

(34) 低層遮音壁による減音効果の予測・評価に関する研究

Study on prediction and evaluation of sound attenuation by low noise barriers

上坂克巳*, 大西博文*, 鉢嶺清範*, 千葉隆**, 高木興一***

Katsumi UESAKA*, Hirofumi OHNISHI*, Kiyonori HACHIMINE*, Takashi CHIBA**, Koichi TAKAGI***

ABSTRACT ; This paper presents practical methods for predicting and evaluating sound diffraction by plural low noise barriers erected with intervals. First of all, two calculating methods for sound diffraction by the plural barriers of finite length are verified by a model test. Secondly, we propose the section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level ($SA \cdot L_{Aeq}$) and the section-averaged insertion loss ($SA \cdot IL$) as evaluation indices and show through mathematical simulations that the $SA \cdot IL$ depends on the opening ratio of the barriers regardless of the position of the openings. Finally, we also propose a simple practical method for calculating the $SA \cdot IL$ by the low noise barriers.

KEYWORDS ; Low noise barriers, Plural finite length barriers, Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level ($SA \cdot L_{Aeq}$), Section-averaged insertion loss ($SA \cdot IL$), Road traffic noise

1 はじめに

都市内の一般道路における道路交通騒音対策の一手法として、高さが1 m程度の低い遮音壁（以下、「低層遮音壁」といい、本論文では、特に板状のものを指し植栽柵のような奥行きを有するものは含めない。）に関する研究が行われているが、まだ実際の騒音対策手法として広く普及していない。この原因の1つとして、低層遮音壁の減音効果の予測、評価のための実用的な手法が確立していないことが挙げられる。

減音効果の予測の困難性は、都市内の街路に設置することが多い低層遮音壁が交差道路の存在、沿道建物への自動車の出入りのため開口部を有することによる。言い換えれば、低層遮音壁は、複数の有限長障壁の集合体とみることができるが、その減音効果に関する従来の研究では、開口部がなく連続して設置されている場合を対象としているものが多い^{1)・2)}。また、山本、高木らは、半無限障壁による減音効果の組み合わせとして単独の有限長障壁の回折効果を計算する実用的な方法を提案し、それによる計算結果を自由空間における模型実験により検証しているが^{3)・4)}、平坦道路に遮音壁を設置する場合のように反射面を有する半自由空間での検証は行われておらず、複数の有限長障壁の回折効果に関しては具体的な計算式は示されていない。さらに、低層遮音壁の開口部の影響の計算例も見受けられるが⁵⁾、これについても複数の有限長障壁の回折効果を計算できる式としては示されていない。

一方、開口部の存在は、減音効果の評価にあたっても問題となる。一般に道路交通騒音の評価は、対象とする道路空間の騒音を代表する地点を評価地点として選定して行われることが多い。しかし、開口部を有する複数の低層遮音壁を設置した場合は、評価地点と開口部の位置関係において減音効果が複雑に変化するため、代表性のある評価地点を選定することが困難である。したがって、評価区間全体の減音効果を代表して示す評価指標が必要である。しかし、道路交通騒音の評価に、区間全体の騒音レベルを代表して示す指標を用い、その有効性について検討したものはほとんどみられない。

したがって、本論文では、低層遮音壁の回折効果の予測及び評価のための実用的方法を考案することを目的とする。まず、複数の低層遮音壁の回折効果を計算する方法として、半無限障壁による減音量の組み合わせによる方法及び上方の回折効果だけを考える方法を示し、それらの適合性を模型実験等により検証する。

*建設省土木研究所交通環境研究室 (Traffic Environment Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction)

**株式会社オリエンタルコンサルタンツ (Oriental Consultants Co., Ltd.)

***京都大学工学部 (Environmental and Sanitary Engineering, Kyoto University)

次に、評価区間全体の平均的な道路交通騒音レベルを表す指標として区間平均等価騒音レベルを提案し、この評価量を用いて区間平均挿入損失を求めることにより、低層遮音壁による減音効果は、近似的に開口部の位置にかかわらず開口率により求められることを、数値シミュレーション結果により示す。最後に、低層遮音壁設置による区間平均挿入損失を求めるための実用的な簡易計算法を提案する。

2 低層遮音壁の回折効果の計算方法

低層遮音壁を複数の有限長障壁の集合体としてとらえ、それによる回折効果を計算する方法を2通り示し、それらの適合性を模型実験により検証する。

2.1 半無限障壁による回折減音量の組み合わせとして求める（上方及び側方の回折を考慮する）方法

(1) 単独の有限長障壁による回折減音量

山本、高木ら^{3), 4)}によると、単独の有限長障壁（図-1 網掛）による回折減音量（正の値） $\Delta L_{i \sim s}$ は、点音源Sと予測点Pの間に無限平面を考え、図-1 に示すような4本の直線 X1, X2, Y1, Y2 で分割される九の領域からの音の寄与を考え、半無限障壁による減音量の組み合わせとして以下のように求められる。

$$\Delta L_{i \sim s} = -10 \log_{10} \left\{ 10^{-\Delta L_{i \sim 13}/10} + \left(10^{-\Delta L_{0 \sim 5}/10} - 10^{-\Delta L_{i \sim 13}/10} \right) \left(10^{-\Delta L_{i \sim 14}/10} + 10^{-\Delta L_{i \sim 13}/10} \right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 ΔL_i は、領域*i*が開放されている場合の減音量である。

(2) 複数の有限長障壁による回折減音量

まず、二つの同一高さの有限長障壁の場合を例に上げ、2.1 (1)の方法を応用して、その回折効果を算出する方法を示す。図-2 ①の網掛部のうち C_0 及び C_{14} が記入された空間が、二つの並んだ有限長障壁を示している。①における音の寄与 $C_{1 \sim 5, 11 \sim 13}$ （エネルギー量）を求めるには、②及び③における音の寄与を加え、④における音の寄与を除けばよいので、①における減音量は

$$\begin{aligned} \Delta L_{1 \sim 5, 11 \sim 13} &= -10 \log_{10} \left(\frac{C_{1 \sim 5, 11 \sim 14} + C_{0 \sim 5, 11 \sim 13} - C_{0 \sim 5, 11 \sim 14}}{C_{0 \sim 14}} \right) \\ &= -10 \log_{10} \left(10^{-\Delta L_{1 \sim 5, 11 \sim 14}/10} + 10^{-\Delta L_{0 \sim 5, 11 \sim 13}/10} - 10^{-\Delta L_{0 \sim 5, 11 \sim 14}/10} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

となり、二つの有限長障壁の減音量についても、単独の有限長障壁による減音量、ひいては半無限障壁の減音量の組み合わせで求めることができる。

同様にして、*n* 個の有限長障壁による減音量 ΔL を算出する場合は、以下の式で求められる。

$$\Delta L = -10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{-\Delta L_i/10} - (n-1) \times 10^{-\Delta L_0/10} \right\} \quad (3)$$

ここで、 ΔL_i (*i*=1 ~ *n*)は*i* 番目の有限長障壁による減音量、 ΔL_0 は、底辺部の半無限障壁による減音量である。

なお、底辺部の半無限障壁が共通であれば、複数の有限長障壁の高さが異なっても(3)式が適用できることは明らかである。

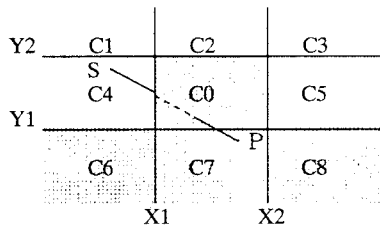


図-1 有限長障壁の回折効果計算のための空間分割模式図（山本、高木らによる^{3), 4)}）

①音の寄与 $C_{1 \sim 5, 11 \sim 13}$

C1	C2	C3	C11	C12
C4	C0	C5	C14	C13
C6	C7	C8	C9	C10

②音の寄与 $C_{1 \sim 5, 11 \sim 14}$

C1	C2	C3	C11	C12
C4	C0	C5	C14	C13
C6	C7	C8	C9	C10

③音の寄与 $C_{0 \sim 5, 11 \sim 13}$

C1	C2	C3	C11	C12
C4	C0	C5	C14	C13
C6	C7	C8	C9	C10

④音の寄与 $C_{0 \sim 5, 11 \sim 14}$

C1	C2	C3	C11	C12
C4	C0	C5	C14	C13
C6	C7	C8	C9	C10

図-2 二つの同一高さの有限長障壁の減音量算定のための模式図

(3) 複数の低層遮音壁の設置による挿入損失

複数の低層遮音壁を一般道路に設置する場合は、底辺部の半無限障壁の上端の位置（図-1 では Y1 の位置にあたる。）に地面があると考える。その際の低層遮音壁設置による挿入損失 IL は、底辺部の半無限障壁の減音量 ΔL_0 を(3)式から差し引き、次式で与えられる。

$$IL = -10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{-\Delta L_i/10} - (n-1) \times 10^{-\Delta L_0/10} \right\} - \Delta L_0 \quad (4)$$

ただし、開口部を有する低層遮音壁においては、(3)式と(4)式の差異（ $-\Delta L_0$ の項の有無）が、騒音レベルのエネルギー平均値に与える影響は、通常（予測点の高さが 1.2m 以上）、無視できるほど小さい。たとえば、後述する図-4、図-5 の計算条件では、その影響は 0.2dB 以下である。

2.2 上方の回折効果だけを考える方法

最も単純な計算方法としては、遮音壁上方の回折効果だけを考える方法がある。これは、音源と測定点を直線で結んだパス上に有限長障壁（または低層遮音壁）が存在する場合のみ、水平のエッジを有する半無限障壁を想定してその上方の回折効果を計算する方法である。

2.3 模型実験値との比較

(1) 実験方法

二つの低層遮音壁が設置された場合について、縮尺比 1/10 の模型実験を無響室で行い、実験値と計算値の比較検討を行った。低層遮音壁の材料として、厚さ 5mm のアクリル板（反射性）を用い、車道面、歩道面にも厚さ 3mm のアクリル板（反射性）を敷設した。音源にはジェットノイズの点音源を用い、中心高さ 4cm（実物換算で 0.4m となる。以下、距離などはすべて実物換算で表示する。）で、低層遮音壁に沿って平行に移動させ、低層遮音壁背後の音圧レベルの変化を測定し、1/3 オクターブバンド周波数分析を行った。

図-3 に実験配置を示す。遮音壁は、車道面からの高さ 1m、延長は 5m と 10m の二つを 3m 間隔で設置した。音源は、4 車線の幹線道路の近車線側の中心（低層遮音壁から 4m）を 0.25m 間隔で 40m の区間にわたって移動させた。測定点は、延長 10m の遮音壁及び開口部の中央で、遮音壁の後方 5m（植樹帯を有する幅員 5m の歩道を想定）の高さ 1.4m（歩道面からの高さを 1.2m とし、歩道の車道面からのマウンドアップを 0.2m と見込んでいる。）の 2 地点とした。

(2) 実験値と計算値のユニットパターンの比較

実験値と計算値との比較検討を行う。音圧レベル（SPL）の計算値は、音源（高さ 0m）のパワーレベル（PWL）と半自由空間における距離減衰（距離 r ）及び低層遮音壁による挿入損失 IL を用いて、

$$SPL = PWL - 8 - 20 \log_{10} r - IL$$

により求めた。 IL の算出は、(4)式の方法と 2.2 の方法を用いて行った。音源には 1 台の自動車を想定し、そのパワースペクトルとして 80km/h 以下の自動車走行騒音の代表スペクトル⁶⁾（対象周波数は 100Hz ～ 2.5kHz とした。）を与え、PWL は 100dB（A 特性）とした。半無限障壁の回折効果については、1/3 オクターブバンド毎に前川の実験チャートから求めることとし、その数式表現⁷⁾を計算プログラムに用いた。

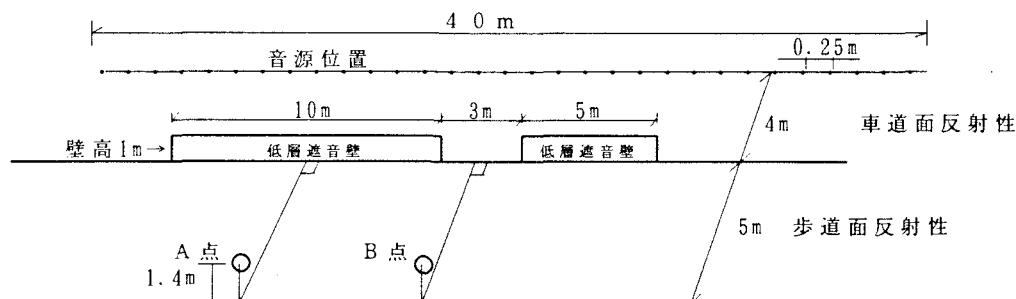


図-3 模型実験の配置

一方、実験値の算出に当たっては、別途、音源の *PWL* を測定し、音源のパワースペクトル及び *PWL* が計算値における設定と一致するように、1/3 オクターブバンド毎の一定の補正を各測定値に対して行った。

図-4、図-5 に計算値と模型実験値のユニットパターンの比較結果を示す。ただし、実験値は図の都合上、音源の移動間隔を 0.5m として表示している。これらによると、測定点である A 点、B 点の両方において、(4)式を用いた計算結果は、実験結果と非常によい対応を示しており、(4)式は二つの低層遮音壁の回折効果の計算に十分利用できることが明らかとなった。また、上方回折だけを計算する方法は、予想されたとおり階段状の騒音レベル（A 特性における音圧レベルをいう。以下、同じ。）の変化を示したが、遮音壁の背後及び開口部の中央付近では実験値とよい整合を示している。さらに、音源を 40m の区間移動させた時の騒音レベルのエネルギー平均値（ L_{eq} に相当）を比較すると、A 点、B 点の両方において、(4)式を用いた方法及び 2.2 の方法とも実験値とよい整合を示しており、計算値と実測値の差は 0.2dB 以下である。

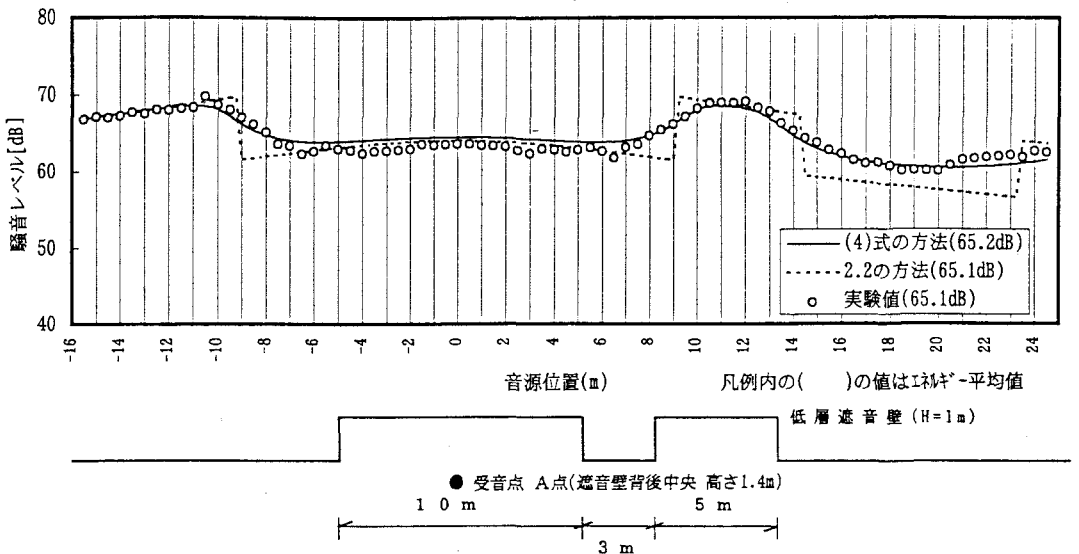


図-4 計算値と模型実験値のユニットパターンの比較（遮音壁背後A点）

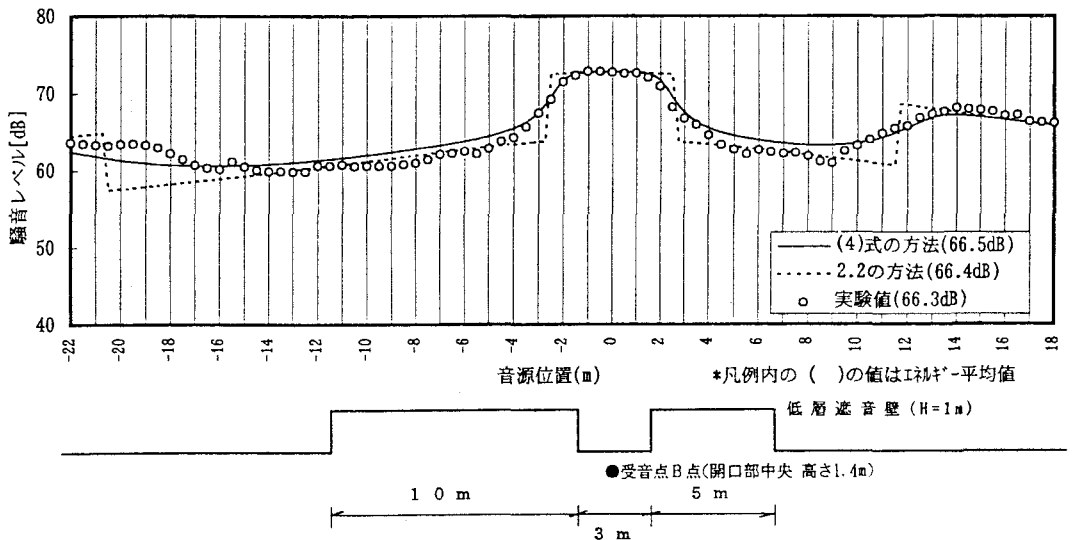


図-5 計算値と模型実験値のユニットパターンの比較（開口部背後B点）

3 低層遮音壁による減音効果の区間評価

3.1 区間平均等価騒音レベル

本論文における低層遮音壁の設置区間及び評価区間の定義を図-6 に示す。設置区間とは、複数の低層遮音壁を設置する場合において、各々の低層遮音壁が設置されている区間を指し開口部は除く。評価区間とは、評価の対象となる区間で、図-6 のように一街区を想定している場合は街区全体となり、両端の低層遮音壁の外側に空間が存在する場合はその空間も含める。

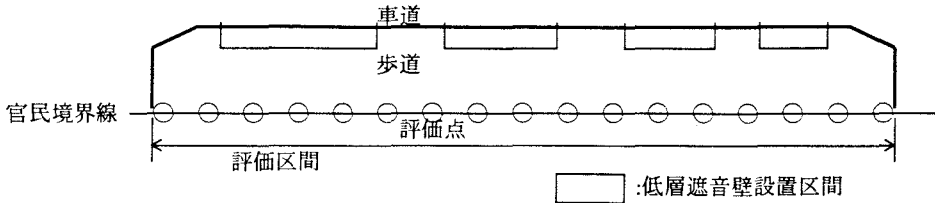


図-6 低層遮音壁の設置区間と評価区間の定義

低層遮音壁は歩道上の車道との境界に設置されるが、沿道建物と車道の間で車の出入り等があるため、その設置が困難な区間が存在する。なお、評価区間が一街区より長くなることもあり、その場合は街区の切れ目、すなわち交差道路と接続する部分も開口部となる。道路交通騒音の評価は、その評価区間の騒音の状況を代表する官民境界（道路端）上の歩道面からの高さ 1.2 m の地点で行われることが多いが、図-6 で示すような場合、道路交通条件及び低層遮音壁の高さが一定であっても、道路端における騒音レベルは、開口部と評価点の位置関係により複雑に変化し、評価区間を代表する評価点の選定は困難である。

したがって、ここでは、等価騒音レベル L_{Aeq} の評価区間全体にわたるエネルギー平均値を、評価区間の騒音レベルを代表する指標として新たに定義し、これを、区間平均等価騒音レベル（Section-averaged equivalent continuous A-weighted sound pressure level, $SA \cdot L_{Aeq}$ ）と呼ぶこととする。つまり、

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} 10^{L_{Aeq}(x)/10} dx \right) \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

と表せる。ここで、 x_1 、 x_2 は、評価区間の始まりと終わりの点を示す。

実用的には、 $SA \cdot L_{Aeq}$ は等間隔に配置した n 箇所の評価点の等価騒音レベルから、

$$SA \cdot L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Aeq}(i)/10} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

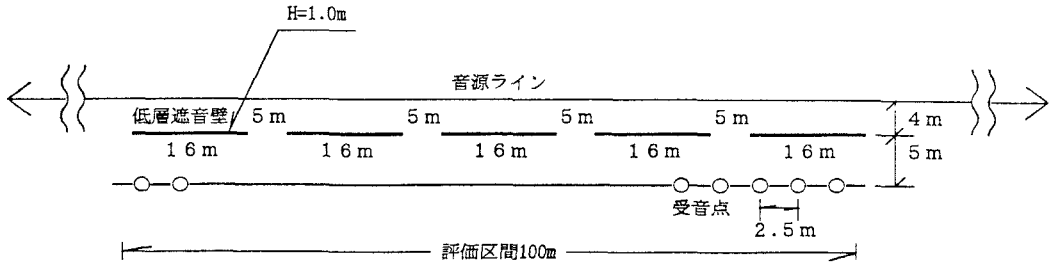
として、求めることとなる。

なお、この指標の物理的意味は、ある評価区間が一定時間に受ける音のエネルギーを、時間的かつ空間的に平均化した場合の騒音レベルである。また、評価区間の定め方によって本指標の値は変化するため、評価区間設定の際には注意を要する。

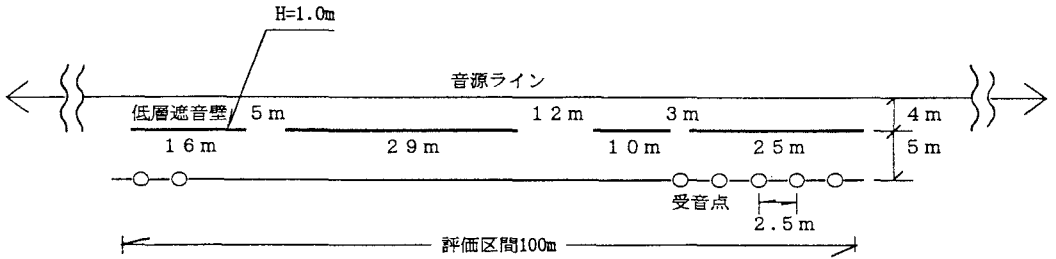
3.2 区間平均挿入損失と低層遮音壁群の開口率の関係

図-7 に示すように、図-3 と同様の横断面を有する無限長道路において、一般的な一街区を想定し 100m の評価区間を設定した。低層遮音壁群の開口率（評価区間延長に対する低層遮音壁が設置されていない区間の総延長の割合をいう。）は 20% と同じだが、遮音壁の数、設置位置が異なる 2 種類の場合を想定した。ただし、いずれの場合も、評価区間の両端と低層遮音壁群の両端は一致させた。評価区間は 2.5m 間隔で 40 等分し、各区間の中央で官民境界上、車道面からの高さ 1.4m に 40 の評価地点を設定した。

遮音壁設置前後における各評価地点の L_{Aeq} の差を挿入損失 (Insertion Loss, IL) として求め、さらに、評価区間の $SA \cdot L_{Aeq}$ の差を区間平均挿入損失 (Section-averaged Insertion Loss, 以下、 $SA \cdot IL$ と表す。) と新たに定義して求めることとした。 $SA \cdot L_{Aeq}$ は、40 の評価地点における L_{Aeq} から (6) 式により求めた。なお、ここ



(a) 五つの低層遮音壁を均等に設置した場合



(b) 四つの低層遮音壁を不規則に設置した場合

図-7 無限長直線道路に設置した低層遮音壁

では無限長道路を想定しているため、遮音壁設置前においては、 L_{Aeq} の評価区間にわたる分布は一定であり、 $SA \cdot L_{Aeq}$ と一致する。

交通条件は、近車線側の片側時間交通量は 1000 台、走行速度 60km/h、大型車混入率 15%として、各評価地点における L_{Aeq} は、基本的に、日本音響学会提案のエネルギーベース騒音予測法⁹⁾により算出した。その際、平均パワーレベルの算出には、2車種分類のパワーレベル式を用い、伝搬計算方法B法において、地表面効果による補正值 $\Delta L_g = 0$ 、気象条件による補正值 $\Delta L_m = 0$ とした。回折効果による補正值 ΔL_d の算出には、音源に 80km/h 以下の自動車交通騒音の代表スペクトル⁶⁾（ただし、対象周波数 63Hz ～ 4kHz）を与え、オクターブバンド別に回折効果の計算を行った。計算方法は、(4)式による方法（音源は 2000m 区間に 0.25m 間隔で配置）と 2.2 による方法を用いた。

2.2 による方法の具体的計算手順としては、まず、図 -8 に示す無限線音源（2000m）に対する回折計算チャート（上記代表スペクトル⁶⁾と前川の実験チャートの数式表現⁷⁾を用いて作成した。ただし、低層遮音壁設置による行路差の上限値を 1m とした。）から低層遮音壁が無限長の場合の挿入損失 IL_0 を求め、遮音壁上方の回折だけを考慮した見通し角補正を行った。

なお、見通し角法補正の方法は、以下のとおりである。ここでは、有限長の線音源から受けるエネルギー密度は、受音点から線音源の両端を見通す角度に比例するという基本原理⁹⁾を、遮音壁設置時にも拡張して適用した。つまり、無限長線音源に対して、低層遮音壁がない場合の騒音レベル L_0 、無限長の低層遮音壁を設置した場合の騒音レベルを L_1 、複数の低層遮音壁を設置した場合の騒音レベルを L_2 とすると、

$$L_2(\theta) = 10 \log_{10} \left(\frac{\theta}{\pi} 10^{L_1/10} + \frac{\pi - \theta}{\pi} 10^{L_0/10} \right)$$

と表せる。ここで、 $\theta = \sum \theta_i$ （ θ_i は評価地点から i 番目の低層遮音壁の両端を見通した時の角度 [rad]）である。さらに、この式に $L_1 = L_0 - IL_0$ を代入すれば、複数の低層遮音壁を設置した場合の挿入損失 $IL(\theta) = L_0 - L_2(\theta)$ は、次式となる。

$$IL(\theta) = -10 \log_{10} \left[1 - \frac{\theta}{\pi} (1 - 10^{-IL_0/10}) \right] \quad (7)$$

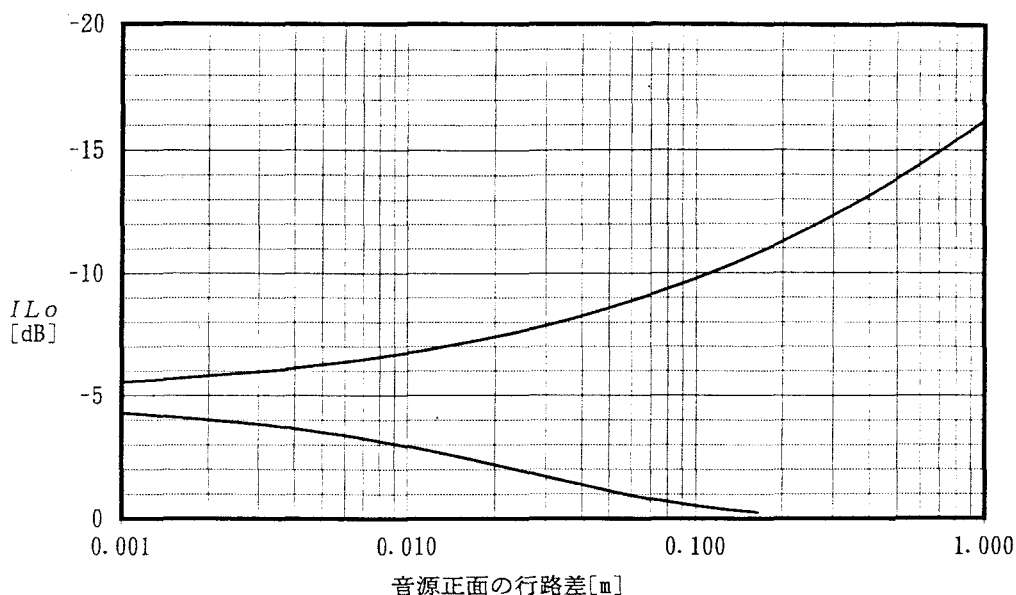


図-8 無限線音源に対する無限長低層遮音壁の回折計算チャート

図-9 に、(4)式の方法と(7)式の方法により求めた 40 の評価地点における IL の分布状況及び評価区間の $SA \cdot IL$ を示す。ここで、縦軸は、遮音壁設置後の設置前に対する相対騒音レベルである。

まず、二つの計算方法の差異を比較すると、(a)、(b)の両方の場合において、二つの方法による地点別 IL と $SA \cdot IL$ は共に非常によく一致している。さらに、開口率の異なる 7 ケース (10%及び 30 ~ 60 %) を加え、(4)式の方法と(7)式の方法により求めた $SA \cdot IL$ を比較した結果を図-10 に示す。この図でも、両方法で求めた $SA \cdot IL$ は非常によく一致している。なお、これらのケースでは、地点別 IL についても、両計算方法で求めた結果が非常によく一致していることを確認した。以上より、図-7 で示したような十分長い直線道路において同一高さの複数の低層遮音壁を設置した場合の地点別 IL 及び $SA \cdot IL$ の算出は、(7)式の方法を用いれば実用上十分であることが判明した。

次に、図-9 において、(a)、(b)二通りの場合の地点別 IL の分布状況を比較してみると、(a)においては 2dB、(b)においては 4dB 程度の変動が見られ、両者の IL の分布状況には大きな差が認めれるが、 $SA \cdot IL$ に関して、両者の差はほとんど見られない。すなわち、この結果は、低層遮音壁群の開口率が同じ場合は、開口部の位置にかかわらず、 $SA \cdot IL$ を近似的に求められる可能性があることを示唆している。

そこで、このことを確かめるため、次のようなシミュレーション計算を行った。50m、100m、200m の 3 通りの評価区間に低層遮音壁を設置し、音源正面の行路差として 0.00002m、0.031m、0.033m、0.16m の 4 通り（これらは、図-7 において、低層遮音壁の高さを 1m または 1.5m、音源位置を近車線または遠車線側とした場合に相当する。）を与えた。これら 12 通りの各ケースにおいて、低層遮音壁群の開口率を 0 % から 60%まで 1 % 刻みで変化させ、各開口率において、開口部の数、位置、延長を無作為に 40 通り程度変化させることにより、合計約 3 万通りの(7)式を用いたシミュレーション計算を行った。図-11 に遮音壁に音源正面の行路差が 0.031m（低層遮音壁の高さ 1m、音源位置は近車線）の場合の結果を示す。他の計算ケースにおいても同様の結果が得られ、これらによると、音源正面の行路差及び評価区間長が同じであれば、開口部の位置によらず、開口率から $SA \cdot IL$ をかなり高い精度で求められることが明らかとなった。また、音源正面の行路差 0.031m、評価区間長 100m で開口率が 60%と非常に大きい場合に、一つの延長 60m の低層遮音壁を評価区間の中央に設置（両側に 20m ずつの外側空間が存在）した場合及び評価区間の両側に二つの延長 30m の低層遮音壁を設置（中央に 40m の開口部が存在）した場合の極端な 2 ケースで $SA \cdot IL$ を比較したが、それでも両者の差は 0.3dB 以下と小さかった。したがって、評価区間の両側に低層遮音壁が設置されていない空間が存在する場合においても、 $SA \cdot IL$ は開口率により求められることが確認できた。

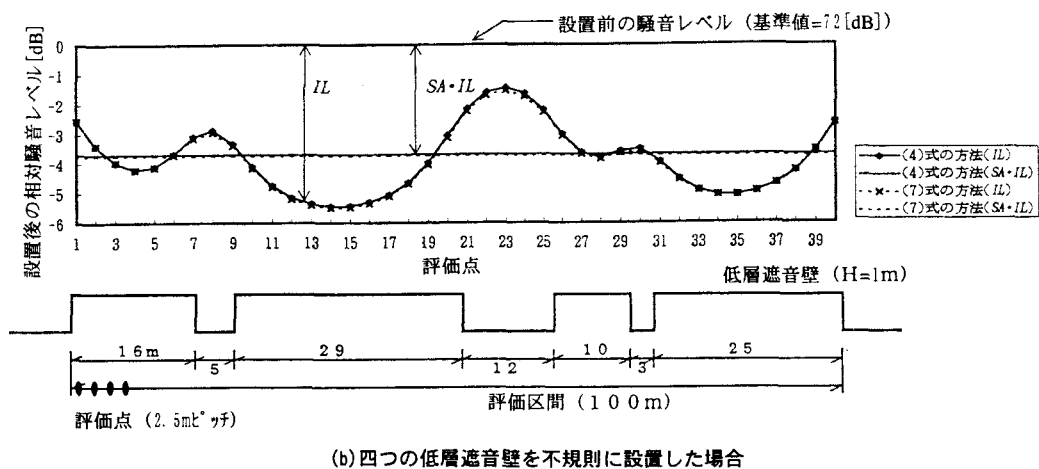
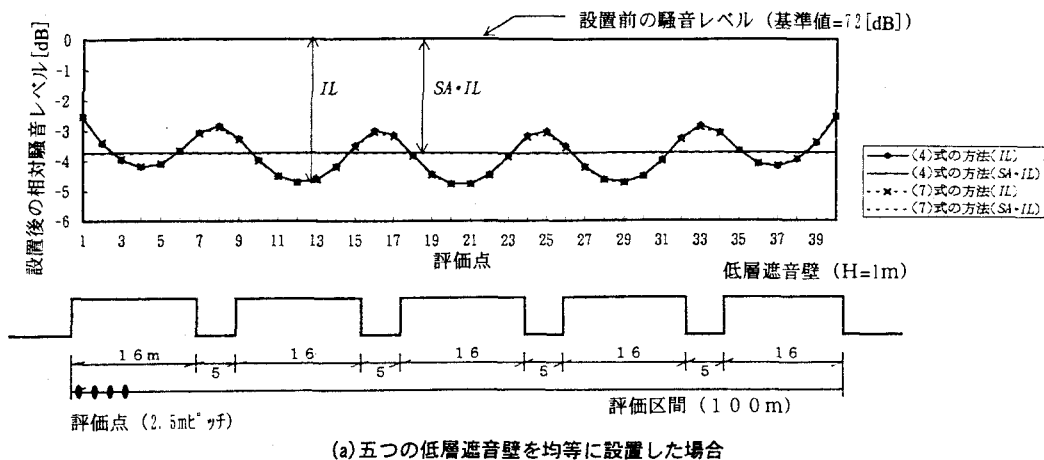


図-9 地点別挿入損失と区間平均挿入損失の計算結果の比較

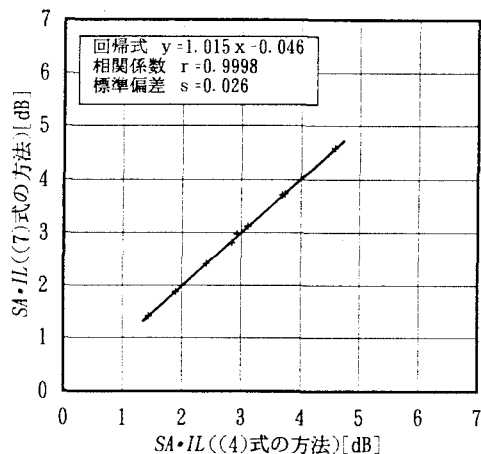


図-10 (4)式の方法と(7)式の方法による
SA·ILの計算結果の比較

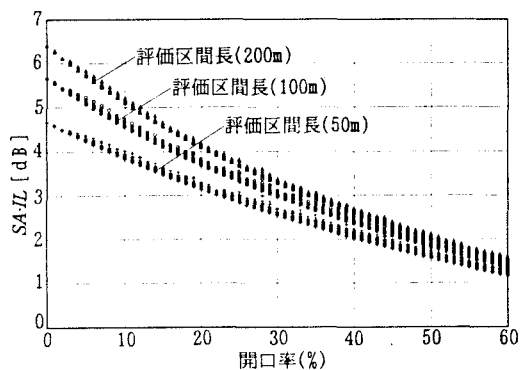


図-11 SA·ILと開口率の関係
(音源正面での行路差が0.031mの場合)

4 低層遮音壁設置による $SA \cdot IL$ の簡易計算法の提案

3.2 の検討において、十分長い直線道路に同一高さの複数の低層遮音壁を設置する場合、その減音効果を $SA \cdot IL$ として求めるときは、(4)式より簡便な(7)式による方法で実用上十分なことが明らかとなった。しかし、それでも $SA \cdot IL$ の算出には、コンピュータ等を用いた計算が必要で、実用性に優れているとは必ずしも言えない。したがって、ここでは、 $SA \cdot IL$ を簡易に求める方法を提案する。

簡易計算法の検討に際し、開口率が一定の場合は、3.2 の結果に基づき、開口部の位置による挿入損失の差は無視できるほど小さいという仮定をおいた。また、算出に当たって、①評価区間全体に連続して低層遮音壁が設置された場合の $SA \cdot IL'$ を求め、②開口率による補正を行い $SA \cdot IL$ を求めるという手順を設定した。

①の連続した低層遮音壁の $SA \cdot IL'$ については、(7)式から理論的に求めることができる。

今、評価区間の延長を l 、評価点から低層遮音壁までの距離を d とする。ある評価地点Pの評価区間の一方の端からの距離を x とすると、図-12で示されるように、Pから評価区間全体に連続して立てられた低層遮音壁の両端を見通す角度 θ は、

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = \tan^{-1} \frac{x}{d} + \tan^{-1} \frac{l-x}{d} \quad (8)$$

となる。今、P点における挿入損失を $IL(x)$ とおくと、評価区間の区間平均挿入損失 $SA \cdot IL'$ は、

$$SA \cdot IL' = -10 \log_{10} \frac{1}{l} \int_0^l 10^{-IL(x)/10} dx \quad (9)$$

と表せる。ここで、(7)、(8)式を(9)式に代入すると、

$$SA \cdot IL' = -10 \log_{10} \left[1 - \frac{1}{\pi} \left\{ 2 \tan^{-1} \left(\frac{l}{d} \right) - \frac{d}{l} \ln \left(1 + \frac{l^2}{d^2} \right) \right\} \right] \left(-10^{-IL_0/10} \right) \quad (10)$$

が得られ、図-8より求まる IL_0 を用いて $SA \cdot IL'$ を算出できる。なお、(10)式は以下ようになる。

$$\lim_{l \rightarrow \infty} SA \cdot IL' = IL_0, \quad \lim_{l \rightarrow 0} SA \cdot IL' = 0$$

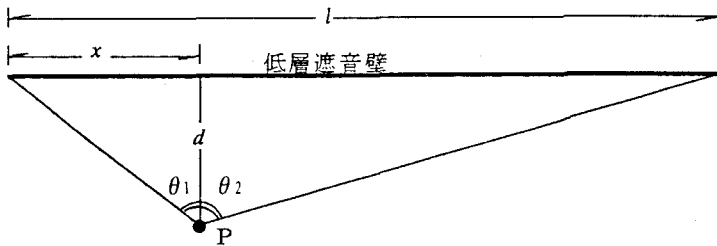


図-12 連続した低層遮音壁の見通し角

②に関しては次のように考えた。開口率 α を有する低層遮音壁群設置による区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ を求めるための、低層遮音壁の模式図を図-13に示す。まず、開口部のない連続した低層遮音壁が設置されている場合を考え、遮音壁を回折し評価区間に到達する音の寄与（エネルギー量）を C_0 、遮音壁に遮られ評価区間に到達しない音の寄与を C_1 とする。ここで、 $SA \cdot IL'$ は、以下の式で近似できると仮定した。

$$SA \cdot IL' = -10 \log_{10} \frac{C_0}{C_0 + C_1} \quad (11)$$

次に開口部を有する場合の $SA \cdot IL$ の算出に当たっては以下のように考えた。図-11で示された結果より、 $SA \cdot IL$ は開口部の位置等にかかわらず、開口率のみに支配される。これは、言い換えれば、区間全体の平均的挿入損失の算出に当たっては開口部の見通し角を考慮しなくてよいことになる。そこで、開口部を通過し

て評価区間に至るエネルギー C_2 の流れは遮音壁に垂直であり、 C_2 は開口率 α に比例すると仮定した。そこで、 $C_2 = \alpha C_1$ とし、 $SA \cdot IL$ は次式で近似できると仮定した。

$$\begin{aligned} SA \cdot IL &= -10 \log_{10} \frac{C_0 + \alpha C_1}{C_0 + C_1} \\ &= -10 \log_{10} \frac{C_0}{C_0 + C_1} \left(1 + \frac{C_1}{C_0} \alpha \right) \end{aligned} \quad (12)$$

さらに、(11)、(12)式より、

$$[SA \cdot IL] = [SA \cdot IL]' - 10 \log_{10} \left\{ 1 + \left(10^{[SA \cdot IL]'/10} - 1 \right) \alpha \right\} \quad (13)$$

が得られる。なお、(13)式は、 $\alpha=0$ の場合 $SA \cdot IL = SA \cdot IL'$ 、 $\alpha=1$ の場合 $SA \cdot IL=0$ となる。

したがって、図-8 及び(10)、(13)式を用いて、開口部を有する低層遮音壁の区間平均挿入損失 $SA \cdot IL$ を簡易に算出する（以下、簡易法という。）ことができる。

図-14 に $SA \cdot IL$ の簡易法での計算結果と 3.2 で行ったシミュレーションでの計算結果（732 データを任意に抽出）との比較を示す。簡易法の計算結果は、(7)式を用いたシミュレーション計算結果と非常によく一致を示している。すなわち、評価区間の $SA \cdot IL$ を算出するにあたって、評価区間に多数の評価地点を設定して個別に IL を計算し、さらに、それらから評価区間の $SA \cdot IL$ を計算するという煩雑な手順を踏まずとも、簡易法を用いることにより、実用上、十分な精度で、直接 $SA \cdot IL$ を計算できることが明らかとなった。

・ 開口部が無く連続設置される場合

・ 開口部を有する場合



C_0 : 遮音壁を回折し評価区間に到達するエネルギー

C_1 : 連続した遮音壁に遮られ評価区間に到達しないエネルギー

C_2 : 開口部を有する遮音壁の開口区間からの評価区間に到達するエネルギー [$C_2 = \alpha C_1$]

図-13 開口部を有する低層遮音壁の模式図

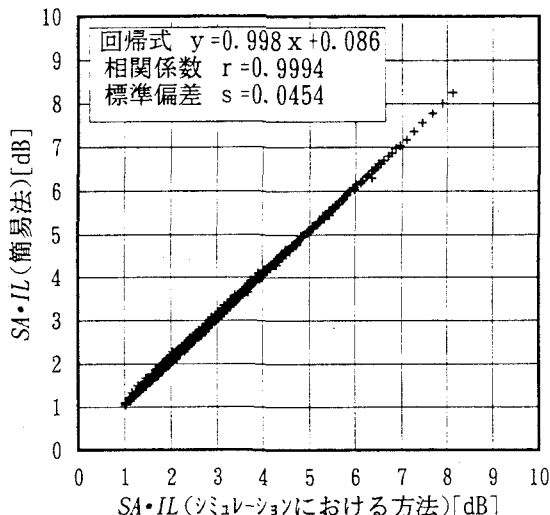


図-14 簡易法とシミュレーションにおける $SA \cdot IL$ の計算結果の比較

5 まとめ

都市内において開口部を有する複数の低層遮音壁を設置した場合の減音効果の予測及び評価方法に関して検討を行い、以下の結果を得た。

(1) 複数の低層遮音壁による回折効果の計算方法として、半無限障壁による減音量の組み合わせとして計算する方法と上方回折効果だけを考慮する方法を示し、反射面を有する半自由空間での模型実験によりユニットパターンの検証を行ったところ、前者の方法が実験値とよりよい一致をみた。ただし、ユニットパターンのエネルギー平均値 (L_{eq} に相当) は両計算方法とも実験値と非常によい一致を示した。

(2) 評価地点により騒音レベルが複雑に変化する場合、評価区間全体の平均的な道路交通騒音レベルを表す指標として区間平均等価騒音レベル ($SA \cdot L_{Aeq}$) を提案した。また、低層遮音壁の設置効果を表す指標として、遮音壁設置前後の $SA \cdot L_{Aeq}$ の差として定義される区間平均挿入損失 ($SA \cdot IL$) を提案した。

(3) 十分長い直線道路において、同一高さの複数の低層遮音壁を設置した場合の評価地点別の IL 及び評価区間の $SA \cdot IL$ の算出に当たっては、上方回折だけを考慮した見通し角補正による方法で実用上十分であることを、半無限障壁による回折減音量の組み合わせとして計算する方法との比較により明らかにした。

(4) 低層遮音壁の設置による $SA \cdot IL$ は、近似的には開口部の位置にかかわらず開口率により求められることを、数値シミュレーションの結果により明らかにした。

(5) 無限線音源に対する無限長の低層遮音壁の回折効果を表すチャートを作成し、これから求められる回折効果をもとに、有限長で連続な低層遮音壁及び開口部を有する低層遮音壁による $SA \cdot IL$ を簡単な計算式により順次求める実用的な簡易計算法を提案した。さらに、この方法が、多数の評価地点の IL を求め、それから評価区間の $SA \cdot IL$ を計算する煩雑なシミュレーションでの計算結果と整合性が非常によいことを示した。

また、本論文で示した種々の回折計算方法は、原理的には、一般的な複数の有限長障壁による回折効果を求める際に用いることができ、その適用条件は以下の通りである。

(1) 十分長い直線道路において、同一高さの複数の有限長障壁の設置による減音効果を評価区間の $SA \cdot IL$ を用いて評価する場合は、図-8及び(10)、(13)式による簡易法を用いればよい。

(2) 十分長い直線道路において、同一高さの複数の有限長障壁の設置による減音効果を評価地点毎の IL を用いて評価する場合は、障壁上方の回折効果だけを考慮した(7)式を用いればよい。一方、曲線道路あるいは複数の高さの異なる障壁を設置する場合に評価地点毎の IL を求める際は、障壁上方及び側方の回折効果を考慮した(3)式または(4)式の方法を用いればよい。

以上より、複数の低層遮音壁及び有限長障壁の減音効果の予測、評価のための実用的方法を提案できたと考える。今後の課題としては、低層遮音壁が奥行きを有する場合あるいは上部に植栽を施した場合の減音効果の予測方法、自動車と低層遮音壁の間の多重反射が騒音低減効果に及ぼす影響の検討等が挙げられる。

参考文献

- 1) 矢野博夫, 日高新人, 朱鎮洙, 橘秀樹, 押野康夫, 筑井啓介: テストコースにおける自動車の走行騒音放射特性の検討(その2. 音圧測定による近傍音場の解析), 日本音響学会講演論文集, pp.627-628, 1992.3
- 2) 筑井啓介, 押野康夫, 橘秀樹: 実車を用いた遮音塀の回折減衰量に関する検討, 日本音響学会講演論文集, pp.687-688, 1996.3
- 3) 山本貢平, 堀田竜太, 高木興一: 有限長障壁に対する音の回折効果の計算方法について, 日本音響学会誌第50巻4号, pp.271-278, 1994
- 4) Koichi Takagi, Ryota Hotta, Kohei Yamamoto: A Simple Method for the Calculation of Noise Attenuation by a Finite Length Barrier, *Applied Acoustics*, **43**, pp.353-365, 1994
- 5) 高村貴洋, 渡辺義則, 中島勝哉: 道路端に低い壁を設置することによる減音量の推定, 土木学会第51回年次学術講演会, pp.300-301, 1996.9
- 6) 曽根敏夫, 香野俊一, 岩瀬昭雄: III 自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル, 日本音響学会誌第50巻3号, pp.238, 1994
- 7) 山本貢平, 高木興一: 前川チャートの数式表示について, 騒音制御 15(4), pp.42 (10)式, 1991
- 8) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告: 道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測法, 日本音響学会誌第50巻3号, pp.227-252, 1994
- 9) 前川純一: 建築・環境音響学, pp.96, 共立出版株式会社, 1990