

在来線高架鉄道からの騒音予測手法案について

石井 聖光 ・ 子安 勝 ・ 長 祐二 ・ 木庭 紀之
 (東京大学) (小林理研) (東京都建設局)

1. はしがき

東京都建設局では、増大する交通渋滞を解消する施策の一つとして鉄道と道路を立体交差する事業を進めているが、これに伴って騒音・振動及び日照等の環境変化が重要な問題となっている。そこで建設局は、(財)都市計画協会に委託して鉄道の高架化に伴う騒音の予測手法の研究を行うことになり、鉄道騒音予測調査委員会を設けて、昭和52年度から53年度にわたり1年6か月を費やしてその検討を行った。

これにより、高架上を走行する中近距離通勤用電車からの騒音がその周辺へ伝搬する際の予測計算法の試案がまとめられたので、その内容を紹介する。

2. 調査研究の経過

調査委員会ではまず国鉄、私鉄の協力を得て既往のデータの収集を行い、次に電車騒音が周辺へ伝搬する状況の実態調査を実施した。昭和52年度は平坦と高架の鉄道からの騒音が家屋のない開放地へ伝搬する状況を調べ、昭和53年度は高架から家屋の密集した市街地へ伝搬する場合について調査し、その伝搬性状を把握することに努めた。またこれらの実態調査を補足する測定も随時行われた。

更に昭和53年度には、小林理学研究所に委託して家屋密度の異なる市街地に対する騒音伝搬について模型実験による検討が行われた。これらの調査結果をもとに、内外の鉄道騒音伝搬の予測に関する研究を参考にして予測計算法の試案が作成された。内外においてもこの種の研究例は少なく、そのうち、既に公表されているものについても、車両形式、速度、軌道及び高架の構造などの条件が今回の目的とは異なる場合が多く、これらを参考にしつつも独自の立場で検討を行った。

3. 高架鉄道からの騒音伝搬予測に関する基本的考えかた

3.1 騒音源のモデル

列車騒音はいくつかの音源から発生した騒音が複合したものと考えられ、単純化したモデルを考えて図-1に示すように $A_1 \sim A_4$ を主たる音源とすることとした。このうち A_3 のレール継ぎ目音、 A_4 のタイヤフラット音については車輪やレールの状態によって騒音のレベルが大きく変わるので、予測の対象とすることは大変むずかしい。そこで今回の推定計算式では列車騒音が A_1 の転動音、 A_2 の効果構造物音の2種類の音源で構成されているものとした。なお今後研究が進みデータが蓄積されれば A_3, A_4 を基本的な推定計算に対する補正項として統計的な方法で取入れることが可能と考えられる。またパンタグラフから発生する騒音も新幹線と異なり、在来線では特に大きな要素ではないとして取上げなかった。

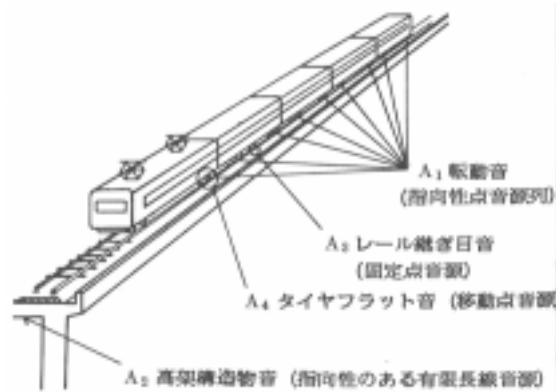


図-1 列車騒音の諸音源のモデル化

3.2 騒音レベルの表示方法

鉄道騒音の測定方法、評価方法に関しては、新幹線騒音に対する測定方法として昭和50年7月に環境庁告示第46号の規定があるのみで、在来線については統一的方法は決められていない。

列車走行時の騒音レベルの時間的な変動に関するレベルレコーダの記録をみると、在来線では新幹線と異なり、列車の種類、整備状況、レールの状態などによってレベル変動が大きく、そのパターンも列車ごとに大きく変化しているのが普通である。そこ

* Draft Proposal of the Prediction of Noise from Elevated Railway

** K.ishii (Institute of Industrial Science, Univ.of Tokyo), M.Koyasu (Kobayashi Institute of Physical Research), Y.Cho and H. Koba (Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Gov.)

で今回は列車通過時の平均的大きさを表す量として、次に示す騒音レベルのエネルギー平均値 (\bar{L}_A) を用いることとした。

$$\bar{L}_A = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{A(i)}}{10}} \right) \quad (\text{dB(A)}) \quad (1)$$

ここで $L_{A(i)}$ は、図-2 に示すように Slow 特性で測定した騒音レベルがピーク値より 10dB(A) 小さい値を超えている時間 T について、等時間間隔 Δt ごとに離散的に読取った騒音レベルである。

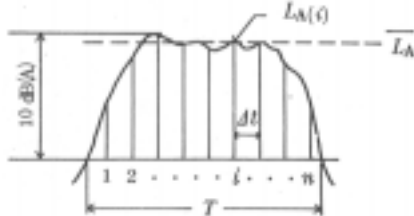


図-2 列車通過時の騒音レベルの表示

なお、将来 Slow 特性のピーク値を予測する場合には、エネルギー平均値 (\bar{L}_A) に対して実測データの解析から得られる統計的な補正値を加算する方法が適当と考えている。

3.3 騒音レベル推定のための基本式

前にのべたように高架鉄道からの騒音を転動音 (A_1) と高架構造物音 (A_2) を主音源と考え、これらの伝搬を表わす基本式について考える。

(1) 転動音の伝搬

井川らの研究¹⁾によると、列車の転動音は図-3 に示すように嗜好性、有限長音源と考えるのが妥当であり、線路中心から距離 r_1 の点 P における音響エネルギー密度 E は次の式で表される。

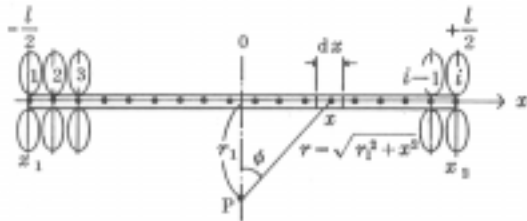


図-3 転動音のモデル (指向性、有限長音源)

$$E = \int_{-l/2}^{+l/2} \frac{W_1 \cos^2 \phi dx}{2\pi(r_1^2 + x^2)^{3/2}} \\ = \frac{W_1 r_1^2}{2\pi c} \left[\frac{1}{2r_1^3} \left\{ \frac{(x/r_1)}{1+(x/r_1)^2} + \tan^{-1} \left(\frac{x}{r_1} \right) \right\} \right]_{-l/2}^{+l/2} \quad (2)$$

ここで W_1 : 単位長さ当りの転動音のパワー、 $\cos^2 \phi$: 転動音の指向性を表わす係数、 c : 音速、である。

この式で $x_1 = -x_2 = -l/2$ (l : 列車長) とおき、レベル表示すると次式となる。

$$L_{A_1} = L_{W_1} - 8 - 10 \log_{10} r_1 \\ + 10 \log_{10} \left[\frac{(l/2r_1)}{1+(l/2r_1)^2} + \tan^{-1} \frac{l}{2r_1} \right] \quad (3)$$

ここで、 L_{W_1} : 単位長さ当りの転動音のパワーレベル。

(2) 高架構造物音の伝搬

高架構造物音は、列車の走行による高架床版の振動に伴って床版の下側の面から放射される騒音であり、指向性をもつ有限長線音源と考えられる。この高架構造物音の伝搬は次式で表される。

$$L_{A_2} = L_{W_2} - 8 - 10 \log_{10} r_2 \\ + 10 \log_{10} \left[(\cos^n \theta) \left(\tan^{-1} \frac{1}{2r_2} \right) \right] \quad (4)$$

ここで、 L_{W_2} : 高架構造物音の単位長さ当りパワーレベル、 r_2 : 床版中央と受音点の距離、 $\cos^n \theta$: 指向性を表わす係数 ($n=1$ とする)、 θ : 床版中央での法線に対する受音点の方位角 (図 4 参照)。

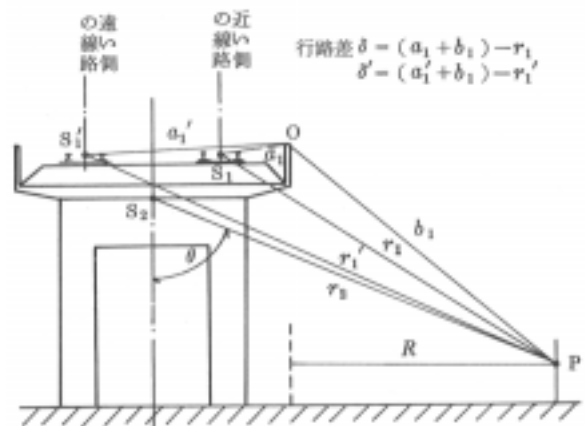


図-4 高架鉄道騒音の伝搬経路

なお、床版上面からの放射音は床版上に敷いたバラス等によって放射が小さくなり、そのパワーは下側の放射音あるいは転動音のパワーに比べて十分小さいと考えられるのでここでは無視することとした。

4. 騒音レベルの推定計算方法

以上の考察に基づいて、次のような騒音レベルの推定計算方法の案がまとめられた。

4.1 適用範囲

この推定計算方法は、在来線を列車が走行するときその軌道から約 10 ~ 100 m の距離における騒音レベルの概略値を試算するために用いられるもので、次の条件が満たされるときにのみ適用される (この範囲は将来研究が進めばより広いものに改められるであろう)。

線路が平坦で直線であること

レール継ぎ目を溶接したロングレールであること

列車速度は50～120km/hの範囲で、注目する区間において速度変化がないこと

構造形式は鉄筋コンクリート・ラーメン高架橋とし、鋼桁橋は対象としない

列車の種類は中・近距離通勤用電車とし、電気機関車にけん引される列車、内燃車及び特に短い編成の列車は対象としない

バラスト軌道であること

保線の状況が良好であること

車両の整備が良好で車輪に著しいフラットがないこと

4.2 騒音レベルの推定計算式

項か鉄道からの騒音レベル L_A を推定する場合に次の式を用いることとした。

$$L_A = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{A1}}{10}} + 10^{\frac{L_{A2}}{10}} \right) + \alpha_H \quad (\text{dB(A)}) \quad (5)$$

ここで、 L_{A1} (転動音)、 L_{A2} (高架構造物音)、 α_H (市街地における伝搬に伴う騒音レベルの減衰を表わす補正值) は以下の各式によって求める。

(1) 転動音 L_{A1}

$$L_{A1} = L_{W1} - 8 - 10 \log_{10} r_1 + 10 \log_{10} \left[\frac{(l/2r_1)}{1+(l/2r_1)^2} + \tan^{-1}(l/2r_1) \right] + \alpha_d \quad (\text{dB(A)}) \quad (6)$$

L_{W1} : 列車の転動音を指向性有限長線音源と仮定したときの単位長さ当りパワーレベル (dB(A))

l : 列車長

r_1 : 軌道中心 (レールレベル高) と受信点の距離

α_d : 高欄等の遮蔽効果による騒音レベルの減衰を表わす補正值で図-9から求める。

(2) 高架構造物音 L_{A2}

$$L_{A2} = L_{W2} - 8 - 10 \log_{10} r_2 + 10 \log_{10} \left[\cos \theta \left(\tan \frac{l}{2r_2} \right) \right] \quad (\text{dB(A)}) \quad (7)$$

L_{W2} : 高架構造物音の単位長さ当りのパワーレベル (dB(A))

r_2 : 床版中央と受信点との距離

θ : 床版中央での法線に対する受信点の方位角、なお $\theta \geq 90^\circ$ の場合は $L_{A2} = 0$ とする。

5. 音源のパワーレベルの推定

在来線の列車騒音について従来公表されている資料でパワーレベルの推定計算に利用できるものは大

変少なく、ことに高架鉄道の騒音源を転動音と構造物音の2種類に分けてそれぞれのパワーレベルを計算できる資料は皆無といってよい。したがって、ここでは今回の作業の一環として行われた現況調査による実測データに基づいて計算した資料によることとした。実測地区と列車数は次の通りである。

常磐線 綾瀬付近 22 列車 (52 年度測定)

中央線 吉祥寺付近 23 列車 (53 年度測定)

常磐線 亀有付近 34 列車 (53 年度測定)

5.1 転動音のパワーレベルの算出

転動音を直接計測できる高架の高欄上に設置したマイクロホン M_1 (図-5参照) により測定した各列車の騒音レベルのエネルギー平均値 L_{A1} をもとに、式(6)の関係 ($\alpha_d = 0$) からそれぞれの列車の転動音のパワーレベルを計算し、列車速度との関係を示すと図-6のようになる。この結果から相関式を求めると、

$$L_{W1} = 23 \log_{10} V + 60.5$$

となったが、数値を丸めて次式に使うことにした。両者の差は50～120km/hの範囲では1dB(A) いないである。

$$L_{W1} = 25 \log_{10} V + 57 \quad (\text{dB(A)}) \quad (8)$$

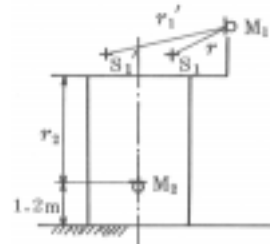


図-5 転動音及び構造物測定位置

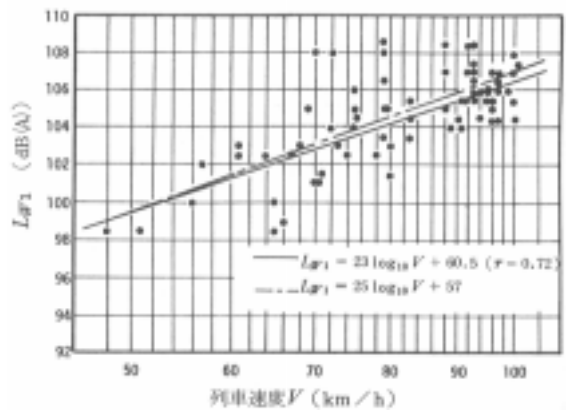


図-6 転動音パワーレベル (L_{W1}) と速度 (V) の相関

5.2 構造物音のパワーレベルの算出

転動音の影響が無私できると思われる高架直下の地上1.2mに設置したマイクロホン M_2 により測定した各列車の騒音レベルのエネルギー平均値 L_{A2} をもとに、式(7)の関係 ($\theta = 0$) からそれぞれの列車の構

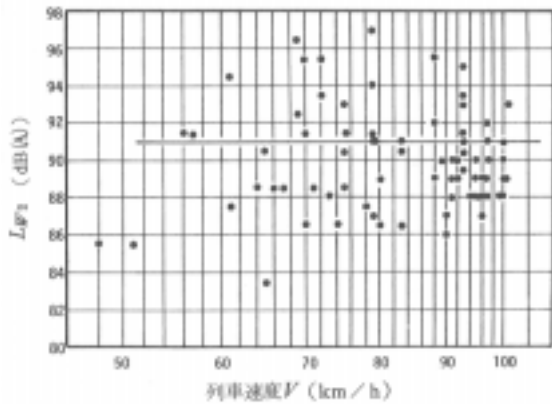


図-7 構造物パワーレベル (L_{w2}) と速度 (V) の相関

造物のパワーレベルを計算し、列車速度との関係を示すと図-7のようになり、50～120km/hの範囲では速度との相関は認められず、次式のようになった。

$$L_{w2} = 91 \quad (\text{dB(A)}) \quad (9)$$

6. 回折による音の伝搬

転動音による騒音レベルの推定計算式(6)に含まれる補正值 α_0 は、高架の高欄等による回折の影響を考えたものである。転動音の回折については、近似的に線状音源と考えて山下・子安による一般的な障壁による回折の計算図表²⁾から求められるが、周波数により異なるので、列車ごとのスペクトルを求めて細かい計算が必要である。しかし現況調査を行って求めた長さ資料のうち、RCラーメン構造の高架区間である常磐線・綾瀬・亀有、中央線・吉祥寺、京

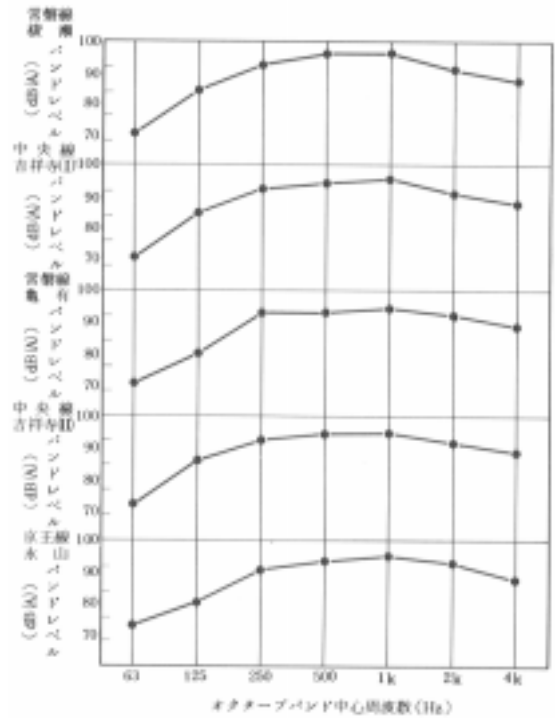


図-8 各線列車転動音の周波数特性 (O.A.100dBとした相対レベル)

王線・永山における、近距離通勤用電車走行時の高欄上測定点で得られた転動音の周波数特性は図-8に示すように近似しており、各周波数ごとに線状音源に対する計算図表を用いて障壁の有無によるレベル差を求め、全周波数に対する騒音レベルの差(補正值 α_0) と行路差 δ との関係を求めると図-9のようになる。

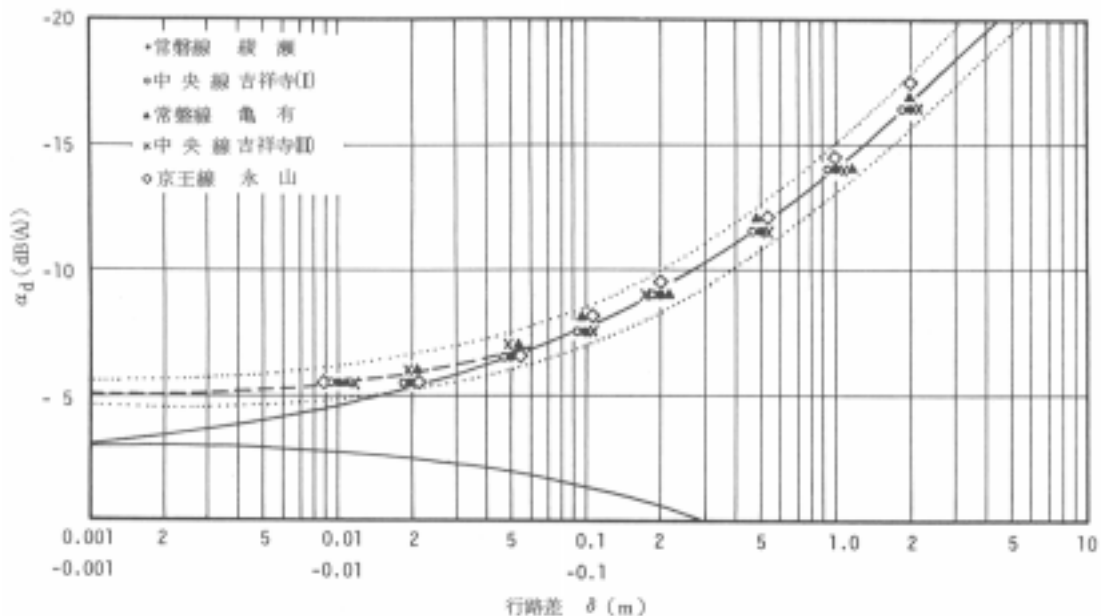


図-9 補正值 α_0 の計算図表

転動音の周波数特性によって同一行路差 δ に対する補正值 α_d の値には多少の差があるが、ここで整理した電車騒音の範囲では α_d の値の偏差は最大でも $\pm 1\text{dB(A)}$ 以内であるので、その平均値を結んだ図-9の点線で代表させることができると考えた。

ただし補正值 α_d としては、日本音響学会がとりまとめた道路交通騒音の推定計算方法³⁾ にならって、 $\delta = 0$ のとき $\alpha_d = -3\text{dB(A)}$ となるように修正した図の実線を使用することにした。

7. 市街地における騒音の伝搬

家屋が立ち並んでいる市街地を高架鉄道からの騒音が伝搬するとき、これらの建物は遮蔽物、反射物として寄与するため、その形状・寸法、配置などの条件によって複雑な様相を呈する。このためある特定地点について予測するには複雑な計算を必要とし、かつ騒音伝搬経路が単純な場合でないとい計算がむずかしい。そこで騒音が建物の群立する地域に伝搬する場合、建物のない開放された空間を伝搬する場合より過剰に減衰することを予想し、マクロな立場から市街地の中小家屋群をランダム配置モデルに置き換えて模型実験による検討を行い、建物によって開放された空間を伝搬する場合より過剰に減衰する量を求めることとした。なおこの実験は小林理学研究

所で実施された。

この建物による過剰な減衰は次の諸要因に關係することが予測され、実験的にも確かめられた。

騒音の周波数構成

騒音源の地表面からの高さ

騒音源と受音点との距離

周辺に群立する家屋の密度

受音点の地表面からの高さ

実際の市街地は道路による区画割によって家屋配置が多様であるが、ここではランダムに分布する2階建て、3階建ての中小家屋を想定し、1/40模型によって家屋密度と高架高さを変えて、転動音の平均的なスペクトルの騒音に対する過剰減衰量を求めた。中小家屋が群立する地域における騒音の減衰傾向は、単純な距離減衰よりも急激に減衰し、家屋の密度と音源、受音点の高さをパラメータとして距離との關係を求めた結果をグラフに書き、図-10が得られた。この実験結果から過剰減衰を与える補正值 $\alpha_{H,2}$ を求め実験式として式(10)、式(11)を導いた。

$$\alpha_{H,2} = -\frac{12.5}{H+25} \left(\frac{N}{2}\right)^{0.8} \left\{1 - \exp\left(-\frac{R}{100}\right)\right\} \quad (10)$$

$$\alpha_{H,5} = -\frac{10}{H+20} \left(\frac{N}{2}\right)^{0.8} \left\{1 - \exp\left(-\frac{R}{100}\right)\right\} \quad (11)$$

$\alpha_{H,2}$: 受音点の高さ 1.2 m の場合の補正值

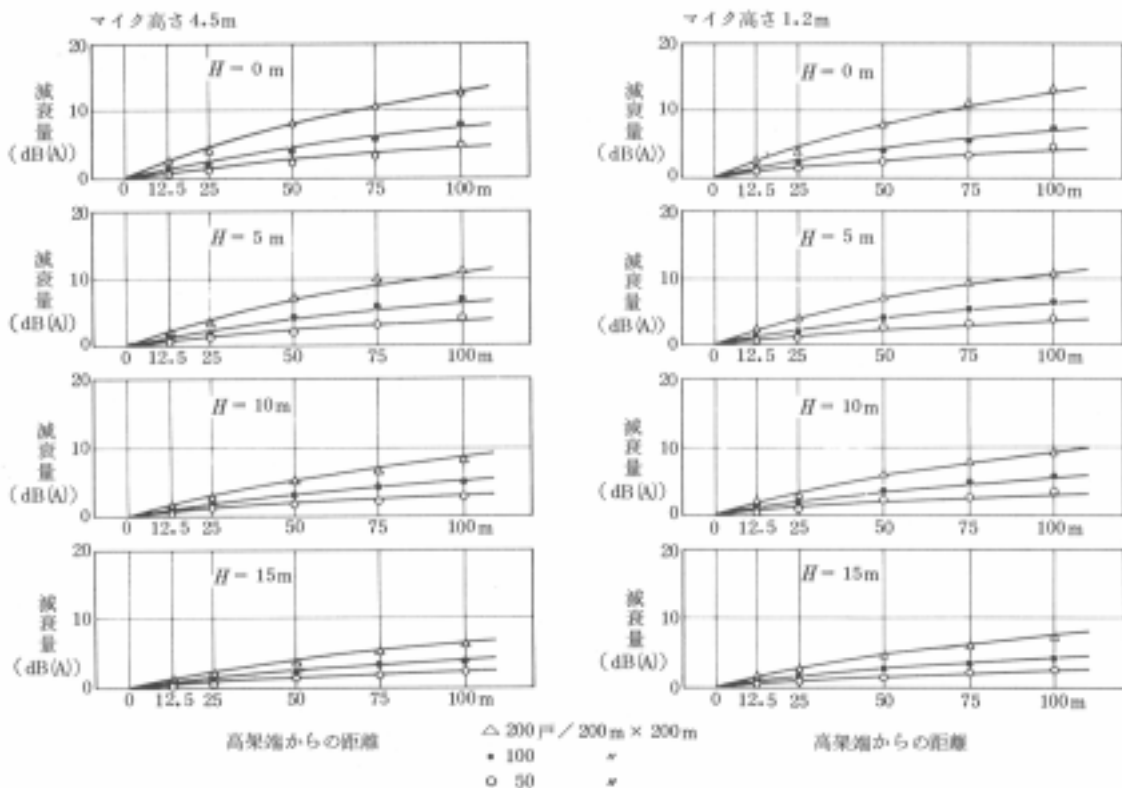


図-10 模型実験から求めた家屋密度と過剰減衰の關係 (Hは高架高さ)

$\alpha_{H4.5}$: 受音点の高さ 4.5 m の場合の補正值 (dB(A))
 H : 高架高さ (m)
 N : 家屋密度 (戸数 / 200 m × 200 m) (一戸の大きさは 100m² として実験が行われた。)
 R : 高架端から受音点までの距離

なおこの補正值は、騒音源が車輪とレールの接触位置にあると仮定して求めたものである。

8. 予測計算値と実測値の対応

8.1 平坦開放地における対応

実態調査を行った地区のうち、高架の片側が広く開けていた常磐線綾瀬地区について、本文で述べた予測計算法により求めた計算値と実測値との対応を調べた。この結果は図-11 のようで、高架中心から 9.4 m, 12.5 m, 25 m, 50 m の距離で地上 1.2 m の点における計算値と実測値との差を示している。両者の差は高架中心から 9.4 m 及び 12.5 m の地点では上り電車 12 本, 下り電車 10 本それぞれの平均でともに 1dB(A) 以下であるが、25 m 地点では 1 ~ 2dB(A), 50 m 地点では 4 ~ 5dB(A) 実測値のほうが小さくなっている。

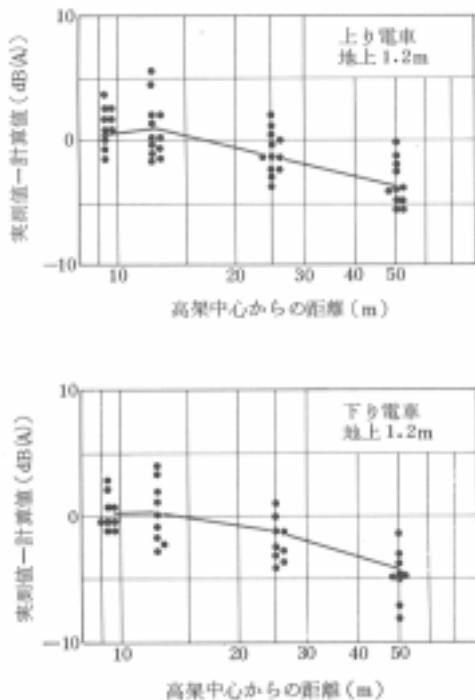
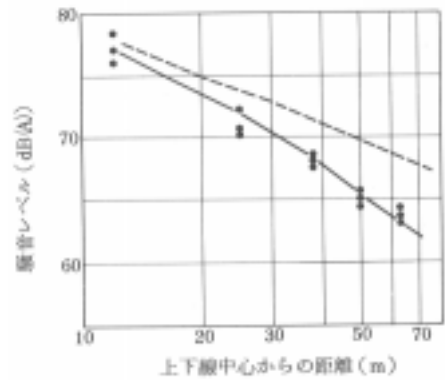
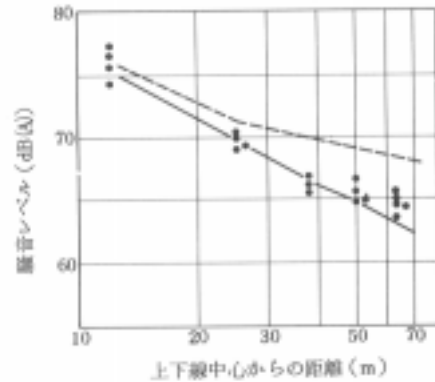


図-11 平坦開放地における実測値と計算値の差 (常磐線綾瀬地区)

このように、高架からの距離とともに実測値が計算値より小さくなる傾向があるのは、計算式の中に地表面による吸収が含まれていないためと考えられる。したがって日本音響学会の道路交通騒音の予測式³⁾における α_i に相当する補正值が必要と思われる



(a) 電車が測定点側のレールを通過したとき



(b) 測定点とは反対側のレールを通過したとき

図-12 市街地における実測値と計算値の対応 (常磐線亀有付近)
 $GL-RL: 7.34m, N: 160戸/(200m \times 200m)$

が、いまだこれを求めるためのデータが蓄積されていないのが現状である。

8.2 市街地における対応

市街地を伝搬する際の過剰減衰について、補正值を予測に適用した場合の実際との対応を常磐線亀有付近について検討した結果の一例は図-12 のようである。図中の破線は、周辺が開放と改訂して計算したもので、実線はこれを式(10) で補正した計算値である。・は実測値で、この例は実測値と計算値がよく一致しているが、中央線吉祥寺付近の一例は図-13 のようで、測定値のちらばりが大きくなっている。これらの例からも分るように計算値と実測値の対応は大変よいものと、それほどでないものがあり、その原因は不明の点が残されている。

9. 今後の問題点

この予測手法を実用化するために、今後早急に検討すべき事項として次のような項目があげられる。

沿線の地表条件などによる補正
 列車騒音のピーク値とエネルギー平均値の差の

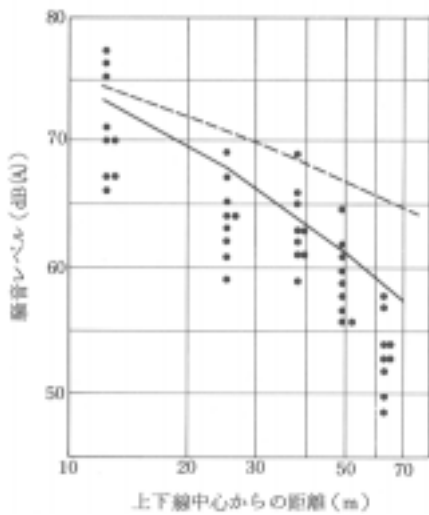


図-13 市街地における実測値と計算値の対応(中央線吉祥寺付近)(電車が測定点側のレールを通過したとき)
GL-RL: 6m, N 180戸/(200m×200m)

検討

列車騒音のパワーレベルの検討とデータ収集
 計算値と実測値の対応の検討
 大型建物による遮蔽の効果
 その他

10. おわりに

この予測手法案は更に多くのデータ収集, 検討と改善を要する試案であり, 今ただちに広く実用に供

しうる洗練された手法ではないが, 今後改良が加えられ一日も早く実用化されることを期待するものである。

なお, この研究を行った鉄道騒音予測調査委員会のメンバーは次のとおりである。

〔委員〕 石井聖光(委員長), 橘秀樹(東大生産技研), 子安勝, 山下光康(小林理研), 依田和夫(前任), 佐藤本次郎(後任)(建設省都市局), 荒木英昭(前任), 村山弘治(後任)(建設省都市局), 中島浩(前任), 近藤秀明(前任), 松村優(後任)(建設省都市局), 下田公一(建設省都市局), 荒井昌昭(国鉄鉄道技術研究所), 山本強, 高木登, 森川和夫(国鉄東京第二工事局), 今泉信夫, 中村信一(東京都公害研)

〔事務局〕 東京都建設局

〔作業班〕 深谷信(都市計画協会), 佐津川太郎, 柳沢満夫, 川東光三(東日交通コンサルタント), 加来治郎(小林理研)

参考文献

- 1) 井川他: 鉄道車両の走行による車外騒音の軽減の研究(第2報), 鉄道技術研究報告, No.738(昭46.1)
- 2) 山下他: 線状音源に対する障壁の遮音効果, 日本音響学会誌, 29巻, 4号, p.207(1973)
- 3) 石井: 道路交通騒音予測計算方法に関する研究, 日本音響学会誌, 31巻, 8号, p.507(1975)