

# 半地下道路からの騒音の計算機シミュレーション

今井章久 高山 孝  
(非常勤研究員)

## 1 まえがき

掘割道路は、外の道路構造に比べて、その周辺地域への騒音の影響が小さいことなどから、市街地などに新設される道路構造として多用されてきている。しかし、掘割道路からの騒音の影響が小さいのは、主に走行車両を見通せない周辺開放地の地表面付近であり、地表から高い部分や、周辺が建物で囲まれた所では、掘割道路としての長所は期待できない。

ここでは、掘割道路上部の開口面積を小さくし、半地下構造とした場合の騒音レベル分布を、2通りの簡単なモデルによって検討した。なお、このような道路構造からの騒音レベルの分布は、逆L字型遮音壁を設置した一般道路にも同様に適用できる。

## 2 道路から放射される全騒音エネルギー

道路から放射される騒音は、道路構造によって異なる指向特性を持っているが、その大きさを見積もるために、道路から放射される全音響エネルギーを考える。これは、各道路構造に対する簡単なモデルを用いて、単位長あたりの音響パワーレベルによって、次のように表すことができる。

### (1) 平坦道路

その道路を走行する車両から放射される単位長あたりの平均音響パワーレベル  $L_{w0}$  そのものであり、例えば日本音響学会式<sup>2)</sup>によれば、

$$L_w = L_{w0} = 87 + 0.2 V + 10 \log_{10} (a_1 + 10 a_2) - 10 \log_{10} d \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

である。ここで、 $V$ は速度 (km/h)、 $d$ は平均車頭間隔 (m)、 $a_1$ 、 $a_2$ はそれぞれ小形、大形車類混入率 ( $a_1 + a_2 = 1$ ) である。

### (2) 掘割り道路

掘割道路においても、路面や側壁面において音響エネ

ルギーの吸収がなければ、上部開口面から放射される音響パワーレベルは平坦道路におけると同様に  $L_{w0}$  に等しい。しかし、図1 (a) のような道路側壁面が吸音処理されている場合には、車両から放射される音響エネルギーの一部が吸収されて、道路外へ放射される音響エネ

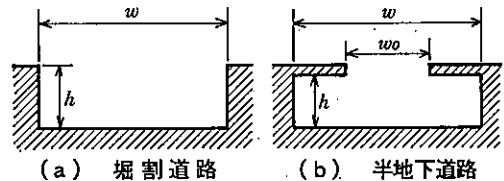


図1 道路から放射される全音響パワー

ルギーは減少する。吸音処理された側壁面は、そこに入射する直接音の音響エネルギーだけを完全吸音すると仮定すると、道路から放射される音響パワーは開口面積の立体角に比例するので、音響パワーレベル  $L_w$  は

$$L_w - L_{w0} = 10 \log_{10} \{ 2 / \pi \cdot \tan^{-1}(w / 2h) \} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

となる。ここで、 $w$ は道路幅 (m)、 $h$ は吸音処理の高さ (m) である。

### (3) 半地下道路

掘割道路上部の開口面積を小さくした、図1 (b) のような半地下道路の開口面から放射される音響パワーレベル  $L_w$  は、道路内が拡散音場となっているとすると、

$$L_w - L_{w0} = 10 \log_{10} \{ w_0 / (w_0 + 2h) \} \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

ここで、 $w_0$ は開口幅 (m) である。

### (4) 計算例

図2は(2)、(3)式を示したものである。より一般性を持たすために、パラメータは開口面積  $S$  (m<sup>2</sup>) に対する等価吸音面積  $A$  (m<sup>2</sup>) の比、 $A/S$  としてあるが、各

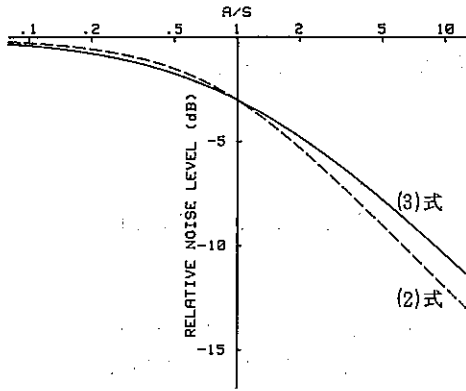


図2 道路から放射される全音響パワーの相対レベル

式に対して、 $A/S = 2h/w$ 、 $= 2h/w_0$ であり、開口幅の1/2に対する完全吸音処理の高さである。

$A/S \leq 1$ では二道路構造に対するモデルに差はなく、 $A/S = 1$ における吸音処理による放射音響パワーレベルの減少は3dBである。 $A/S > 1$ においては $A/S$ が2倍、すなわち例えば吸音面積の2倍又は開口面積の1/2倍ごとに、ほぼ3dBずつレベルは減少する。 $A/S \gg 1$ では、(2)式が $10 \log(2/\pi \cdot S/A)$ 、(3)式が $10 \log(S/A)$ となつて、(2)式のモデルの方が2dB小さくなる差が生じるが、このような状態は(2)式、すなわち掘割道路としては非現実的である。従つて、 $A/S$ の全ての範囲にわたつて(3)式を適用するのが妥当であろう。

開口面積を小さくすることによる騒音低減効果は、開口面積と同程度以上の等価吸音面積となる吸音処理を施さなければ、ほとんど得られない。

### 3 音響学会式を準用した計算モデル

半地下道路から放射される騒音の分布を、道路側壁面や上部天井面での反射によって生じる虚車線に対しても日本音響学会式を適用することによって求める。

#### (1) 計算手法

基本的には日本音響学会式を用いるが、いくつかの点で拡張や変更を行う。

#### ア 虚車線

半地下道路の側壁面や上部天井面での反射によって生

じる、 $x$ 方向に $i$ 、 $y$ 方向に $j$ 番目の虚車線の座標( $x_{si}$ 、 $y_{sj}$ )は図3に示されるように、道路での1回反射までを含めた実車線の座標を( $x_{s0}$ 、 $y_{s0}$ )とすると、

$$x_{si} = wi + (-1)^i x_{s0} \dots\dots\dots (4)$$

$$y_{sj} = 2hj + y_{s0} \dots\dots\dots (5)$$

として表される。ここで、 $i$ の絶対値は、虚音源から受音点までの側壁での反射回数、符号は $x$ 方向の最後の反射側壁が $x$ 座標の+側か-側かを、 $j$ の絶対値は、虚音源から受音点までの天井面での反射回数、符号は $y$ 方向

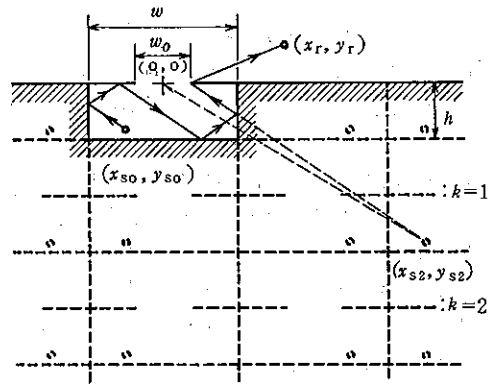


図3 半地下道路における虚車線

の最後の反射面が天井面か道路面かを示す。なお簡単のために、上部の天井と開口の厚さは0mとする。

#### イ 道路外へ放射される反射音

虚車線は $x$ 軸と $y$ 軸方向に無限に存在するが、 $y$ 軸方向に生じる虚車線は開口が存在する上部天井面での反射によるものであり、道路外への影響の大きさはそれぞれで異なる。これを求めるためには、虚天井面での反射においても回折を考慮しなければならず、非常に複雑となるが、ここでは簡単のために、音波は直進し壁面や天井面では鏡面反射をすると仮定する。すなわち、道路内の反射面を全て鏡面とし、更に実開口面中央から見通せる虚車線からだけ、反射においては回折の影響を受けずに、道路外へ騒音が放射されるとした。この場合、図3の細破線のように、 $k$ 番目の虚天井面での反射すべて( $1 \leq k \leq j$ )において、音線が天井を通過する、すなわち次式の条件を満たす虚車線だけが外部に騒音を放射すると判断し、考慮する。条件を満たさない虚車線は無視する。したがって最後に天井面に反射する虚車線( $j$

<0) は、全て無視することになる。

$$| \bmod (2hk\alpha_{si}/y_{si}, w) | - w/2 | < (w-w_0)/2 \dots\dots\dots (6)$$

$$(1 \leq k \leq j)$$

ウ 虚車線の平均音響パワーレベル

虚車線からの騒音は反射面の反射率と反射回数に応じて、その見掛けの平均音響パワーレベルが小さくなると考えることができる。

$$L_{wij} = L_w + 10 | i | \log R_x + 10 | j | \log R_{y+} R_{y-} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 $R_x$ 、 $R_{y+}$ 、 $R_{y-}$  はそれぞれ側壁、天井、道路面の音の強さの反射率である。

エ 開口端での回折による補正值

堀割道路、半地下道路から放射される騒音は道路開口端で回折する。回折はx軸の正負両側の開口端で生じるが、どちらか一方に対しては受音点から虚車線が見通せる状態となるので、回折による補正值としては、それぞれによる補正值 $\alpha_{di+}$ 、 $\alpha_{di-}$ の和とする<sup>1)</sup>

$$\alpha_{di} = \alpha_{di+} + \alpha_{di-} \dots\dots\dots (7)$$

補正值は外部へ放射すると判断した虚車線について、虚天井面では開口部を通過しても反射するとして、改めて図3の太破線のように、それぞれの<sup>1)</sup>実開口端を通る音線を引き、行路差 $\delta$ から簡単な近似式を用いて求めた。なお、道路側壁が反射性の場合に日本音響学会式で行う $\alpha_d$ の2dBの減少は、ここでは反射の影響を虚車線の存在として考慮しているので行わない。

オ 伝搬距離による補正值

日本音響学会式では伝搬距離による補正值 $\alpha_i$ を道路構造に応じて加算するが、ここでは $\alpha_i = 0$ とし、これによる補正は行わない。

カ 周辺建物での反射

道路周辺が建物で囲まれている場合には、建物外壁での反射によって、騒音レベルは大きくなる。これは建物外壁での反射をも含めて虚車線を考えてもよいが、一方では建物外壁に対する虚受音点( $x_{ri}$ ,  $y_r$ )を設定し、実受音点に対応する虚受音点における騒音レベルをエネルギー加算することによって求めることができる。

$$\alpha_{ri} = w_{bl} + (-1)^l \alpha_{r0} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $w_b$  は建物外壁距離 (m)、 $\alpha_{r0}$  は実受音点の $\alpha$ 座標、 $l$  は建物外壁での反射回数である。

(2) 計算例

前記計算手法を用いて、堀割道路と中央部の開口を残

して外の周辺部を塞いだ半地下道路、道路側壁の吸音処理の有無、周辺建物の有無の8通りの組み合わせについて、道路に垂直な面上の騒音レベル分布を求めた。道路の幅は30m、深さ5m、半地下の場合の開口幅は15m (道路幅の1/2)、道路面、天井、側壁、建物の反射率は0.9とし、吸音処理を施した場合の側壁の反射率は0.0 (完全吸音) とした。側壁での反射は10回 ( $-10 \leq i \leq 10$ ) までとしたが、建物に囲まれている場合の建物での反射回数は、道路側壁での反射回数との合計が10回までとして制限した ( $-(10-|i|) \leq i \leq (10-|i|)$ )。天井での反射は5回まで ( $0 \leq j \leq 5$ ) を考慮した。

上下線の中央に、それぞれ速度50km/h、交通量2000台/h、大形車類混入率0.1の実車線を設定し、平均音響パワーレベルの算出にあたっては、昭和65年規制に対して修正した日本音響学会式を用いた。なお、堀割道路についても開口幅を道路幅と一致することによって半地下道路と同一手法のプログラムを用いた。道路周辺が開放されている場合の結果は前報<sup>1)</sup>と一致するが、建物に囲まれている場合には、計算手法の違いにより、若干の差異が生じた。なお、この計算例において、天井面での反射の影響が現れるのは半地下道路で吸音処理を行わない場合だけである。

図4に周辺開放堀割道路、図5に周辺開放半地下道路、図6に周辺建物堀割道路、図7に周辺建物半地下道路の、それぞれ側壁吸音処理の(a)無、(b)有の場合を示した。

ア 吸音処理の効果

吸音処理を行うことによって、騒音レベルは減少する。減少量は、建物に囲まれた堀割道路などの実車線が見通せる受音点での2~3dBが最も少なく、建物に囲まれても半地下道路や開放地の地表付近で、実車線が見通せない受音点に対しては10dB程度である<sup>1)</sup>。

イ 周辺建物の影響

周辺が建物で囲まれると、その内部の騒音レベルは上昇する。周辺が開放されているときの $\alpha$ 軸方向の騒音レベル分布が $\gamma$ 軸方向に比べて大きい場合に、騒音レベルの上昇は大きくなる。地上高20mまでの道路端での上昇量は、吸音処理を行った場合の5dBから、行わない場合の7dBまでである。開口面上の騒音レベルは変化しない。

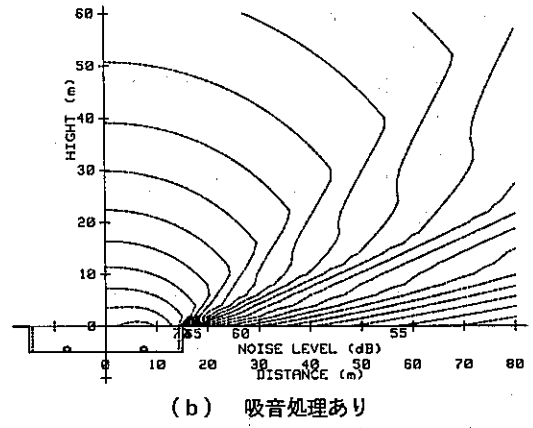
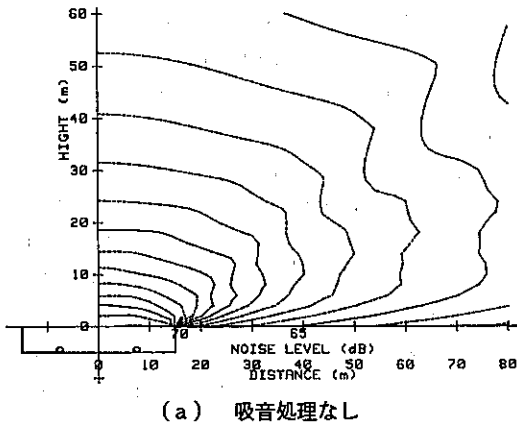


図4 周辺開放の掘割道路

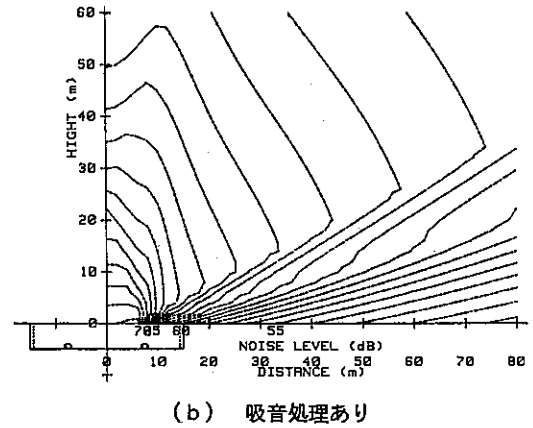
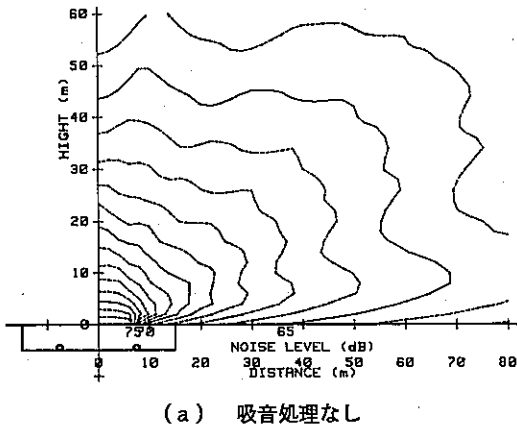


図5 周辺開放の半地下道路

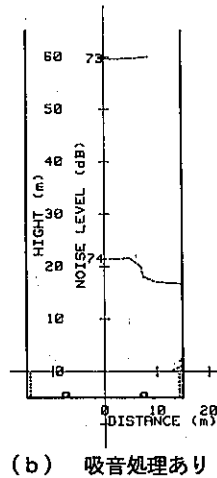
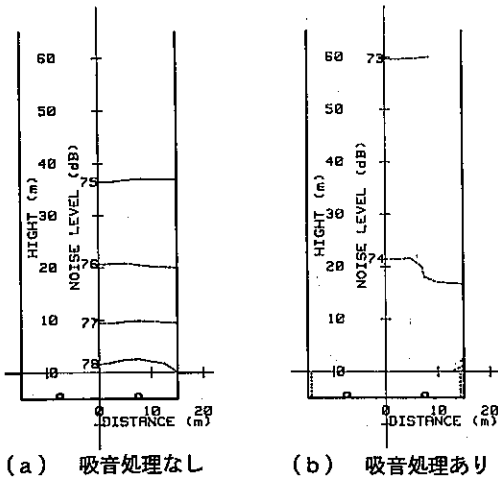


図6 建物に囲まれた掘割道路

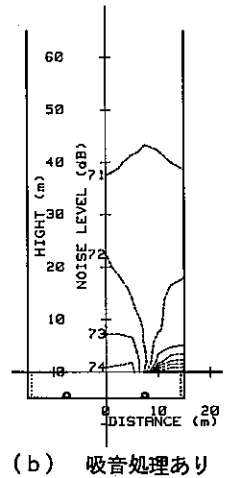
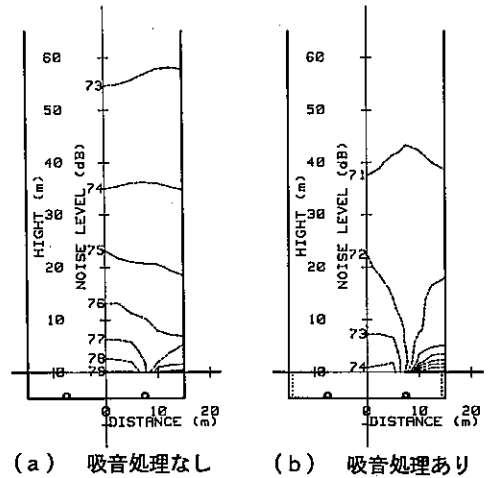


図7 建物に囲まれた半地下道路

#### ウ 半地下化の効果

掘割道路の開口を狭くして半地下化することによる騒音レベルの減衰は、吸音処理を行った場合の地表面上で3dB、道路端では8dBであるが、吸音処理を行わない場合にはほとんど期待できない。

#### 4 あとがき

半地下道路からの騒音レベルを、そこから放射される全音響パワーレベルを簡単なモデルによって見積もり、また道路側壁や天井面での反射によって生じる虚の車線に対しても日本音響学会式を適用して求めた。道路を半地下化することによる騒音レベルの低減は、道路内を吸音処理することによって、等価吸音面積と開口面積との

比に応じて得られるが、吸音処理を行わない場合にはほとんど期待できない。半地下構造における一層の、効率的な騒音低減を得るために、道路内での吸音処理の最適<sup>3)</sup>配置や開口部への吸音ルーバー<sup>3)</sup>の設置などについての検討が望まれる。

#### 参考文献

- 1) 今井章久: 掘割り道路側壁での反射音の影響, 東京都環境科学研究所年報, 185, (1987)
- 2) 日本音響学会編: 騒音・振動(下), 47, (1982)
- 3) 山本貢平他: 自動車道ルーバーの音響効果, 日本騒音制御工学会講演論文集, 185, (1984, 9)