オーバーラップさせた遮音壁の 近傍における騒音の計算方法

吉永 弘志¹・大河内 恵子²・角湯 克典³

^{1,2}正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 つくば市旭1番地)

³正会員 (一財)日本みち研究所(前国土交通省 国土技術政策総合研究所)

¹E-mail: yoshinaga-h22aa@nilim.go.jp, ^{1,2}E-mail: do-kan@nilim.go.jp

遮音壁を道路の合流部等に設置する際は、開口部からの漏れ音を抑制するためオーバーラップさせる。本論文では、オーバーラップさせた遮音壁の近傍における騒音レベル $L_{A,LB}$ の計算方法をLBE-11と称して提案する。LBE-11では、オーバーラップの開口部からの直達、反射、および回折による伝搬により騒音が大きくなること、ならびに遮音壁がオーバーラップしている上方からの伝搬では騒音が大きく減衰することを考慮する。LBE-11は1/25の縮尺模型実験で評価し、実務で活用できる精密さ(precision)を有していることを確認した。さらに、音源を道路交通の線音源とした試算を行い、遮音壁が二重になっている箇所の上方を伝搬する騒音の計算は簡素化できるが、開口部の反射音および回折音は考慮する必要があることを明らかにした。

Key Words : noise barrier, barrier opening, overlap, specular reflection, scale-model experiment

1. 序論

図-1 オーバーラップさせた遮音壁の例.

図-2 本論文の構成.

遮音壁 (noise barrier) を道路の合流部等(例: 図-1)に設置する際は、開口部 (barrier opening) からの漏れ音を抑制するためオーバーラップさせる。このオーバーラップ部は必要な遮音性能を有して最短の長さに設計することが望ましい。本論文では、オーバーラップさせた遮音壁の近傍における騒音レベル $L_{A,LB}$ (A-weighted sound pressure levels near overlapped noise barriers.) の計算方法について述べる。本論文の構成を図-2に示す。第2章では、本論文の著者らが考案した $L_{A,LB}$ の計算方法をLBE-11と称して示す(L, B, およびEはLap, Barrier, およびEvaluationの意味。)。第3章では、LBE-11を縮尺模型実験 (scale-model experiment) で評価した結果を述べる。第4章では、道路交通騒音の線音源での $L_{A,LB}$ の試算例を示し、計算の簡素化について述べる。

道路交通騒音の計算方法に関しては学会の計算式¹⁾および多数の研究成果が発表されている。しかし、オーバーラップさせた遮音壁の近傍における騒音に関しては計算式は定められおらず文献も少ない。ここで、既往の文献について紹介する。住友らは、開口部を有する遮音壁による騒音低減量 ΔL dBは、測定点から遮音壁を見込む割合 W を変数とした式(1)と現場での測定値がよく整合することを報告している²⁾。文献²⁾には式(1)が以下の考え方によって導かれた旨が記載されている。測定点から音源である道路を見ると遮音壁が障害となって道路全体を見

$$\Delta L = 10 \cdot \log(1 - W) \quad (1)$$

図-3 文献³⁾におけるオーバーラップ部での反射音の考慮。

わたすことができない。遮音壁が密に並んでいてと道路を見渡せる範囲は非常に狭くなり、侵入する音のエネルギーも小さくなる。測定点から遮音壁を見込む割合 W は、この狭くなる割合を示す変数であり、道路が全く見渡せない場合は、 $W = 1$ とする。この考え方では、遮音壁をオーバーラップさせて道路が見えない地点では、開口部から伝搬する音を見込まないことになる。

オーバーラップさせた道路用遮音壁の近傍における騒音の計算については、VLEEらが多重反射を考慮した分析手法BOAPを示している³⁾。BOAPは、反射音の寄与が図-3に示す見込み角 R に比例するとの考え方を基本としている。文献には試算例が報告されているが、測定値での評価については記載されていない。これらの計算方法では開口部側方での回折音を見込まないため、回折音の影響が相対的に大きくなる受音点では、誤差が大きくなると考えらえる。

本論文では、開口部での伝搬における反射、および回折の双方を考慮する計算方法LBE-11を示す。LBE-11は本論文の著者らが考案した計算方法であり、概要は文献⁴⁾で報告している。また、多数の測定点を設けた実験での評価を示す。このように遮音壁の伝搬計算において開口

部での反射と回折の双方を考慮する方法は、他にみあたらない。当然ながら設計の実務でも同様な計算は行われていない。

2. 計算方法

ここでは、LBE-11の計算方法について述べる。騒音の大きさは $I_{A, LB}$ [W/m^2]とし、以下、同様に $I_{A, x}$ (x は添え字)で騒音の大きさを示す。LBE-11では遮音壁のオーバーラップ部における騒音の伝搬音を図-4のように分類した。つまり、上方からの伝搬(A) ($I_{A, over}$)、および開口部からの伝搬(B) ($I_{A, BO}$)とし、(A)は単壁部(A-1)と二重壁部(A-2)に細分類し、(B)は反射なしでの伝搬(B-1) ($I_{A, BO, direct}$)と反射経路の伝搬(B-2) ($I_{A, BO, reflection}$)に細分類した。また、図-4には示していないが、図-4の面-1の左方および面-4の右方からの伝搬音($I_{A, side}$)も計算に含めている。基準となる音の大きさ $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ とした $L_{A, LB}$ の計算式は式(2, 3, 4)となる。これらのなかで最も計算が複雑となるのは $I_{A, BO, reflection}$ である。

$$L_{A, LB} = 10 \cdot \log(I_{A, LB} / I_0) \quad (2)$$

$$I_{A, LB} = I_{A, side} + I_{A, over} + I_{A, BO} \quad (3)$$

$$I_{A, BO} = I_{A, BO, direct} + I_{A, BO, reflection} \quad (4)$$

LBE-11は、高架等の反射音の計算方法として文献¹⁾に示されている鏡面反射法(Specular reflection)を応用し、 $I_{A, BO, reflection}$ が計算できるように発展させた。鏡面反射法は、回折の考え方で反射音を計算する方法である。図-5の(C)は、音や光の波長が十分に短く、波動性を無視できる場合の伝搬を示している。壁や鏡で反射して伝搬する

図-4 伝搬経路の模式的な平面図。

図-5 反射する光や音.

図-6 開口部を通過して伝搬する音.

図-7 四段の開口部への置換.

範囲は、SOURCEを鏡像の位置に配置し、反射面を開口部として見える範囲となる。しかし、道路交通騒音（波長が0.3 m程度）の反射音の計算では図-5の(D)の模式図に示すように鏡像点から見えにくい位置まで音が伝搬する一方で、見える位置の音が少なくなることを考慮することが必要になる。鏡面反射法では、単壁での回折を組み合わせ、図-6の測定点における伝搬音の大きさを計算する。計算の考え方は付録(1)に示す。

LBE-11では、(D)の模式図に示すように、壁での反射を開口部の通過に置換することを繰り返し、図-4の(B-2)の伝搬を図-7に示すように四段の開口部を通過する音の伝搬に置換した(計算プログラムが汎用となるように四段の開口部は、全て図-7の(H)の壁-2-mir-invの形状とした。(H)の壁-1-mirのように片側が全て開口部となる伝搬は、計算値に影響のない100m程度右側にも壁が存在する条件として計算した。)。四段の開口部を通過する音の伝搬計算は、最短経路を検索し、各段の開口部を通過する際に付録(1)に示す考え方で減衰量を計算するようにプログラミングした。このように複数の回折と反射を考慮する計算方法は他にみあたらない。回折に伴う減衰に関する補正量および反射補正量の計算式は付録(2)に示す。

福島らは鏡面反射法をより一般化し、反射面の大きさを幅と高さで考慮できる計算方法を示している⁹⁾が、本研究では計算を簡便にするため反射面の幅（図-7の横方向）のみを考慮して、高さ（図-7の誌面と垂直方向）は考慮しなかった(補足：当然ながら、図-4の上からの伝搬(A)では遮音壁の高さを考慮した。開口部からの伝搬(B)での反射音の大きさは遮音壁の高さにより異なるが、本論文の計算では高さの影響を考慮しなかった)。伝搬経路1→2→3→4→5の起点（厳密には音源から基準距離離れた位置。）と終点での騒音レベルの差 $\Delta L_{A,4B}$ は、経路長1→2→3→4→5に相当する幾何減衰 $\Delta L_{\text{distance}}$ 、空気の影響吸収 $\Delta L_{A,\text{air}}$ 、各経路*i*から*j=i+1*で開口部を通過する際の減衰量 $\Delta L_{A,i-j}$ の和とした(式(5))。(本論文における空気の影響吸収の扱いは、付録(4)で補足説明する。)

$$\Delta L_{A,4B} = \Delta L_{\text{distance}} + \Delta L_{A,\text{air}} + \Delta L_{A,1-2} + \Delta L_{A,2-3} + \Delta L_{A,3-4} + \Delta L_{A,4-5} \quad (5)$$

図-4の(B-2)の計算用に作成した四段の開口部を通過する音の伝搬計算のプログラムは、(A-2)および(B-1)の計算でも使用した。(A-2)の二重壁上部の伝搬の模式図を図-8に示す。二枚の壁の上方を通過する(I)の伝搬であるが、(J)に示すように伝搬に影響のない程度に開いた条件で壁が存在すると仮定しても伝搬計算に影響しない(本論文の計算では100m程度とした。)。 (J)を反時計ま

図-8 四段の開口部とみなした二重壁の計算.

1/4 inch コンデンサーマイクロホン

ジェットノイズ音源

図-9 縮尺模型実験.

図-10 実験の平面図(実物大換算).

わりに 90 度回転させると (K) となるが、(K) の伝搬計算の方法は、図-7 の (H) と同じである。(B-1) の伝搬計算では、図-7 の二段目および三段目が壁の影響を受けない程度(本論文の計算では 100m 程度)に開いた開口部とみなし

表-1 実験条件.

遮音壁の高さ H_B [m]	3, 5, (25) ^{*1}
オーバーラップ長 l_L [m]	0, 8, 30, 100
音源位置 x_S [m]	-25, 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150
受音点位置 x_R [m]	-100, -75, -50, -25, -8, 0

*1 実験は行ったが計算値との比較には含めていない。(以下の理由で計算方法を適切に評価できなくなると考えた.)

- ・実情との乖離が大きく、将来的にも設置の見込みがない。
- ・大きく減音されるためノイズ等による測定誤差が大きくなる。

た。LBE-11 では、壁上部からの伝搬における地面での反射音も考慮した。

3. 縮尺模型実験での評価

第2章で提示した計算方法の妥当性を確認するために 1/25 の縮尺模型実験を行った(図-9, 10)。音源はジェットノイズ点音源(無指向性点音源)、受音装置は 1/4 inch コンデンサーマイクロホン、遮音壁の模型はアクリル製とした。実験で変化させた条件を表-1 に示す。遮音壁の高さ H_B 、オーバーラップ長 l_L 、音源位置 x_S 、および受音点位置 x_R で 2, 4, 8, および 6 通りとしたので、評価を行った測定数は $2 \times 4 \times 8 \times 6 = 384$ となった。実物大換算で $l_L = 100$ m は現実的ではないが、二重壁部(A-2)を考慮した計算の精密さ(precision)(補足:「精度」の用語は分野によって異なる意味で使用されている^⑥)ので本論文では使用していない。)を確認できるので評価に含めた。遮音壁の有無による騒音レベルの差の測定値 ΔL_{AEXP} は、道路交通騒音の周波数特性の重みをかけて整理した。詳細は付録(3)に示す。

遮音壁の有無での騒音レベルの差 ΔL_A の計算値 ΔL_{ACAL} と測定値 ΔL_{AEXP} の相関図、計算値と測定値の差 $e = \Delta L_{ACAL} - \Delta L_{AEXP}$ の平均値 $\bar{e}$ 、および $\bar{e}$ の標準偏差 S_e を表-2 の計算方法別に図-11 に示す。(G) SBE(単壁(Single Barrier)としての Evaluation の意味。)は、開口部のない単壁とした計算方法であり、比較のため掲載した。将来、オーバーラップ長の最適化の計算を行う際には、道路の線音源を離散点音源とし、受音点を多数設定した上で、遮音壁の高さ、オーバーラップ長、および遮音壁の位置(図-10 の y 方向)等のパラメータを組み合わせで試算する。計算量は設定条件の積で膨大となることが想定される。また、道路構造等の条件の入力が計算ミスの要因になる。これらを考慮すると計算方法は、可能な限り簡素することが望ましい。そこで、計算の一部を簡素化した計算方法についても評価した。(N) LBE-12 では、二重壁上方の伝搬を単壁とみなした。(O) LBE-13 では、開口部での反射音の計算を省略した。図-4 で(B-1)の伝搬

図-11 計算値と測定値の比較.

表-2 計算方法.

	開口部からの伝搬	二重壁上方の伝搬の計算	開口部での反射音	開口部での回折音
(L) LBE-11	○	二重壁	○	○
(M) SBE	×	単壁	×	×
(N) LBE-12	○	単壁	○	○
(O) LBE-13	○	二重壁	×	○
(P) LBE-14	○	二重壁	○	×

○: 考慮する.
×: 考慮しない.

は考慮するが、(B-2)の伝搬を見込こまないことに相当する。(P) LBE-14 では、図-5 の(C)の伝搬ように回折音を見込まなかった。

本実験に関しては、次の二つの理由により、 $\bar{e}$ が小さい計算方法よりも精密さを示す e の標準偏差 S_e が小さい計算方法の方が優れていると評価した（例：(M)より(L)を高評価）。第一の理由は、複数の伝搬経路を合計する条件での正確さである。道路交通騒音は複数の伝搬経路から伝搬する音を合算するが、この値は騒音レベルが大きい伝搬の影響を大きく受ける。このため S_e が大きい計算方法(例：(M))では $\bar{e}=0$ でも複数の伝搬を合算した計算値は過少になる。第二の理由は、回折補正量の計算式として、騒音予測の実務で活用されている式(付.3.4.5)

を使用したことである。式(付.3)は、前川の実験⁷⁾に由来するが、式(付.3)での計算値は、ばらつきのある測定値のなかの回折音が大きいく値（原文では減衰量が小さい値に相当）に近いので、正確な計算方法の $\bar{e}$ は正の値になる。もし、 $\bar{e}=0$ の計算方法を目的とするのであれば、文献⁷⁾、および本論文での測定値を拠り所にして補正定数を設定するだけで容易に導出できる。詳細は 付録(5)で補足説明する。

S_e は小さい順に(L) LBE-11、(O) LBE-13、(N) LBE-12、(O) LBE-14および(M) SBEで、2.5, 2.9, 3.0, 3.5, および5.4となった(図-11)。遮音壁の無い平面道路において交通量から計算した等価騒音レベル L_{Aeq} (equivalent continuous A-weighted sound pressure level)の計算値と測定値を比較し、 $S_e=2.5$ となった例¹⁾があることや道路交通騒音の線音源では平均化されて正確さが向上することから、LBE-11は実務で活用できる精密さを有していると考えられる。

4. 道路交通騒音の線音源での試算

道路交通騒音は図-12に示すように音源となる自動車移動するため、測定点での騒音はユニットパターンといわれる時間変化をする。この騒音の積分値をデシベルに変換したものが単発騒音暴露レベル L_{AE} となる(式(6)).

図-12 走行する自動車による騒音。

図-13 試算の平面図。

表-3 試算条件。

遮音壁の高さ H_B [m]	2.48
オーバーラップ長 l_L [m]	0.48, 1.2
線音源の長さ [m]	700
離散点音源の間隔 [m]	10
受信点の範囲 [m]	400
受信点の間隔 [m]	2 (ただし、開口部の影響が小さい地点では 10)

$$L_{AE} = 10 \cdot \log \frac{\int p_A^2 dt}{P_0^2} \quad (6)$$

ここで、 p_A は瞬時 A 特性音圧 [μPa]、 p_0 は基準となる音圧 20 μPa 。

遮音壁の有無による L_{Aeq} の差 ΔL_{Aeq} は、 L_{AE} の差 ΔL_{AE} と一致するとみなして、 ΔL_{AE} を試算した。試算の条件は図-13 および表-3 とした。図-13 の上の図は縦軸を拡大して模式的に示している。図-13 の下の図に音源から遮音壁までの距離、遮音壁から受信点の距離、およびオーバーラップ長を示している。これらは、実際の道路における平面図を参考に設定した。表-3 の $H_B = 2.48$ m と $l_L = 0.48, 1.2$ を組み合わせた条件で LBE-11 で計算し、 H_B およ

び l_L が大きくなると開口部の影響が大きくなる傾向を把握し、最も影響が大きい $H_B = 8$ m、 $l_L = 12$ m で LBE-11、LBE-12、LBE-13、および LBE-14 の計算結果を比較した。開口部に起因する騒音レベルの増加を明確にするため、式(7)で示すように計算方法 k での ΔL_{AE} の計算値 $\Delta L_{AE,CAL,k}$ と SBE での ΔL_{AE} の計算値 $\Delta L_{AE,CAL,SBE}$ との差 $\Delta L_{AE,CAL,diff}$ で計算結果を示す。つまり、 $\Delta L_{AE,CAL,diff}$ は、開口部のない遮音壁を設置した条件における騒音レベルとの差になる。

$$\Delta L_{AE,CAL,diff} = \Delta L_{AE,CAL,k} - \Delta L_{AE,CAL,SBE} \quad (7)$$

試算結果を図-14 に示す (LBE-11、LBE-12、LBE-13、および LBE-14 の計算結果の比較は $H_B = 8$ m、 $l_L = 12$ m の条件でのみ行った)。横軸は図-13 での受信点位置を示している。各計算方法の計算結果は LBE-11 と比較して記載した。LBE-11 は真値ではないが、第 3 章で説明したように標準偏差 S_e が小さく、実務上、最も優れている。

(R) のグラフに示すように LBE-12 は開口部の影響が大きい地点では (Q) の LBE-11 とよく一致し、二重壁部の上方を通過するため騒音の抑制効果が大きい地点では LBE-11 よりも最大で 1 dB 程度過大に計算する。しかし、このことは l_L の設計に影響しない。図-11 では二重壁部を考慮することで計算の精密さを示す S_e が 3.0 から 2.5 に改善したが、二重壁部の上方を通過する音は、他の伝搬音よりも相対的に小さいので精緻に計算することが有益とならない。一方、(S) のグラフに示すように遮音壁での反射音を考慮しない LBE-13 では開口部の影響を受ける地点において計算値が 2.9 dB 小さくなった (参考： l_L が短い場合は差は縮小)。図-11 の (L) LBE-11 と (O) LBE-13 の差は 0.8 dB であるが、ユニットパターンでは差が拡大するのは、寄与が大きい騒音を LBE-13 では過少に計算すること (例：グラフ (O) で上側にばらつく誤差。) が原因と考えている。オーバーラップの延長を長くしたり、二つの反射面のうち片方を吸音する等の効果を予測し、対策を講じることができるので、反射音の計算は省略すべきでないと考えている。また、(T) のグラフに示すように開口部での回折音を考慮しない LBE-14 では 2.6 dB 程度小さくなる地点が生じることに留意する必要がある。

l_L を最適化する設計を普及させるためには簡便式または早見表を作成することも考えられるが、多様な現場条件に対応することは困難なため、簡便に利用できるプログラムを作成する方がよいと考えられる。

図-14 試算結果.

5. まとめ

遮音壁のオーバーラップ部近傍における騒音レベル L_{A1B} の計算方法を LBE-11 と称して提案した. LBE-11 では, オーバーラップの開口部からの直達, 反射, および回折による伝搬により騒音が大きくなること, ならびに遮音壁がオーバーラップしている上方からの伝搬では騒音が大きく減衰することを考慮する. これらの伝搬は, 四段の開口部を通過する音の伝搬に置換して計算した. また, LBE-11 を 1/25 の縮尺模型実験で評価し, 実務で活用できる精密さ (precision) を有していることを確認した. さらに, 音源を道路交通の線音源とした試算を行った. 計算の簡素化について考察した結果を以下にまとめた.

- ・遮音壁が二重になっている箇所の上方の伝搬は, 単壁の上方の伝搬とみなしてもオーバーラップ長の設計に支障はない.
- ・オーバーラップの開口部における反射音および回折音は考慮しなければならない.
- ・オーバーラップ長の最適化計算を普及させるためには, 簡便なプログラムを作成する方策が良い.

なお, 遮音壁のオーバーラップ長や材質の検討では遮音壁によって視界が遮られることによる交通安全や防犯への影響なども総合的に考慮することが必要であることも念のため付記しておく.

付録

(1) 単壁での回折を組み合わせた鏡面反射法の考え方

文献¹⁾で示されている鏡面反射法は, 厳密には正確でないが, 簡明で実務的であることを考慮して採択した. 計算方法の考え方は, 以下に解釈できる. 壁がない伝搬量 I_{all} (図-付.1) を開口部より左側, 開口部, および開口部より右側での伝搬量 I_{left} , I_{center} および I_{right} の合計とみなす (図-付.2, 式(付.1)). 式(付.1)を式(付.2)に置き換えると, I_{center} は, 図-付.3 の (X) (開口部の左側の壁) での回折での伝搬 $I_{right2} = I_{all} - I_{left}$ と (W) (開口部の左側の壁に開口部を塞いだ壁を加えた壁) での回折での伝搬 I_{right} との差とする. I_{right} および I_{right2} は付録(2)の式(付.4, 5)で計算する.

(2) 回折に伴う減衰に関する補正量および反射補正量

I_{Asik} および I_{Aref} の計算における回折補正量は, 文献¹⁾の 3.2 回折に伴う減衰に関する補正量 ΔL_d 式(付.3)とし, I_{ABO} の計算における反射補正量は, 文献¹⁾の 3.5.1 鏡面反射法の計算式(付.4)とした. (ただし, 音源が見通せる条件では計算式(付.5)). 回折補正量が音源の周波数特性により異なることは表-付.1 で考慮する. 本論文の計算においては, $c_{geo}=0.85$ とした.

図-付.1 鏡面反射法の解説図(1).

図-付.2 鏡面反射法の解説図(2).

図-付.3 鏡面反射法の解説図(3).

$$I_{all} = I_{left} + I_{center} + I_{right} \quad (付.1)$$

$$\begin{aligned} I_{center} &= I_{all} - I_{left} - I_{right} \\ &= I_{right2} - I_{right} \end{aligned} \quad (付.2)$$

$$\Delta L_d = \begin{cases} -20 - 10 \log_{10}(c_{spec} \delta) & c_{spec} \delta \geq 1 \\ -5 - 17.0 \cdot \sinh^{-1}(c_{spec} \delta)^{0.414} & 0 \leq c_{spec} \delta < 1 \end{cases} \quad (付.3)$$

$$\Delta L_r = \begin{cases} -20 - 10 \log_{10}(c_{spec} \delta) & c_{spec} \delta \geq 1 \\ -3 - 19.3 \cdot \sinh^{-1}((c_{spec} \delta)^{0.33}) & 0 \leq c_{spec} \delta < 1 \end{cases} \quad (付.4)$$

$$\Delta L_{refl} = 10 \log_{10}(1 - 10^{\Delta L_r/10}) \quad (付.5)$$

ここで、 ΔL_d は回折に伴う減衰に関する補正量 [dB]、 ΔL_r は反射補正量の基本量 [dB]、 δ は回折経路差 [m]、 c_{spec} は表-付.1に示す係数。

表-付.1 係数 c_{spec} の値¹⁾。

騒音の種類			c_{spec}
自動車走行騒音	密粒舗装		0.85
		排水性舗装	0.75
		1年未満	0.65
高架構造物音			0.60

(3) 縮尺模型実験における道路交通騒音の周波数特性の扱い

縮尺模型実験における遮音壁の有無による騒音レベルの差 ΔL_{AEXP} は、測定した ΔL_i を式(付.6,7,8)で処理して算出した。道路交通騒音の周波数特性（密粒舗装） $\Delta L_{WA}(f_{ci})$ は表-付.2としたが、模型実験で測定できた上限の周波数は実物大換算で 3,150Hz となったため測定値を補正した。

$$\Delta L_{AEXP} = 10 \cdot \log r_{AEXP} \quad (付.6)$$

$$r_{AEXP} = \sum_i 10 \cdot \log r_i \quad (付.7)$$

$$r_i = \Delta L_{WA}(f_{ci}) \cdot 10^{\Delta L_i/10} / C \quad (付.8)$$

ここで、 r_{AEXP} は遮音壁の有無による道路交通騒音の比、 i は周波数帯のインデックス、 r_i は媒介変数、 ΔL_i は周波数帯 i における遮音壁の有無による音圧レベルの差 [dB]、 C は測定値に高周波成分(実物大換算で 4,000 Hz および 5,000 Hz)を含まないための補正係数。 $C \approx 0.97$ とした。

表-付.2 A 特性相対バンドパワーレベル $\Delta L_{WA}(f_{ci})$ ¹⁾

中心周波数 [Hz]			$\Delta L_{WA}(f_{ci})$ 1/3 オクターブバンド		
50,	63,	80	-37.8,	-33.8,	-30.2
100,	125,	160	-26.8,	-23.8,	-21.1
200,	250,	315	-18.6,	-16.3,	-14.4
400,	500,	630	-12.7,	-11.2,	-10.1
800,	1,000,	1,250	-9.3,	-8.9,	-9.0
1,600,	2,000,	2,500	-9.6,	-10.7,	-12.4
3,150,	4,000,	5,000	-14.7,	-17.7,	-21.1

(4) 空気の音響吸収の扱い

縮尺模型実験の測定値は空気の音響吸収の補正を行う必要がある。しかし、本論文の測定値は、遮音壁の有無による音圧レベルの差としたので、空気の音響吸収の影響は、遮音壁の有無の双方に含まれて相殺される。

本論文のa)縮尺模型実験の測定値、b)縮尺模型実験の計算値、およびc)道路交通騒音の線音源での試算における空気の音響吸収の扱いは以下とした。

a) 縮尺模型実験の測定値

遮音壁の有無による音圧レベルの差を周波数別に測定し、付録(3)で合成した値を ΔL_{AEXP} としたため空気の音響吸収の補正をしなかった。

b) 縮尺模型実験の計算値

空気の音響吸収の影響の補正はしなかった。念のため ΔL_A (遮音壁の有無での騒音レベルの差) の計算値が空気の音響影響の考慮の有無で異なる影響を以下で確認した。

まず、模型実験で0.08mから20m(実物大換算で2 mから500m)の距離の $\Delta L_{A,air}$ を1/25 m間隔で計算した。計算式は、JIS Z 8738:1999 (ISO 961-1:1993) に基づき、計算条件は、気温20℃、相対湿度60%、1気圧を(101.325kPa)とした。周波数は表-付.2を模型実験に換算するため25倍した。次に、表-付.2の各周波数の重みづけをし、道路交通騒音

図-付.4 空気吸収の考慮の有無による計算値の違い。

の $\Delta L_{A,air}$ を計算した。次に、計算値の近似式 (付.9,10,11) を算出した(近似式は計算の簡便化のために作成したものであり、物理的な意味はない。)。次に、第3章の測定値に対応する計算値 $\Delta L_{A,cal}$ を空気吸収を考慮した場合と考慮しない場合の双方で計算した(計算方法は LBE-11)。

$$r_{RL} = 25r_{EXP} \quad (\text{付.9})$$

$$x_1 = \log_{10} r_{RL} \quad (\text{付.10})$$

$$\Delta L_{A,air} = -3.0379x_1^2 + 1.2891x_1 - 1.0548 \quad (\text{付.11})$$

ここで、 r_{RL} は実物大換算での伝搬距離($2 \leq r_{RL} \leq 500$) [m]、 r_{EXP} は音響模型実験での伝搬距離[m]。

空気吸収を考慮しない $\Delta L_{A,cal}$ は、考慮した場合と一致した(図-付.4)。(差の平均値は 0.03dB。この差は複数の伝搬経路の寄与度がわずかに変化することにより生じたもの。)

c) 道路交通騒音の線音源での試算

線音源の場合には複数の伝搬経路で伝搬距離が大きく異なることにより、 $\Delta L_{A,cal}$ であっても空気の音響吸収の影響を受ける可能性がある。文献¹⁾の3.4 空気の音響吸

収に関する補正量 ΔL_{air} の計算式(付.12)で音響吸収の影響を考慮した。

$$\Delta L_{air} = -6.84 \left(\frac{r}{1000} \right) + 2.01 \left(\frac{r}{1000} \right)^2 - 0.345 \left(\frac{r}{1000} \right)^3 \quad (\text{付.12})$$

ここで、 r は音源から予測点までの距離[m]。

(付.12)は、大気の状態を気温 20℃、相対湿度 60%、1 気圧を(101.325kPa)想定した式である。

(5) 前川の実験および道路交通騒音の回折に伴う減衰に関する補正量

LBE-11では、文献¹⁾で示されている道路交通騒音の回折に伴う減衰に関する補正量の計算式(付.3,4,5)を使用している。式(付.3)は前川の実験⁷⁾に由来し、式(付.4,5)は鏡面反射法の考え方に整合するように作られたものである。ここでは、以下で式(付.3)と前川の実験との関係を示す。まず、前川の実験でのバラツキのある測定値の上限値と下限値の双方で、フレネル数と回折減衰量の関係式を導出した。次に行路差を変化させて道路交通騒音の回折に伴う減衰の補正量を計算した。

a) 前川の実験に基づく回折減衰の近似式

前川の実験での測定値のグラフ⁷⁾から、フレネル数 N ($N = 2\delta/\lambda$, σ : 行路差[m], λ : 波長[m]) と減衰値の下限値、および上限値を読み取り表-付.3とした。次に減衰量 ΔL_d の下限値、および上限値の近似式を式(付.13, 14)とした(原文では「減衰値」を正の値で表記、ここでは文献¹⁾に合わせて「減衰量」を負の値で表記。これらの式に物理的な意味はない。)。

表-付.3 前川の実験での測定値⁷⁾

N	減衰値 dB	
	下限値	上限値
0	5	5
0.1	7	9
1	12.5	16
10	22	26

$$\Delta L_d = -9.8722 \log(N + 0.2) - 11.956 \quad (\text{付.13})$$

$$\Delta L_d = -9.8711 \log(N + 0.08) - 15.986 \quad (\text{付.14})$$

b) 道路交通騒音の回折に伴う減衰の補正量

表-付.2で道路交通騒音の周波数の重みづけをし、行路差 σ を変化させて回折に伴う減衰の補正量 ΔL_d を計算した結果を図-付.5,6に示す。図-付.5は横軸を行路差 σ とし、図-付.6は図を見やすくするために横軸を

図-付.5 道路交通騒音の回折減衰の補正量(1).

図-付.6 道路交通騒音の回折減衰の補正量(2).

$X\sigma = \log(\sigma + 0.06)$ に変換した。図から明らかなように LBE-11が使用した式(付.3)は前川の実験での下限値(遮音壁による減衰が小さい値)に近い。式(付.4)はさらに 2dB程度減衰量が小さい。もし、前川の実験での上限値に近い値(Kirchhoffの理論値に近い値)を補正量の計算値としていれば、遮音壁による減衰を式(付.3)よりも3dB程度大きく見込むことになるので、図-11の(1) LBE-11で

の計算値と測定値の差が0に近い値になる。LBE-11は、実務的な計算方法を目的としたため、実務で活用されている計算式(付.3,4,5)を使用した。

参考文献

- 1) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ RIN-Model 2008”，日本音響学会誌，Vol.65, no.4, pp.179-232, 2009.
- 2) 住友聡一，辻本三郎丸：国道 43 号に建てられた長さの短い遮音壁の効果，兵庫県立公害研究所研究報告，No.32, pp.53-58, 2000.
- 3) VLee, S.Slutsky, E.Ken, R.Michalove, and W.Mccoll: Barrier Overlap Analysis Procedure, *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, No.1255, pp.49-58, 1990.
- 4) 吉永弘志，曾根真理：遮音壁の開口部におけるオーバーラップ長を最適化する計算方法，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.67th，VII-096，2012.
- 5) 福島昭則，山本貢平，“エネルギーの相補性を仮定した回折補正量計算モデルとその応用”，音響学会騒音・振動研究，N-2006-56, 2006.
- 6) 秋山賢一：精度って何？，自動車研究，Vol.29, no.12, pp.7-8 (2007).
- 7) 前川純一：障壁(塀)の遮音設計に関する実験的研究，日本音響学会誌，Vol.18, no.4, pp.187-196, 1962.

(2014.7.10 受付)

METHOD OF CALCULATING A-WEIGHTED SOUND PRESSURE LEVELS IN THE VICINITY OF OVERLAPPED NOISE BARRIERS

Hiroshi YOSHINAGA, Keiko OHKOUCHI, Katsunori KADOYU

Noise barriers are installed on highway entrance ramps etc. of roads by overlapping them to control noise leaking from barrier openings. The overlaps should be designed to be as short as possible while providing the required noise blocking capability. This paper proposes the LBE-11 method: a method of calculating the noise levels $L_{A, LB}$ in the vicinity of overlapped noise barriers. LBE-11 considers the fact that noise increases by being transmitted directly, reflected, and diffracted from the opening of the overlap and the fact that noise is greatly dampened as it is transmitted from above the overlapped part of a noise barrier. These modes of transmission are calculated by substituting the transmission of sound through the four openings. And it was confirmed that the LBE-11 method has precision sufficient for practical use by performing an evaluation based on a 1/25 scale model experiment. Furthermore, trial calculations of linear sound sources of traffic noise to study simplification of the calculation to optimize the overlap length had been performed. The results clarified that even if the noise transmitted above the location where the sound barrier is overlapped is considered to be noise transmitted above a single wall, the design of the overlap length is adequate, but reflected noise and diffracted noise at the opening of the overlap must be considered.