

住宅地内の鉄道騒音 L_{eq} の一考察

- 鉄道騒音評価方法の研究 - 第七報 -

今泉 信夫 中村 信一 上原 幸雄

今井 章久
(東京都研究員)

1 はじめに

鉄道騒音の住宅地内への伝搬に関しては、石井ら¹⁾による高架鉄道騒音予測手法案のなかで、市街地における伝搬の補正值がある。筆者らも前報²⁾で高架鉄道沿線において、高架の見通せる路上と4~5 m奥の建物のかけになる地点との比較及び家屋密度、高架高さをかえた模型実験などから検討した。しかし家屋が建ち並ぶ住宅地内の減衰傾向をとらえるには、建物形状や配置などに影響され易いことから、なお多くの検討が必要である。本報では、建屋間の音の伝搬に関するモデルについて考察するとともに、住民意識調査を行う準備として、在来線の平坦、高架部の沿線住宅地においてピークレベル L_M 、等価騒音レベル算出のもとになる単発騒音暴露レベル L_{AE} についてかなりの測定例をえたので、これをもとに住宅地内の減衰傾向について考察を行った。

2 モデルによる検討

図1に示すように住宅の建屋の間を音源からの音が x 方向に伝搬し、二次元の拡散すなわち Z 方向には進行する音波はないと仮定する。伝搬する音波のエネルギー密度を U [J/m^2] とおくと、 Δx を通過する間の建屋外壁での吸音によるエネルギーの損失 [J/m] は

$$\frac{\partial U}{\partial x} \Delta x (\Delta y - L_y) = U \cdot 2(L_x + L_y) \cdot \alpha \dots (1)$$

L_x, L_y : 方形建屋の寸法 [m]

α : 建屋外壁の吸音率

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{-2\alpha(L_x + L_y)}{(\Delta y - L_y)\Delta x} \dots (2)$$

ここで $x=0$ のときの U を U_0 とおくと

$$U = U_0 \exp\left\{-\frac{2\alpha(L_x + L_y)}{\Delta y - L_y} \cdot \frac{x}{\Delta x}\right\} \dots (3)$$

建屋の間を通過する間のレベルの減衰 A_e は(4)式となる。

$$A_e = 10 \log \frac{U}{U_0} = [-20 \log_{10} e] \cdot \left[\frac{\alpha(L_x + L_y)}{(\Delta y - L_y)\Delta x} \cdot x \right] \dots (4)$$

ここで $\Delta y = \Delta x$, $L_y = L_x = L$ すなわち正方形の区画、建屋とする。また単位面積 $D \times D$ [m] 内に建屋が N 戸あるとし、建ぺい率を k とすると $k = N \cdot L^2 / D^2$, $\Delta x = D / \sqrt{N}$ となる。従って

$$A_e = [-20 \log_{10} e] \cdot \left[\frac{2\alpha N L}{D(D - \sqrt{N}L)} \right] \cdot x \text{ [dB]} \dots (5)$$

$$= [-20 \log_{10} e] \cdot \left[\frac{2\alpha k}{(1 - \sqrt{k})L} \right] \cdot x \text{ [dB]} \dots (6)$$

となり、減衰量 A_e は距離 x に比例することとなる。数値例として $D = 200$ [m], $N = 200$ 戸, $L = 10$ [m], $\alpha = 0.1$ とすると、 $A_e = 0.30x$ [dB] すなわち 0.30 dB/m で減衰する。

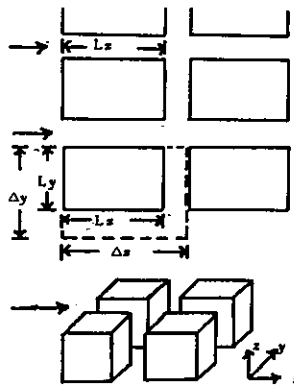


図1 建屋間の音の伝搬

以上は極めて単純化したモデルであるが、実際には三次元の拡散があり、さらに高架の場合には上面からの入射波を考慮すべきであり、また障害物による遮へい効果、指向性もある。それぞれモデルを単一化して考えることはできるが、それらを組み合わせた複合のモデル化は極めて難しい。そこで次項では実測例から検討を進める。

3 供試データ

検討に供するデータは別報³⁾の鉄道騒音意識調査を行う地区の騒音分布を求めめるため、都内在来鉄道沿線で、主として木造1~2階の一戸建て住宅が集っている15地区について測定されたものである。各地区の測定は、線路に貫通する路地上12.5, 25, 50m点において1時間にわたり列車騒音を記録し(固定測定), その間住宅地内を1地点15分間ずつ6点にわたり記録している(移動測定)。このレベルレコーダによる記録から列車ごとにピークレベル L_M と5/3秒間隔によみとった値から単発騒音暴露レベル L_{AB} を求めている。データ数は通過本数の少ない2地区以外はおおよそ固定測定で20~40例, 移動測定で5~6例であり, 各測定点ごとにパワー平均値 L_M^- , L_{AB}^- をもって整理されているので, この値を用いて考察を行った。なお平坦部8地区には高さ1m程の低盛土部2地区を含む。

4 L_M^- の住宅地内の過剰減衰

図2のプロットは各地区ごとに12.5m路地上値を基準として各測定点の減衰値を相対レベルで求め、これより開放地における理論減衰値を差引き、過剰減衰値として路地上と住宅地内に分けて示したものである。この場合理論減衰値としては有限長指向性音源(指向性係数 $n=2$)式による距離 r に関する項を用い次式によった。

$$\Delta L_A = -10 \log r + 10 \log \left[\frac{\ell/2r}{1 + (\ell/2r)^2} + \tan^{-1}(\ell/2r) \right] \dots\dots\dots(7)$$

ℓ : 列車長[m]であり, 列車種別により異なるが, ℓ による第2項の差は小さいので計算上 $\ell=160m$ とした。

各地区ごとに回帰式を求めるときに, 前述モデルでの検討から過剰減衰値は距離 R に比例するという考え方と, 模型実験による一定値に収れんとする考え方とがあげられる。すなわち

$$A_e = a \cdot R + b \dots\dots\dots(8)$$

$$A_e = a \cdot R' + b \dots\dots\dots(9)$$

ただし, $R' = 100(1 - e^{-R/100})$

(8), (9)式について各地区の係数, 標準偏差 σ を求め比較したところ, (9)式の方が σ が小さい値すなわち近似度がよいことから, 以下の検討はすべて R' を用いた式を進めた。本稿では(8), (9)式の a を過剰減衰係数と称する。

表1に地区ごとの係数 a_1 (路地), a_2 (住宅地内)を示す。なお b の値は路地上と住宅地内が0m点で同一騒音レベルになるように共通の値として計算したものである。地区によってのバラツキはあるが, 平坦, 高架の差は係数 a_1, a_2 にみられる。

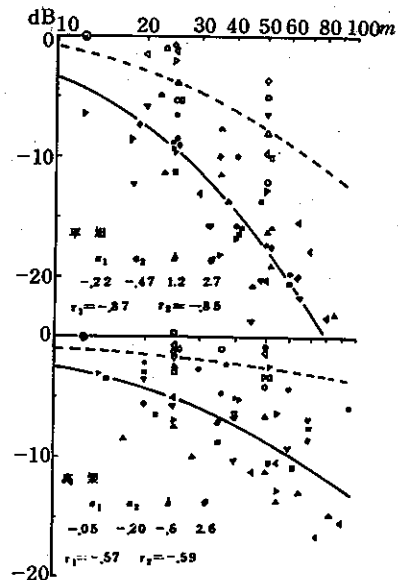


図2 鉄道騒音 L_M^- の住宅地内過剰減衰(1)

表1 L_M^- の過剰減衰式係数

平 坦					高 架				
No	a_1	a_2	b	σ	No	a_1	a_2	b	σ
1	-0.43	-0.55	4.8	1.6	1	-0.07	-0.11	.4	1.1
2	-0.18	-0.43	.1	1.4	2	-0.07	-0.24	-2.1	1.6
3	-0.24	-0.44	1.7	2.7	3	-0.05	-0.29	.7	1.0
4	-0.14	-0.52	-0.3	2.7	4	-0.19	-0.27	1.4	1.4
5	-0.38	-0.67	3.9	1.8	5	-0.04	-0.16	-.7	2.6
6	-0.12	-0.45	1.4	.9	6	-0.01	-0.14	-1.4	1.3
7	-0.28	-0.48	1.3	1.7	7	-0.05	-0.19	-1.1	1.6
8	-0.24	-0.52	3.9	2.4					

図中に全データからの路地上 a_1 , 住宅地内 a_2 による傾向を実線で示した。この場合も 0 m 点で路地上, 住宅地内の b の値が一致するようにして計算した。相関係数を図中に示したが, 平坦ではかなりよい相関となっている。図2では各地点同一の過剰減衰をうけていると考えたことになる。そこで次に路地上 1.25 m 点での測定値は, 地点ごとに異なる過剰減衰を受けていることを認めて検討を進めた。

図3は地区ごとに表1の b の値を用い, 実測データを補正し, 0 m 点の過剰減衰値が 0 dB になるようにした全データからあらためて帰帰式を作成したものである。係数 a_1, a_2 はほぼ図2と変わらないがこの方が妥当といえよう。住宅地内の過剰減衰 $Ae(L_M)$ をまとめると次式になる。

$$\text{平坦・住宅地: } Ae(L_M) = 0.489 \cdot 100 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) \quad [\text{dB}] \dots\dots(10)$$

$$\text{高架・" : } Ae(L_M) = 0.200 \cdot 100 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) \quad [\text{dB}] \dots\dots(11)$$

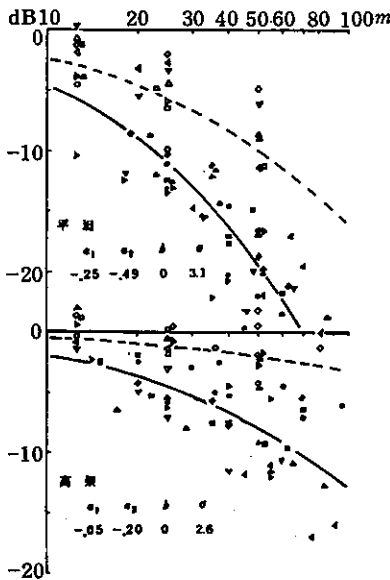


図3 鉄道騒音 L_M の住宅地内過剰減衰 (2)

帰帰式 b の値は路地上, 住宅地内共通の定数として求めてきたが, 図4は b がそれぞれ固有値がある, すなわち 0 m 点ですでに異なる減衰を受けているとした場合の計算である。路地上を a_1, b_1 , 住宅地内を a_2, b_2 として示したが, 路地上より住宅地内の方が距離が離れるに従

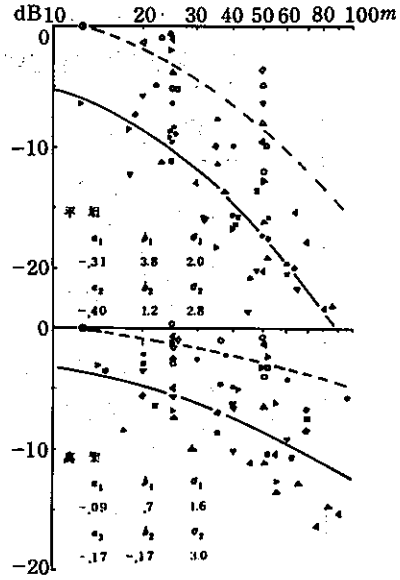


図4 鉄道騒音 L_M の住宅地内過剰減衰 (3)

い過剰減衰値がやや大きくなる傾向がみられる。これより路地上と住宅地内の差 ΔL_M は次式にまとめられる。

$$\text{平坦: } \Delta L_M = 0.094 \cdot 100 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) + 5.0 \quad [\text{dB}] \dots\dots(12)$$

$$\text{高架: } \Delta L_M = 0.081 \cdot 100 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) + 2.4 \quad [\text{dB}] \dots\dots(13)$$

5 L_{AE} の住宅地内の過剰減衰

L_{AE} についても 1.25 m 地点の路地上値を基準として各測定点の相対レベル差から開放地における理論減衰値を差し引いた過剰減衰値で整理した。この場合の理論値としては前報⁴⁾の全暴露量の検討より -3 dB/D , D を用いる。

表2は同様に(9)式による係数 a_1, a_2, b の地区ごとの一覧である。各地区の係数はほぼ L_M の場合に近い値で

表2 L_{AE} の過剰減衰式係数

平 坦					高 架				
No	a_1	a_2	b	σ	No	a_1	a_2	b	σ
1	-0.43	-0.53	4.6	1.4	1	-0.07	-0.10	.1	1.3
2	-0.21	-0.39	.1	2.7	2	-0.09	-0.24	-1.9	1.6
3	-0.28	-0.47	2.8	2.3	3	-0.04	-0.25	.1	.5
4	-0.16	-0.55	.5	2.6	4	-0.12	-0.20	.6	1.1
5	-0.36	-0.63	3.1	1.6	5	-0.05	-0.13	-.5	2.0
6	-0.11	-0.45	1.2	1.1	6	-0.04	-0.11	-1.3	.9
7	-0.27	-0.48	1.2	2.1	7	-0.09	-0.16	-1.0	1.3
8	-0.18	-0.47	2.8	2.4					

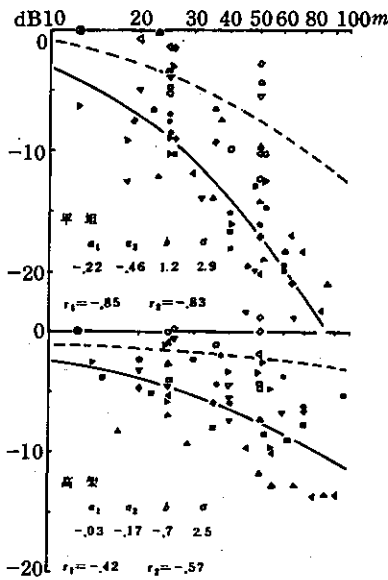


図5 鉄道騒音 L_{AB} の住宅地内過剰減衰 (1)

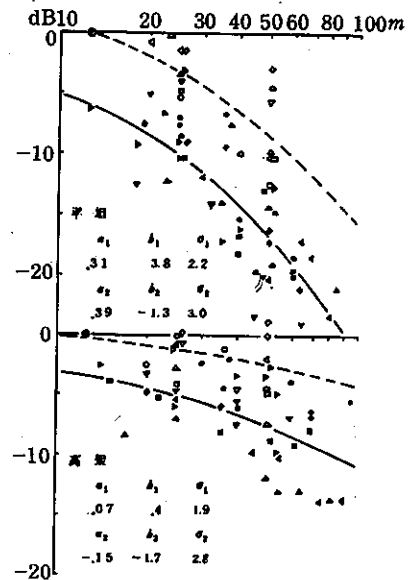


図7 鉄道騒音 L_{AB} の住宅地内過剰減衰 (3)

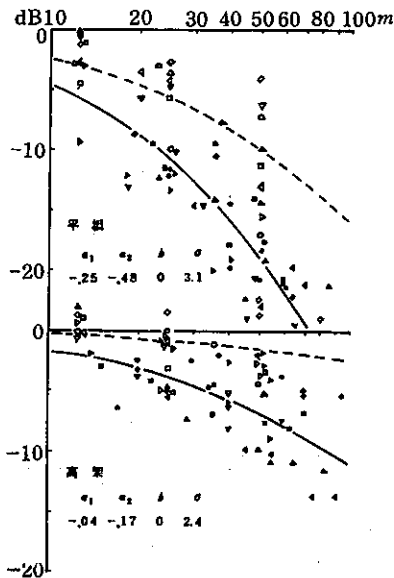


図6 鉄道騒音 L_{AB} の住宅地内過剰減衰 (2)

ある。図5は各測定地点 L_{AB} の過剰減衰値と全データによる回帰式の傾向を示した。 a_1, a_2 は平坦では L_M の場合とほぼ同じであるが、高架では L_M の場合よりやや小さい値となっている。図6は図3と同様に地区ごとに表

2の b の値を用い、実測データを補正し、0 m 点の過剰減衰値が 0dB となるようにした全データから求めた回帰式を示した。従って住宅地内 L_{AB} の過剰減衰は次式になる。

$$\text{平坦・住宅地: } Ae(L_{AB}) = 0.481 \cdot 100 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) \quad [\text{dB}] \dots\dots (14)$$

$$\text{高架・住宅地: } Ae(L_{AB}) = 0.173 \cdot 100 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) \quad [\text{dB}] \dots\dots (15)$$

図7は図4と同様に b について路地上、住宅地内それぞれ固有の値があるものとした場合の計算で、路地上の a_1, b_1 , 住宅地内の a_2, b_2 を図中に示した。いずれも L_M で求めたときと近い値になっている。また路地上と住宅地内の差 ΔL_{AB} は次式にまとめられる。

$$\text{平坦: } \Delta L_{AB} = 0.083 \cdot 100 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) + 5.1 [\text{dB}] \dots\dots (14)$$

$$\text{高架: } \Delta L_{AB} = 0.074 \cdot 100 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) + 2.1 [\text{dB}] \dots\dots (15)$$

7 建物密集度と過剰減衰

家屋が建てこんでいる住宅地内では、一般に平坦開放地に比べ減衰量が大きくなると考えられる。二次元モデルで示した(6)式でも建ぺい率 k の増加とともに減衰量 Ae は大きくなる。前報の模型実験では 200×200 m 内の戸数 N との関係で実験式を示した。図8は今回のデータ

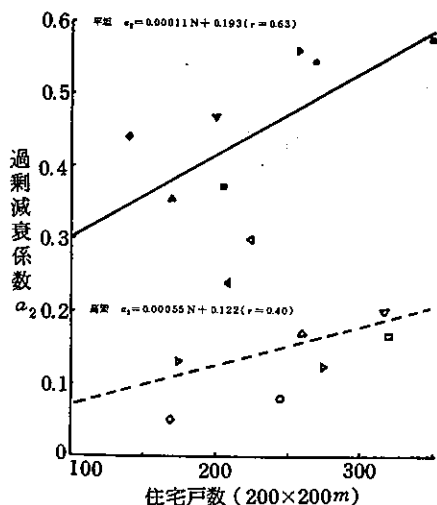


図8 家屋密集度と過剰減衰値の関係

を用い、 L_M について図4で求めた住宅地内の過剰減衰係数 α_2 と戸数 N との関係である。建屋間の測定のため、周囲の条件に左右されてバラツキが大きいものもあるが、平野と高架に分けて全体としては戸数の増加に伴い係数 α_2 の増加の傾向がみられる。

8 まとめ

在来線鉄道騒音の沿線住宅地内における L_{eq} 評価に資するため、ピークレベル L_M 及び L_{eq} 計算の基礎となる単発騒音暴露レベル L_{AE} について減衰傾向の考察を行った。

- (1) 建屋による障害物間の減衰は、二次元でモデル化すると距離に比例して増大すると考えることができる。
 - (2) 都内在来線鉄道沿線の貫通路地上及び住宅地内の実測データによる検討では、測定点周囲の条件によるバラツキは大きいですが、傾向として次のようにまとめられる。
- ① 平野開放地より増加する住宅地内減衰量(過剰減衰量)

$$\begin{aligned} \text{平野 } Ae(L_M) &= 49 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) \text{ [dB]} \\ Ae(L_{AE}) &= 48 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) \text{ //} \\ \text{高架 } Ae(L_M) &= 20 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) \text{ //} \\ Ae(L_{AE}) &= 17 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) \text{ //} \end{aligned}$$

② 貫通路上値に対する住宅地内減衰増加量

$$\begin{aligned} \text{平野 } \Delta L_M &= 9.4 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) + 5.0 \text{ [dB]} \\ \Delta L_{AE} &= 8.3 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) + 5.1 \text{ //} \\ \text{高架 } \Delta L_M &= 8.1 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) + 2.4 \text{ //} \\ \Delta L_{AE} &= 7.4 \left(1 - e^{-\frac{R}{100}}\right) + 2.1 \text{ //} \end{aligned}$$

③ 家屋の密集度を $200 \times 200 \text{ m}$ 内の戸数 N で示し、これと住宅地内の過剰減衰係数 α_2 との関係を求めると、 N の増加とともに過剰減衰量増加の傾向が示された。

これら住宅地内の減衰は L_M と L_{AE} との比較の点から理論的減衰を単純な扱いとし、これを上回る減衰を一括し過剰減衰として傾向をまとめたもので、さらに関係する要因に分けた検討が今後の課題と考えられる。

参考文献

- 1) 石井聖光ほか：在来線高架鉄道からの騒音予測手法案について、騒音制御, Vol 4, No 2 (1980).
- 2) 今泉信夫ほか：鉄道騒音の住宅地への伝搬, 東京都公害研究所年報 1981.
- 3) 中村信一ほか：鉄道沿線住民意識調査による検討, 東京都公害研究所年報 1985.
- 4) 今泉信夫ほか：鉄道騒音最大値から L_{eq} への換算について, 東京都公害研究所年報 1984.