

簡易計算機シミュレーションを用いた高架道路裏面反射音の影響

— 桁の考慮と中央値による評価 —

今井章久 今泉信夫
(東京都研員)

1 まえがき

在来道路上への高架道路の新設は、高架道路を走行する車両による騒音の他に、あるいはそれ以上に在来道路走行車両の騒音の高架道路床版での反射による増大を生む可能性がある。騒音評価に等価騒音レベル L_{eq} を用い、高架道路床版を単純な平板とみなして幾何音響学的手法を用いると、小型ディスクトップコンピュータによっても比較的容易に高架道路床版での反射の影響を予測することが可能である。¹⁾しかし、これによる予測では、床版での反射による騒音の増加は、周辺開放地では3dBを超えることはなく、現実の高架下道路における遠方走行車両の騒音の増加は表現できない。一方、現実の高架道路床版下側は単純な平板ではなく、桁などが存在し、騒音の反射も複雑である。

ここでは、高架道路の桁の存在を考慮した場合および騒音レベル評価に時間率騒音レベルを用いた場合の幾何音響学的シミュレーションを小型ディスクトップコンピュータで行い、高架道路下側を単純に平板とし等価騒音レベルを用いた場合と比較した。

2 高架桁の考慮

図1にモデル化した高架道路の断面を示した。実際の高架道路においてはいくつかの桁が存在するが、ここでは簡単のために2本とし、また音源となる車線はその内側にあるとする。この場合、高架桁は桁の外側に対しては遮音体であるが、内側に対しては反射体となり、水平方向に多くの虚音源を生む。

(1) 桁によって生じる虚音源

桁での反射によって生じる $-x$ 方向に k 番目の虚音源の x 座標を x_{sk} とすると、

$$x_{sk} = -k \cdot W_b + (-1)^k \cdot x_{s0} \quad [m] \dots (1)$$

W_b : 桁の幅 [m]

x_{s0} : 実音源の x 座標 [m]

として表される。ここで x_{sk} にある虚音源からの音波は桁に k 回反射して受音点に到達しうる。 $k=0$ は実音源に対応する。

(2) 受音点に到達する反射波

床版による垂直方向、そして桁による水平方向の虚音源からの音波のうち、ある高さの範囲に存在する桁によって反射され、また遮蔽されないものだけが受音点に到達する。

$-x$ 方向に l 番目の実および虚の桁の x 座標を x_{bl} とすると、

$$x_{bl} = (\frac{1}{2} - l) W_b \quad [m] \dots (2)$$

である。ここで $l=0$ は実音源と受音点との間の、 $l=1$ は反射側の実桁に対応する。 $-x$ 方向に k 番目、 y 方向に j 番目、すなわち点 (x_{sk}, y_{sj}) にある虚音源からの音波が受音点 (x_r, y_r) に到達するためには、虚

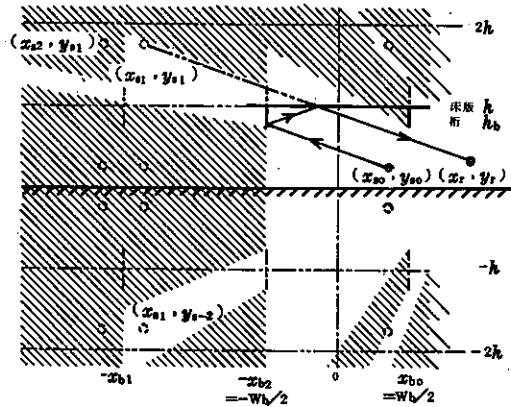


図1 床版と桁による虚音源

音源と受音点とを結ぶ直線の、 l 番目の桁における高さ、

$$y_l = (y_{sj} - y_r)(x_{bl} - x_r) / (x_{sk} - x_r) + y_r \quad [m] \dots\dots(3)$$

が、 $l=0$ においては桁以外の開口部にあたり、すなわち

$$|\text{mod}(y_l, 2h) - h| > h - h_b \quad [m] \dots\dots(4)$$

であり、更に $k \geq 1$ (虚音源) に対しては、 $1 \leq l \leq k$ のすべてにおいて桁部分、すなわち

$$|\text{mod}(y_l, 2h) - h| < h - h_b \quad \dots\dots(5)$$

でなければならない。

(3) シミュレーション例

高架道路床版を平板とみなしたプログラムに桁の存在を考慮、すなわち前述(1)、(2)を付加したプログラムによるシミュレーションを行い、考慮しない場合との比較を行った。床版によって生じる虚音源に対しては、受音位置に到達しうる虚音源の範囲、 $j_{min} \sim j_{max}$ が明確に存在するが、桁によって生じる虚音源に対しては存在しない。すなわち、シミュレーション結果において打ち切り誤差が無視できるように十分に大きな k_{max} 番目までを考慮しなければならない。ここでは桁の反射率を1とし、 $k_{max} = 3$ および10としたが、結果に差は認められなかった。

図2に桁下高さ5mで床版下高さが5, 10mの場合の等価騒音レベル分布を例として示した。地表面付近の騒音レベルはほぼ桁下高さによって定まる。地表面付近では、桁での多重反射により、水平方向に、より遠方まで反射波が影響するかの様に思われるが、桁が垂直であるこのモデルでは、高架への音波の入射角と反射角とが等しいので、桁のない場合と同様にほぼ $x > W + x_0$ では反射の影響は全くない。

3 時間率騒音レベル、中央値 L_{50} による評価

(1) 等間隔等パワーモデル

等価騒音レベル L_{eq} による評価では単位車線長当りの音源の平均パワー

$$\bar{W} = W/d \quad [W/m] \quad \dots\dots(6)$$

すなわち、走行車両の平均音響パワー W [W] と平均車頭間隔 d [m] とから予測可能であるが、時間率騒音レベル L_x による評価では走行車両の音響パワーおよび車頭間隔の分布²⁾が既知あるいは予測可能である必要があり、またそれらを適用してのシミュレーションは非常に煩雑なものとなる。ここでは等価騒音レベルと時間率騒

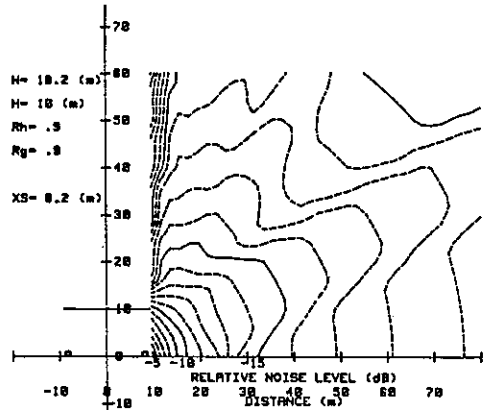
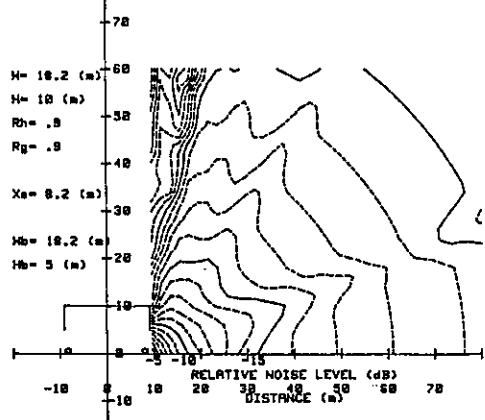
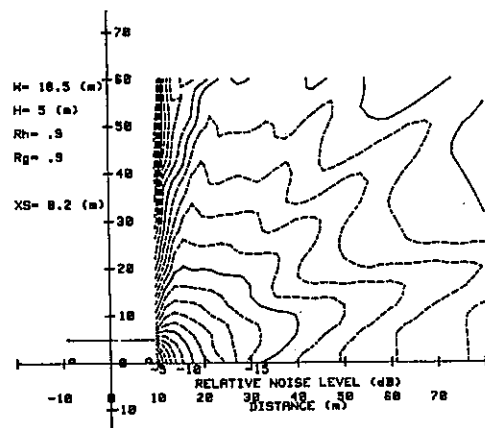


図2(a) (a) 床版下10m



(b) 床版下10m, 桁下5m



(c) 床版下5m

図2 高架桁の影響(等価騒音レベル分布)

音レベルとの高架道路床版での反射の影響評価の差の概略を求める目的で簡略化し、各走行車両の音響パワーは等しく、その車頭間隔も等しい、等間隔等パワーモデル³⁾によった。

(2) 騒音レベルの時間変化

図3の様に等パワー等車頭間隔の車線から r [m] 離れた受音点の音響エネルギー密度 E [J/m^2] は、受音点から車線への垂線の交点と、そこに最も近い車両との距離 d_0 [m] の関数として(7)式で与えられる。

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{W}{4\pi c \{(d_0 + nd)^2 + r^2\}} \quad [J/m^2]$$

$$= \frac{W}{4cd^2} \frac{\sinh(2\pi r/d)}{r/d \{\cosh(2\pi r/d) - \cos(2\pi d_0/d)\}} \quad [J/m^2] \dots\dots(7)$$

車頭間隔に対する車線からの距離 r/d をパラメータに、 d_0/d によるエネルギー密度の変化を図4に示した。車の走行により、 d_0 は時々刻々変化し、

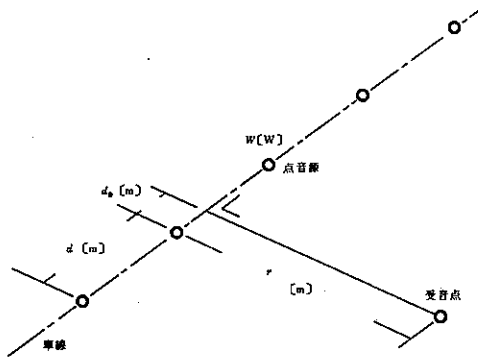


図3 等間隔等パワーモデル

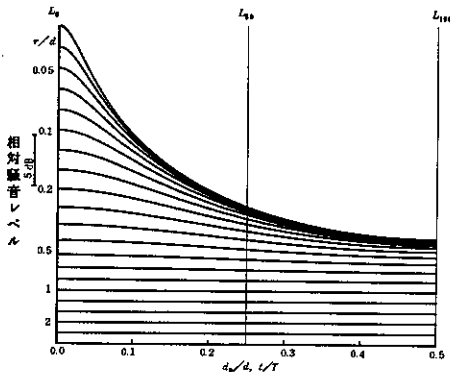


図4 騒音レベルの時間変動

$$T = d/v \quad [s] \quad \dots\dots(8)$$

$$v : \text{車速} \quad [m/s]$$

の周期で騒音レベルは変化する。

$$t = d_0/v \quad [s] \quad \dots\dots(9)$$

とおくと、 $d_0/d = t/T$ であり、図4は騒音レベルの時間変化をも示し、更に

$$t/T = X/100 \cdot 1/2$$

$$X : \text{時間率} \quad [\%] \quad \dots\dots(10)$$

におけるレベルは時間率騒音レベル L_x を示すことになる。

また、図4は d を一定として示したものであり、各曲線間のレベル差は車線からの距離減衰を示している。車頭間隔に比べて遠方、 $r/d > 1$ では $L_x = L_{eq}$ であるが、車線に近くなると、 $1/2$ 距離 3dB で上昇する L_{eq} に対して、 L_0 (最大値) は 6dB で上昇し、 L_{100} (最小値) は一定となる。なお L_{50} (中央値) などは特に、

$$E_0 = \frac{W}{4cd^2} \frac{d}{r} \coth \frac{\pi r}{d} \quad \dots\dots(11)$$

$$E_{50} = \frac{W}{4cd^2} \frac{d}{r} \tanh \frac{2\pi r}{d} \quad \dots\dots(12)$$

$$E_{100} = \frac{W}{4cd^2} \frac{d}{r} \tanh \frac{\pi r}{d} \quad \dots\dots(13)$$

として求めることができる。³⁾

(3) 車頭間隔が長い場合

車頭間隔が車線から受音点までの距離および高架高に比べて十分長い場合には、床版での反射によって生じる虚音源から受音点までの距離をすべて等しいとすることによって、床版での反射による騒音レベルの上昇を簡単に見積ることができる。すなわち地表面の反射率を R_g 、

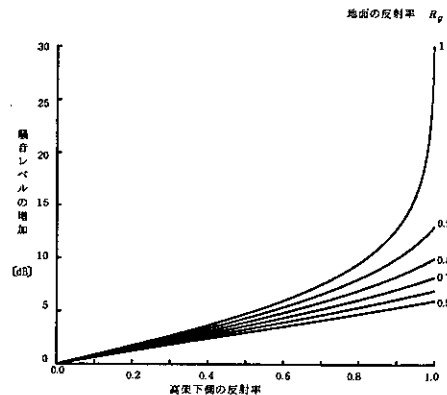
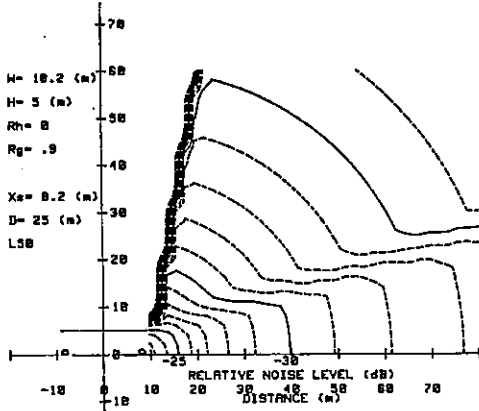
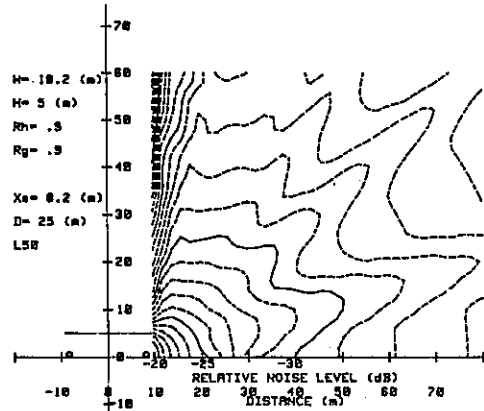


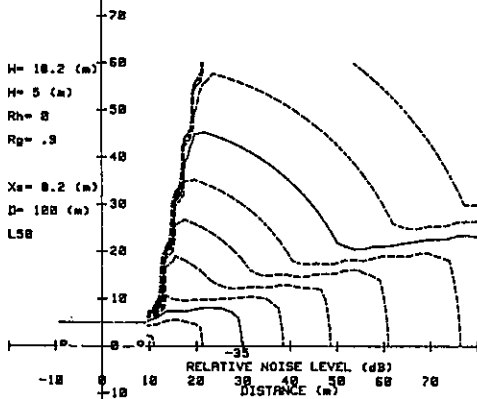
図5 車頭間隔が十分長い場合の L_{50} の増加



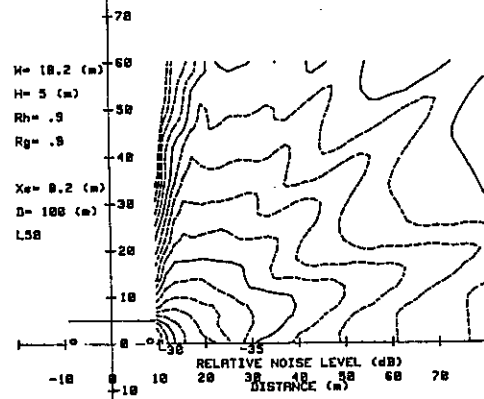
(a) 車頭間隔 25 m, 吸音



(b) 車頭間隔 25 m, 反射

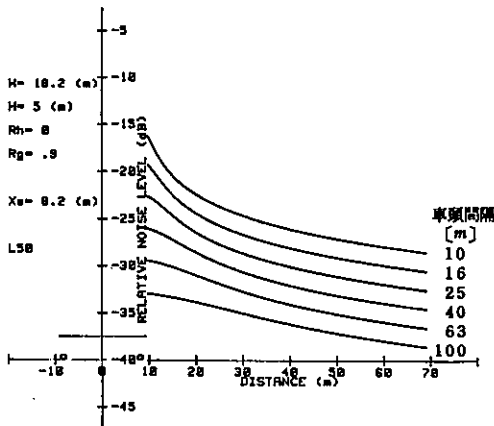


(c) 車頭間隔 100 m, 吸音

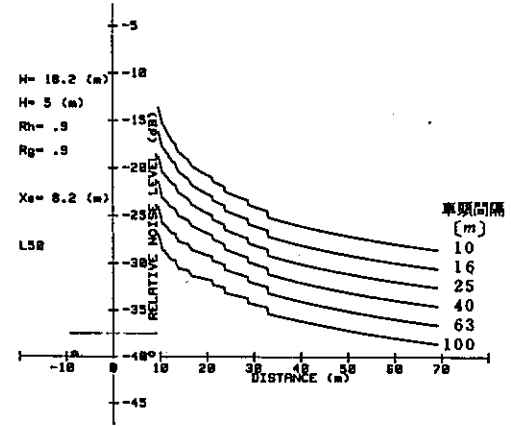


(d) 車頭間隔 100 m, 反射

図6 騒音レベル中央値 L_{50} の分布
(高架高さ 5 m, 幅 18.2 m)



(a) 吸音



(b) 反射

図7 騒音レベル中央値 L_{50} の距離減衰
(高架高さ 5 m, 幅 18.2 m, 受音高さ 1.2 m)

高架道路床版下の反射率を R_h とすると、受音点でのエネルギー密度は床版での反射によって

$$\begin{aligned}
 & 1 + R_h + R_g R_h^2 + R_g^2 R_h^3 + \dots \\
 & \quad + R_g R_h + R_g^2 R_h^2 + \dots \\
 & = (1 + R_h) \sum_{n=0}^{\infty} R_g^n R_h^n \\
 & = (1 + R_h) / (1 - R_g R_h) \quad \dots\dots(14)
 \end{aligned}$$

倍となる。そしてこれは床版での反射による騒音レベル上昇の、生じうる最大値を与える。図5に反射率と騒音レベル上昇との関係を示した。 $R_h = R_g = 0.9$ とすると騒音レベルは最大で10dB上昇する。

(4) シミュレーション例

高架道路床版を平板とみなし、等価騒音レベルによって評価を行うプログラムにおいて、受音点のエネルギー密度計算式を(12)式とすることによって、中央値 L_{50} による評価を行った。

図6は車頭間隔25mおよび100m、高架下の吸音処理有無における中央値 L_{50} の分布図であり、図7は地上高1.2mにおける距離減衰を示す。吸音処理を行った場合、高架道路の高さより低い範囲では、高架道路が無い場合と同一であり、車頭間隔が長いと車線に近づいても中央値はあまり大きくならない。吸音処理を行わない場合には垂直方向に生じる虚音源により、車頭間隔による減衰曲線の差は小さくなる。そして高架道路床版での反射による道路端での中央値の増加は車頭間隔が長いほど大きく、この例では車頭間隔25mで4dB、100mで6dBであった。図8にこれらの場合の騒音レベルの時間変化を示した。高架道路床版での反射の影響は、最大値に対しては小さいが、特に車頭間隔が長い場合には最小値の大きな上昇として現われる。

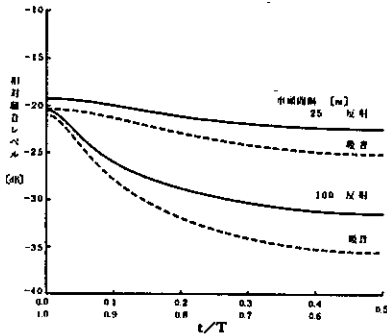


図8 騒音レベルの時間変化
(道路中心から12.5m点)

4 あとがき

小型ディスクトップコンピュータによる高架道路床版での反射の影響評価のシミュレーションにおいて、実存する桁の考慮及び等間隔等パワーモデルによる中央値での評価を行った。桁の存在の考慮は、桁によって水平方向に生じる虚音源が受音点から見えるかの判断をして、それによるエネルギー密度を加算するが、 k 番目の虚音源まで考慮すると、計算に要する時間はおよそ $(k+1)$ 倍となる。地表付近の騒音レベルの分布は桁下高さに床版がある場合にほぼ等しい。中央値による評価では、等価騒音レベルでは表現されなかった、車頭間隔が長く、車両が遠方走行時の騒音レベル上昇を示すことができる。

なお、図2、6~8はすべて相対騒音レベルとなっているが、図2については車線1mあたりの、図6~8は1車両の音響パワーレベルを加算することによって騒音レベルとなる。

今後、市街地における周辺建物の考慮など、現状により忠実なモデルの設定と共に、地表面付近などに対象範囲を制限することなどによる、より簡単なモデル化が望まれる。

参考文献

- 1) 今井章久ほか：簡易計算機シミュレーションを用いた高架道路表面反射音の影響評価，東京都公害研究所年報，209，(1984)。
- 2) 高山孝ほか：騒音予測のための非定常交通流（信号地点）調査結果，190，(1984)。
- 3) 日本音響学会編：騒音・振動（下），47，(1982)。