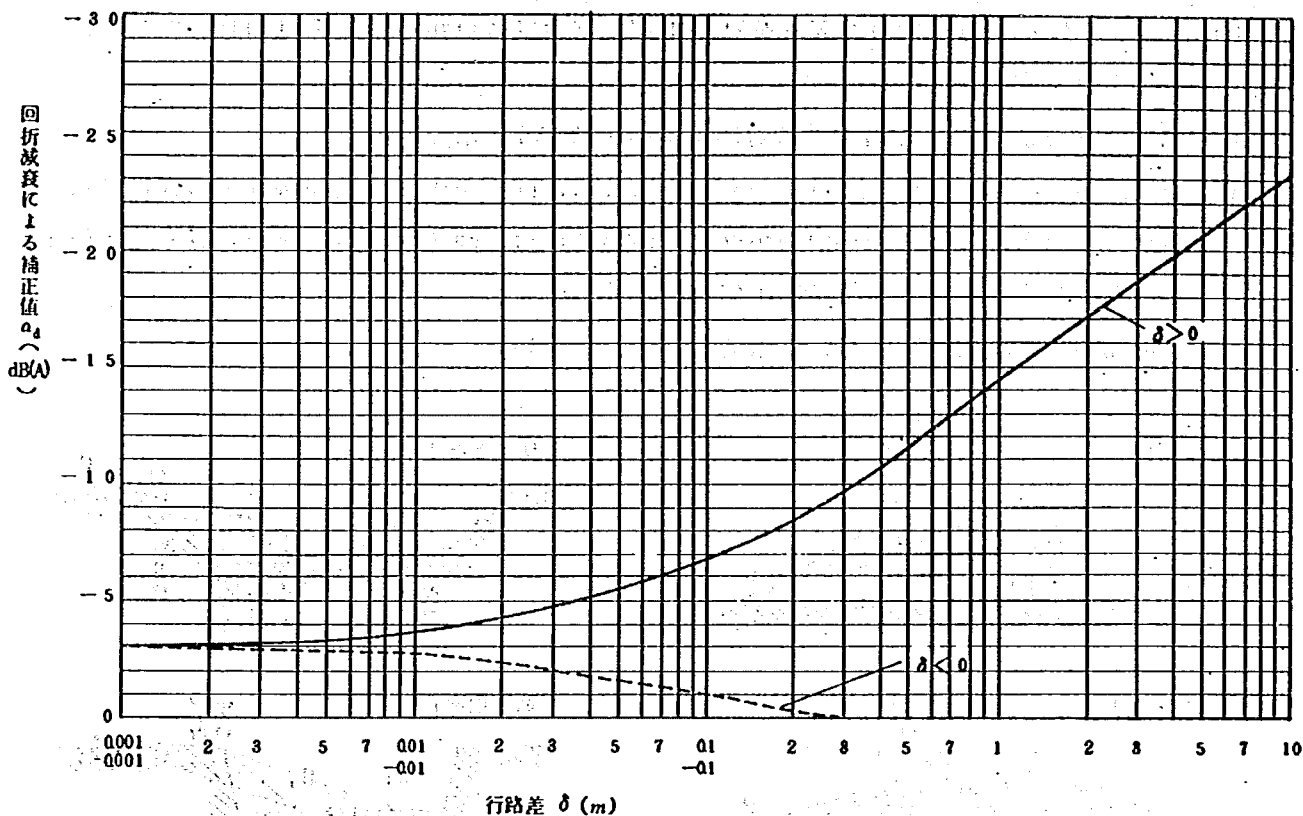


図 3 - 5 回折による補正值 α_d

3 - 4 実測値と計算値の差 ΔLeq

平面道路〔A,B,C〕, 高架道路〔D〕について式 (3.1) より計算される Leq 値と実測 Leq 値の差 ΔLeq を検討した。パワーレベルの算出には, 3車種分類による式 (3.10'b) を用いた。

受音点の地上高さ H 別に実測値と推計値の残差 ΔLeq (実測値 - 推計値) と車線中心からの距離 ℓ との関係 (点プロット) を図 3 - 6 (1)~(4) に示す。

この図には, $\log_{10} \ell$ による ΔLeq の回帰分析結果も併記した。

平面道路の地上高さ別 ΔLeq の平均的な値は, $H = 1.2$ m で倍距離 2.5 dB, $H = 40$ m で倍距離 0.3 dB の減衰となっており, 既ね H の増加にともない減衰勾配は緩くなるが, $H = 30$ m 以上ではほとんど減衰していない。高架道路では, 回帰線の傾きに多少ばらつきがあるが, 平面道路と同様に地表面に近いほど減衰がある。路肩からの距離別平均 ΔLeq と標準偏差を地上高さ H 別に図 3 - 7 (1)~(2), 表 3 - 3 に示す。また図 3 - 8 (1)~(2) は地上高さによる ΔLeq の変化を路肩からの距離別にまとめたものである。

推計 Leq 値を算出するときに仮想音源を道路中心に 1 本とした場合と車線別に算出する場合では多少差がある。仮想音源を 1 本とした場合のレベルに対し仮想音源を上下車線で各 1 本としたときの推計値の変動を図 3 - 9 に示す。仮想音源数を増やすと, 路肩端付近で重方向率が 50% のとき 0.6 dB(A), 80% のとき 1.5 dB(A) 大きくなっており, 全般に路肩端付近のレベルが大きくなる傾向がある。

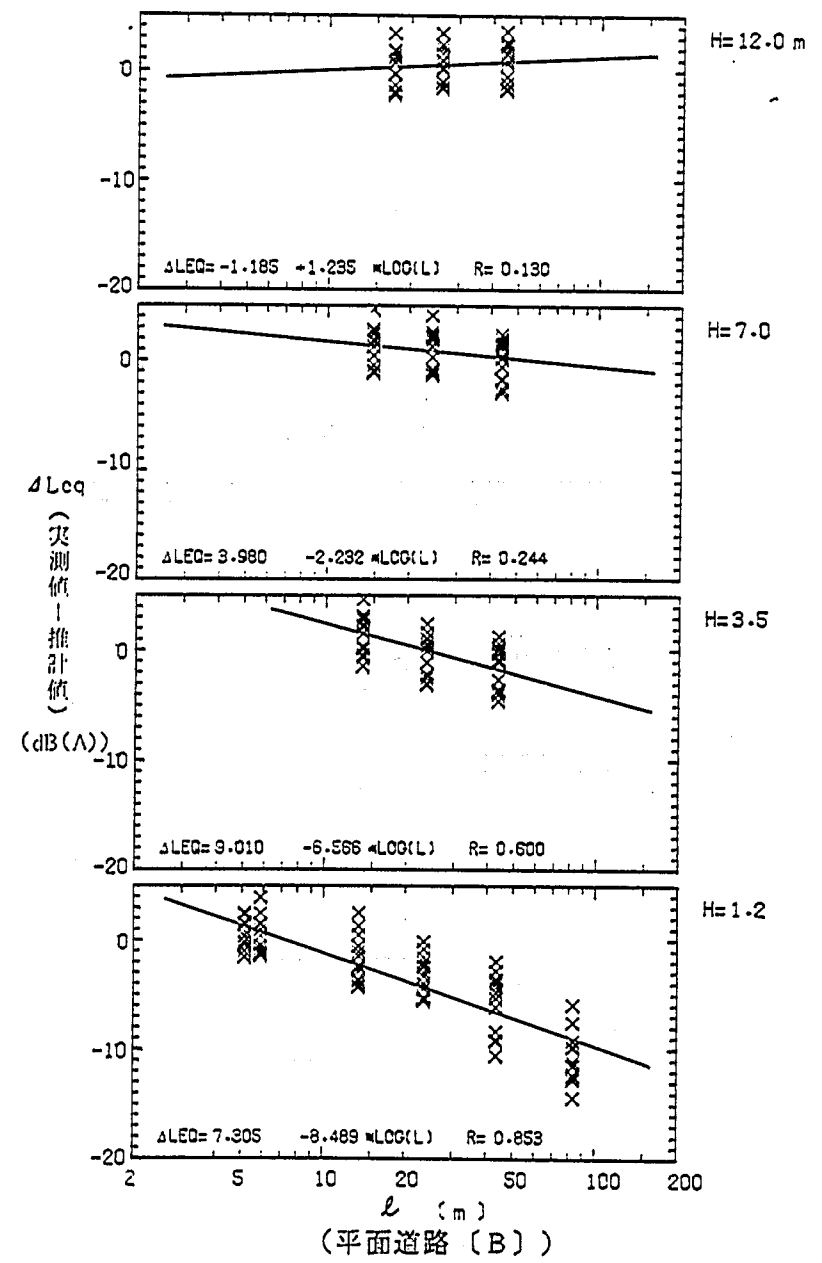
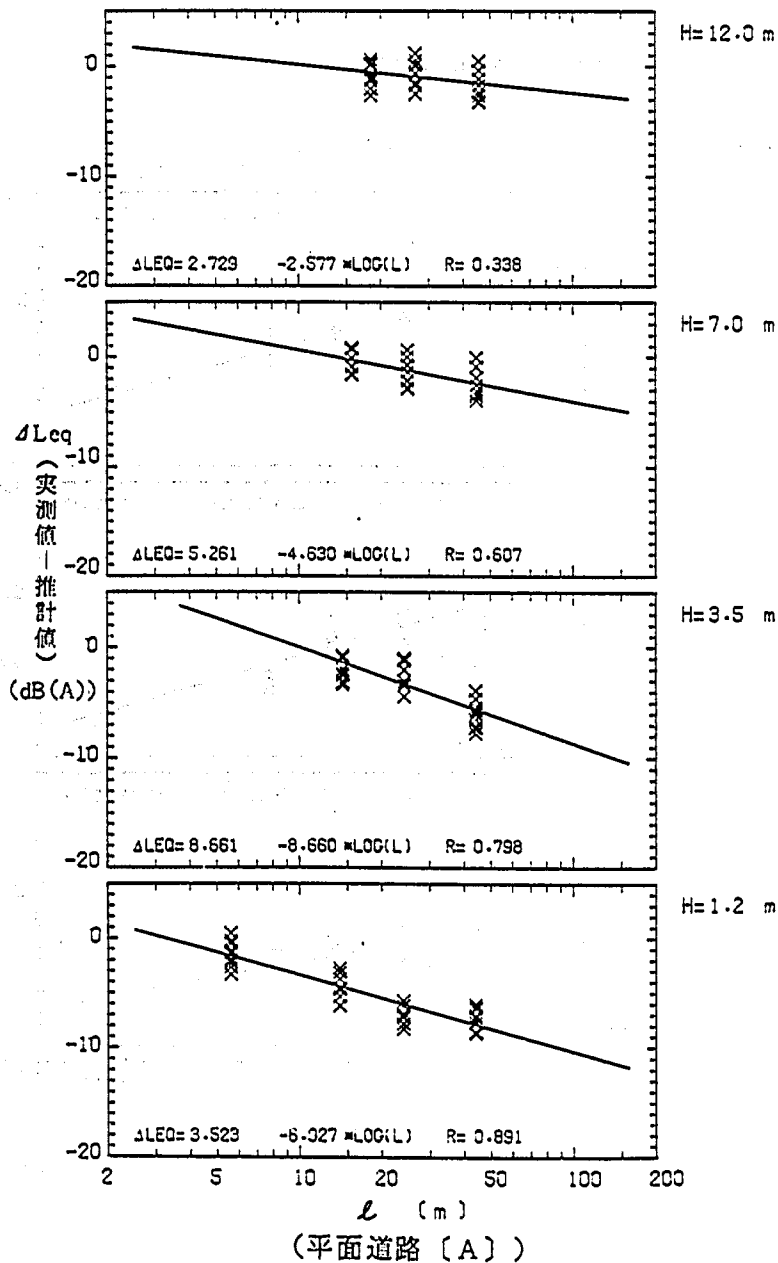


図3-6(1) ΔLeq と道路中心からの距離 l との関係。

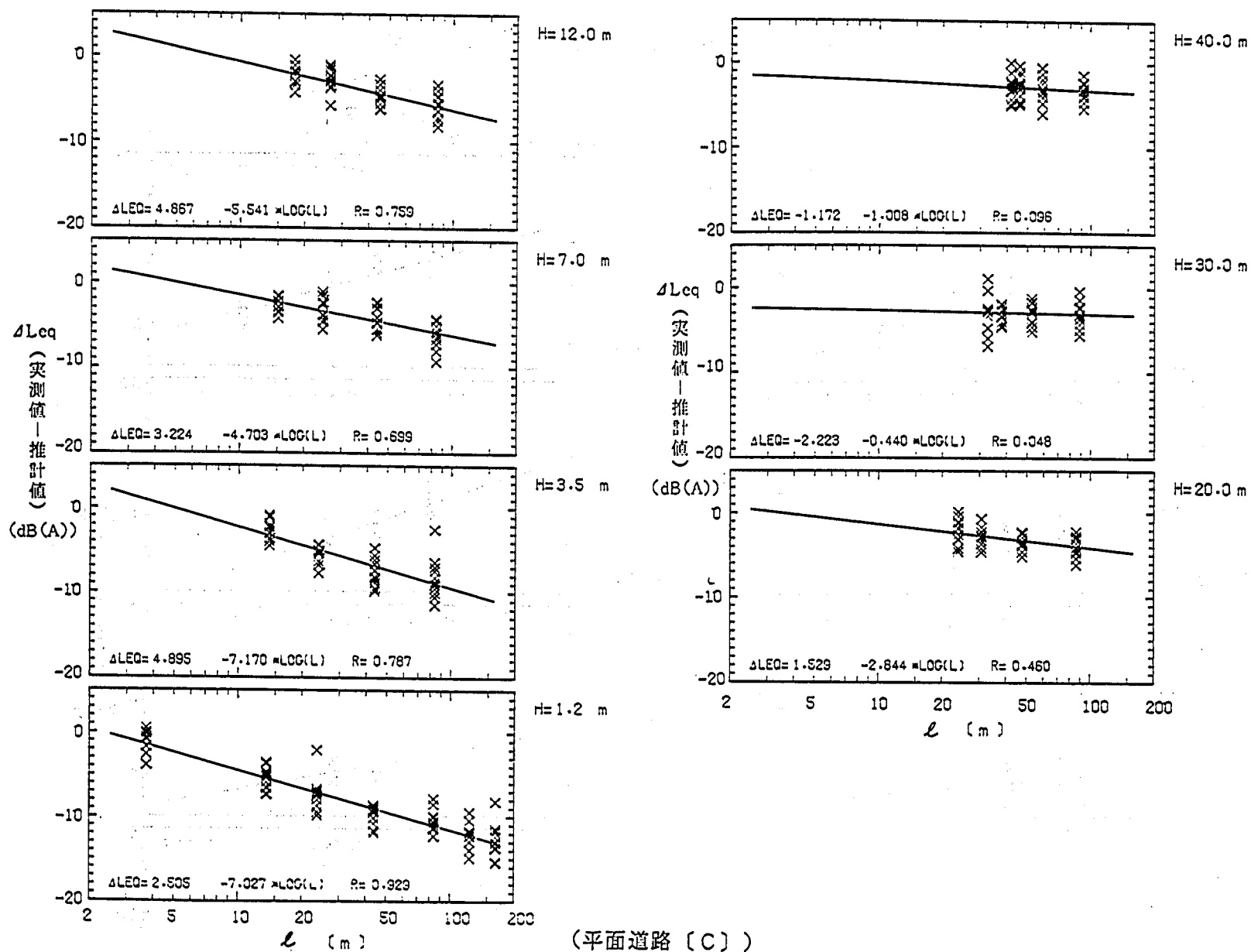


図3-6(2) ΔLeq と道路中心からの距離 l との関係

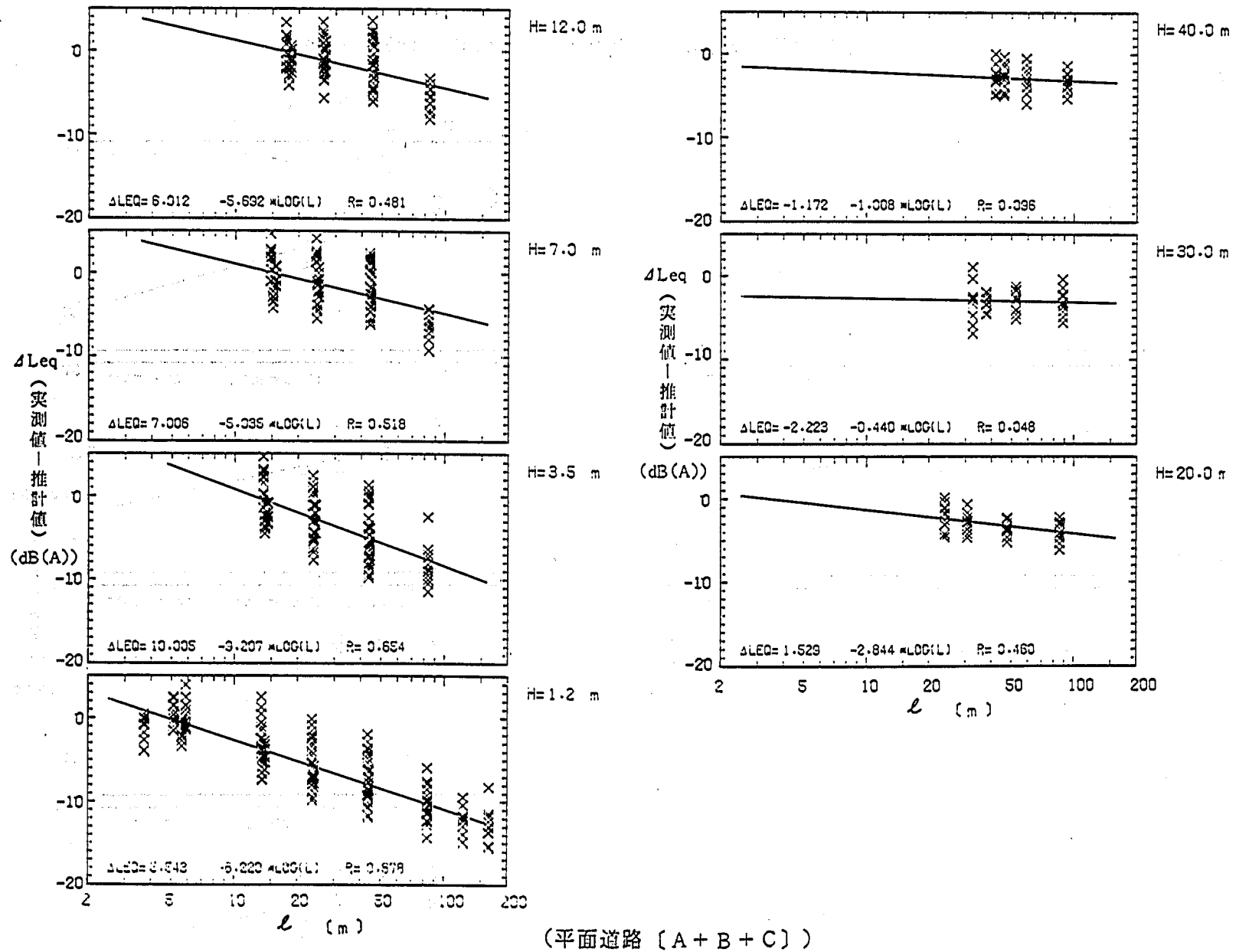
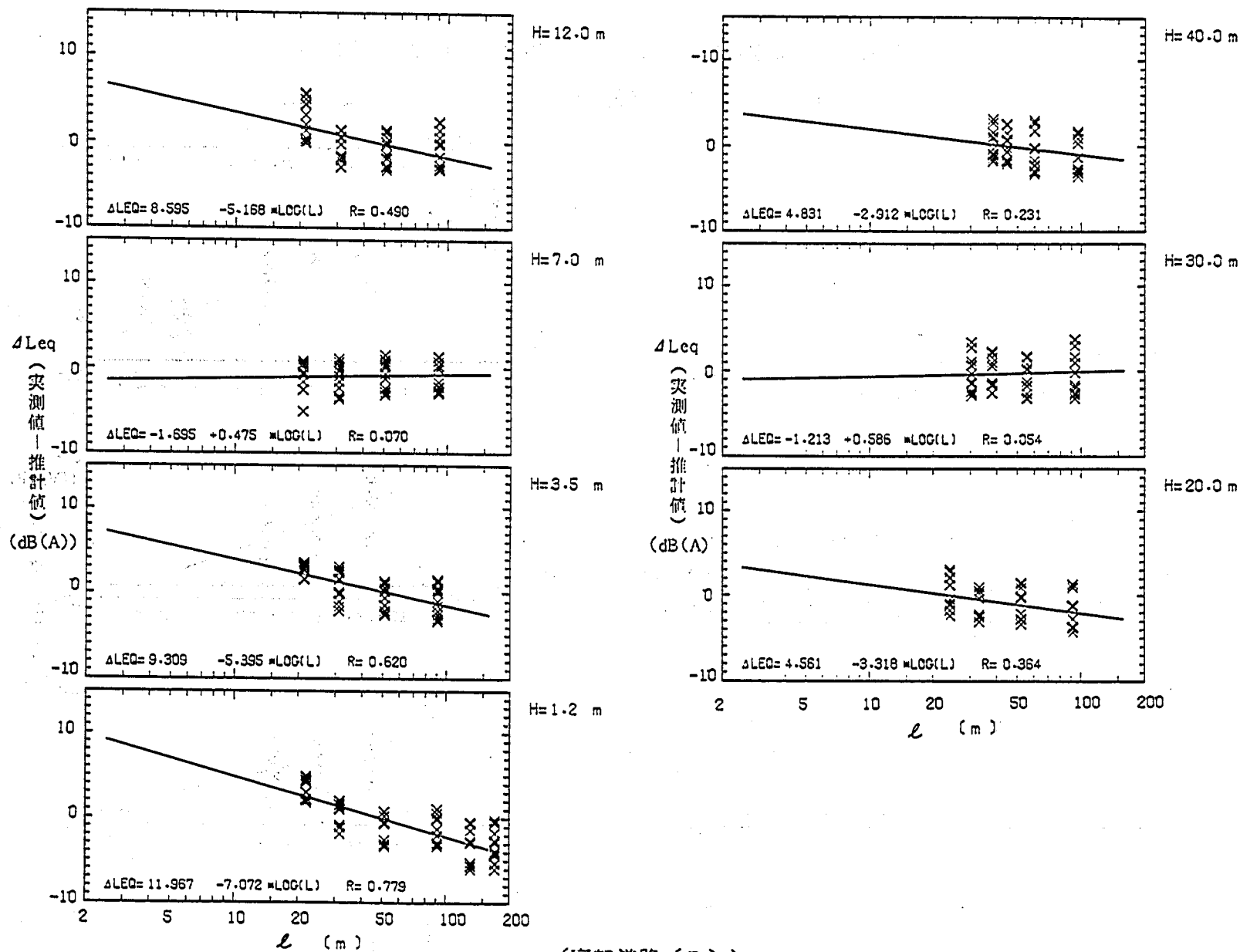


図 3 - 6 (3) ΔLeq と道路中心からの距離 l との関係



(高架道路 [D])

図 3-6(4) ΔLeq と道路中心からの距離 l との関係

実測値と計算値の差は地表減衰による影響が強いと考えられ、本来、 L_{eq} と L_{50} のそれらには、あまり差はないと思われる。平面道路〔A + B + C〕と高架道路〔D〕における L_{eq} 及び L_{50} の実測値と計算値の差（ L_{50} の場合はこれが補正值 α_i にあたる）の関係が図3-10(1)~(3)である。（なお、ここで L_{50} の推計計算には音響学会式を用いたが、 L_{50} および L_{eq} のパワーレベル算定については、それぞれ式(3.11)、(3.12)を使用した。）平面道路の場合、道路端付近で1~2 dB、 L_{50} の ΔL が小さく（特に交通量の少ない場合、両者の差は大きい）、道路から遠くなるにつれて両者は一致している。これは、 L_{50} の推計計算の等間隔モデルの理論モデル上の誤差が反映されたものと考えられる。

表 3 - 3 ΔL_{eq} の平均と標準偏差

単位: dB (A)

路肩からの 高さ(m) 距離(m)		0	5	10	20	40	80	120	160
40	平均	-	-	-2.9	-2.9	-2.8	-3.2	-	-
	標準偏差	-	-	1.5	1.5	1.7	1.1	-	-
30	平均	-	-	-2.8	-3.1	-3.0	-3.1	-	-
	標準偏差	-	-	2.3	1.0	1.2	1.5	-	-
20	平均	-	-	-2.2	-2.9	-3.4	-3.9	-	-
	標準偏差	-	-	1.5	1.1	1.0	1.2	-	-
12	平均	-	-	-0.8	-0.8	-1.7	-5.7	-	-
	標準偏差	-	-	1.7	2.0	2.7	1.5	-	-
7	平均	-	-	-0.6	-0.9	-1.9	-6.2	-	-
	標準偏差	-	-	2.2	2.3	2.4	1.6	-	-
3.5	平均	-	-	-0.8	-2.5	-4.8	-8.3	-	-
	標準偏差	-	-	2.4	2.7	3.1	2.3	-	-
1.2	平均	-0.4	-3.8	-3.6	-5.5	-7.6	-10.6	-12.1	-12.9
	標準偏差	1.7	1.7	2.3	2.6	2.5	1.9	1.4	1.9

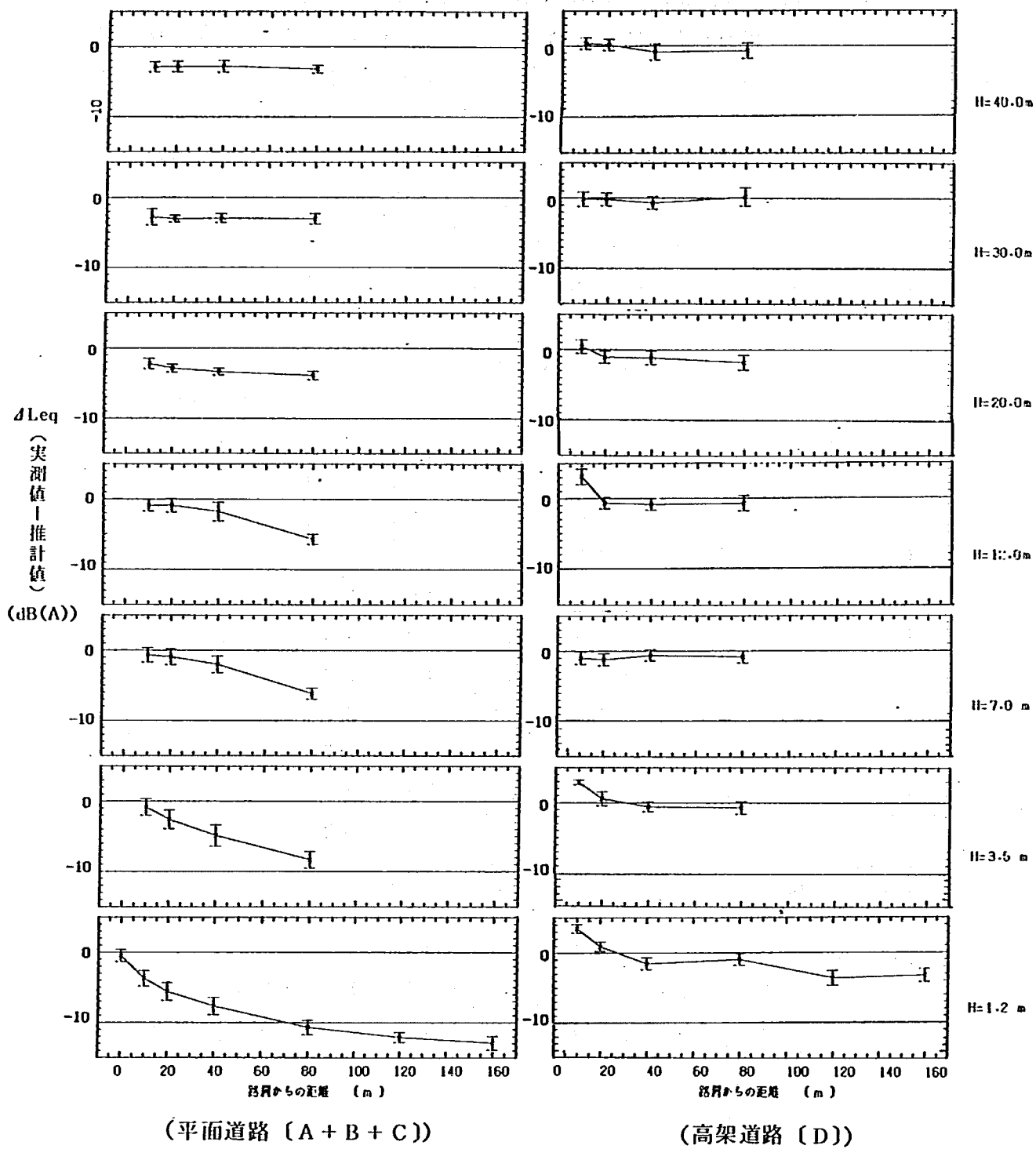


図3-7(1) 路肩からの距離と ΔL_{eq}

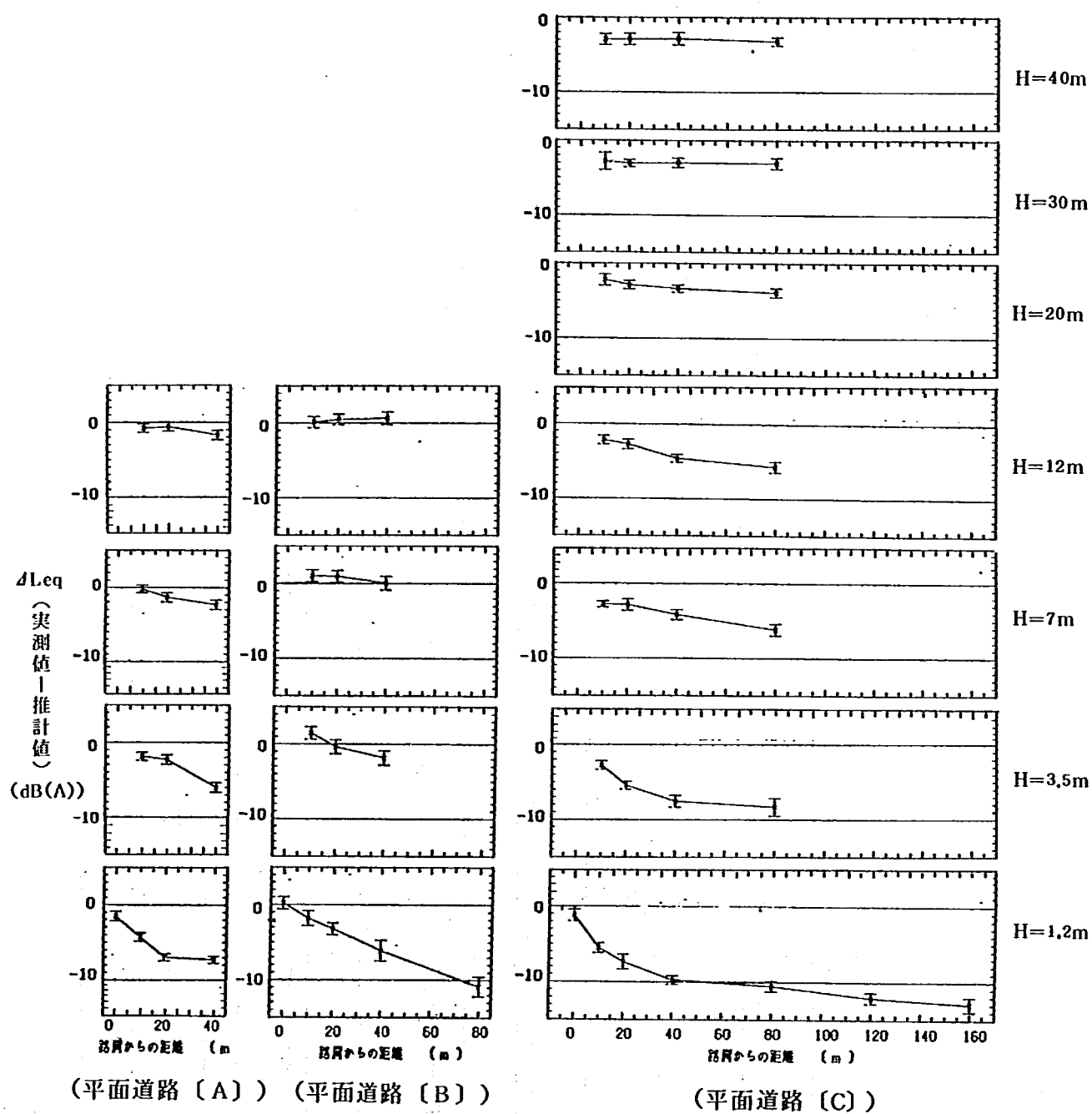
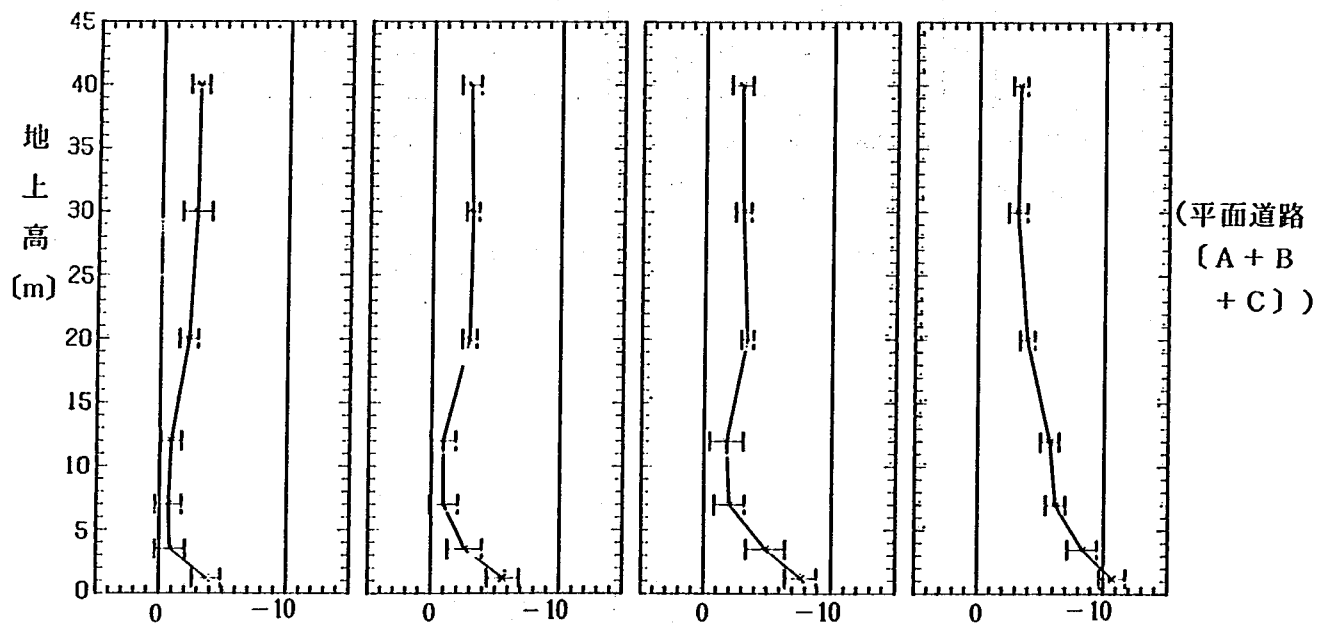
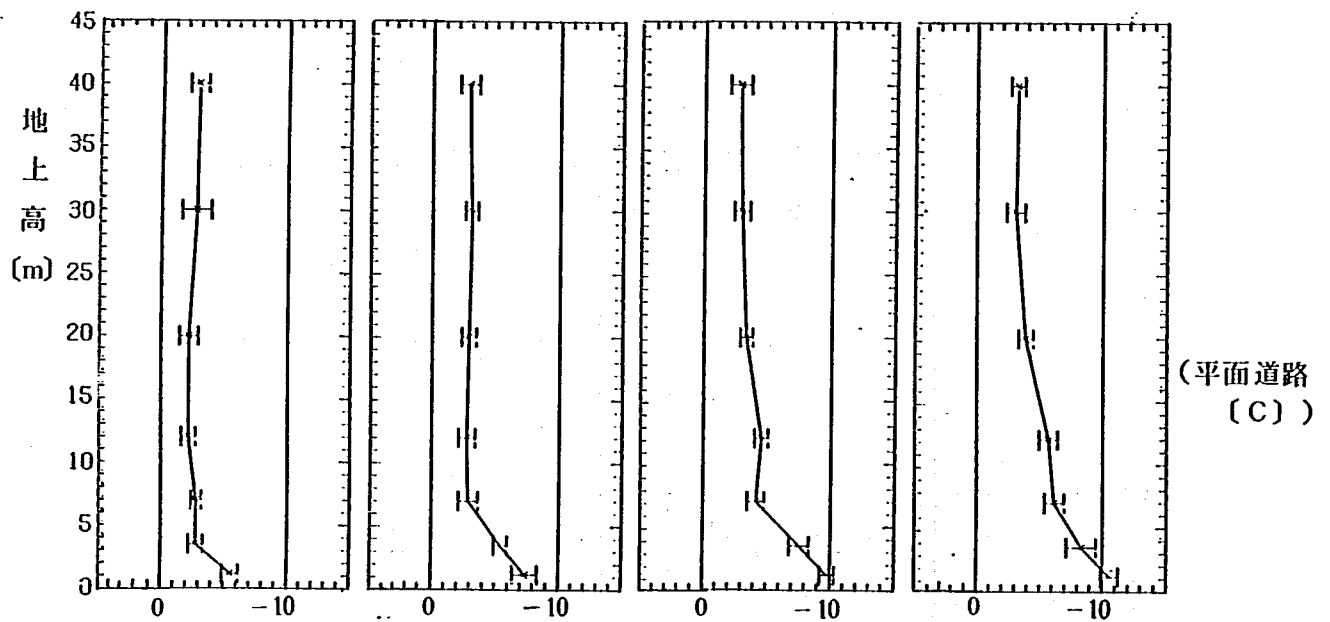
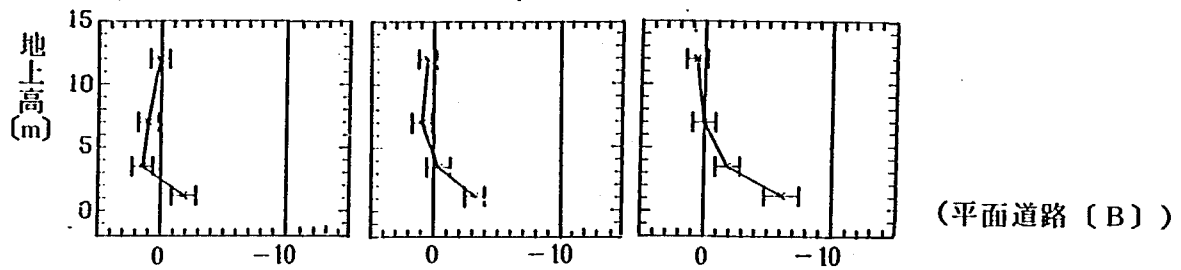
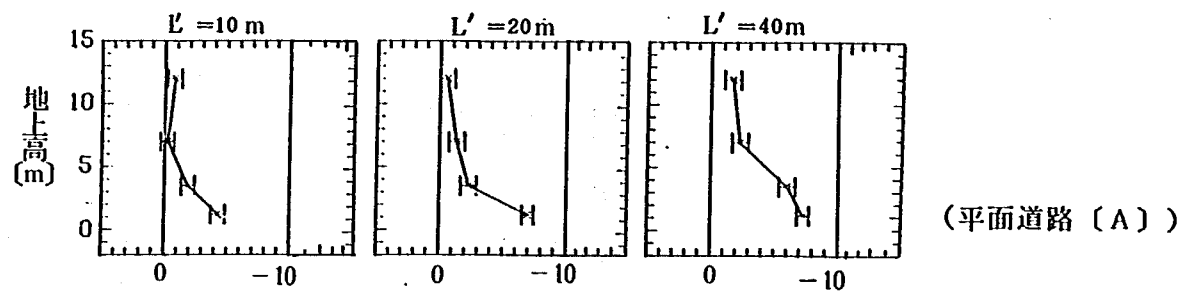


図3-7(2) 路肩からの距離と ΔL_{eq}



$\Delta \text{Leq (dB(A))}$ (実測値 - 推計値)

図 3 - 8 (1) 地上高さと ΔLeq

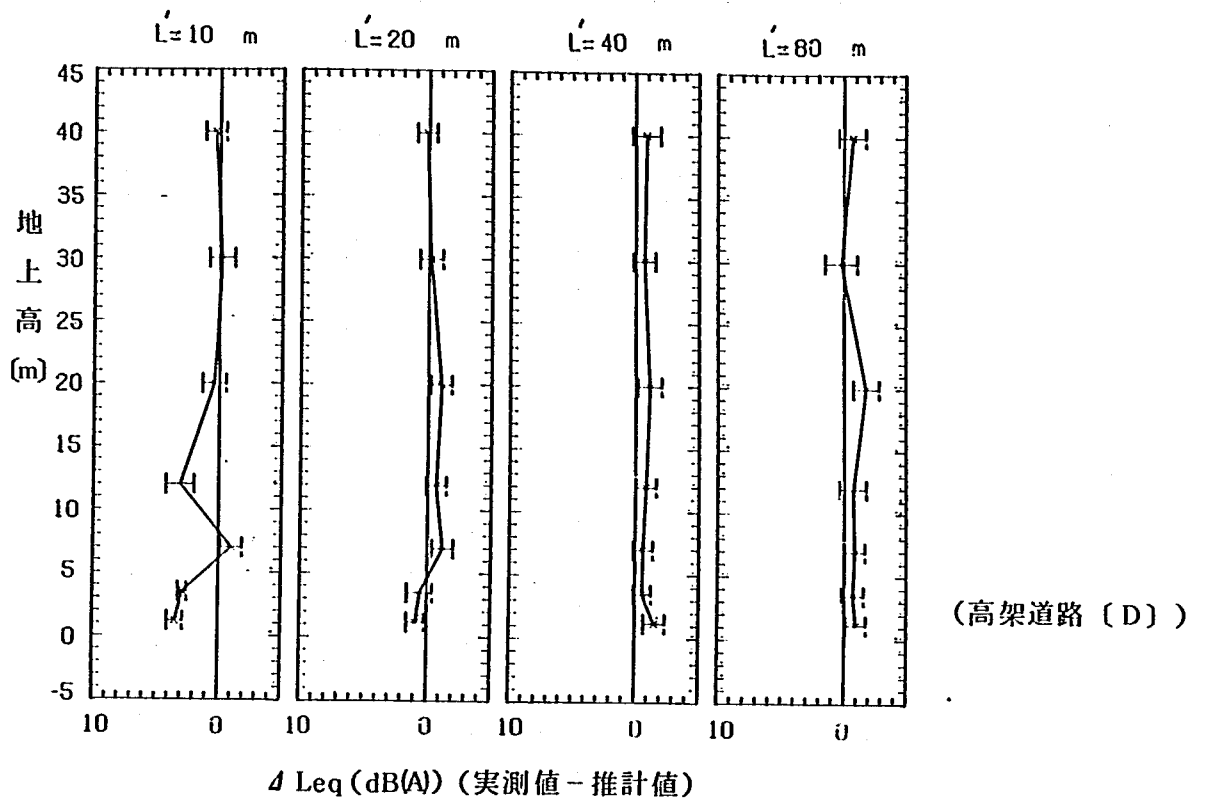


図 3 - 8 (2) 地上高さと ΔLeq

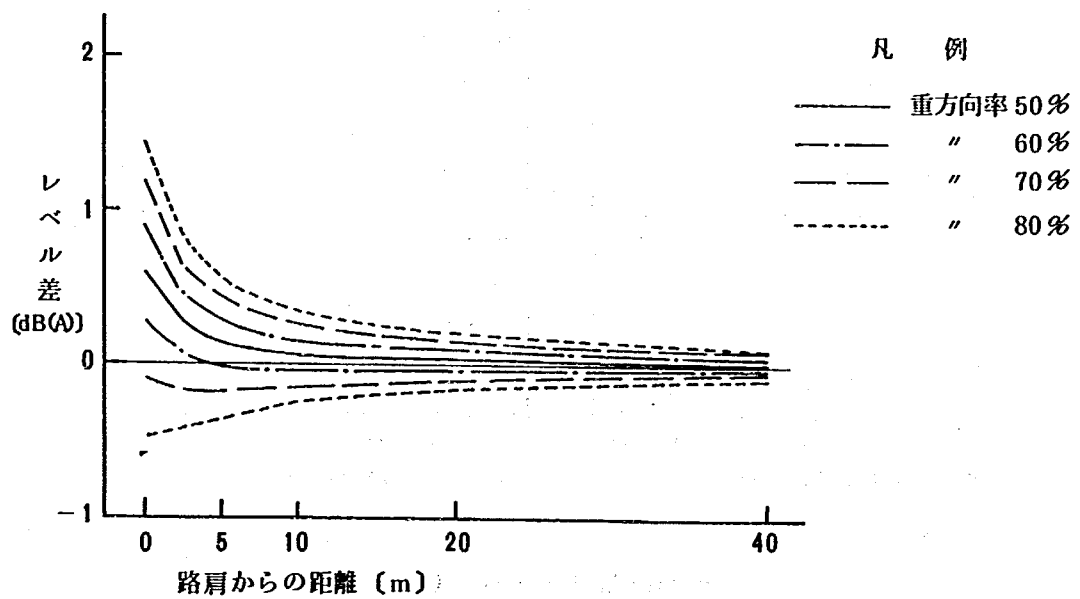
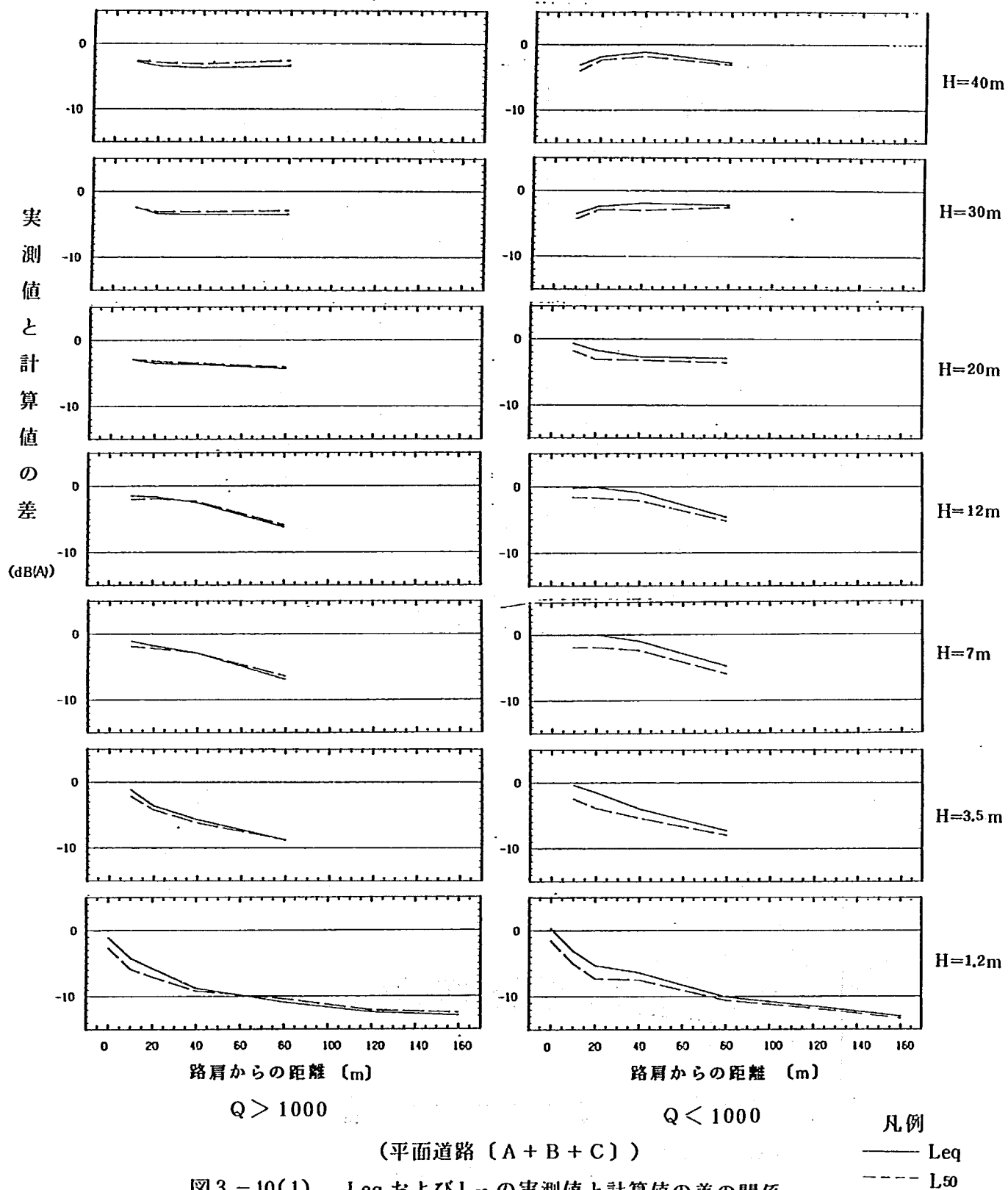


図 3 - 9 仮想音源数 2 のときの推計値の変動



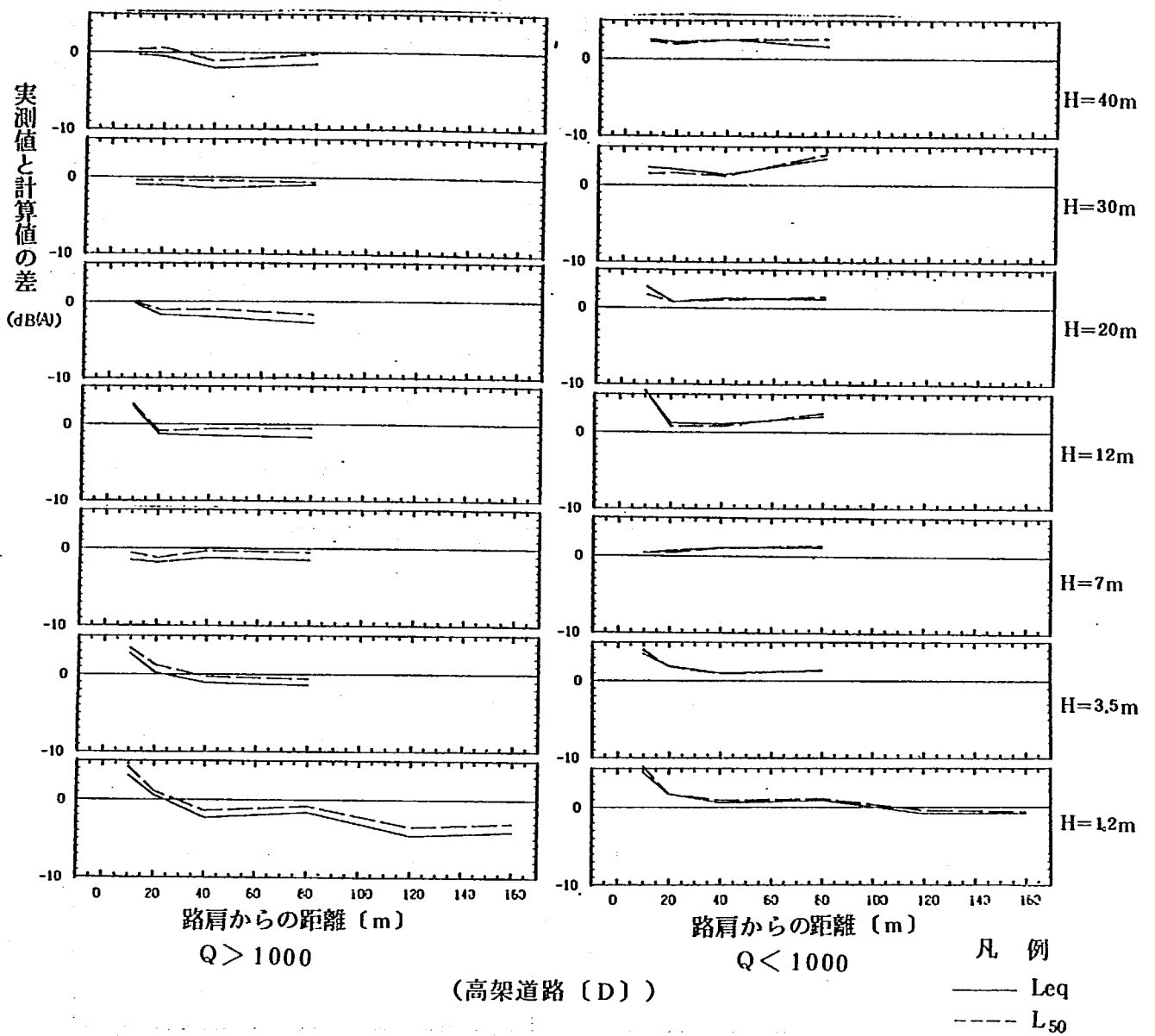


図3-10(2) Leq および L₅₀ の実測値と計算値の差の関係

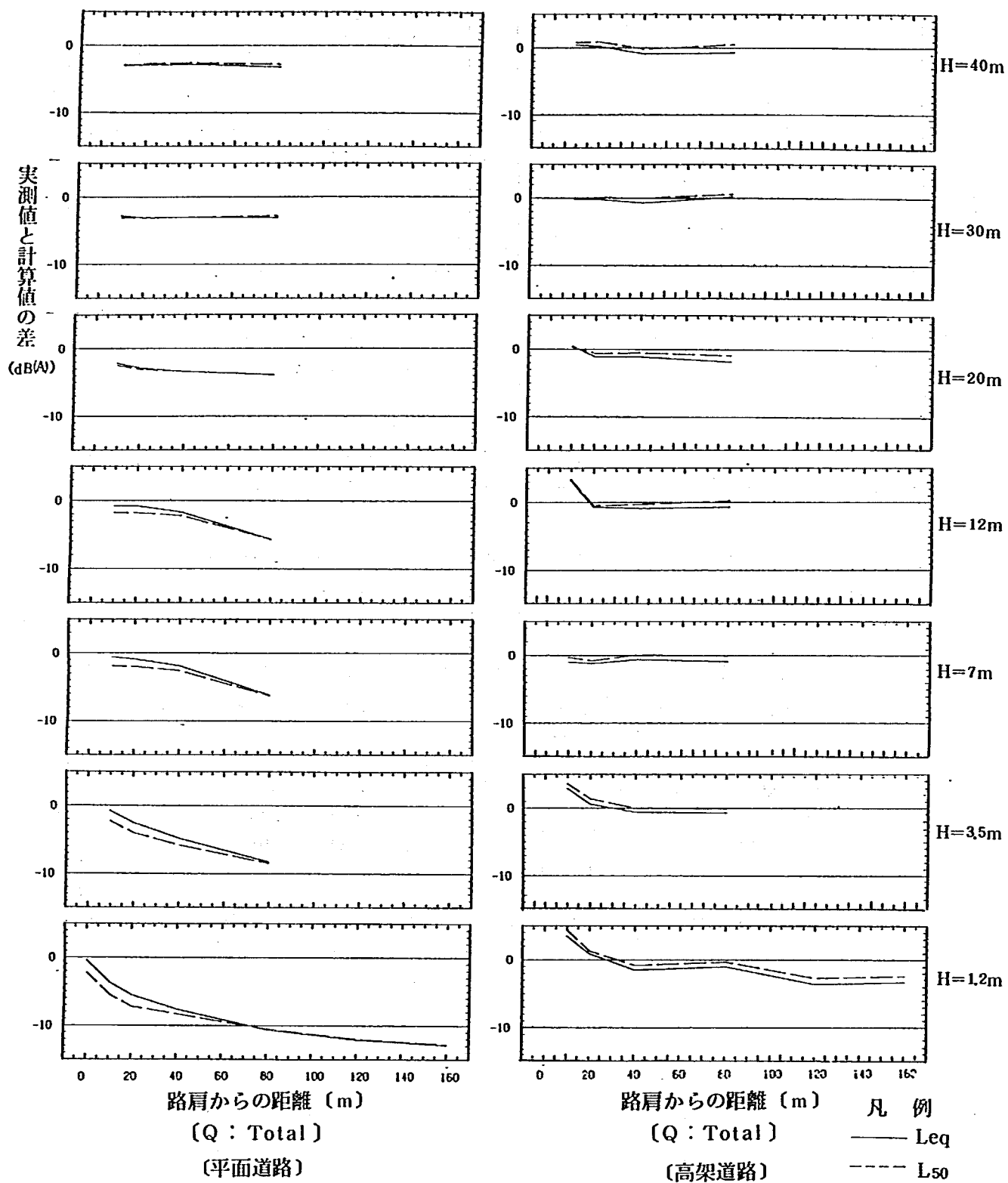


図 3 - 10(3) L_{eq} および L_{50} の実測値と計算値の差の関係

4. 沿道建築物背後の騒音計算手法

4-1 計算手法と基本式

沿道建築物が建ち並ぶ都市部道路周辺において騒音計算を行う場合、建築物の形状や配置状態を考慮した計算を行う必要がある。この沿道建築物群が騒音の伝播過程に与える影響を推計する方法として、①個々の建築物の諸元を入力し、移動音源から受音点までの音の伝播過程を電算機でシミュレートする方法、②建築物群の形状や配置状態の平均的な姿を表わすパラメータを使用し、実験式^{7),8)}あるいは理論式⁹⁾から求める方法などがある。

本報告書では、①の方法を取りあげ、対象とする沿道建築物群の具体的な立地条件に即した計算手法を示す。

沿道建物周辺における Leq 計算には、無限長の直線道路上を音響パワーの等しい無指向性点音源とみなされる車が等速走行しているものと仮定し、次の計算基本式を用いる。

$$Leq = \overline{Lw} - 10 \log_{10} 2 \ell d - \Delta Ld + \Delta Li \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

$\overline{Lw}$: 自動車 1 台当りの A 特性騒音によるエネルギー平均パワーレベル [dB(A)] ,
(式 (3.10) 参照)

ℓ : 車線から受音点までの距離 [m]

d : 平均車頭間隔 [m]

ΔLd : 無限長の直線道路上を等速走する点音源の平均の回折減衰量 (無限長の線音源に対する回折減衰量) [dB (A)]

$$\Delta Ld = -10 \log_{10} \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} 10^{\frac{-\Delta Lp(\theta)}{10}} d\theta \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

$\Delta Lp(\theta)$: 受音点からの見込み角が θ の位置にある点音源による回折減衰量 [dB(A)]

ΔLi : 種々の原因による補正值 [dB(A)]

上式で与えられる計算基本式は、建築物などの障害物のない沿道開放部に対する式 (3.1) と形式上一致している。しかしながらここでの回折減衰量 ΔLd は、無限長の一定形状の障壁による回折減衰量に対応する αd と異なり、沿道建築物群を有限長の障壁群として取扱い、式 (4.2) の数値積分を算定して求めなければならない。

また種々の原因による補正值 ΔLi についても、沿道開放条件下で求められた道路構造別の実測値と計算値の差をそのまま使用するのには疑問がある。これは沿道建築物が存在することにより、音の伝播経路が沿道開放時に比べて大幅に変化し、主として地表面吸収に起因する超過減衰に差が生じると考えられるからである。したがって補正值 ΔLi についても、 ΔLd と同様に点音源に対する超過減衰計算式を導入することも考えられる。

4-2 回折の計算

無限長の直線道路上を等速走行する点音源に対する平均回折減衰量は、式 (4.2) の積分表示により与えられている。

図 4-1 に示されるように、式 (4.2) の積分は、道路の全見込み角 π を n 等分して得ら

れる見込み角 θ_i に点音源 S_i を置き、それらの回折減衰量 $ΔL_p(\theta_i)$ の平均として次式で算出すればよい。

$$\begin{aligned} \Delta L_d &= -10 \log_{10} \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} 10^{-\Delta L_p(\theta)/10} d\theta \\ &\approx -10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-\Delta L_p(\theta_i)/10} \dots\dots\dots (4.3) \end{aligned}$$

ただし、 $\theta_i = (i-0.5) \pi / n - \pi / 2$ とする。

ここで建築物は長方形の有限障壁として与えられるものとすれば、障壁群を除いた開放空間を半無限空間と 1/4 無限空間の組合せで表わすことができる。このとき点音源による回折減衰量 ΔL_p は、Fresnel-Kirchhoff の近似回折理論を用いて、半無限あるいは 1/4 無限空間に対する回折係数（障壁の有無による音圧の比）の絶対値の 2 乗を、開放空間に適合するような組合せにより、エネルギー的な取扱いで加減算して求めるものとする¹⁰⁾

Fresnel-Kirchhoff の近似回折理論によれば、図 4-2 に示すような矩形の開口面に対する回折係数 $[Cd]$ は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} [Cd] &= \frac{U_p}{U_0} = -\frac{i}{2} \int_{u_1}^{u_2} e^{i\frac{\pi}{2}u^2} du \cdot \int_{v_1}^{v_2} e^{i\frac{\pi}{2}v^2} dv \\ &= -\frac{i}{2} \{ C(u_2) - C(u_1) + i(S(u_2) - S(u_1)) \} \\ &\quad \times \{ C(v_2) - C(v_1) + i(S(v_2) - S(v_1)) \} \end{aligned}$$

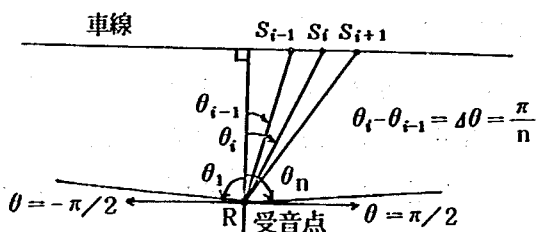


図 4-1 車線の等角度分割

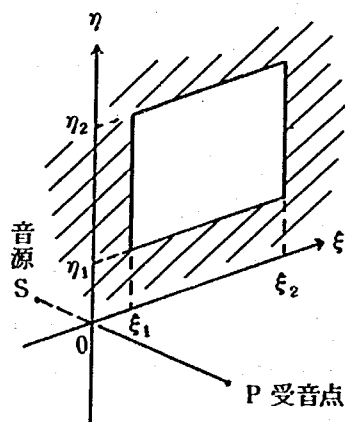


図 4-2 矩形開口面

ここで、 U_p ：障壁背後の受音点Pにおける音圧、 U_0 ：自由空間中で U_p に対応する音圧、 u, v ：それぞれ空間座標 ξ, η に対応する変数、 $C(u), S(u)$ ：それぞれ次の Fresnel 積分を表わす。

$$C(u) = \int_0^u \cos\left(\frac{\pi}{2}t^2\right) dt, \quad S(u) = \int_0^u \sin\left(\frac{\pi}{2}t^2\right) dt$$

さらに、この回折係数 $[Cd]$ に対応する回折減衰量 ΔL_p は、次式で定義される。

$$\begin{aligned} \Delta L_p &= -10 \log_{10} | [Cd] |^2 \quad \dots\dots\dots (4.5) \\ &= -10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{4} [C(u_2) - C(u_1)]^2 + [S(u_2) - S(u_1)]^2 \right\} \\ &\quad \times \{ [C(v_2) - C(v_1)]^2 + [S(v_2) - S(v_1)]^2 \} \end{aligned}$$

障壁の基本形である半無限障壁による回折減衰は、開口面が $\eta > \eta_1$ の領域にあるとして、 $u_1 = -\infty, u_2 = v_2 = \infty$ とすれば

$$\begin{aligned} [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_1)} &= -\frac{i}{2} (1+i) \left\{ \frac{1}{2} - C(v_1) + i \left(\frac{1}{2} - S(v_1) \right) \right\} \\ \Delta L_p &= -10 \log_{10} | [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_1)} |^2 \\ &= -10 \log_{10} \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{1}{2} - C(v_1) \right)^2 + \left(\frac{1}{2} - S(v_1) \right)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (4.6) \end{aligned}$$

となる。ここで、回折係数 $[Cd]$ の添字 $1/2, (\eta > \eta_1)$ は、開口面が $\eta > \eta_1$ の $1/2$ 無限平面であることを表わす。

また、開口面が $\xi > \xi_1, \eta > \eta_1$ の $1/4$ 無限である場合は、式(4.4)，(4.5)に $u_2 = v_2 = \infty$ を代入して、次のようになる。

$$\begin{aligned} [Cd]_{1/4, (\xi > \xi_1, \eta > \eta_1)} &= -\frac{i}{2} \left\{ \frac{1}{2} - C(u_1) + i \left(\frac{1}{2} - S(u_1) \right) \right\} \left\{ \frac{1}{2} - C(v_1) + i \left(\frac{1}{2} - S(v_1) \right) \right\} \\ &= [Cd]_{1/2, (\xi > \xi_1)} \times [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_1)} \\ \Delta L_d &= -10 \log_{10} | [Cd]_{1/4, (\xi > \xi_1, \eta > \eta_1)} |^2 \\ &= -10 \log_{10} | [Cd]_{1/2, (\xi > \xi_1)} |^2 \times | [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_1)} |^2 \quad \dots\dots (4.7) \end{aligned}$$

すなわち、 $\xi > \xi_1, \eta > \eta_1$ の $1/4$ 無限開口面の回折減衰量は、 $\xi > \xi_1$ および $\eta > \eta_1$ の各 $1/2$ 無限開口面に対する回折減衰量の和として与えられることがわかる。

いま長方形の障壁が単独で存在する場合を考えると、その回折係数 $[Cd]_{total}$ は、図4-3に示すような開口面の分割により、各分割面による回折係数の和として次式で表わされる。

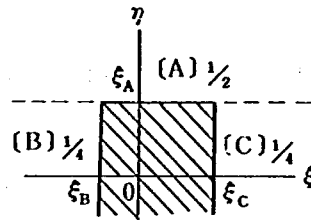
i) ケース I

$$\begin{aligned}
 [Cd]_{total} &= [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_A)} + [Cd]_{1/4, (\xi < \xi_B, \eta < \eta_A)} \\
 &\quad + [Cd]_{1/4, (\xi > \xi_C, \eta < \eta_A)} \\
 &= [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_A)} + [Cd]_{1/2, (\xi < \xi_B)} \times [Cd]_{1/2, (\eta < \eta_A)} \\
 &\quad + [Cd]_{1/2, (\xi > \xi_C)} \times [Cd]_{1/2, (\eta < \eta_A)} \quad \dots\dots (4.8 a)
 \end{aligned}$$

ii) ケース II

$$\begin{aligned}
 [Cd]_{total} &= [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_A)} + [Cd]_{1/2, (\xi < \xi_B)} + [Cd]_{1/2, (\xi > \xi_C)} \\
 &\quad - [Cd]_{1/4, (\xi < \xi_B, \eta > \eta_A)} - [Cd]_{1/4, (\xi > \xi_C, \eta > \eta_A)} \\
 &= [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_A)} + [Cd]_{1/2, (\xi < \xi_B)} + [Cd]_{1/2, (\xi > \xi_C)} \\
 &\quad - [Cd]_{1/2, (\xi < \xi_B)} \times [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_A)} \\
 &\quad - [Cd]_{1/2, (\xi > \xi_C)} \times [Cd]_{1/2, (\eta > \eta_A)} \quad \dots\dots\dots (4.8 b)
 \end{aligned}$$

1) ケース I



2) ケース II

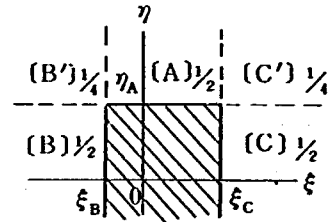


図4-3 開口空間の分割

上記のケース I, II による $[Cd]_{total}$ は、表示が異なる式の値（複素数）は一致する。

さて、 $|[Cd]_{total}|^2$ を求めるためには、式中の $[Cd]_{1/2}$ を複素数で得なければならないが、一般に用いられる半無限障壁の回折計算式では $|[Cd]_{total}|^2$ が得られるだけである。前川¹¹⁾や湯沢¹⁰⁾によれば、この $|[Cd]_{total}|^2$ を次に示される $|[Cd]_{1/2}|^2$ の和によって近似的に表わしている。

i) ケース I（前川の方法）

$$\begin{aligned}
 |[Cd]_{total}|^2 &\approx |[Cd]_{1/2, (\eta > \eta_A)}|^2 + |[Cd]_{1/2, (\xi < \xi_B)}|^2 \times |[Cd]_{1/2, (\eta < \eta_A)}|^2 \\
 &\quad + |[Cd]_{1/2, (\xi > \xi_C)}|^2 \times |[Cd]_{1/2, (\eta < \eta_A)}|^2 \quad \dots (4.9 a)
 \end{aligned}$$

ii) ケースⅡ (湯沢の方法)

$$\begin{aligned} | \{Cd\} \text{total} |^2 &\equiv | \{Cd\}_{1/2, (\eta > \eta_A)} |^2 + | \{Cd\}_{1/2, (\xi < \xi_B)} |^2 + | \{Cd\}_{1/2, (\xi > \xi_C)} |^2 \\ &\quad - | \{Cd\}_{1/2, (\xi < \xi_B)} |^2 \times | \{Cd\}_{1/2, (\eta > \eta_A)} |^2 \\ &\quad - | \{Cd\}_{1/2, (\xi > \xi_C)} |^2 \times | \{Cd\}_{1/2, (\eta > \eta_A)} |^2 \quad \dots\dots (4.9b) \end{aligned}$$

両式の値は、わずかではあるが当然相違することになり、その真の $| \{Cd\} \text{total} |^2$ に対する適合度も音源、受音点障壁の位置関係によって異なる。

本報告書では、開口空間の分割法としてケースⅡの考え方を採用し、一般の n 個の長方形障壁群による回折減衰を次式で算出するものとする。

$$\begin{aligned} \Delta L_p &= -10 \log_{10} \{ | \{Cd\}_{1/2, (\xi < \xi_B)} |^2 + | \{Cd\}_{1/2, (\xi > \xi_{cn})} |^2 \\ &\quad + \sum_{i=1}^n | \{F_i\} |^2 + \sum_{i=2}^n | \{G_i\} |^2 \quad \dots\dots\dots (4.10) \end{aligned}$$

ただし、 $\{F_i\}$ は i 番目の長方形障壁の上方領域からの回折係数、 $\{G_i\}$ は i 番目と $i-1$ 番目の長方形障壁の間隙領域からの回折係数を表わす。図4-4に示される座標設定により、これらの絶対値の2乗を次の近似式で算出することにする。

$$\begin{aligned} | \{F_i\} |^2 &\equiv \begin{cases} | \{Cd\}_{1/2, (\eta > \eta_{Ai})} |^2 \times \{ | \{Cd\}_{1/2, (\xi > \xi_B)} |^2 - | \{Cd\}_{1/2, (\xi > \xi_{Ci})} |^2 \} ; & | \xi_{Bi} | \leq \xi_{Ci} \\ | \{Cd\}_{1/2, (\eta > \eta_{Ai})} |^2 \times \{ | \{Cd\}_{1/2, (\xi < \xi_{Ci})} |^2 - | \{Cd\}_{1/2, (\xi < \xi_{Bi})} |^2 \} ; & | \xi_{Bi} | > \xi_{Ci} \end{cases} \\ | \{G_i\} |^2 &\equiv \begin{cases} | \{Cd\}_{1/2, (\xi > \xi_{Ci-1})} |^2 \times | \{Cd\}_{1/2, (\xi > \xi_{Bi})} |^2 & ; \xi_{Bi} \geq | \xi_{Ci-1} | \\ | \{Cd\}_{1/2, (\xi < \xi_{Bi})} |^2 \times | \{Cd\}_{1/2, (\xi < \xi_{Ci-1})} |^2 & ; \xi_{Bi} < | \xi_{Ci-1} | \end{cases} \quad \dots (4.11) \end{aligned}$$

上式は種々考えられる近似式の中で、主として数値計算の容易さから選んだものであり、この適否については今後検討する必要がある。なお本報告書では、前川の実験曲線 (図4-5参照) を近似する次の半無限障壁による回折減衰量 (ΔL) 算定式を用いて $| \{Cd\}_{1/2} |^2$ を求めている。

$$\Delta L = \begin{cases} -2 - 4 \log_{10} |N| & ; -0.3 \leq N < -0.1 \\ 5 + 30N & ; -0.1 \leq N < 0.1 \\ 13 + 5 \log_{10} N & ; 0.1 < N < 1.0 \\ 13 + 10 \log_{10} N & ; 1.0 \leq N \end{cases} \quad \dots\dots (4.12)$$

ただし、 N は点音源から受音点までの最短経路長 δ を半波長 $\lambda/2$ で除したフレネル数である。 λ を決めるための代表周波数としては、一般的な道路交通騒音の周波数特性から 700 Hz 程度を使用するものとする。

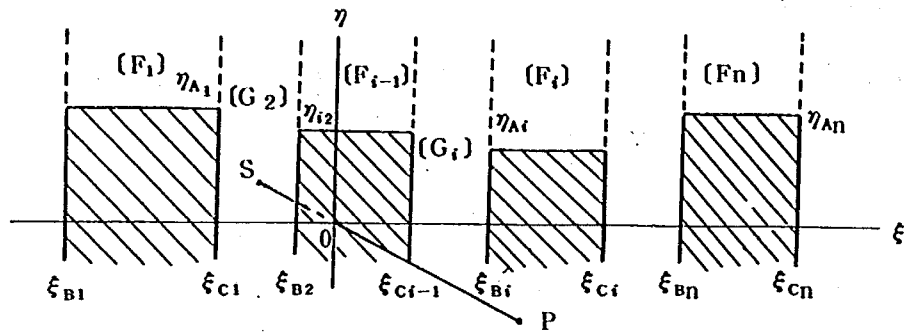


図 4 - 4 長方形障壁群

また、障壁の厚さを無視し得ない場合は、Kurze¹²⁾ が提案した次の 2 回回折による減衰量算定式を用いる (図 4 - 6 参照)。

$$\Delta L = \Delta L(N_1) + \Delta L(N_2) - 5 + 20 \log_{10}(L/d) \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

ただし、 $\Delta L(N_1)$ は経路 S B₁P に対応する薄い障壁の回折減衰量、 $\Delta L(N_2)$ は経路 S B₂P に対する減衰量、 L は経路 S B₁B₂P の長さ、 d は点 S、P の距離である。

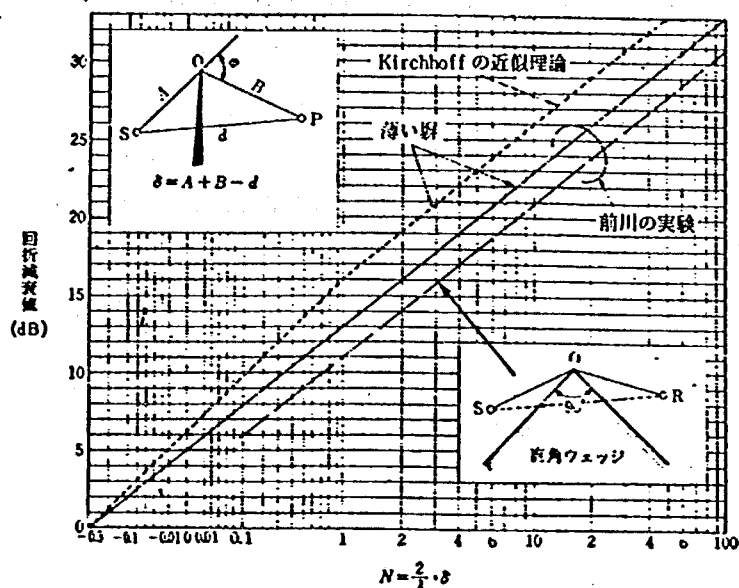


図4-5 半平面障壁による減衰値, Kirchhoffの近似理論と前川の実験値¹³⁾(ただし回折角 $\varphi \leq 90^\circ$, λ :波長, N の正負: S と P が見通せないとき正, 境が低く S と P が見通せる場合は, 負の値をとる。 $N < -0.3$ のときには減衰値0とする。破線は直角ウェッジによる減衰値)

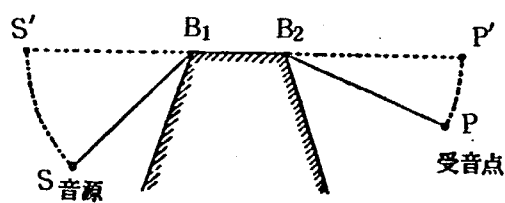


図4-6 厚みのある障壁

4-3 実測値と計算値の比較

前節で示した手法により計算した L_{eq} 値と実測 L_{eq} 値を比較することにより、この計算手法の適応性を調べた。ただし、基本式にある補正值 ΔL_i (種々の原因による補正值) については、現在のところ確立されたものがないので、ここでは、便宜上開放平坦地での L_{eq} について算出された実測値と計算値の差 (表 3-3 参照) を適用した。

図 4-7 (1)~(4) は、計算値の ΔL_i を含めないもの及び含めたものと実測値との比較を各々の距離減衰で示している。

同図では、各箇所とも ΔL_i を考慮することにより概ね実測値との対応が良くなる傾向にある。(ただし、(H)については、縦断勾配、信号などの影響により実測値がかなり大きくなり、推計値に ΔL_i を含めると、距離減衰の傾向はよく合うが、絶対的なレベル差は大きくなっている。)

ΔL_i を含めた推計値と実測値の対比を個別にみると (E) では、建物に近い所では推計値が大きめであり実測値との差が広がっている。また、(E) と (G) から測定ラインが中央に寄るほど実測値との差が広がる傾向をみせている。

(F) については、バッファビル以外の家屋については計算上考慮していないため、これらの家屋の影になる点の推計値が高めであることを除けば、実測値との対応は良好である。この (F) を除くと、地上高が高いほど実測値との差は広がる傾向にある。

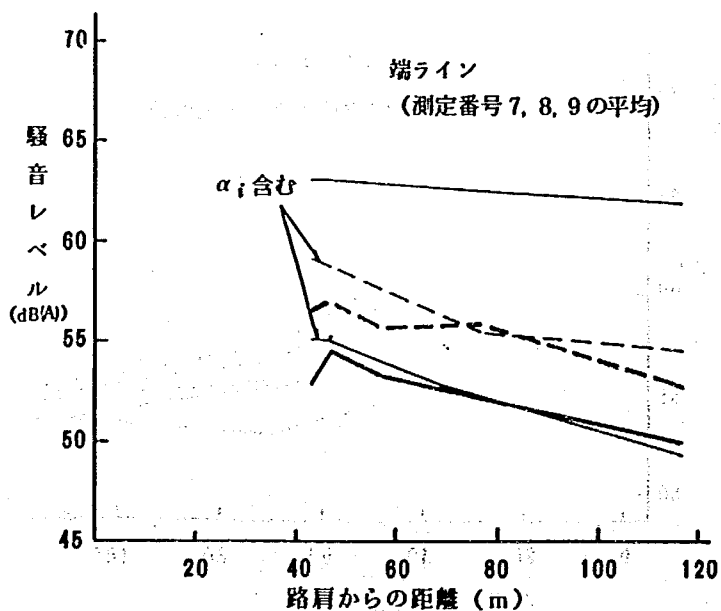
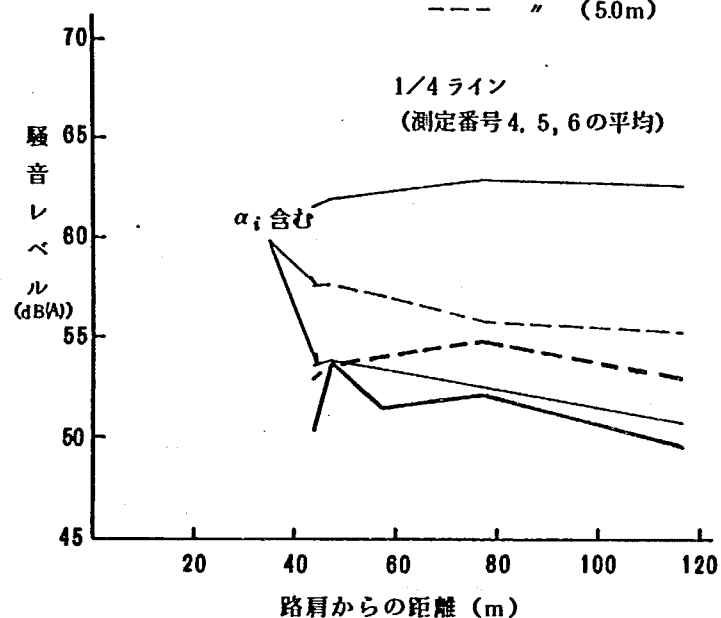
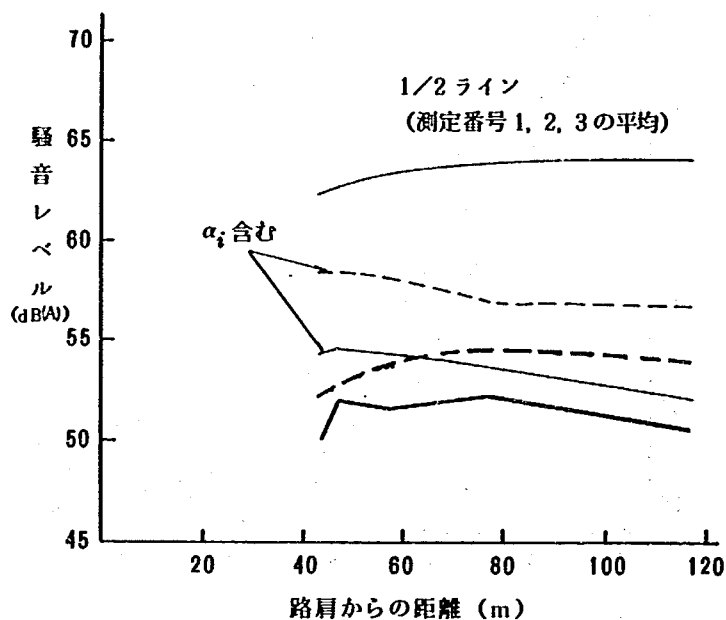
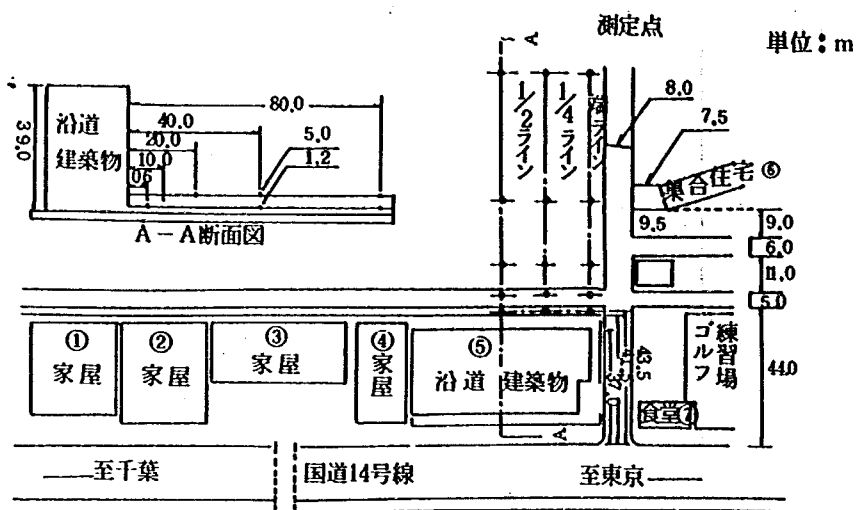


図4-7(1) 建物周辺の距離減衰性状の比較〔E〕

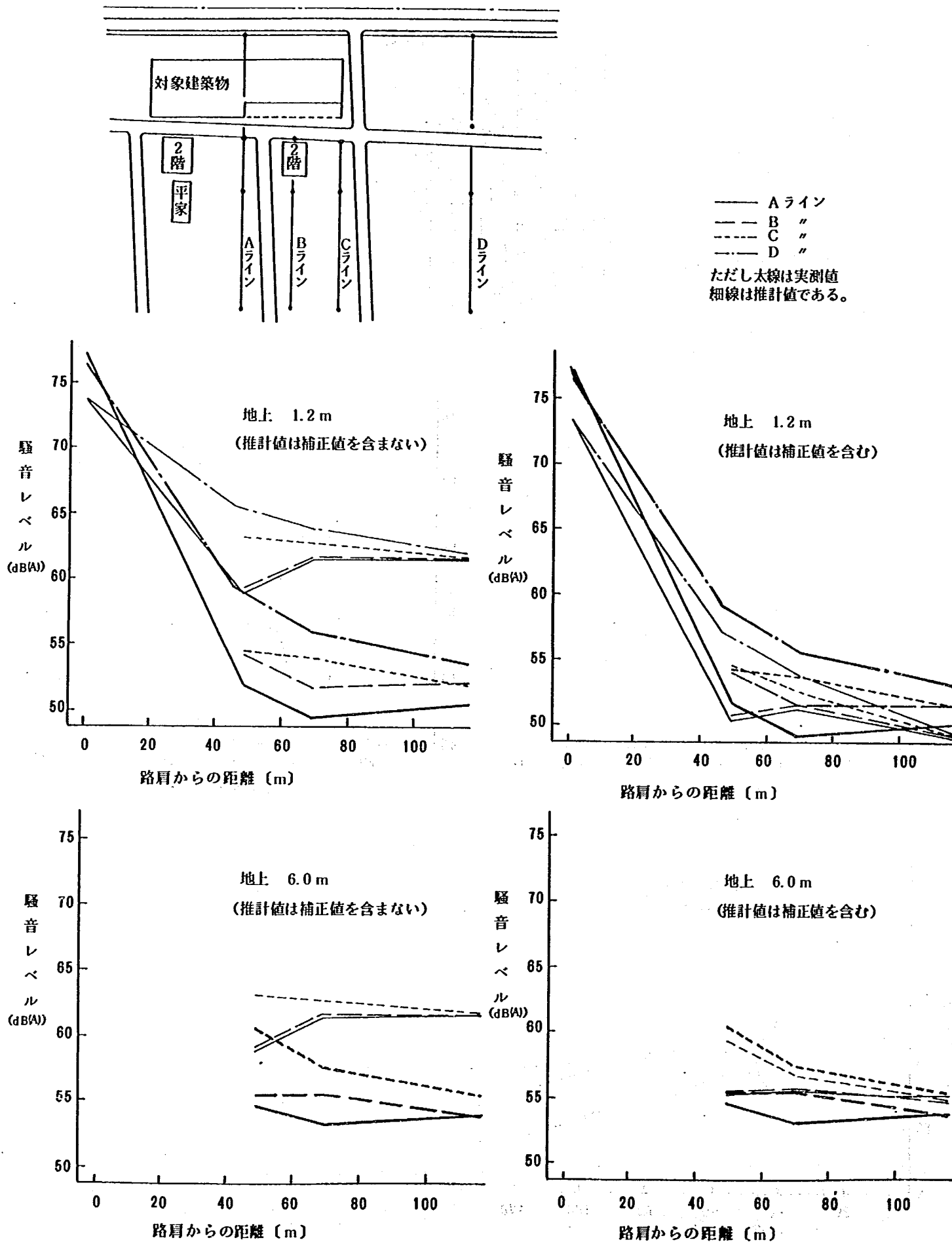


図4-7(2) 建物周辺の距離減衰性状の比較〔F〕

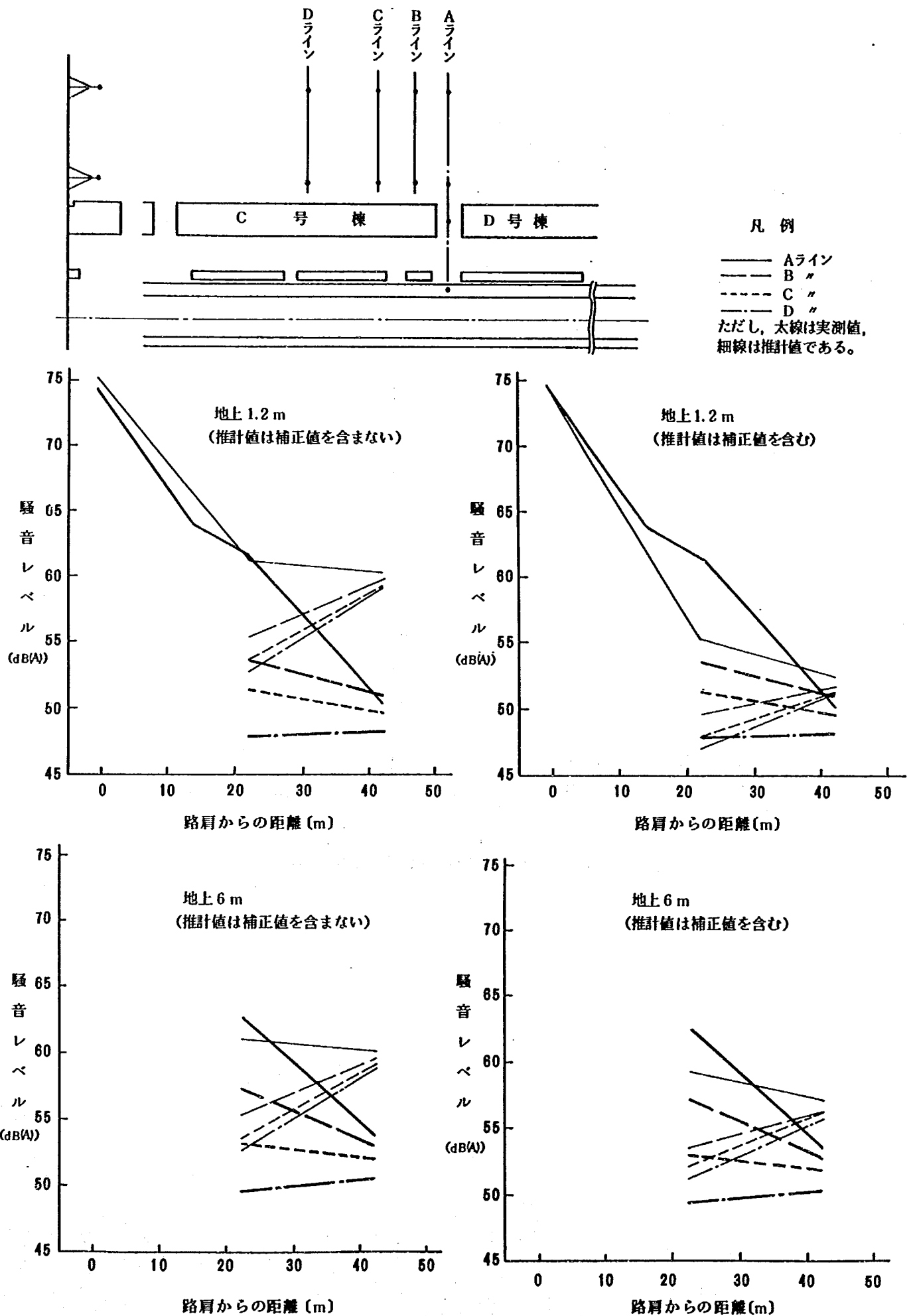


図 4 - 7(3) 建物周辺の实測値と計算値の比較(G)

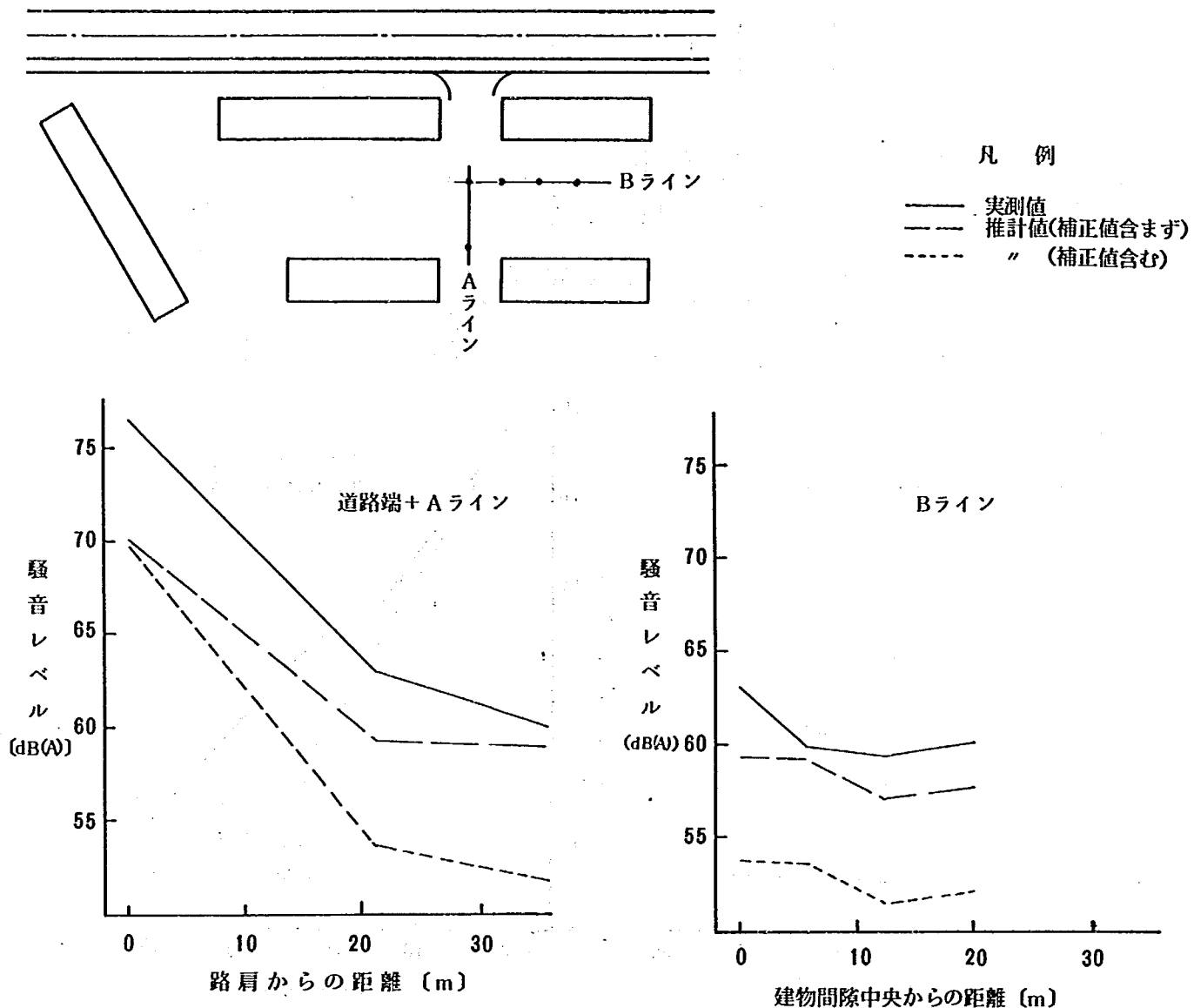


図4 - 7(4) 建物周辺の距離減衰性状の比較 (H)

5. 掘割構造道路に関する騒音分布性状

5-1 音響模型実験

音響模型実験は、建設総合技術開発プロジェクト「沿道の騒音分布予測手法に関する研究」の中で行われたものである。この実験では、模型縮尺を1/20とし、道路構造間の比較のため線音源が採用されている。

模型の構造、材料の例を図5-1に示す。

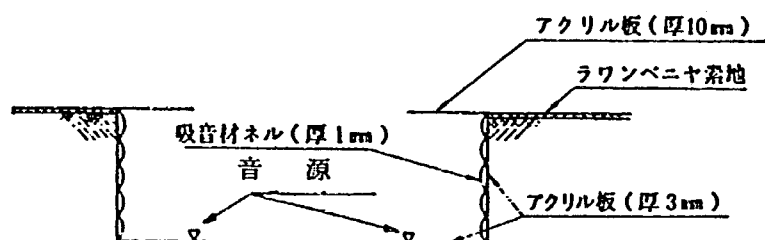


図5-1 模型の部分と模型材料

道路構造は平面、掘割、掘割のオーバーハング付、切土などであり、測定点は水平方向が路肩端～路肩端から80m、高さ方向が1.2, 3.5m（一部は高さ40mまで）の範囲に配置され、実験が行なわれている。

実験方法の詳細及び実験結果の道路構造別騒音分布特性などについては、「沿道の騒音分布予測手法に関する研究」に掲載されているので参照されたい。

5-2 模型実験による推計値と現場実測値

平面構造における騒音計算値を模型実験結果からさらに補正することにより、掘割などこれまでの計算では騒音伝播特性が明らかになっていない道路周辺の騒音を推計する方法がある。Leqについてこれを式に表わすと次のようになる。

$$Leq^* = Leq + (L_B - L_A) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

Leq : (3.1) 式による平面道路の推計値に補正值を加えた値

$$(Leq = \overline{L_w} - 10 \log_{10} 2 \ell d + \alpha d + \Delta L) \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

L_A : 掘割模型実験値

L_B : 平面模型実験値

なお、ここでは(5.2)式における ΔL については、表3-3より求めた下表の値を採用した。

表5-1 ΔL

路肩からの 距離(m) 地上高(m)	0.0	5.0	10.0	20.0	40.0	80.0
3.5	-	-	-0.8	-2.5	-4.8	-8.3
1.2	-0.4	-3.8	-3.6	-5.5	-7.6	-10.6

掘割構造道路（図 5 - 2）の現地実測結果と上記手法による推計結果を比較した。

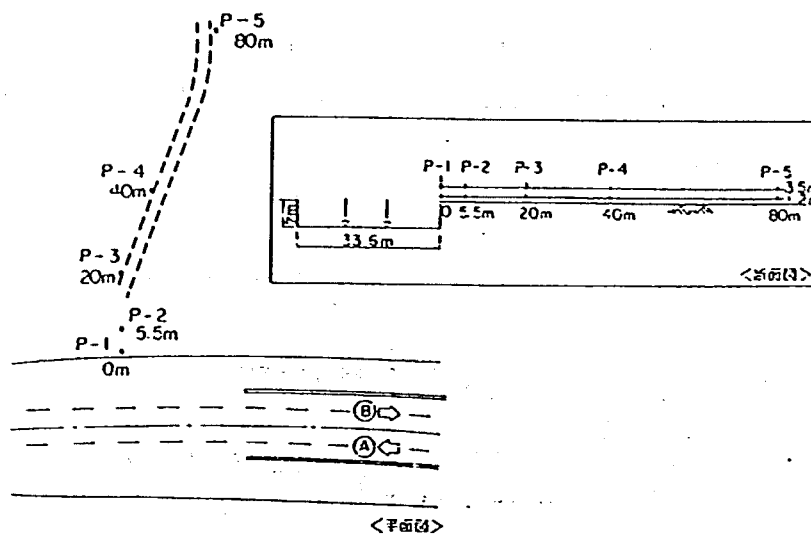


図 5 - 2 測定点配置図

（5.1）式中の平面及び掘割構造の模型実験値は、現場実測に対応させた、図 5 - 3 に示す断面で得られたものであり、この実験結果を図 5 - 4 に示す。

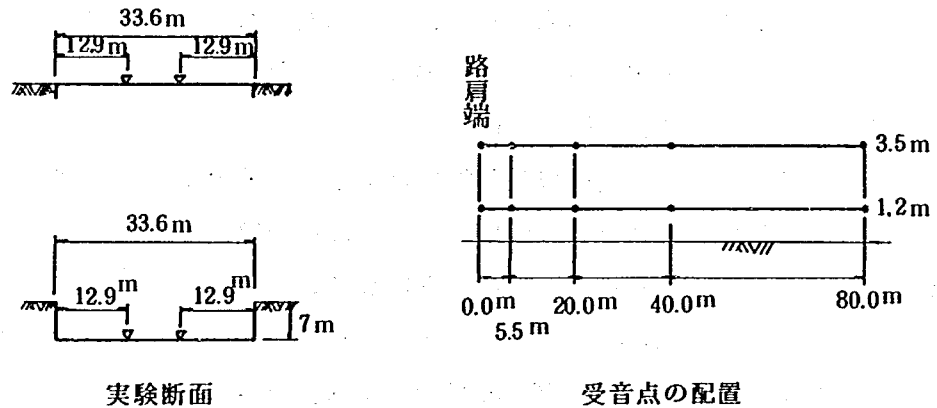


図 5 - 3 模型実験断面構成

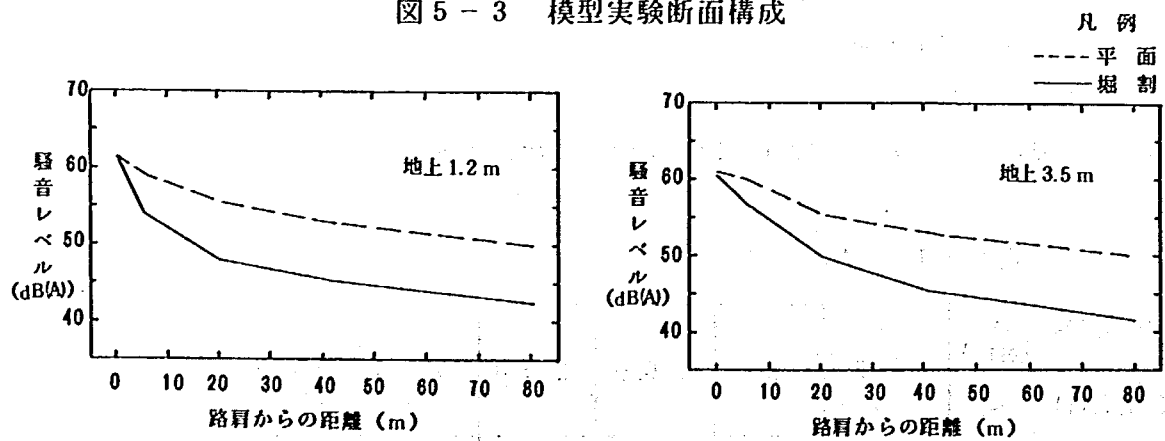
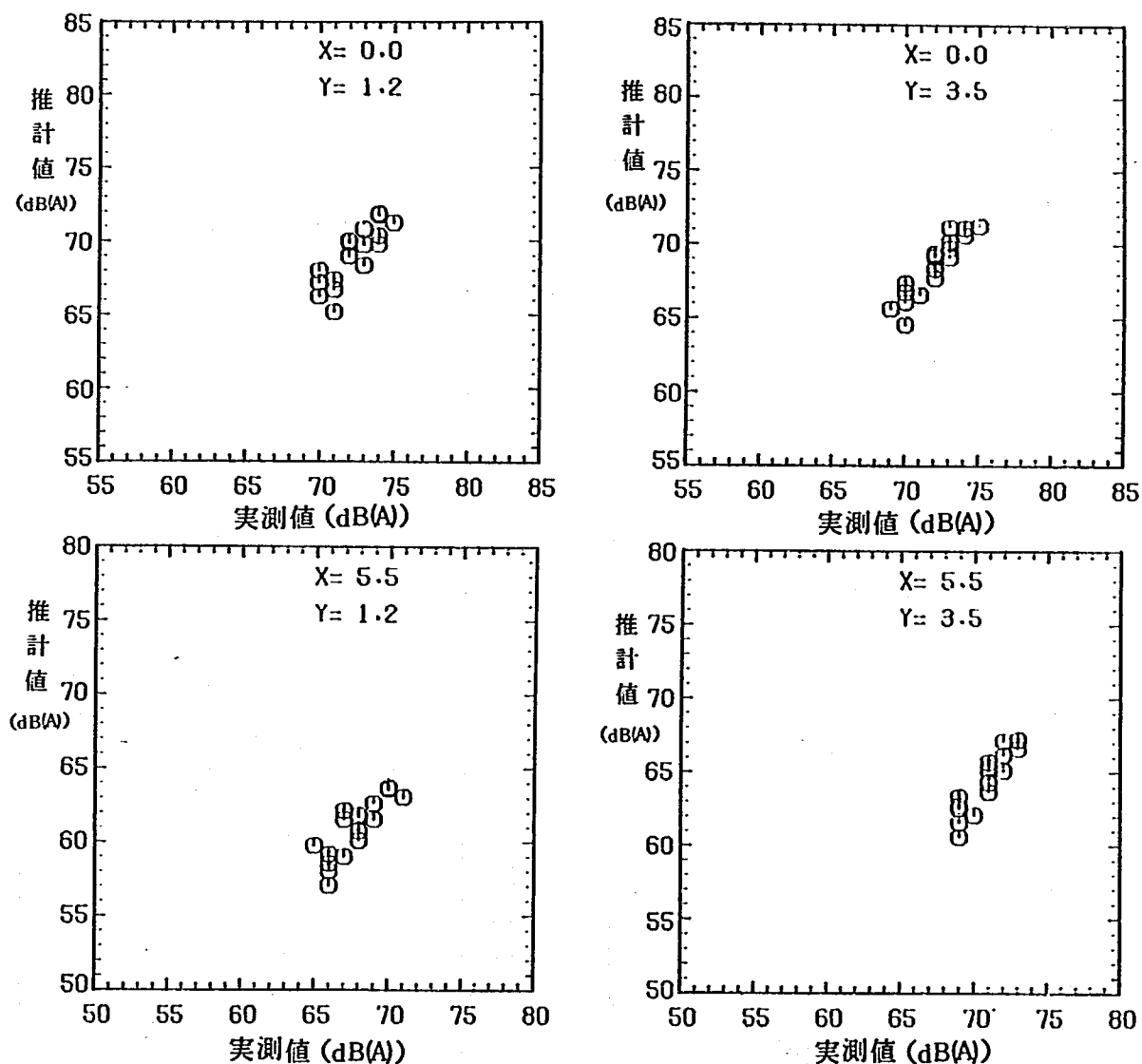


図 5 - 5 騒音レベル距離減衰図

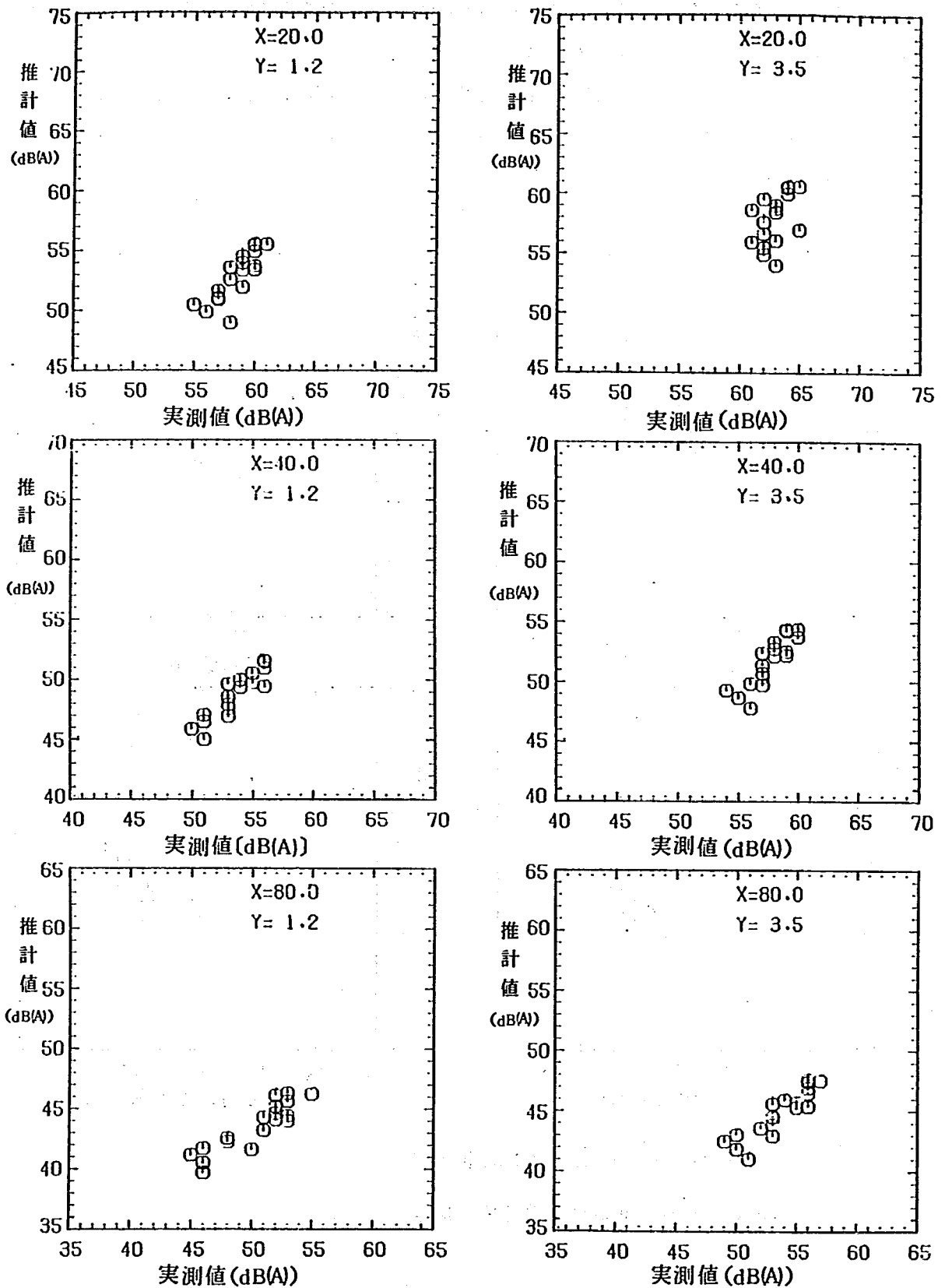
実測値と推計値との関係を図5-5(1)~(2)に示す。また、図5-6は、実測値と推計値の関係をそれぞれの平均値の距離減衰で示したものである。道路端付近で約3 dB(A)、80m付近で7~9 dB(A)推計値が小さくなっている。

この要因として、実験模型と実測道路の構造上の差違（実測道路には、坑口及び出入ランプがある。実験模型では、道路延長が実道換算で180mしか与えられてない。）などが影響しているものと考えられる。



注) X : 路肩からの距離(m), Y : 地上高(m)

図5-5(1) 実測値と推計値の関係



注) X : 路肩からの距離(m), Y : 地上高(m)

図5-5(2) 実測値と推計値の関係

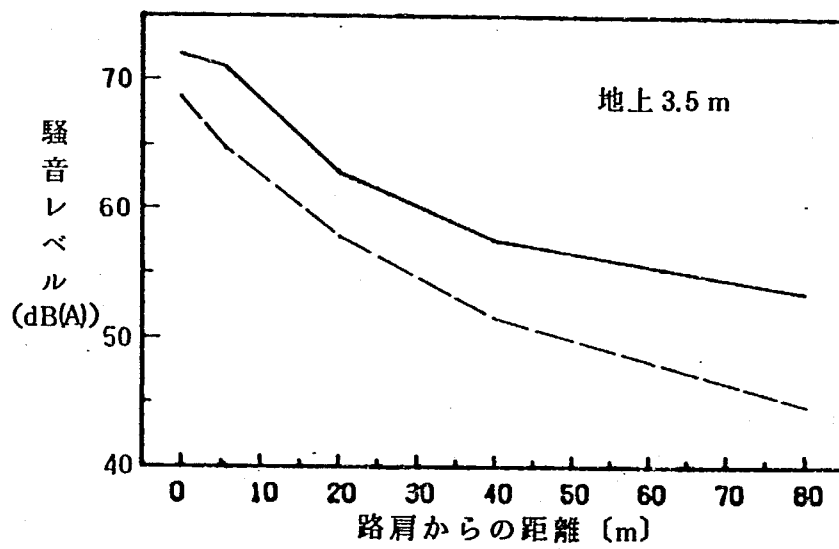
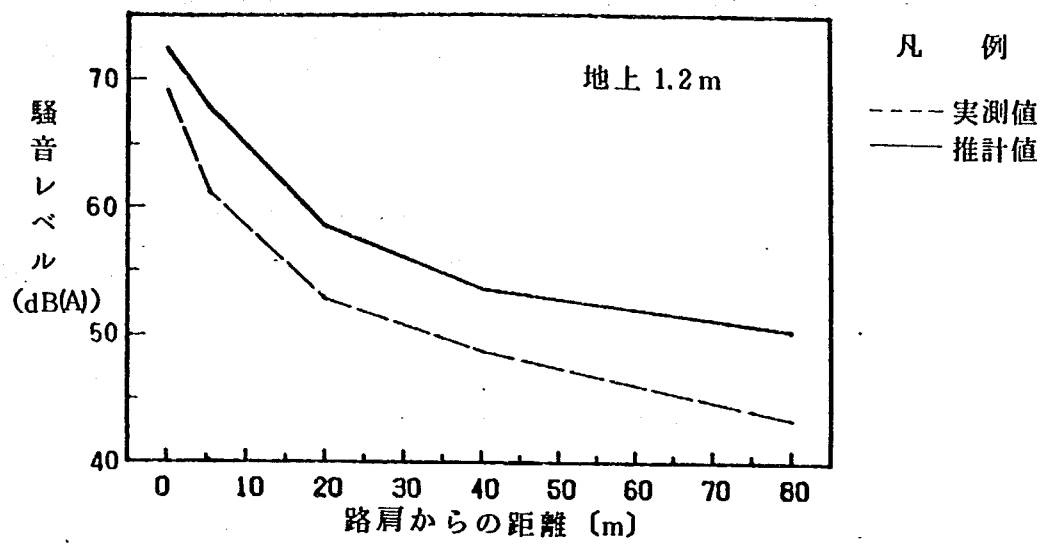


図 5 - 6 実測値及び推計値の平均値の距離減衰

6. Leqの感覚特性に関する文献

諸多国では騒音レベルの評価量としてLeqを用いている国が多い(表6-1)。また我が国でもJIS規格の改訂でLeqが併用されようとしているが、Leqは次のような利点をもつと考えられている。

- ① 一般に比較的主観量との対応がよい。
- ② 自動車交通騒音、航空機騒音、衝撃音など、多種の音源に適用できる(9)。
- ③ エネルギー平均値に基づいている。それゆえ算出には全測定値が用いられ、物理的に加算性を持ち、種々の補正を加えることが容易である(19)。
- ④ 環境騒音の代表値としては、比較的長時間(1日、1ヶ月、1年など)の騒音を表わすものであることが望ましいが、Leqは衝撃音のように接続の短い音から、長時間の環境騒音まで適用できる。

このうち①のLeqと主観量との対応に関しては、1968年以来、自動車交通騒音をはじめ種々の変動音を用いて行った難波ら(1)~(11))の一連の実験がある。この結果が図6-1のようにまとめられており、種々の変動音の大きさは騒音レベルのエネルギー平均値、すなわちLeqとよい対応を示すとしている。佐々木ら(12)、(13)、平松ら(14)、(15))他も同様の資料を提示している。また、スウェーデンでも大規模な調査が行われ、エネルギー平均値の妥当性が認められた(18))。(図6-2参照)

表 6 - 1 環境騒音評価法の使用状況(20)

国 名	評価方法	対象騒音	国 名	評価方法	対象騒音
カナダ	Leq (24)	道路・鉄道	デンマーク	Lr	屋外騒音
デンマーク	Leq (24)	道路騒音	イギリス	L10 (6-24)	道路騒音
ブラジル	Leq	都市・工場騒音	スイス	dB(A)	道路騒音 屋外騒音
	Lx			L50	
フィンランド	dB A Leq	室内騒音		L1	
				L01	
ハンガリー	Leq' (9)		アメリカ	Ldn	一般環境騒音
	Leq' (1,2)			L10	道路騒音
オランダ	Leq		日本	L50	変動音
イタリア				L5	工場騒音
ノルウェー	Leq (24)	一般環境騒音		dB(A)	新幹線騒音
	Lmax	"	オーストラリア	L90	暗騒音
	Leq (24)	道路騒音	ISO/R 1996	L95	暗騒音
南アフリカ	Leq	道路騒音	JIS Z 8731	L5-L95	変動音
	L10	道路騒音			
スウェーデン	NR	定常音			
	Leq (24)	一般環境騒音			
オーストラリア	Lh	工場騒音			

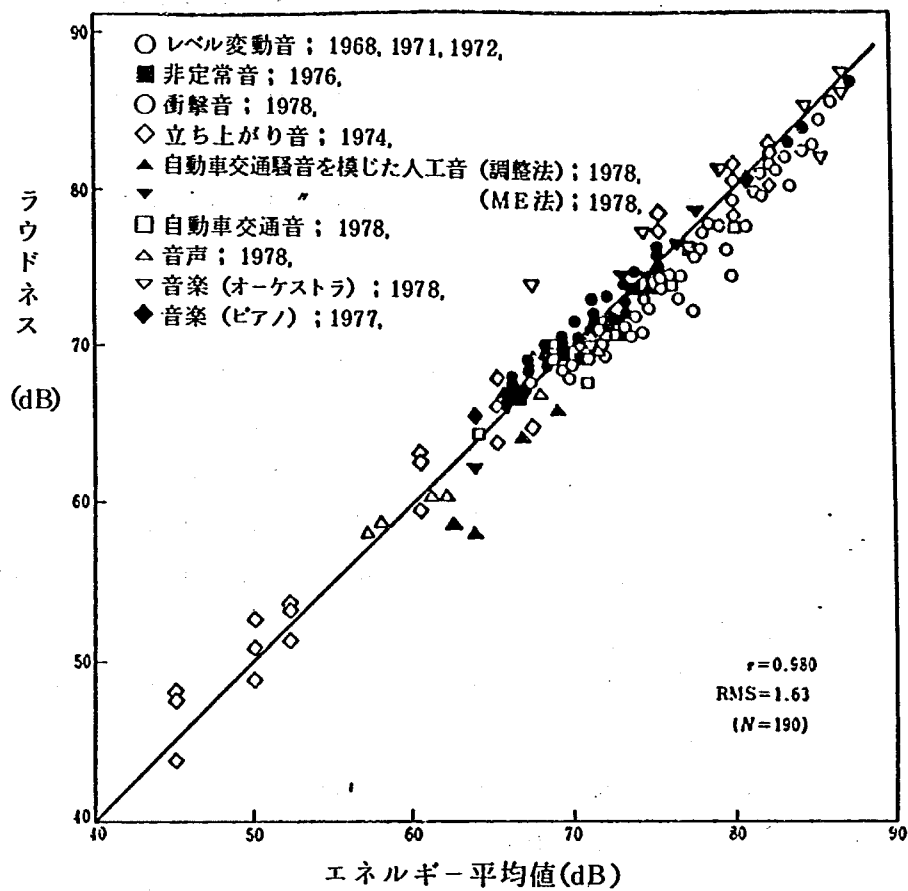


図 6 - 1 種々の変動音のラウドネスとエネルギー平均値 (Leq) との関係 (S. Namba et al.: 文献10)

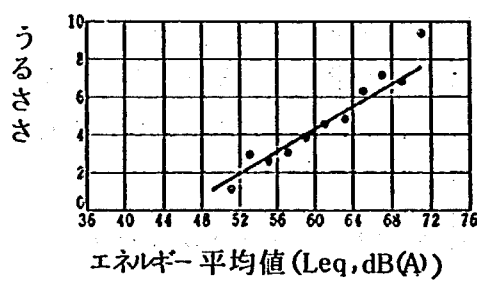


図 6 - 2 Leq とうるささの関係
(The National Swedish Institute for Building Research: 文献12)

以下にこれらの Leq と主観量の対応に関する文献を記す。

- 1) 難波, 桑野, 加藤: Leq , L_{α} と大きさの関係について, 音響学会誌, Vol. 34, p. 301, 1973
- 2) 難波, 吉川, 桑野: レベル変動する断続音の大きさについて(1), 音響学会講演論文集, p. 243, 1968
- 3) 難波, 桑野, 加藤: 音の立上がり時間と大きさについて—エネルギー値との関係—, 音響学会誌, Vol. 30, p. 144, 1974
- 4) 桑野, 難波, 加藤: 衝撃音の大きさについて, 音響学会誌, Vol. 34, p. 316, 1978
- 5) Namba, S., Kuwano, S. & Kato, T.: The loudness of sound with intensity increment, *Jap. Psychol. Res.*, Vol. 18, p. 63, 1976
- 6) 難波精一郎, 桑野園子: 時々刻々の大きさを規定する時間範囲並びに全体評価との関係—カテゴリ—連続判断法による実験—, 大阪大学教養部研究集録, Vol. 28, p. 1, 1980
- 7) 難波, 中村, 安田: レベル変動する大きさについて(続)—エネルギー平均値との関係, 心理学研究, Vol. 43, p. 251, 1972
- 8) 難波, 中村, 桑野: ピアノ演奏音の解釈—大きさを手がかりとして, 大阪大学教養部研究集録, Vol. 25, p. 23, 1977
- 9) 桑野, 加藤, 難波: レベル変動する複合音の大きさについて— Leq , L_{α} , LL , PNL 等との関係, 音響学会誌, Vol. 34, p. 218, 1978
- 10) Namba, S., Kuwano, S. & Kato, T.: An investigation of Leq , L_{10} and L_{50} in relation to loudness, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 64, S 58, 1978
- 11) 難波・中村・桑野・加藤: 自動車交通騒音の大きさについて, 日本音響学会誌, Vol. 32, No 3 (1976) 126–138
- 12) 佐々木: Leq による騒音の評価方法, 騒音制御, Vol. 4 No 6, 1980
- 13) 北村・佐々木: 自動車交通騒音の評価方法に関する研究(1)
—日常生活に及ぼす影響—, 日本音響学会誌, Vol. 28, No 5 (1972) 235–240
- 14) 平松・高木・山本・池野: 騒音のうるささに及ぼす継続時間の効果, 日本音響学会誌, Vol. 32, No 12 (1976) 739–750
- 15) 平松, 若狭, 高木, 山本: 変動騒音のうるささ (Leq の妥当性について), 音響学会誌, Vol. 34, p. 641, 1978
- 16) 北村・前之園: 自動車発進音の大きさとうるささの評価, 日本音響学会講演論文集 (1975. 5) 41–42
- 17) 二村・曾根: 日本における騒音・振動公害の現状と規制
(INTER-NOISE' 77 Proceedings 掲載論文 "Codes for Noise and Vibration Control in Japan" の邦訳)
- 18) The National Swedish Institute for Building Research, Traffic noise in residential areas Report 36 E, 1968

- 19) 太田光雄：騒音予測における評価値 L_{α} (α : %) と L_{eq} の対比について－物理的意味からみた一見解－，音響学会誌，Vol. 31, p. 752, 1975
- 20) 日本建築学会：騒音の評価法，彰国社，1981

あ と が き

本資料は土木研究所が進めている道路交通騒音の L_{eq} 評価に関する調査研究を現段階でとりまとめたものである。利用したデータは計 8 箇所分となり、検討内容も L_{eq} 測定精度、 L_x との関係などの基礎的特性から、 L_{eq} の計算、実測値との比較まで、広範なものとなった。

L_{eq} の基礎的特性では騒音データのサンプリング間隔と精度の関係などのほかに、 L_x と L_{eq} の関係を示し、現在の L_{50} の基準を見直すことがあるのならば、その際に考慮すべき資料を提供した。 L_{eq} の実測値と計算値の差については、路端からの距離、地表面からの高さとの関係から、ほぼ地表面による過剰減衰と考えられる。 L_{eq} の計算は簡便であり、今後の予測計算の資料として有用であると考えられる。沿道建築物背後の騒音計算では、 L_{eq} の基本式に建物による回折を考慮している。この建物による回折減衰計算には Fresnel-Kirchhoff の近似回折理論を用いて半無限あるいは $1/4$ 無限空間に対する回折を組み合わせる方法を示した。また、堀割構造を例として模型実験手法により補正した L_{eq} の騒音計算値と実測値の検証を行った。なお、巻末には L_{eq} の利点の一つとしてあげられているうるささの感覚との対応について、文献をリストし、その一部を紹介させていただいている。これらの道路交通騒音の L_{eq} に関する調査研究資料が今後の道路環境評価の一助となれば幸いである。

最後に、本資料は土木研究所がまとめたものであるが、内容については建設省総合技術開発プロジェクト「沿道地域の居住環境整備に関する総合技術の開発」で設置されている「道路騒音研究部会」（下記委員名簿）に概要資料を提出し、適切な御指導をいただいた。ここに委員ならびに幹事各位に深く感謝の意を表わすものである。

道 路 騒 音 研 究 部 会

部会長	石 井 聖 光	東京大学生産技術研究所教授
委 員	久 野 和 宏	名古屋大学工学部電気工学科助教授
"	越 正 毅	東京大学生産技術研究所教授
"	小 西 一 生	㈱ ケンオンエンジニアリング代表取締役
"	佐々木 実	九州芸術工科大学音響設計学科助教授
"	鈴 木 康 夫	運輸省自動車局整備部公害防止課補佐官
"	橋 秀 樹	東京大学生産技術研究所助教授
"	岸 憲 之	日本道路公団試験所交通環境試験室主任
"	佐 藤 幸 雄	首都高速道路公団計画部環境技術課課長
"	都 良 伸	阪神高速道路公団計画部調査課係長
"	松 本 弘 輝	本州四国連絡橋公団企画開発部調査課課長
"	田 中 敬 一	建設省土木研究所道路部部長
"	高 瀬 三 郎	㈱ 国土開発技術研究センター理事
幹 事	喜多河 信 介	建設省大臣官房技術調査室技術調査官
"	小 野 薫	建設省道路局企画課課長補佐
"	足 立 義 雄	建設省土木研究所道路部交通環境研究室室長
"	石 田 稔	建設省土木研究所道路部交通環境研究室研究員
"	岡 崎 新太郎	建設省土木研究所道路部交通環境研究室研究員
"	中須賀 聡	建設省土木研究所道路部交通環境研究室研究員
"	浅 野 光 行	建設省建築研究所第六研究部都市施設研究室室長
"	田 中 洪	建設省建築研究所第五研究部設備計画研究室室長
"	川 島 茂 樹	建設省関東地方建設局道路部道路計画第一課建設専門官
"	結 城 康 雄	㈱ 国土開発技術研究センター調査第二部部長
"	高 島 一 彦	㈱ 国土開発技術研究センター研究部参事
"	山 下 眞 悟	㈱ 国土開発技術研究センター研究部副参事

参 考 文 献

- 1) J. S. Bradley, J. G. Vaskor & S. M. Dickinson ; " The Effect of Skewness and Standard Deviation on Sampling Errors for Traffic Noise ", Applied Acoustics, Vol. 12, 1979
- 2) 庄司 光, 山本剛夫, 畠山直隆編 ; 「衛生工学ハンドブック騒音振動編」, 朝倉書店, 1980
- 3) 足立義雄, 石田 稔, 三宅龍雄 ; 「等価騒音レベルによる道路交通騒音の評価」, 土木学会環境問題シンポジウム講演論文集, 1982. 8
- 4) P. M. Nelson ; " The Combination of Noise from Separate Time Varying Sources ", Applied Acoustics, Vol. 6, 1973
- 5) 高木興一 ; 「環境騒音の把握に関するいくつかの問題点とその考察」, 環境技術, Vol. 8 (10), 1980
- 6) 岩瀬昭雄, 橋 秀樹, 石井聖光 ; 「道路交通騒音の L_{eq} による予測」, 音響技術, No40, 1982
- 7) 加来治郎, 山下充康 ; 「騒音の市街地浸透に関する研究」, 日本音響学会誌, Vol. 35 (5), 1979
- 8) 金沢純一, 加来治郎, 山下充康 ; 「道路交通騒音の都市内への浸透」, 日本音響学会講演論文集, 昭和54年10月
- 9) 家田信吾, 久野和宏, 池谷和夫 ; 「ランダムな建築物群による市街地騒音減衰の予測」, 日本音響学会講演論文集, 昭和56年 5 月
- 10) 湯沢睦茂 ; 「ナイフ又は直角エッジをもつ種々の形の有限建造物による騒音減衰」, 日本音響学会誌, Vol. 32 (3), 1976
- 11) 前川純一 ; 日本音響学会誌, Vol. 21 (1), 1965
- 12) U. J. Kurze ; "Noise Reduction by barriers ", J. Acoust. Soc. Am. Vol. 55 (3), 1974
- 13) 日本音響材料協会編 ; 「騒音・振動対策ハンドブック」, 技報堂出版 1982

道路交通騒音の L_{eq} に関する
調査研究

ISSN 0386-5878
土木研究資料第1952号
マイクロフィルム第 号
昭和58年3月(1983)

キーワード 等価騒音レベル, L_{eq} ,
道路交通騒音

足立義雄, 石田 稔

要 旨

道路交通騒音の L_{eq} に関して, その基礎的特性, 実測値と計算値の差, 沿道建築物背後, 掘割道路における計算法などを検討した。



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはって
下さい。

茨城県筑波郡豊里町旭一番地

建設省土木研究所

交通環境研究室 御中

No. 011



土木研究所資料第1952号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

