

<参考資料>

道路交通騒音の予測モデル

“ASJ RTN-Model 2013”

この資料は日本音響学会誌 70 巻 4 号 pp. 172-230（道路交通騒音の予測モデル “ASJ RTN-Model 2013” 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会 著）を転載したものである。

転載承認：平成 27 年 3 月 23 日 一般社団法人日本音響学会 編集委員長 中村健太郎

小特集—道路交通騒音の予測モデル—

道路交通騒音の予測モデル “ASJ RTN-Model 2013”

—日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告—*

日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会 (委員長:坂本 慎一)**

序

これまでの経緯

一般社団法人日本音響学会は、道路交通騒音の予測計算方法に関して昭和 49 年に道路交通騒音調査研究委員会を組織し、以来、継続的に調査研究を行ってきた。この調査研究の目的は、道路交通騒音に関する最新の知見に基づき時代に即した予測計算方法を開発することにある [1]。その活動成果として、まず昭和 50 年に騒音レベルの中央値 (L_{A50}) を予測量とした計算方法 (ASJ Model 1975) [2, 3] を発表した。このモデルについては、精度の向上、適用範囲の拡大のための検討を引き続き行ったが [4-6]、それと並行して昭和 63 年からは等価騒音レベル (L_{Aeq}) に基づく予測計算方法の開発に取り組んだ。その成果をとりまとめ、平成 5 年にエネルギーベースの予測計算方法 (ASJ Model 1993) を発表した [7]。このモデルは、適用範囲を一様な断面を持つ道路一般部に限定して L_{Aeq} を計算するための基本的考え方と計算手順をまとめたものであった。

その後、騒音に関する環境行政の面で大きな変化があった。まず「環境基本法」(旧公害対策基本法、平成 5 年 11 月改正) に基づいて平成 9 年 6 月に「環境影響評価法」が公布され、2 年後の平成 11 年 6 月より施行された。更に「騒音に係る環境基準」(昭和 46 年制定) が平成 10 年 9 月に改正され、翌年 4 月より施行された。この基準では、道路交通騒音の評価量として L_{A50} に代わっ

て L_{Aeq} が採用され、それに伴って一般地域及び道路に面する地域の基準値が改正された。これらの変化に対応するために当委員会では、その後の調査研究に基づいて上述の ASJ Model 1993 を更に発展させ、平成 11 年 4 月に L_{Aeq} を評価量とし、一般道路、道路特殊箇所も含めてほとんどすべての構造・形態の道路を対象とした予測計算方法として ASJ Model 1998 を発表した [8]。このモデルには高架構造物音の予測も新たに含まれている。更に、その後も適用範囲の拡大、予測計算方法の精緻化、予測精度の向上を目指して検討を行い、平成 16 年 4 月に ASJ RTN-Model 2003 [9]、平成 21 年 4 月には ASJ RTN-Model 2008 を発表した [10]。

ASJ Model 1998 以降の予測モデルは、その発表に併せて我が国における「道路環境影響評価の技術手法」[11, 12] の中で全面的に採用され、道路交通騒音に係る環境アセスメント(将来予測)の実施に利用されている。また、一方では、将来予測としての利用に止まらず、環境モニタリング(常時監視等)における現状の騒音推計や環境保全措置(環境対策)の検討にも利用されている。

このように、予測モデルが環境管理に広く利用されることを念頭におき、ASJ RTN-Model 2008 発表後も積み残された課題の解決に取り組み、調査研究を継続してきた。そして、当初より掲げていた 5 年ごとの予測モデルの見直しを行い、その成果としてこのたび新たな予測モデル ASJ RTN-Model 2013 を発表することとした。

本報告は、委員全員による討議を重ねた結果を取りまとめたもので、検討班ごとに執筆を分担した。表-1.1 に当委員会の構成並びに委員を示す。

予測モデル改定の要点

今回発表する予測モデルの目次構成を表-1.2 に示す。その内容は、ASJ RTN-Model 2008 を基

* ASJ Prediction Model 2013 for Road Traffic Noise: Report from the Research Committee on Road Traffic Noise in the Acoustical Society of Japan.

** The Research Committee on Road Traffic Noise in the Acoustical Society of Japan (the Chairman: Shinichi Sakamoto) e-mail: sakamo@iis.u-tokyo.ac.jp

表-1.1 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会の構成

幹事会	◎坂本慎一（東大），今泉博之（産総研），大久保朝直（小林理研），岡田恭明（名城大），田近輝俊（環境技術研究所），筑井啓介*1（自動車研），福島昭則（ニューズ環境設計），松本敏雄（小林理研），横田考俊*2（小林理研），吉永弘志*1（国土交通省）
音源特性検討班	○田近輝俊，坂本慎一，岩瀬昭雄（新潟大），岡田恭明，押野康夫（自動車研），筑井啓介*1，角湯克典*3（国土交通省），田中輝栄（東京都），福島昭則，松本敏雄
伝搬計算検討班	○福島昭則，坂本慎一，今泉博之，岩瀬昭雄，大久保朝直，岡田恭明，田近輝俊，藤本一壽（九州大），松本敏雄，三宅龍雄（総合技術コンサルタント），横田考俊*2，吉久光一（名城大）
道路特殊箇所検討班	○松本敏雄，坂本慎一，今泉博之，岩瀬昭雄，大久保朝直，岡田恭明，田近輝俊，福島昭則，藤本一壽，三宅龍雄，横田考俊*2
海外手法調査班	○岡田恭明，坂本慎一，今泉博之，大久保朝直，押野康夫，筑井啓介*1
顧問	橘 秀樹（千葉工大），山本貢平（小林理研）

◎：委員長，○：班長，*1：～平成 23 年度，*2：平成 23 年度～，*3：平成 24 年度～

本としているが，主として以下の点が更新されている。

(1) 音源特性

- ハイブリッド自動車 (HV)，電気自動車 (EV) の A 特性音響パワーレベルに関して，最新の知見を整理し，参考資料 R1 に示した。
- 二層式排水性舗装による騒音低減に関して，最新の知見を整理し，参考資料 R2 に示した。

(2) 伝搬計算

- 回折に伴う減衰に関する補正に関して，吸音性障壁に対する計算方法を新たに追加した。
- 周波数ごとの伝搬計算に関して，内容を更新し，付属資料 A2 に示した。
- 波動数値解析による騒音の計算方法に関して，内容を更新し，付属資料 A4 に示した。

(3) 道路特殊箇所の騒音

- インターチェンジ部について，自動料金収受システム (ETC) を設置した料金所を通過する自動車の速度並びに前後の加減速時の加速度を，実測結果に基づき暫定的に設定した。
- 掘割・半地下部の指向性点音源モデルによる簡易計算法について，構造による補正式を見直して，より汎用性のある方法に変更した。また，半地下部に用いられる吸音ルーバーの設置効果の計算方法を新たに追加した。

(4) 建物・建物群背後における騒音

- 建物群背後における騒音予測には，これまでに線音源モデルによる計算方法を示してきたが，今回は点音源モデルによる計算方法を新たに追加した。

謝 辞

本予測モデルを発表するにあたり，道路交通騒音に関する調査研究の機会を与えられ，これまでに多くの資料を提供された国土交通省国土技術政策総合研究所，株式会社高速道路総合技術研究所に対して深謝の意を表す次第である。また，環境省，首都高速道路株式会社，名古屋高速道路公社には協力委員として討議に参加いただき，有益なご意見をいただいた。ここに感謝の意を表す。

文 献

[1] 坂本慎一，“道路交通騒音調査研究員会が果たしてきた役割と今後の課題，”音講論集，pp. 1543-1546 (2012.9).
 [2] 石井聖光，“道路交通騒音予測計算方法に関する研究（その1）—実用的な計算式について—，”音響学会誌，31，507-517 (1975).
 [3] 池谷和夫，“道路交通騒音予測計算方法に関する研究（その2）—数学モデルと評価量について—，”音響学会誌，31，559-565 (1975).
 [4] 石井聖光，“道路交通騒音予測計算方法に関する研究—高さ別補正值について—，”音響学会誌，33，426-430 (1977).
 [5] 佐々木實，山下充康，“道路特殊箇所の騒音の予測方法に関する検討—トンネル坑口部周辺—，”音響学会誌，40，554-558 (1984).
 [6] 佐々木實，山下充康，“道路特殊箇所の騒音の予測方法に関する検討—インターチェンジ部周辺—，”音響学会誌，40，638-643 (1984).
 [7] 橘 秀樹他，“小特集—道路騒音の予測：道路一般部を対象としたエネルギーベース騒音予測法（日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告）—，”音響学会誌，50，227-252 (1994).
 [8] 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 Model 1998”，”音響学会誌，55，281-324 (1999).
 [9] 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 RTN-Model 2003”，”音響学会誌，60，192-241 (2004).
 [10] 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 RTN-Model 2008”，”音響学会誌，65，179-232 (2009).
 [11] 国土交通省国土技術政策総合研究所，“道路環境影響評価の技術手法（平成 24 年度版），”国土技術政策総合研

表-1.2 ASJ RTN-Model 2013 の構成

章	節
1. 予測計算方法の概要	1.1 適用範囲
	1.2 用語の意味
	1.3 予測計算の流れと基本式
2. 音源特性	2.1 車種分類
	2.2 自動車走行騒音パワーレベルのモデル式
	2.3 各種要因による補正
	2.4 自動車走行騒音の周波数特性
3. 伝搬計算	3.1 伝搬計算の基本式
	3.2 回折に伴う減衰に関する補正量 ΔL_{dif}
	3.3 地表面効果に関する補正量 ΔL_{grnd}
	3.4 空気の音響吸収に関する補正量 ΔL_{air}
	3.5 反射音の計算方法
	3.6 気象の影響
4. 道路特殊箇所の騒音	4.1 インターチェンジ部
	4.2 連結部
	4.3 信号交差点部
	4.4 トンネル坑口周辺部
	4.5 掘割・半地下部
	4.6 高架・平面道路併設部, 複層高架部
5. 高架構造物音	5.1 適用範囲
	5.2 高架構造物音の計算方法
6. 建物・建物群背後における騒音	6.1 単独建物の背後における騒音
	6.2 建物群背後における騒音
付属資料	付属資料 A1 自動車走行騒音の周波数特性
	付属資料 A2 周波数ごとの伝搬計算法
	付属資料 A3 信号交差点部の騒音の計算方法
	付属資料 A4 波動数値解析による騒音の計算方法
参考資料	参考資料 R1 ハイブリッド・電気自動車の走行騒音のパワーレベル
	参考資料 R2 二層式排水性舗装の騒音低減効果
	参考資料 R3 先端改良型遮音壁に関する伝搬計算法
	参考資料 R4 単純条件下での $L_{Aeq,T}$ の簡易計算法
	参考資料 R5 予測精度に関する検討

究所資料第 714 号 (2013).

[12] 財団法人道路環境研究所, 道路環境影響評価の技術手法 2, 2007 年改訂版 (丸善, 東京, 2007).

本 文

1. 予測計算方法の概要

ここでは, ASJ RTN-Model 2013 の適用範囲, 本予測モデルで用いる用語の意味及び予測計算における基本的考え方と予測計算の手順の概略について述べる。

1.1 適用範囲

ASJ RTN-Model 2013 が適用できる条件は以下のとおりとする。ただし, 高架構造物音の予測

計算に関する適用範囲については 5 章を参照。

(1) 対象道路

道路一般部 (平面, 盛土, 切土, 高架) と道路特殊箇所 (インターチェンジ部, 連結部, 信号交差点部, トンネル坑口周辺部, 掘割・半地下部, 高架・平面道路併設部, 複層高架部)。

(2) 交通量

制限なし。

(3) 自動車の走行速度

自動車専用道路と一般道路の定常走行区間については 40 km/h から 140 km/h, 一般道路の非定常走行区間については 10 km/h から 60 km/h, 自動車専用道路のインターチェンジ部などの加減速・

停止区間については 0 km/h から 80 km/h, 一般道路の信号交差点付近などの加減速・停止区間については 0 km/h から 60 km/h とする。

(4) 予測範囲

道路から水平距離 200 m まで, 高さ 12 m までとする。

注記: 検証されているのは上記の範囲であるが, 原理的には適用範囲に制限はない。

(5) 気象条件

無風で特に強い気温勾配が生じていない状態を標準とする。

1.2 用語の意味

ASJ RTN-Model 2013 で用いる道路交通騒音に関連する主要な用語の意味は, 以下のとおりとする。

(1) 騒音レベル/A 特性音圧レベル (L_A)

JIS Z 8731:1999 による (ただし, この JIS では記号として L_{pA} が用いられている)。JIS C 1509-1:2005 によれば A 特性時間重み付きサウンドレベルともいう。

(2) 等価騒音レベル ($L_{Aeq,T}$)

JIS Z 8731:1999 による。時間 T を省略して L_{Aeq} と表記することもある。JIS C 1509-1:2005 によれば A 特性時間平均サウンドレベルともいう。

(3) 単発騒音暴露レベル (L_{AE})

自動車 が 1 台通過したときなど, 単発的に発生する騒音の A 特性 2 乗音圧を発生時間全体にわたって積分し, 単位時間 (1s) で基準化してレベル表示した量 (単位: dB) であり, 次式で表される。

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \left[\frac{\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \right] \quad (1.1)$$

ここで, $T_0 = 1s$ (基準の時間), $p_A(t)$ は時刻 t の瞬時 A 特性音圧 [Pa], $p_0 = 20 \mu Pa$ (基準の音圧), $t_1 \sim t_2$ は対象とする騒音の継続時間を含む時間 [s] である。

(4) 自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル (L_{WA})

1 台の自動車を点音源と見なした場合, それが発射する音響パワー (1s 当たりに放射する音響エネルギー) に周波数重み付け特性 A をかけて評価した量 P_A [W] をレベル表示した量 (単位: dB)

で, 次式で与えられる。

$$L_{WA} = 10 \log_{10} \frac{P_A}{P_0} \quad (1.2)$$

ここで, $P_0 = 1 pW$ (基準の音響パワー) である。なお, パワーレベルの周波数特性を表すために, $1/n$ オクターブバンドごとのパワーレベルで表示した場合には $1/n$ オクターブバンド音響パワーレベルと呼ぶ。

(5) ユニットパターン

道路上を 1 台の自動車が走行したとき, 一つの予測点 (観測点) における騒音レベルの時間変化のパターン。一般には時間の関数として表されるが, 予測計算の上では走行車線上の距離の関数として取り扱うこともある。

(6) 自動車の主要音源

自動車の主たる騒音源として, エンジン騒音, 排気系騒音, 吸気系騒音, タイヤ/路面騒音, 駆動系騒音, 冷却系騒音などがある。本予測モデルではそれらを総合して一つの点音源として考える。

(7) 車種分類

自動車の車種分類は, 4 車種分類 (乗用車, 小型貨物車, 中型車, 大型車) と 2 車種分類 (小型車類, 大型車類) の 2 通りとする。二輪車を別のカテゴリとして分類する。

注記: ハイブリッド自動車 (HV), 電気自動車 (EV) のパワーレベルは, 40 km/h 以上の定常走行時では, ガソリンエンジン車 (GEV) と同程度であることから, GEV と同じ車種に含めることとする。

(8) 自動車の走行状態

ほぼ一定の速度で走行している状態 (定常走行状態) と速度が変化している状態 (非定常走行状態) に分ける。後者には, 一般道路の走行状態 (非定常) とインターチェンジ部や信号交差点部などの加減速・停止状態がある。

(9) 舗装の種類

本予測モデルでは, 路面の種類として密粒度アスファルトコンクリート舗装と空隙を有する排水性アスファルトコンクリート舗装を対象とする。以降, 前者を密粒舗装, 後者を排水性舗装 (高機能舗装, 低騒音舗装と呼ぶこともある) と呼ぶ。

注記: 更なる機能維持効果, 騒音低減効果の向上を目指し, 排水性舗装の表層上部をより小さな粒径の骨材に置き換えた二層式排水性舗装も開発されているが, 本予測モデルでは, 最大粒径 13 mm, 設計空隙率 20% の排水性舗装を対象としている。

(10) 遮音壁

遮音壁には大別して表面が反射性の材料で構成される反射性遮音壁と音源側の表面を吸音処理した吸音性遮音壁の2種類がある。道路交通騒音の伝搬経路における対策としては、金属製の吸音性遮音壁が広く用いられている。

注記：代表的な金属製の吸音性遮音壁（統一型遮音壁と呼ばれることもある）の構造は、厚さ 95 mm の金属ボックスの中にグラスウール（厚さ 50 mm，密度 32 kg/m³）が保護のためのフィルムに包まれて挿入されている。道路側の表面板はスリット孔を有するアルミ板，背面は遮音性能を考慮して亜鉛鉄板（厚さ 1.6 mm）となっている。

(11) 高架構造物音

高架道路上を自動車が走行したとき，その加振力によって高架構造物の床版，桁などが振動し，それによって床版の裏面，桁などの表面から放射される騒音。ただし，伸縮継手部を加振源として発生する衝撃音（ジョイント音と呼ぶこともある）は含めない。

(12) 実効的流れ抵抗 (σ_e)

地表面などの有限インピーダンス表面上で観測される超過減衰に対して，理論値をカーブフィッティングさせることによって算定される等価的な流れ抵抗（単位：kPa s/m²）。媒質中の流速と圧力差から直接測定される流れ抵抗 (σ) と Miki が提案するインピーダンスモデル [13] 中での役割は同じであるが，上述のように超過減衰から算定される量を特に区別して呼ぶ。

1.3 予測計算の流れと基本式

本予測モデルの原理と基本式，予測計算方法の流れは以下のとおりである。

1.3.1 予測法の原理と基本式

$L_{Aeq,T}$ を騒音評価量とするエネルギーベースの道路交通騒音の予測計算においては，対象とする道路上を点音源と見なせる 1 台の自動車が走行したときの予測点における騒音レベルの時間変化（ユニットパターン）及びその時間積分値を求めることが基本となる。その結果に交通条件（交通量，車種構成など）を考慮して，予測点における騒音のエネルギー的な時間平均値を求める。具体的な手順は次のとおりである。

まず，対象とする道路（車線）を幾つかの区間に分割する（図-1.1 参照）。次に一つの分割区間に着目し，その中点を代表点（音源点）に選んでその点から所定の予測点までの音の伝搬を計算す

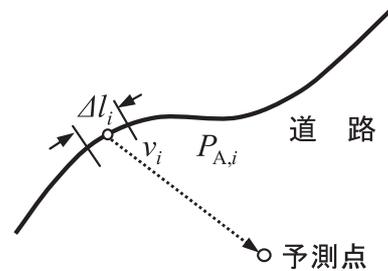


図-1.1 音源点から予測点への音の伝搬

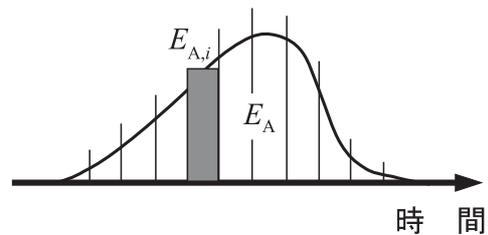


図-1.2 ユニットパターン

る。その場合，その区間 i 内における音源（自動車）が放射する A 特性音響パワー $P_{A,i}$ （又は A 特性音響パワーレベル $L_{WA,i}$ ）を設定し，伝搬計算によって予測点における A 特性音圧 $p_{A,i}$ （又は A 特性音圧レベル $L_{A,i}$ ）を，幾何拡散（逆 2 乗則）を基本とした式によって計算する（この間は，走行速度 v_i 及び音源の音響パワー $P_{A,i}$ は一定とする）。すべての分割区間からの寄与をエネルギー的に加算するために，予測点における A 特性音響エネルギー密度に比例する量として A 特性 2 乗音圧 $p_{A,i}^2$ を考える。

音源が i 番目の区間に存在する時間 Δt_i [s] については，その間，音源がその区間の中心に停止していると考え，次式によって予測点に到達する音の A 特性 2 乗音圧を Δt_i にわたって時間積分し，その間の A 特性音響暴露量 $E_{A,i}$ [Pa²s] を求める（図-1.2 参照）。

$$E_{A,i} = p_{A,i}^2 \cdot \Delta t_i = p_{A,i}^2 \cdot \frac{\Delta l_i}{v_i} \quad (1.3)$$

ここで， Δl_i は i 番目の区間の長さ [m]， v_i は i 番目の区間における自動車の走行速度 [m/s] である。

以上の計算を道路の分割区間ごとに行い，それらの結果から，1 台の自動車が対象とする道路の全延長を通過する間の予測点における A 特性 2 乗音圧の時間積分値の総量（A 特性音響暴露量） E_A [Pa²s] を次式によって求める。

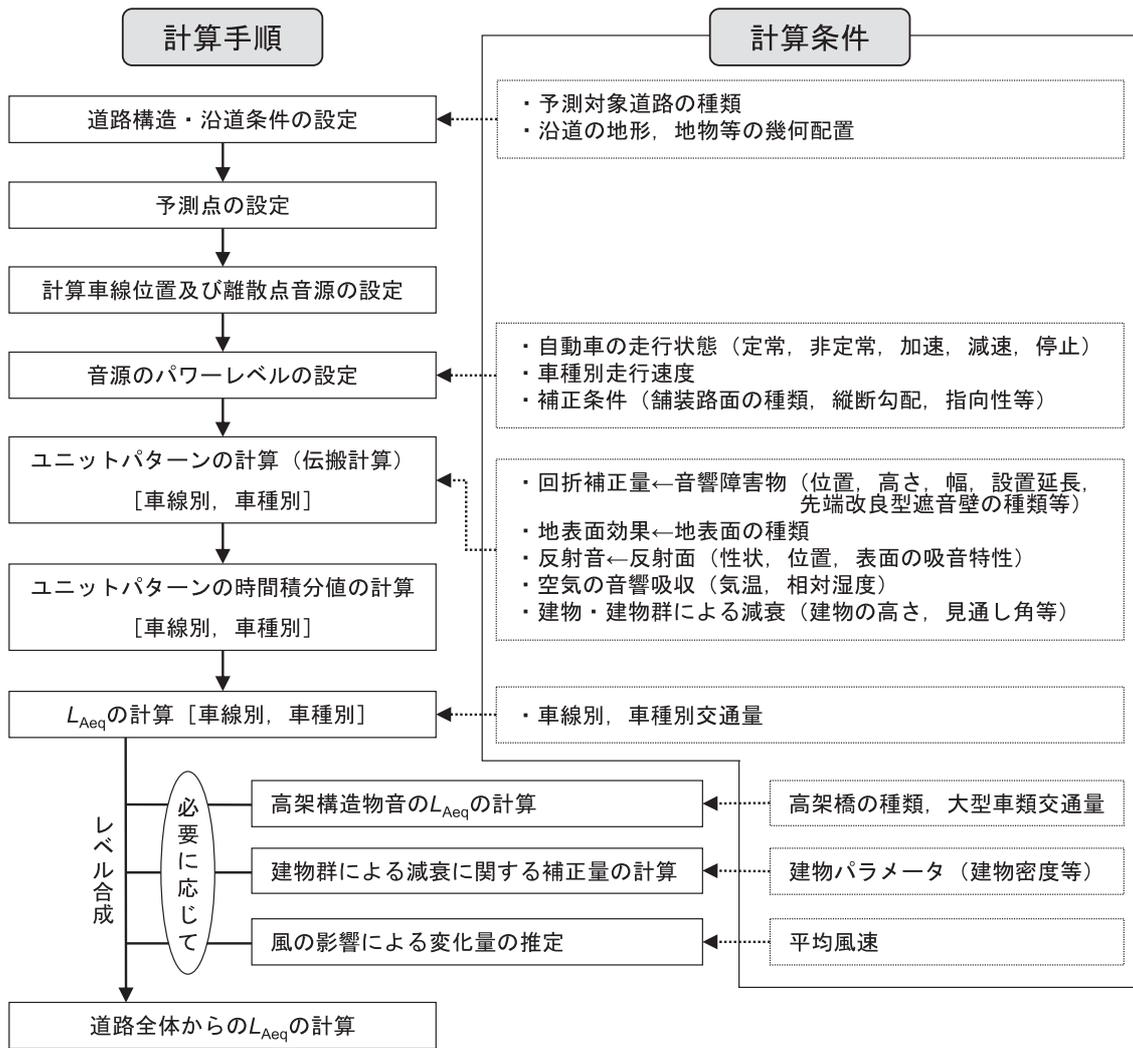


図-1.3 道路交通騒音の予測計算の手順

$$\begin{aligned}
 E_A &= \sum_i E_{A,i} = \sum_i p_{A,i}^2 \cdot \Delta t_i \\
 &= \sum_i p_{A,i}^2 \cdot \frac{\Delta l_i}{v_i} = \sum_i p_{A,i}^2 \cdot \frac{3.6 \Delta l_i}{V_i} \quad (1.4)
 \end{aligned}$$

ただし、 V_i は i 番目の区間における自動車の走行速度 [km/h] ($v_i = V_i/3.6$) である。

ここで、式 (1.4) を次式に示すようにレベル表示した量が単発騒音暴露レベル L_{AE} である。

$$\begin{aligned}
 L_{AE} &= 10 \log_{10} \frac{E_A}{E_0} \\
 &= 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_0} \sum_i 10^{L_{A,i}/10} \cdot \Delta t_i \right) \quad (1.5)
 \end{aligned}$$

ここで、 $E_0 = 4 \times 10^{-10} \text{ Pa}^2\text{s}$ (基準の音響暴露量) である。

以上の計算によって求められた1台の自動車が走行したときの単発騒音暴露レベル L_{AE} に、 T [s]

時間内の交通量 N_T [台] を考慮することにより、次式で表されるように、等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ が求められる。

$$\begin{aligned}
 L_{Aeq,T} &= 10 \log_{10} \left(10^{L_{AE}/10} \cdot \frac{N_T}{T} \right) \\
 &= L_{AE} + 10 \log_{10} \frac{N_T}{T} \quad (1.6)
 \end{aligned}$$

1.3.2 予測計算の手順

本予測モデルにおける道路交通騒音の予測計算の手順を図-1.3に示す。計算手順の概要は、以下のとおりである。

(1) 道路構造・沿道条件・予測点の設定

道路構造及び音源の位置、予測点、伝搬経路上に存在する音響障害物の位置、地表面性状等の計算条件を設定する。

(2) 計算車線位置の設定

計算車線位置は、実際の車線中心にそれぞれ1車線ずつ配置する。ただし、複数車線を一つの仮

想的車線に集約させることも可能である。例えば、上下車線のそれぞれの中央に、仮想的車線を1車線ずつ配置してもよい。

(3) 離散点音源の設定

設定した車線上に離散的に配置する点音源は、道路一般部のように音源位置による伝搬特性の変化が小さい場合には、道路に対する予測点からの垂線と車線の交点を中心として $\pm 20l$ (l : 計算車線から予測点までの最短距離) の範囲に l 以下の間隔で配置すればよい。

注記：道路特殊箇所等において、自動車の走行速度が加減速に伴って変化する場合や音源-予測点の位置関係によって伝搬特性が急激に変化するような場合には、設置間隔の細分化を図るなど、十分な注意が必要である。

(4) 音源のパワーレベルの設定

L_{WA} は、自動車の走行状態（定常、非定常、加速、減速、停止）、走行速度及び補正条件（舗装路面の種類、道路の縦断勾配、指向性及びその他の要因によるレベル変化）を考慮して設定する。

(5) ユニットパターンの計算

1台の自動車が道路上を単独で走行するときの予測点におけるユニットパターン $L_{A,i}$ を車線別・車種別に求める。

(6) ユニットパターンのエネルギー積分と L_{Aeq} の計算

ユニットパターンの時間積分値（単発騒音暴露レベル L_{AE} ）を計算する。その結果に対象とする時間 T [s]内の交通量 N_T [台]を考慮し、その時間のエネルギー平均レベルである等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ を求める。

以上の計算を車線別・車種別に行い、それらの結果のレベル合成値を計算して予測点における道路全体からの騒音の $L_{Aeq,T}$ とする。

高架道路の周辺の騒音を予測する場合には、自動車走行騒音のほかに、必要に応じて高架構造物音を計算する。また、高架道路の上下線がセパレート構造となっていて、中央分離部が開いている場合には、各々の高架道路が単独で存在していると考えて計算する。建物群による減衰、風の影響による変化量を予測する必要がある場合にはこれらの影響を計算する。

文 献

- [13] Y. Miki, "Acoustical properties of porous materials — Modifications of Delany-Bazley models —," *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 11, 19–24 (1990).

2. 音源特性

自動車走行騒音の音響パワーレベルは、車種や走行速度以外に路面の性状、道路の縦断勾配などによって変化し、また放射指向性を考慮しなければならない場合もある。ASJ RTN-Model 2013におけるパワーレベルの基本式は、車種分類ごとに速度の関数としているが、その他の要因による影響については、個々に補正項を設けて考慮することとしている。

2.1 車種分類

車種分類は、表-2.1に示すように基本的には4車種分類又は2車種分類を適用する。これらの分類は、ナンバープレート（登録標板）の種類と分類番号及び外観によって行う。4車種分類は音響的特徴を重視した場合の分類で、2車種分類は実用性を考慮した分類である。二輪車からの発生騒音を別途考慮する場合には、表-2.2に示す二輪車のカテゴリを追加することができる [14]。

道路交通騒音の予測では、自動車単体のパワーレベルだけではなく走行する自動車の車種構成比率が重要で、それを表す指標として車種別混入率がある。2車種分類では大型車類（大型車と中型車）混入率が広く用いられているが、これを単に大型車混入率と呼ぶ場合もある。

注記：車種分類において、ハイブリッド自動車（HV）、電気自動車（EV）のカテゴリは設けていない。これらの車両による自動車走行騒音のパワーレベルの知見を参考資料R1に示す。

2.2 自動車走行騒音パワーレベルのモデル式

自動車走行騒音は、基本的には速度、エンジン回転数、負荷等の走行状態によって変化するが、実用性・簡便性を考慮して、本予測モデルでは従来どおりパワーレベルを走行速度の関数として与える。また、パワーユニットのレイアウトや車体形状に起因する指向性、路面の舗装種別や縦断勾配等による発生騒音の変化については補正量として考慮する。

2.2.1 基本式

自動車走行騒音のA特性音響パワーレベル L_{WA} [dB]は次式で計算する。

$$L_{WA} = a + b \log_{10} V + C \quad (2.1)$$

ここで、 V は走行速度 [km/h]、 a は車種別に与えられる定数、 b は速度依存性を表す係数（2.2.2項、

表-2.1 車種分類（二輪車以外）

2 車種分類	4 車種分類	ナンバープレートの頭一文字及び分類条件
小型車類	乗用車	3, 5, 7, 4 (バン) ●乗車定員 10 人以下の車両
	小型貨物車	4 (バンを除く), 6
大型車類	中型車	1, 2 ●長さが 4.7 m を超える貨物自動車で、大型車を除く（大部分は 2 軸車） ●乗車定員 11 人以上 29 人以下の中型バス
	大型車	1*, 2*, 9, 0 ●車両総重量 8 トン以上、又は最大積載量が 5 トン以上の貨物自動車（大部分は 3 軸以上） ●乗車定員 30 人以上の大型バス ●大型特殊自動車

表-2.2 車種分類（二輪車）

車種分類	分類条件
二輪車	●自動二輪車，原動機付自転車

注 1) 分類番号の頭一文字 8 の特種用途自動車は、実態によって区分する。
 注 2) *は大型プレート（長さ 440 mm，幅 220 mm）を意味する。なお，中型車のナンバープレートは小型車類と同じ寸法（長さ 330 mm，幅 165 mm）である（大型車と中型車の分類は，平成 19 年 6 月に改正された道路交通法上の分類とは必ずしも一致していない）。
 注 3) 軽自動車は，分類番号の頭一文字 4 及び 5 の中に含まれる。

2.2.3 項参照), C は各種要因による補正項(ただし基準値として、敷設後数年以内の密粒舗装の道路を走行した際のパワーレベルを用いている)である。

L_{WA} は、路面性状や道路勾配等の道路条件によって変化する。更に、自動車は複数の音源から構成されており、それらから発生した騒音は車体形状の影響を受けて指向性を持つ。これらの要因によるパワーレベルの変化を考慮するために、補正項 C を次式で計算する。

$$C = \Delta L_{surf} + \Delta L_{grad} + \Delta L_{dir} + \Delta L_{etc} \tag{2.2}$$

ここで、 ΔL_{surf} は排水性舗装等による騒音低減に関する補正量 [dB]， ΔL_{grad} は道路の縦断勾配による走行騒音の変化に関する補正量 [dB]， ΔL_{dir} は自動車走行騒音の指向性に関する補正量 [dB]， ΔL_{etc} はその他の要因に関する補正量 [dB] である。

2.2.2 定常・非定常走行区間のパワーレベル

式(2.1)における定数 a 及び係数 b の値は、下記のように定義される道路の定常走行区間と非定常走行区間の別に与えられる。

注記 1：ここで述べる非定常走行区間のパワーレベル式を適用すると、加速状態、減速状態、停止状態を含む、一般道路における平均的なパワーレベルを求めることができる。

注記 2：ASJ RTN-Model 2008 で提案したパワーレベル式は、平成 3 年～10 年に調査されたデータによるものである。その後、引き続きパワーレベルの調査が行われ、パワーレベル式を継続的に検討した。その結果、車種によっては有意な差が認められたが、更なるデータの蓄積や継続的な検討が必要であると判断し、このモデルでは ASJ RTN-Model 2008 によるパワーレベル式を踏襲した [15]。

1) 定常走行区間：自動車専用道路又は信号交差点から十分離れた一般道路で、自動車がトップギヤに近いギヤ位置で走行する区間。走行速度 V は 40 km/h から 140 km/h の範囲とする。

2) 非定常走行区間：信号交差点を含む一般道路で、自動車が頻繁に加速・減速を繰り返しながら走行する区間。走行速度 V は 10 km/h から 60 km/h の範囲とする。

本予測モデルで設定した A 特性音響パワーレベルの模式図を図-2.1 に、また定数 a 及び係数 b の値を表-2.3 から表-2.5 に示す。速度依存性を表す係数 b の値は、各車種とも定常走行区間で 30、非定常走行区間で 10 とする。

2.2.3 加速・減速区間のパワーレベル

加速状態や減速状態が含まれる区間の A 特性音響パワーレベルを個別に求める場合は、以下のとおりとする。

(1) 自動車専用道路の料金所付近のパワーレベル

1) 加速走行状態：料金所における停止状態から発進加速を経て本線に合流し、定常走行に移行するまでの走行状態で、1 km/h から 80 km/h までの速度範囲とする。停止時から速度 1 km/h 未満については一定のパワーレベル（減速走行状態の式に $V = 10$ km/h を代入した値）を用いる。また、80 km/h 以上の速度域においては定常走行区間と見なす。

2) 減速走行状態：自動車が本線における定常走

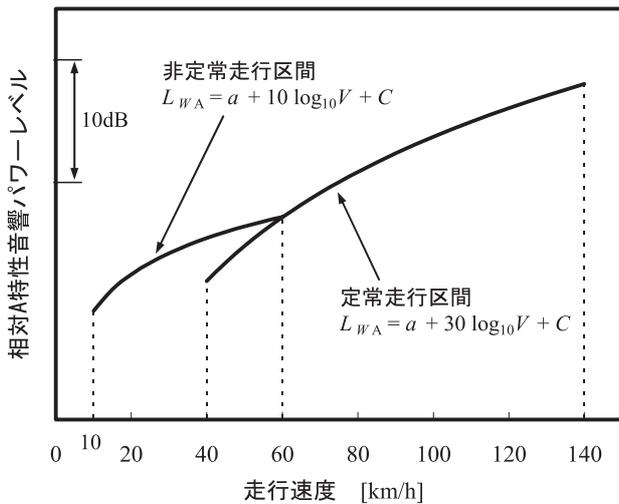


図-2.1 自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベルの模式図 (定常・非常走行区間)

行状態から減速して料金所で停止するまでの走行状態で、140 km/h から 10 km/h までの速度範囲とする。速度 10 km/h 未満については 10 km/h のパワーレベルを適用する。

上記のように設定した A 特性音響パワーレベルの模式図を図-2.2(a) に示す。

(2) 連結部付近のパワーレベル

連結部とは、自動車専用道路のランプから一般道路に合流するとき、加速走行状態から定常走行状態へと移行する区間（又はその逆の区間）をいう。

1) 加速走行状態：1 km/h から 60 km/h までの速度範囲とし、60 km/h 以上の速度域においては定常走行状態と見なす。

2) 減速走行状態：速度 10 km/h 以上の速度範囲とし、10 km/h 未満については 10 km/h のパワーレベルを適用する。

(3) 信号交差点付近のパワーレベル

1) 加速走行状態：信号交差点における停止状態から発進加速を経て定常走行に移行するまでの走行状態で、1 km/h から 60 km/h までの速度範囲とする。停止時から速度 1 km/h 未満については一定のパワーレベル（減速走行状態の式に $V = 10$ km/h を代入した値）を用いる。また、60 km/h 以上の速度域においては、定常走行区間と見なす。

表-2.3 定常・非常走行区間における定数 a, 係数 b の値 (4 車種分類)

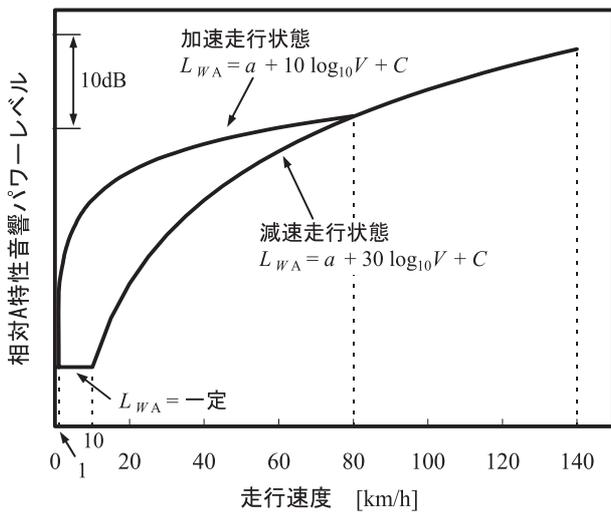
車種分類	定常走行区間 (40 km/h ≤ V ≤ 140 km/h)		非常走行区間 (10 km/h ≤ V ≤ 60 km/h)	
	a	b	a	b
乗用車	46.4	30	82.0	10
小型貨物車	47.6		83.2	
中型車	51.5		87.1	
大型車	54.4		90.0	

表-2.4 定常・非常走行区間における定数 a, 係数 b の値 (2 車種分類)

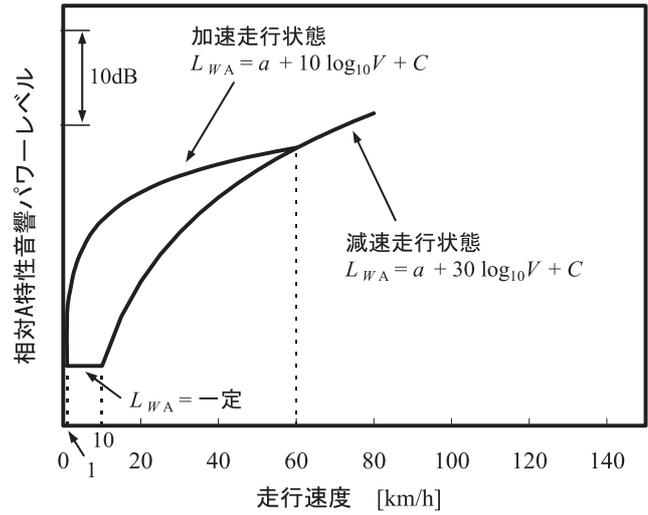
車種分類	定常走行区間 (40 km/h ≤ V ≤ 140 km/h)		非常走行区間 (10 km/h ≤ V ≤ 60 km/h)	
	a	b	a	b
小型車類 (乗用車+小型貨物車)	46.7	30	82.3	10
大型車類 (中型車+大型車)	53.2		88.8	

表-2.5 定常・非常走行区間における定数 a, 係数 b の値 (二輪車)

車種分類	定常走行区間 (40 km/h ≤ V ≤ 140 km/h)		非常走行区間 (10 km/h ≤ V ≤ 60 km/h)	
	a	b	a	b
二輪車	49.6	30	85.2	10



(a) 自動車専用道路の料金所付近



(b) 連結部付近・信号交差点付近

図-2.2 加速・減速区間における A 特性音響パワーレベルの模式図

2) 減速走行状態：自動車は定常走行状態から減速して信号交差点で停止するまでの走行状態で、10 km/h 以上の速度範囲とする。なお、速度 10 km/h 未満については 10 km/h のパワーレベルを適用する。

連結部付近及び信号交差点付近における A 特性音響パワーレベルの模式図を図-2.2(b) に示す。

料金所付近，連結部付近，信号交差点付近における走行状態別の定数 a 及び係数 b の値を表-2.6 から表-2.8 に示す。

2.3 各種要因による補正

ここでは、排水性舗装路面，縦断勾配，指向性等に関する補正項 C について述べる。

2.3.1 排水性舗装路面に関する補正量 ΔL_{surf}

排水性舗装による自動車走行騒音の低減効果は，車種別に効果が異なること，また施工後の経過時間によって変化することが知られている。そこで本予測モデルでは，排水性舗装による自動車走行騒音の低減に伴う補正量 ΔL_{surf} を以下のように与える。なお，二輪車については ΔL_{surf} を常に 0 dB とする。

(1) 一般道路

1) 停止時

$$\text{小型車類, 大型車類 } \Delta L_{surf} = 0 \quad (2.3)$$

2) 走行速度 60 km/h まで

$$\text{小型車類 } \Delta L_{surf} = -5.7 + 7.3 \log_{10}(y+1) \quad (2.4)$$

$$\text{大型車類 } \Delta L_{surf} = -3.9 + 3.6 \log_{10}(y+1) \quad (2.5)$$

ここで， y は施工後の経過時間 [年]。

注記：この ΔL_{surf} を適用して計算された L_{WA} が，停止時の L_{WA} を下回る場合には，停止時の L_{WA} を用いる。

(2) 自動車専用道路

1) 走行速度 60 km/h 未満

$$\text{小型車類 } \Delta L_{surf} = -5.7 + 6.4 \log_{10}(y+1) \quad (2.6)$$

$$\text{大型車類 } \Delta L_{surf} = -3.9 + 3.6 \log_{10}(y+1) \quad (2.7)$$

2) 走行速度 60 km/h 以上

$$\text{小型車類 } \Delta L_{surf} = 3.2 - 5 \log_{10} V + 6.4 \log_{10}(y+1) \quad (2.8)$$

$$\text{大型車類 } \Delta L_{surf} = 5.0 - 5 \log_{10} V + 3.6 \log_{10}(y+1) \quad (2.9)$$

ここで， V は走行速度 [km/h]， y は施工後の経過時間 [年]。

注記 1： ΔL_{surf} は，施工後 15 年までの自動車専用道路と施工後 7 年までの一般道路（どちらも積雪地を除く）における定常走行データ [16] に基づいて設定した。従って， ΔL_{surf} の適用範囲は上記データを取得した期間内とする。また，非常走行区間，減速走行区間及び交差点部における加速走行区間にも適用可能とする。

注記 2：二層式排水性舗装に関する騒音低減効果を，参考資料 R2 に示す。

2.3.2 縦断勾配に関する補正量 ΔL_{grad}

道路の縦断勾配によるパワーレベルの変化を考

表-2.6 加速・減速区間における定数 a , 係数 b の値 (4 車種分類)

車種分類	料金所付近				連結部付近・交差点付近			
	減速走行状態 (10 km/h ≤ V ≤ 140 km/h)		加速走行状態 (1 km/h ≤ V ≤ 80 km/h)		減速走行状態 (10 km/h ≤ V)		加速走行状態 (1 km/h ≤ V ≤ 60 km/h)	
	a	b	a	b	a	b	a	b
乗用車	46.4		84.5		46.4		82.0	
小型貨物車	47.6	30	85.7	10	47.6	30	83.2	10
中型車	51.5		89.6		87.1			
大型車	54.4		92.5		90.0			

表-2.7 加速・減速区間における定数 a , 係数 b の値 (2 車種分類)

車種分類	料金所付近				連結部付近・交差点付近			
	減速走行状態 (10 km/h ≤ V ≤ 140 km/h)		加速走行状態 (1 km/h ≤ V ≤ 80 km/h)		減速走行状態 (10 km/h ≤ V)		加速走行状態 (1 km/h ≤ V ≤ 60 km/h)	
	a	b	a	b	a	b	a	b
小型車類 (乗用車+小型貨物車)	46.7	30	84.8	10	46.7	30	82.3	10
大型車類 (中型車+大型車)	53.2		91.3		53.2		88.8	

表-2.8 加速・減速区間における定数 a , 係数 b の値 (二輪車)

車種分類	料金所付近				連結部付近・交差点付近			
	減速走行状態 (10 km/h ≤ V ≤ 140 km/h)		加速走行状態 (1 km/h ≤ V ≤ 80 km/h)		減速走行状態 (10 km/h ≤ V)		加速走行状態 (1 km/h ≤ V ≤ 60 km/h)	
	a	b	a	b	a	b	a	b
二輪車	49.6	30	87.7	10	49.6	30	85.2	10

表-2.9 補正を適用する縦断勾配の最大値

走行速度 [km/h]	$i_{grad,max}$ [%]
40	7
50	6
60	5
80	4
100	3

慮する場合には、補正量 ΔL_{grad} を次式によって計算する。

$$\Delta L_{grad} = 0.14 i_{grad} + 0.05 i_{grad}^2$$

$$0 \leq i_{grad} \leq i_{grad,max} \quad (2.10)$$

ここで、 i_{grad} は道路の縦断勾配 [%], $i_{grad,max}$ は補正を適用する縦断勾配の最大値 [%] で、走行速度別に表-2.9 で与えられる。この補正は、十分長い上り勾配の密粒舗装道路を走行する大型車類のみ適用する。

注記：この補正量は、車両の運動方程式 [17] を用いて求めた勾配区間における走行負荷から算定した [18]。

2.3.3 指向性に関する補正量 ΔL_{dir}

自動車はエンジン、タイヤ、マフラ等の複数の音源からなる複合音源で、放射指向性を持っている [19, 20]。この指向性を考慮する場合は、以下の方法による。

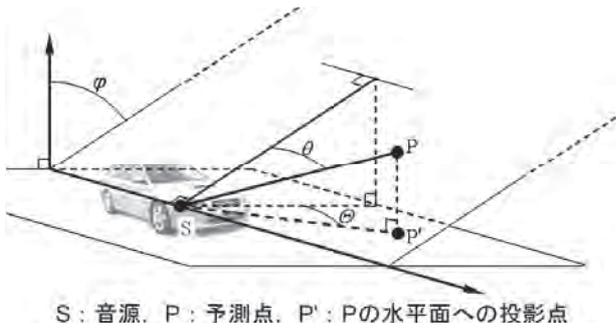
自動車走行騒音の指向性に関する補正量 ΔL_{dir} は、次式によって与えられ、密粒舗装と排水性舗装の両方に適用することができる。なお、自動車の走行速度は 40 km/h 以上とする。

$$\Delta L_{dir} = \begin{cases} (a + b \cdot \cos \varphi + c \cdot \cos 2\varphi) \cos \theta & \varphi < 75^\circ \\ 0 & \varphi \geq 75^\circ \end{cases} \quad (2.11)$$

ここで、座標系は図-2.3、係数 a, b, c は表-2.10 に示すとおりとする。また、 $\theta \geq 80^\circ$ の場合は、 $\theta = 80^\circ$ とする。なお、 θ は、 θ の水平面への投影角度 θ と以下の関係にある。

$$\theta = \tan^{-1}(\sin \varphi \tan \Theta) \quad \varphi \neq 0 \quad (2.12)$$

この補正は、高架裏面反射音の計算や道路近傍に



S : 音源. P : 予測点. P' : Pの水平面への投影点
図-2.3 座標系のとり方

表-2.10 係数 a, b, c の値

車種分類	係数		
	a	b	c
小型車類	-1.8	-0.9	-2.3
大型車類	-2.6	-1.1	-3.4

ある建物の高層階における騒音の予測に適用する。

注記：背の高い遮音壁が設置されている場合についても適用することは可能であるが、反射性遮音壁の場合には、遮音壁表面や車体等での多重反射が生じるので注意が必要である。

2.3.4 その他の要因に関する補正量 ΔL_{etc}

その他の要因に関する補正では、違法改造車（設定外のタイヤやマフラを装着している車両）、タイヤの種類、路面の温度等による走行騒音の変化が考えられる。ただし、現在のところ上記要因と発生騒音の関係に関する定量的な知見が得られるには至っていないため、現時点では、ΔL_{etc} = 0 とする。

2.4 自動車走行騒音の周波数特性

密粒舗装及び排水性舗装の路面上における自動車走行騒音の周波数特性を付属資料 A1 に示す。

注記：ASJ RTN-Model 2008 提案以後、自動車走行騒音の周波数特性の計測結果を用いてスペクトルモデルを検討した。その結果、周波数特性に大きな違いは認められなかった [21]。

文 献

[14] 筑井啓介, 岡田恭明, 吉久光一, 押野康夫, “二輪車の音響パワーレベルの測定結果とそのモデル化に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-21 (2009.3).
 [15] 岡田恭明, 吉久光一, 田近輝俊, 吉永弘志, 角湯克典, 長船寿一, 坂本慎一, “自動車走行騒音の音響パワーレベルに関する検討—密粒及び排水性舗装における測定データ—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-15 (2014.3).
 [16] 田近輝俊, 筑井啓介, 押野康夫, 吉永弘志, 山本 稔, 石川賢一, 岩瀬昭雄, 松本敏雄, 山本貢平, “排水性舗装による騒音低減補正量の計算方法の検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-27 (2009.3).
 [17] 押野康夫, 筑井啓介, 橋 秀樹, “自動車走行パターンを考慮した道路交通騒音の予測—その 1. 自動車の走行パターンと発生騒音の推定—,” 音響学会誌, 50, 205-214 (1994).

[18] 田近輝俊, 押野康夫, 橋 秀樹, “勾配区間における自動車走行騒音パワーレベルの補正量に関する検討—その 2. L_{AE} を考慮した補正量の算出—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2004-18 (2004.3).
 [19] 筑井啓介, 押野康夫, 橋 秀樹, “自動車走行騒音の指向性を考慮した道路交通騒音予測手法に関する研究,” 騒音制御, 22, 108-116 (1998).
 [20] Y. Mori, A. Fukushima, K. Uesaka and H. Ohnishi, “Noise directivity of vehicles on actual road,” Proc. inter-noise 99, pp. 209-212 (1999).
 [21] 田近輝俊, 福島昭則, 岡田恭明, 長船寿一, 坂本慎一, “自動車走行騒音のパワースペクトルに関する検討—密粒及び排水性舗装における測定データ—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-16 (2014.3).

3. 伝搬計算

この章では、騒音の伝搬に関して、幾何拡散（逆 2 乗則）による距離減衰を基本とし、回折に伴う減衰、地表面効果による減衰、空気の影響による減衰などの各種補正を加えた実用計算方法を示す。また、風などの気象の影響による騒音レベルの変化量、反射音や透過音の計算方法を示す。以下に示す方法は、騒音レベルのオーバーオール値（すべての周波数成分の合成値）を直接算出する方法である。なお、周波数成分ごとの計算方法については付属資料 A2 に示す。また、複雑な境界条件の計算を行う場合には、波動数値解析による計算方法（付属資料 A4 参照）や縮尺模型実験 [22] による。

3.1 伝搬計算の基本式

1 台の自動車が走行したとき、i 番目の音源位置（図-1.1 参照）に対して予測点で観測される A 特性音圧レベル L_{A,i} を、無指向性点音源からの半自由空間における音の伝搬と各種の要因による減衰を考慮して、次式で計算する。

$$L_{A,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{cor,i} \tag{3.1}$$

ここで、L_{A,i} は i 番目の音源位置から予測点に伝搬する騒音の A 特性音圧レベル [dB], L_{WA,i} は i 番目の音源位置における自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル [dB], r_i は i 番目の音源位置から予測点までの直達距離 [m], ΔL_{cor,i} は i 番目の音源位置から予測点に至る音の伝搬に影響を与える各種の減衰に関する補正量 [dB] で、次式で計算する。

$$\Delta L_{cor,i} = \Delta L_{dif,i} + \Delta L_{grnd,i} + \Delta L_{air,i} \tag{3.2}$$

ここで、ΔL_{dif,i} は回折に伴う減衰に関する補正量

表-3.1 回折補正量の記号と計算式の一覧

項目	記号	内容	計算式
基本量	ΔL_d	回折補正量を計算する場合の基本となる量の計算	式 (3.3)
遮音壁 (1 回回折)	$\Delta L_{dif, sb}$	一般的な遮音壁, 法肩部などでの 1 回回折に伴う回折補正量の計算 (半無限長遮音壁の扱い)	式 (3.4)
	$C_{dif, abs}$	統一型遮音壁の吸音効果に関する補正量	式 (3.5)
有限長遮音壁	$\Delta L_{dif, fb}$	遮音壁が有限長の場合の回折補正量の計算	式 (3.6), 式 (3.7)
築堤・厚みのある障壁	$\Delta L_{dif, dd}$	築堤や建物など, 回折点が二つある場合の回折補正量の計算	式 (3.8)
多重遮音壁	$\Delta L_{dif, db}$	おおむね 5 m 以上離れて設置された複数の遮音壁での多重回折補正量の計算	式 (3.9)~式 (3.12)
	$\Delta L_{dif, tb}$		
張り出し型遮音壁	$\Delta L_{dif, hb}$	遮音壁先端部が張り出しなどで厚みを持つ場合の回折補正量の計算	3.2.6 項参照
先端改良型遮音壁	$\Delta L_{dif, emb}$	先端の音響的工夫により効果を向上させた遮音壁の回折補正量の計算	参考資料 R3 参照
低層遮音壁	$\Delta L_{dif, low}$	平面道路の高さ 1 m 程度の遮音壁の回折補正量の計算挿入損失として計算	式 (3.13)
遮音壁の透過音	$\Delta L_{dif, trans}$	遮音壁の透過音を考慮した回折補正量の計算	式 (3.14), 式 (3.15)

[dB], $\Delta L_{grnd, i}$ は地表面効果による減衰に関する補正量 [dB], $\Delta L_{air, i}$ は空気の音響吸収による減衰に関する補正量 [dB] である。以下, 音源位置に関する添え字 i は省略して表記する。

3.2 回折に伴う減衰に関する補正量 ΔL_{dif}

遮音壁などの音響障害物による回折に伴う減衰に関する補正量 ΔL_{dif} (以下, 回折補正量と呼ぶ) は, 回折経路差 δ から求まる基本量 ΔL_d を用いて以下に示す方法で算出する。回折補正量の一覧を表-3.1 に示す。表-3.1 に示す回折補正量を総称して ΔL_{dif} で表す。

注記: 回折補正量が -30 dB を超えるような場合には風の影響等で計算値ほどの効果が得られないこともあるため注意を要する。

3.2.1 回折補正量計算の基本量 ΔL_d

回折補正量計算の基本量 ΔL_d は, 点音源 S, 回折点 O, 予測点 P に関する回折経路差 δ [m] (図-3.1 参照) を用いて式 (3.3) で計算する。

$$\Delta L_d = \begin{cases} -20 - 10 \log_{10}(c_{spec} \delta) & c_{spec} \delta \geq 1 \\ -5 - 17.0 \cdot \sinh^{-1}(c_{spec} \delta)^{0.414} & 0 \leq c_{spec} \delta < 1 \\ \min[0, -5 + 17.0 \cdot \sinh^{-1}(c_{spec} |\delta|)^{0.414}] & c_{spec} \delta < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

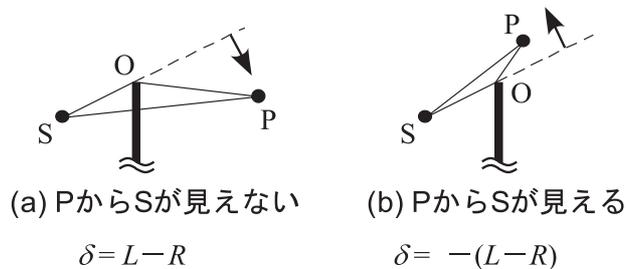


図-3.1 直達経路 $R = SP$, 回折経路 $L = SO + OP$, 回折経路差 δ の定義

表-3.2 係数 c_{spec} の値

騒音の分類	c_{spec}
自動車走行騒音	0.85
自動車走行騒音	0.75
	1 年未満 0.65
高架構造物音	0.60

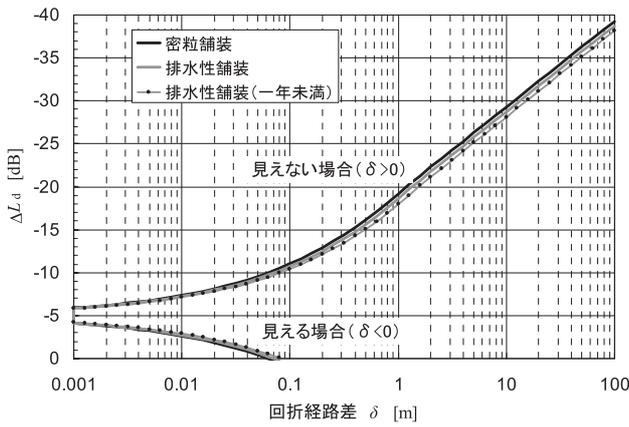
ここで, P から S が見える場合には δ の符号を負とする。また, $\min[a, b]$ は, 数値 a, b のうち小さい値を表す。係数 c_{spec} を表-3.2 に示す。また, ΔL_d と δ の関係を図-3.2 に示す。

注記 1: 上記計算式は, 前川の回折計算チャート [23, 24] と自動車走行騒音の周波数特性 (付属資料 A1) を用いて作成した。周波数別の計算値の合成値を近似するような c_{spec} を, カーブフィッティングにより決定した。

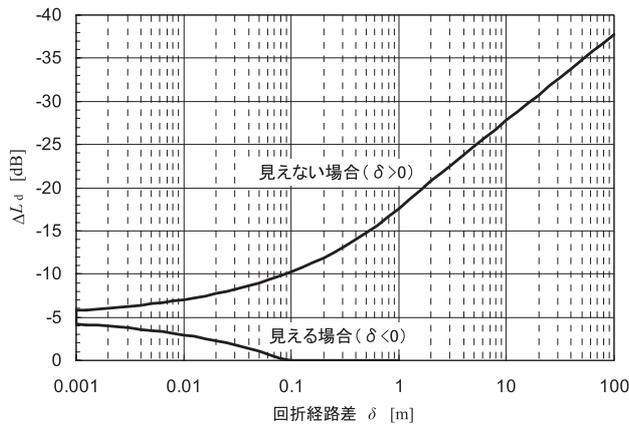
注記 2: 排水性舗装の周波数特性は, 付属資料 A1 で示す値を用いた。

注記 3: 高架構造物音については, 橋種による周波数特性の違いの影響は小さかったので橋種区分はしない。

注記 4: 遮音壁などによる回折効果を計算する場合で音源の指向性が問題となる場合には, 自動車走行騒音のパワーレベルに音源と回折点を結ぶ方向の指向性に関する補正を



(a) 自動車走行騒音



(b) 高架構造物音

図-3.2 ΔL_d の計算チャート (経路差との関係)

行う (2.3.3 項参照)。

3.2.2 遮音壁 (1 回回折) の回折補正量 ΔL_{dif,sb}

1 枚のまっすぐな遮音壁や盛土・切土の法肩部など、回折点がある場合の回折補正量 ΔL_{dif,sb} は、次式で与える。なお、平面道路の縁石、ガードレール、ガードケーブルなどは無視する。

$$\Delta L_{\text{dif,sb}} = \begin{cases} \Delta L_d & \text{統一型遮音壁以外} \\ \Delta L_d + C_{\text{dif,abs}} & \text{統一型遮音壁} \end{cases} \quad (3.4)$$

ここで、C_{dif,abs} は統一型遮音壁の吸音効果による補正量で、次式により計算する [25]。

$$C_{\text{dif,abs}} = \begin{cases} -0.5 \log_{10}(1 + 20\delta) & \delta > 0 \\ 0 & \delta \leq 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

注記 1：遮音壁の透過音が無視できない場合には透過音を考慮する。透過音の計算方法については 3.2.9 項に示す。

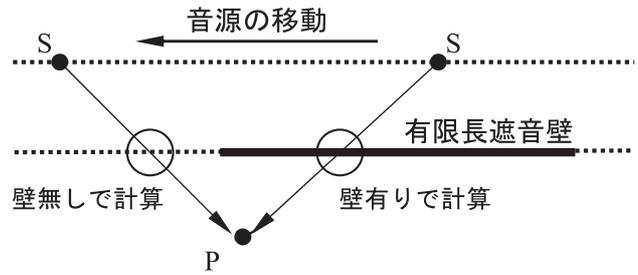


図-3.3 1パスの方法

注記 2：統一型遮音壁以外の吸音性遮音壁で、吸音率が統一型遮音壁と同等以上と考えられる遮音壁については吸音効果による補正量 C_{dif,abs} を考慮してよい。

3.2.3 有限長遮音壁の回折補正量 ΔL_{dif,fb}

有限長遮音壁の計算方法として、上方の回折音だけを考慮する 1 パスの方法と、上方と側方の回折音の寄与を合成する方法を示す。

(1) 1 パスの方法

図-3.3 のような点音源 S と予測点 P を考える。ユニットパターンの計算において線分 SP と有限長遮音壁が交差する場合には無限長の遮音壁として式 (3.4) により ΔL_{dif,sb} を計算し、交わらない場合には遮音壁がないものとして (高架道路であれば高欄を遮音壁相当として) 計算する。

(2) 上方と側方の回折音を考慮する方法 [26, 27]

図-3.4 に示すように有限長遮音壁 ABCD が、道路端に設置されている場合を考える。遮音壁を含む平面を図のように 4 本の直線で 9 分割する。有限長遮音壁 ABCD による回折補正量を ΔL_{dif,fb} とし、次式で計算する。

1) 高架道路, 盛土道路, 切土道路

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{dif,fb}} &= \Delta L_{1-5} \\ &= 10 \log_{10} \left\{ 10^{\Delta L_{123}/10} \right. \\ &\quad \left. + \left(10^{\Delta L_{0-5}/10} - 10^{\Delta L_{123}/10} \right) \right. \\ &\quad \left. \cdot \left(10^{\Delta L_{146}/10} + 10^{\Delta L_{358}/10} \right) \right\} \end{aligned} \quad (3.6)$$

ここで、ΔL_{ijk...} は図-3.4 の領域 Γ_i, Γ_j, Γ_k が開放の場合 (領域 Γ_i, Γ_j, Γ_k 以外の領域を半無限長障壁と考えた場合) の ΔL_d である。

2) 平面道路

回折補正量 ΔL_{dif,fb} は有限長障壁 ABCD の挿入損失として与える。挿入損失として回折補正量を計算する方法については、3.2.8 項を参照。

$$\Delta L_{\text{dif,fb}} = \Delta L_{1-5} - \Delta L_{0-5} \quad (3.7)$$

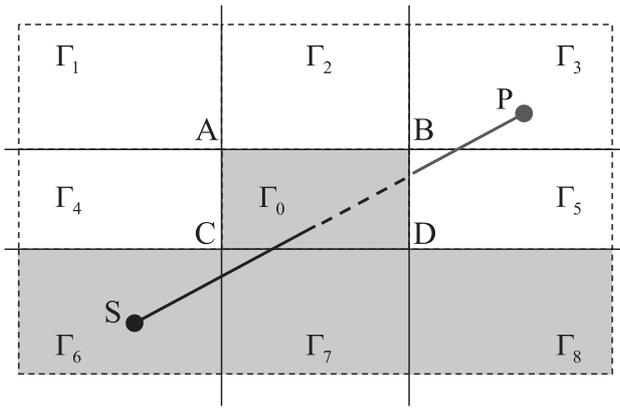


図-3.4 有限長障壁 ABCD の回折計算のための領域分割

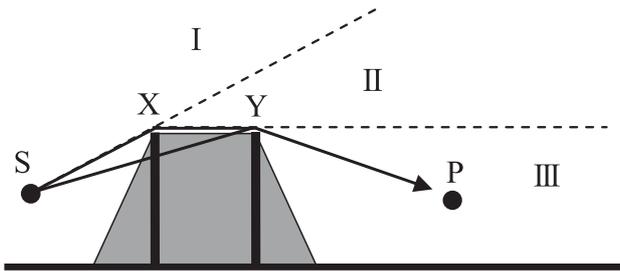


図-3.5 築堤の回折計算における領域分割

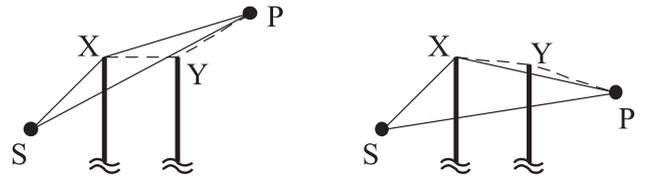
3.2.4 築堤・厚みのある障壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,dd}$

図-3.5 に示すような築堤や建物などの厚みのある音響障害物での二重回折（回折点を X, Y とする）の回折補正量 $\Delta L_{dif,dd}$ は、表面の音響インピーダンス、エッジの開き角度等にかかわらず次式で計算する [28]。

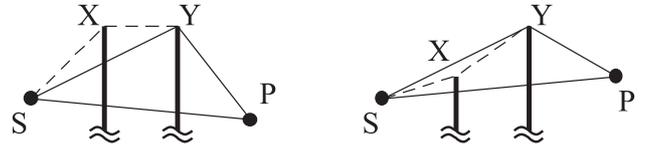
$$\Delta L_{dif,dd} = \begin{cases} \Delta L_{SXP} & P \in I, II \\ \Delta L_{SXP} + \Delta L_{XYP} + 5 & P \in III, \delta_{SXP} \geq \delta_{SYP} \\ \Delta L_{SYP} + \Delta L_{SXY} + 5 & P \in III, \delta_{SXP} < \delta_{SYP} \end{cases} \quad (3.8)$$

ここで、 ΔL_{ABC} は音の伝搬経路が ABC の場合の ΔL_d , δ_{ABC} は伝搬経路 ABC の場合の経路差である。

なお、図-3.5 において、音源 S が音響障害物よりも高い位置にあるような場合には、X あるいは Y を頂点とする遮音壁を考え、それぞれの遮音壁について 1 回回折の計算で補正量を算出し、補正量の絶対値が大きい方の値を採用する。

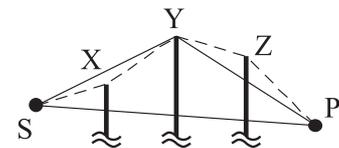


(a) $\delta_{SXP} \geq \delta_{SYP}$

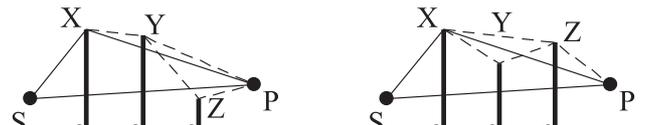


(b) $\delta_{SXP} < \delta_{SYP}$

図-3.6 二重遮音壁の回折計算



(a) $\delta_{SYP} = \delta_{max}$



$\delta_{XYP} \geq \delta_{XZP}$

(b) $\delta_{SXP} = \delta_{max}$

$\delta_{XYP} < \delta_{XZP}$

図-3.7 三重遮音壁の回折計算

3.2.5 多重遮音壁の回折補正量 [29]

(1) 二重遮音壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,db}$

図-3.6 に示すような二つの遮音壁がおおむね 5 m 以上の距離をおいて設置された場合の回折補正量 $\Delta L_{dif,db}$ は次式で計算する。

$$\Delta L_{dif,db} = \begin{cases} \Delta L_{SXP} + \Delta L_{XYP} & \delta_{SXP} \geq \delta_{SYP} \\ \Delta L_{SYP} + \Delta L_{SXY} & \delta_{SXP} < \delta_{SYP} \end{cases} \quad (3.9)$$

(2) 三重遮音壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,tb}$

図-3.7 に示すような遮音壁が三重に設置された場合の回折補正量 $\Delta L_{dif,tb}$ は、次式で計算する。

1) $\delta_{SYP} = \delta_{max}$ の場合

$$\Delta L_{dif,tb} = \Delta L_{SYP} + (\Delta L_{SXY} + \Delta L_{YZP}) \quad (3.10)$$

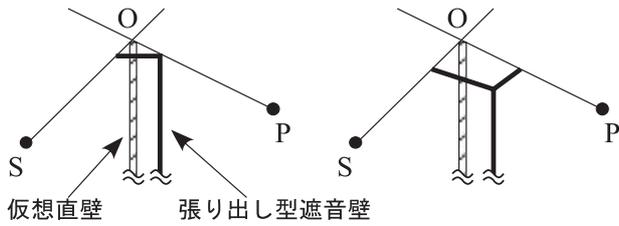


図-3.8 張り出し型遮音壁の回折計算における仮想直壁の設定

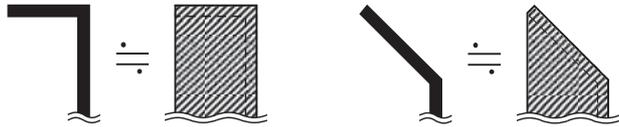


図-3.9 張り出し型遮音壁の近似計算

2) $\delta_{SXP} = \delta_{max}$ の場合

$$\Delta L_{dif,tb} = \begin{cases} \Delta L_{SXP} + (\Delta L_{XYP} + \Delta L_{LYZP}) & \delta_{XYP} \geq \delta_{XZP} \\ \Delta L_{SXP} + (\Delta L_{XZP} + \Delta L_{XYZ}) & \delta_{XYP} < \delta_{XZP} \end{cases} \quad (3.11)$$

3) $\delta_{SZP} = \delta_{max}$ の場合

$$\Delta L_{dif,tb} = \begin{cases} \Delta L_{SZP} + (\Delta L_{SXZ} + \Delta L_{XYZ}) & \delta_{SXZ} \geq \delta_{SYZ} \\ \Delta L_{SZP} + (\Delta L_{SYZ} + \Delta L_{SXY}) & \delta_{SXZ} < \delta_{SYZ} \end{cases} \quad (3.12)$$

ここで、 δ_{max} は δ_{SXP} , δ_{SYP} , δ_{SZP} のうちの最大値である。

3.2.6 張り出し型遮音壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,hb}$

上端を折り曲げた張り出し型遮音壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,hb}$ は、図-3.8 に示すように、音源と音源側回折点、予測点と予測点側回折点をおおの結ぶ直線の交点に先端を持つ仮想直壁に対する回折補正量 $\Delta L_{dif,sb}$ として、3.2.2 項の方法で計算する。

注記：図-3.8 の方法で $\Delta L_{dif,hb}$ を求める際、仮想直壁 O が極端に高くなる場合には注意を要する。張り出しの長さがおおむね 1 m 以内の張り出し型遮音壁については、図-3.9 のように厚い壁で近似し、3.2.4 項の方法で計算してもよい [30]。

3.2.7 先端改良型遮音壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,emb}$

上端部に取り付けた吸音体などの音響的装置により後背地への回折音を減衰させる遮音壁を先端

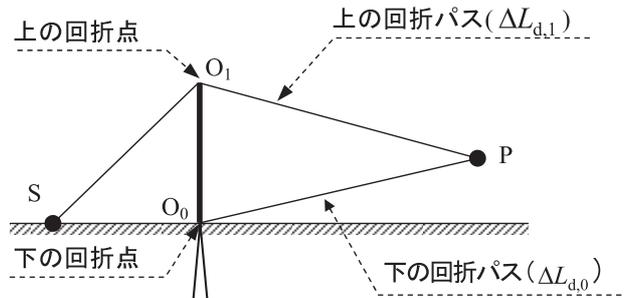


図-3.10 低層遮音壁の回折補正量の計算

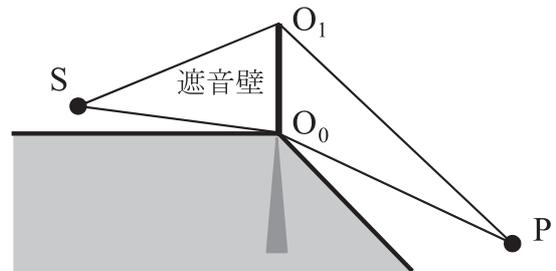


図-3.11 透過音計算の考え方

改良型遮音壁と呼ぶ。騒音低減効果は装置の大きさや減音原理により異なり、伝搬計算の方法を一般化して整理するのは難しい。参考資料 R3 に示すように、装置ごとの効果の特徴を反映させて計算を行う。

3.2.8 低層遮音壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,low}$

平面道路に設置されている高さ 1 m 程度の低層遮音壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,low}$ は、遮音壁の挿入損失として次式で計算する。

$$\Delta L_{dif,low} = \Delta L_{d,1} - \Delta L_{d,0} \quad (3.13)$$

ここで、 $\Delta L_{d,1}$ は図-3.10 に示す配置において遮音壁先端 O_1 を頂点とした場合の ΔL_d 、 $\Delta L_{d,0}$ は下端部 O_0 を頂点とした仮想障壁の ΔL_d である。

3.2.9 透過音を考慮した回折補正量 $\Delta L_{dif,trans}$

図-3.11 に示す配置において、遮音壁を透過する音の寄与を考慮する場合は、次式により計算した透過音を考慮した回折補正量 $\Delta L_{dif,trans}$ を用いる。

$$\Delta L_{dif,trans} = 10 \log_{10} \left(10^{\Delta L_{d,1}/10} + 10^{(\Delta L_{dif,slit} - R_{A,RTN})/10} \right) \quad (3.14)$$

ここで、 $\Delta L_{d,1}$ は遮音壁の頂点 O_1 を頂点とした場合の ΔL_d 、 $\Delta L_{dif,slit}$ はスリット回折に関する補正量 [dB]、 $R_{A,RTN}$ は自動車走行騒音の A 特性

表-3.3 一般的な遮音壁の音響透過損失の目安

遮音壁の種類	$R_{A,RTN}$ の目安 [dB]
吸音性遮音壁 (統一型遮音壁)	25
透光型遮音壁 (ポリカーボネート板, $t = 5\text{ mm}$ 程度)	20

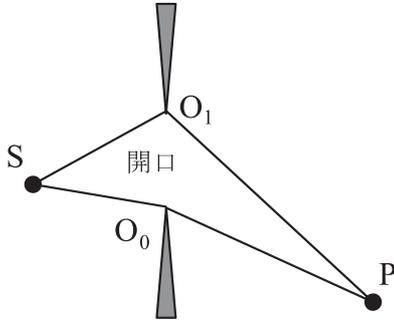
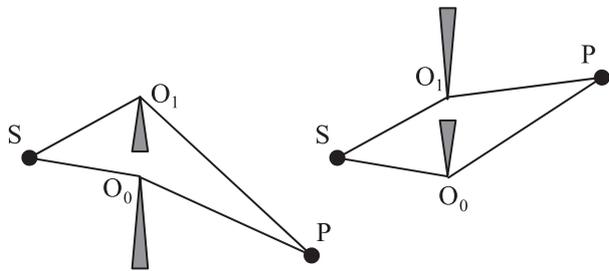


図-3.12 スリット回折



(a) $SO_1 + O_1P \geq SO_0 + O_0P$ (b) $SO_1 + O_1P < SO_0 + O_0P$

図-3.13 スリット回折計算での仮想遮音壁の設定

スペクトルを考慮した遮音壁の音響透過損失 [dB] である。参考として一般的な遮音壁の音響透過損失の目安を表-3.3 に示す。

$\Delta L_{\text{dif,slit}}$ は、図-3.12 に示すように遮音壁部をスリット開口 ($O_0 \sim O_1$) に置き換えて、開口を通過する音のエネルギー (遮音壁の音響透過損失 $R_{A,RTN}$ を 0 dB とした場合の遮音壁部分を透過する音のエネルギーに相当) を、図-3.13 に示すように二つの仮想障壁 (頂点 O_0 及び O_1) を回折するエネルギーの差として次式で計算する。

$$\Delta L_{\text{dif,slit}} = \begin{cases} 10 \log_{10} (10^{\Delta L_{d,0}/10} - 10^{\Delta L_{d,1}/10}) & SO_1 + O_1P \geq SO_0 + O_0P \\ 10 \log_{10} (10^{\Delta L_{d,1}/10} - 10^{\Delta L_{d,0}/10}) & SO_1 + O_1P < SO_0 + O_0P \end{cases} \quad (3.15)$$

注記: $R_{A,RTN}$ は、実際に使用する遮音壁、又はそれと同等な遮音壁の音響透過損失の実験値を用いることが望ましい。なお、実際の設置においては、パネル間の隙間や、パ

ネルと取り付け部材間の隙間の影響で実験室における音響透過損失ほどの遮音効果が得られない場合もあるので注意を要する。

3.3 地表面効果に関する補正量 ΔL_{grnd}

(1) 計算式

道路から沿道の予測点に音が伝搬する場合、路面、道路の法面、沿道の地面など多種類の地表面の影響を受けて減衰する。この減衰効果 (超過減衰) に関する補正量 ΔL_{grnd} は、舗装路面の種類にかかわらず、個々の地表面による減衰効果の和として、次式で計算する [31]。

$$\Delta L_{\text{grnd}} = \sum_{i=1}^n \Delta L_{\text{grnd},i} \quad (3.16)$$

$$\Delta L_{\text{grnd},i} = \begin{cases} -K_i \log_{10} \frac{r_i}{r_{c,i}} & r_i \geq r_{c,i} \\ 0 & r_i < r_{c,i} \end{cases} \quad (3.17)$$

ここで、 $\Delta L_{\text{grnd},i}$ は i 番目の地表面による減衰に関する補正量 [dB]、 K_i は i 番目の地表面による超過減衰に関する係数、 r_i は i 番目の地表面上の伝搬距離 [m]、 $r_{c,i}$ は i 番目の地表面による超過減衰が生じ始める距離 [m] である。

係数 K_i や定数 $r_{c,i}$ は地表面の種類によって異なる。代表的な 3 種類の地表面 (柔らかい畑地、草地、固い地面) について K_i と $r_{c,i}$ の計算式を示す。なお、アスファルトなどの舗装面では、 $\Delta L_{\text{grnd}} = 0$ とする。

注記 1: 伝搬距離が大きくなると風などの気象の影響を受け、計算値ほどの減衰が得られないこともあるため注意を要する [32]。

注記 2: 式 (3.17) は、均質で一様な有限のインピーダンスを持つ境界面上における音の伝搬理論に基づいて、密粒舗装における自動車走行騒音の平均的なスペクトルを用いた場合の超過減衰の計算結果から設定した計算式である [33]。

(2) 地表面による超過減衰に関する係数 K_i

式 (3.17) における係数 K_i は、地表面の種類と平均伝搬経路高 $H_{a,i}$ を用いて次式で計算する [34]。

1) 柔らかい畑地

$$K_i = \begin{cases} 3.93 \sqrt{H_{a,i} + 0.081} + 15.1 & 0.6 \leq H_{a,i} < 1.5 \\ 20.0 & H_{a,i} \geq 1.5 \end{cases} \quad (3.18)$$

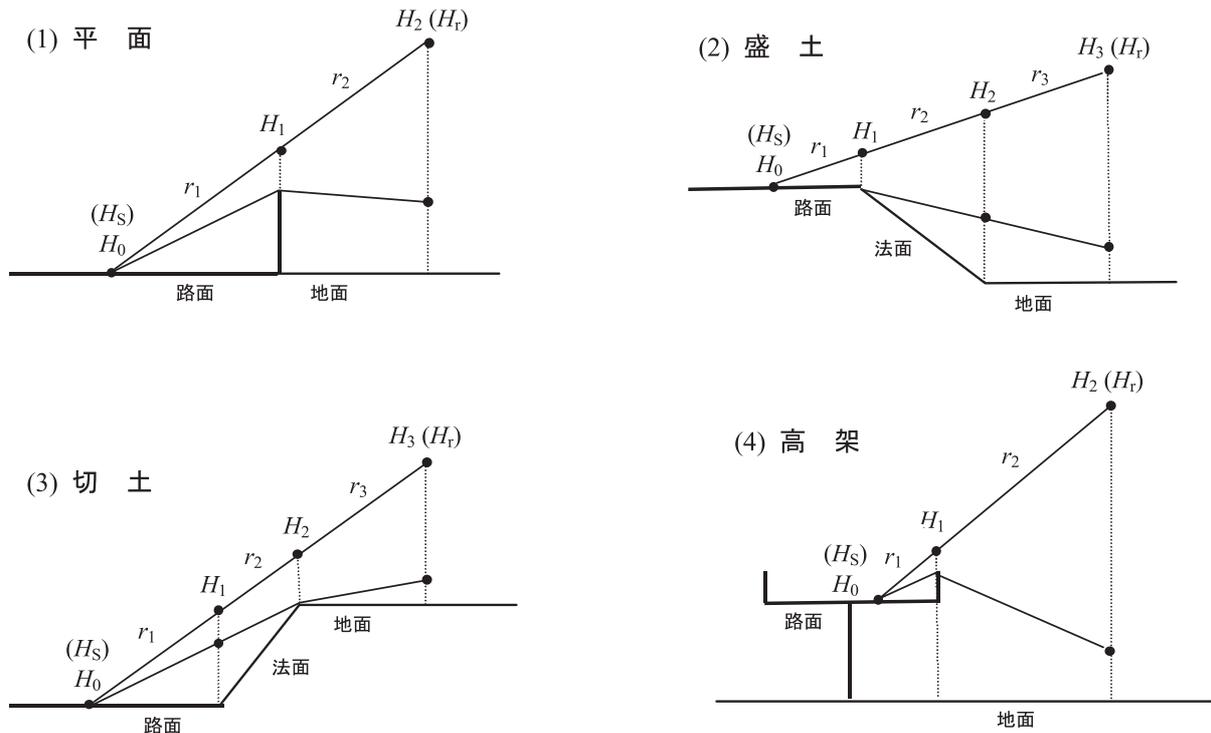


図-3.14 各地表面上の伝搬経路高さ

2) 草地

$$K_i = \begin{cases} 6.98\sqrt{H_{a,i}} - 0.537 + 9.85 & 0.6 \leq H_{a,i} < 1.5 \\ 2.48\sqrt{H_{a,i}} - 1.42 + 16.0 & 1.5 \leq H_{a,i} < 4.0 \\ 20.0 & H_{a,i} \geq 4.0 \end{cases} \quad (3.19)$$

3) 固い地面

$$K_i = \begin{cases} 4.97H_{a,i} - 0.472H_{a,i}^2 + 5.0 & 0.6 \leq H_{a,i} < 3.0 \\ 1.53\sqrt{H_{a,i}} - 2.94 + 15.3 & H_{a,i} \geq 3.0 \end{cases} \quad (3.20)$$

ここで、平均伝搬経路高 $H_{a,i}$ は、図-3.14 に示すように最短伝搬経路を考え、対象とする地表面の両端における伝搬高さ H_{i-1} と H_i の平均値とし、次式で計算する。なお、切土道路については、法肩位置の H_2 が 1m 未満でも、 $H_2 = 1m$ として計算する [31]。

$$H_{a,i} = \frac{(H_{i-1} + H_i)}{2} \quad (3.21)$$

(3) 地表面による超過減衰が生じ始める距離

$r_{c,i}$

式 (3.17) における $r_{c,i}$ は、次式で与えられる [34]。

$$r_{c,i} = g(Z_i) \cdot (H_{a,i})^{f(Z_i)} \quad (3.22)$$

ここで、 Z_i は対象とする地表面の両端における伝搬高さ H_{i-1} と H_i から次式で計算する。

$$Z_i = \frac{|H_{i-1} - H_i|}{(H_{i-1} + H_i)} \quad (3.23)$$

また、 $f(Z_i)$ は、 Z_i の関数として次式で計算する。

1) 柔らかい畑地

$$f(Z_i) = \begin{cases} 2.09 & 0.0 \leq Z_i < 0.4 \\ 2.09 - 0.124(Z_i - 0.4) + 0.711(Z_i - 0.4)^2 - 2.47(Z_i - 0.4)^3 & 0.4 \leq Z_i < 0.8 \\ 2.00 - 1.72(Z_i - 0.8) + 21.6(Z_i - 0.8)^2 - 189(Z_i - 0.8)^3 & 0.8 \leq Z_i \leq 1.0 \end{cases} \quad (3.24)$$

表-3.4 $g(Z_i)$ における係数

地表面の種類	a	b	c	d
柔らかい畑地	35.1	3.26	-61.2	30.3
草地	23.8	1.69	-38.2	23.3
固い地面	18.6	0.946	-32.5	32.2

2) 草地

$$f(Z_i) = \begin{cases} 2.3 & 0.0 \leq Z_i < 0.4 \\ 2.3 - 0.387(Z_i - 0.4) \\ + 0.920(Z_i - 0.4)^2 \\ - 5.47(Z_i - 0.4)^3 & 0.4 \leq Z_i \leq 1.0 \end{cases} \quad (3.25)$$

3) 固い地面

$$f(Z_i) = \begin{cases} 2.3 & 0.0 \leq Z_i < 0.2 \\ 2.3 + 0.170(Z_i - 0.2) \\ - 1.38(Z_i - 0.2)^2 \\ - 0.648(Z_i - 0.2)^3 & 0.2 \leq Z_i \leq 1.0 \end{cases} \quad (3.26)$$

$g(Z_i)$ は次式で計算する。

$$g(Z_i) = a + bZ_i + cZ_i^2 + dZ_i^3 \quad (3.27)$$

上式における係数 a, b, c, d は、地表面の種類別に表-3.4 で与えられる。ただし、固い地面で $H_{a,i} < 1.1$ の場合には、 $r_{c,i}$ は次式で計算する。

$$r_{c,i} = g(Z_i) \cdot (1.1)^{f(Z_i)} \cdot 10^{(H_{a,i}-1.1) \cdot h(Z_i)} \quad (3.28)$$

ここで、

$$h(Z_i) = 0.517 - 0.0592 Z_i - 1.30 Z_i^2 + 1.19 Z_i^3 \quad (3.29)$$

注記 1: 上記の方法は、沿道地表面を細かく分割すると、個々の地表面での伝搬距離が距離 $r_{c,i}$ に達することなく超過減衰が生じない問題が起きるので注意が必要である。なお、地表面の細分化に対しても累積的な超過減衰を近似する簡易計算法 [35] が提案されている。

注記 2: 回折と地表面効果は、本来は独立なものではなく、互いに密接に関係し合っている。道路に遮音壁を設けた場合、回折補正量は大きくなるが、伝搬高さが増加して地表面効果は減少する。このような場合の地表面効果は、伝搬経路を遮音壁の位置で分割し、遮音壁前・後の二つの地表面上での地表面効果による補正量の和とする。なお、沿道地表面が舗装面であることによって、遮音壁背後の予測点において地面反射の影響が無視できない場合は、鏡面反射を仮定した地面反射音を加算してよい。

3.4 空気の音響吸収に関する補正量 ΔL_{air}

空気の音響吸収による減衰に関する補正量 ΔL_{air} は、大気の状態を気温 20°C, 相対湿度 60%, 1 気圧 (101.325 kPa) と想定して次式で計算する。

$$\Delta L_{\text{air}} = -6.84 \left(\frac{r}{1000} \right) + 2.01 \left(\frac{r}{1000} \right)^2 - 0.345 \left(\frac{r}{1000} \right)^3 \quad (3.30)$$

ここで、 r は音源から予測点までの距離 [m] である。

注記: 上式は、JIS Z 8738:1999 で規定されている空気の音響吸収の計算方法を基に、密粒舗装道路における自動車走行騒音のスペクトル (定常走行部) を用いて導いたものである [36]。異なる大気の状態について予測する必要がある場合は、同様の計算を行えばよい。

3.5 反射音の計算方法

掘割・半地下構造道路や高架・平面道路併設部の予測では、反射を取り扱う必要がある。その場合、反射面が平坦で十分大きい場合には鏡面反射として扱ってよい。一方、表面に凹凸がある場合には散乱反射として扱う。

3.5.1 鏡面反射法

(1) 計算式

図-3.15(a) のように音源 S と予測点 P 及び端部を O とする平坦な半無限反射面を考える。この場合の反射音は、図-3.15(b) に示すように反射面に対する S の鏡像音源 S' から反射面と相補的に設定した半無限吸音障壁 (仮想障壁) を回折して P に到達する音波と見なす。この考えに基づく鏡面反射法の計算式を以下に示す。

$$L_{A,\text{refl}} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{\text{refl}} + \Delta L_{\text{abs}} \quad (3.31)$$

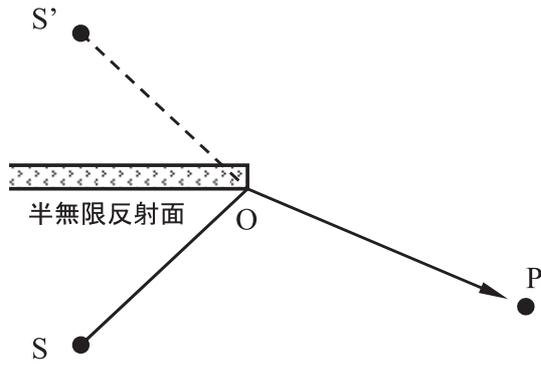
ここで、 $L_{A,\text{refl}}$ は反射音の A 特性音圧レベル [dB], r は S' から P までの直達距離 [m], ΔL_{refl} は反射面が有限であることによる補正量 [dB] (以下、反射補正量と呼ぶ), ΔL_{abs} は反射面の吸音性に関する補正量 [dB] (3.5.3 項参照) である。

(2) 反射補正量 ΔL_{refl}

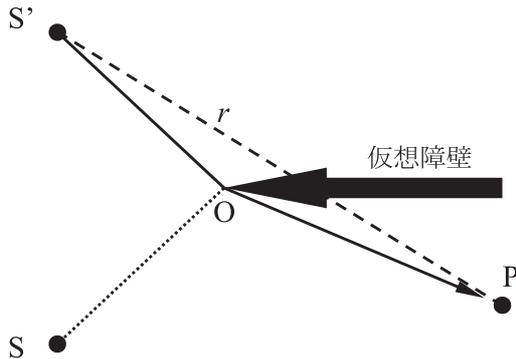
ΔL_{refl} は、以下に示す反射補正量計算の基本量 ΔL_r を用いて計算する。

1) 反射補正量計算の基本量 ΔL_r

ΔL_r は、音源の鏡像 S' , 回折点 O , 予測点 P としたときの回折経路 $S'OP$ と直達経路 $S'P$ の経路差 δ [m] を用いて次式で計算する。



(a) 平坦な面での反射



(b) 音源の鏡像 S' からの伝搬

図-3.15 半無限平坦面による反射音の扱い方

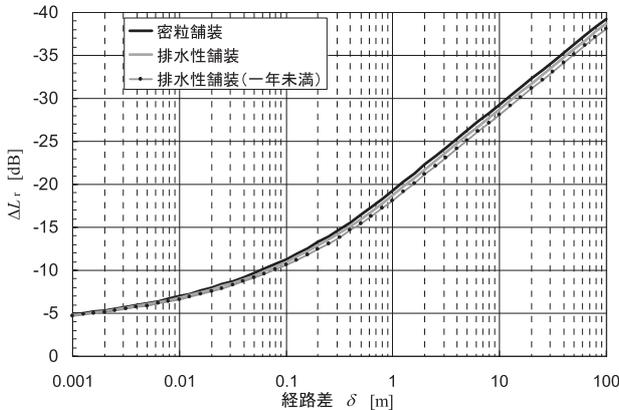


図-3.16 ΔL_r と経路差 δ の関係

$$\Delta L_r = \begin{cases} -20 - 10 \log_{10}(c_{\text{spec}} \delta) & c_{\text{spec}} \delta \geq 1 \\ -3 - 19.3 \cdot \sinh^{-1}((c_{\text{spec}} \delta)^{0.33}) & 0 \leq c_{\text{spec}} \delta < 1 \end{cases} \quad (3.32)$$

c_{spec} は表-3.2 に示した値を用いる。 ΔL_r と δ の関係を図-3.16 に示す。

2) 半無限反射面での反射補正量 ΔL_{refl}

図-3.15(a) のような半無限反射面での反射補正

量 ΔL_{refl} は、図-3.15(b) のように仮想障壁を設定し次式で計算する。

[図-3.15(b) で P から S' が見えないとき]

$$\Delta L_{\text{refl}} = \Delta L_r \quad (3.33)$$

[図-3.15(b) で P から S' が見えるとき]

$$\Delta L_{\text{refl}} = 10 \log_{10}(1 - 10^{\Delta L_r/10}) \quad (3.34)$$

3) 帯状反射面での反射補正量 $\Delta L_{\text{refl,slit}}$ (スリット法)

図-3.17(a) に示すように、音源 S と予測点 P 及び平坦で有限幅の反射面 $O_1 \sim O_2$ を考える。この場合の反射音は、図-3.17(b) に示すように反射面に対する S の鏡像音源 S' から反射面と同じ幅の開口 (スリット) $O_1 \sim O_2$ を透過して P に到達する音波と見なすことができる。

開口を通過する音のエネルギーは、図-3.17(c) に示す二つの仮想障壁によって回折する音のエネルギーの差として求める。この方法による反射補正量 $\Delta L_{\text{refl,slit}}$ は次式で計算する。

$$\Delta L_{\text{refl,slit}} = 10 \log_{10} \left| 10^{\Delta L_{\text{refl},1}/10} - 10^{\Delta L_{\text{refl},2}/10} \right| \quad (3.35)$$

ここで、 $\Delta L_{\text{refl},1}$ 又は $\Delta L_{\text{refl},2}$ は O_1 又は O_2 をエッジと考えたときの反射補正量 ΔL_{refl} [dB] であり、式 (3.33)、式 (3.34) で計算する。

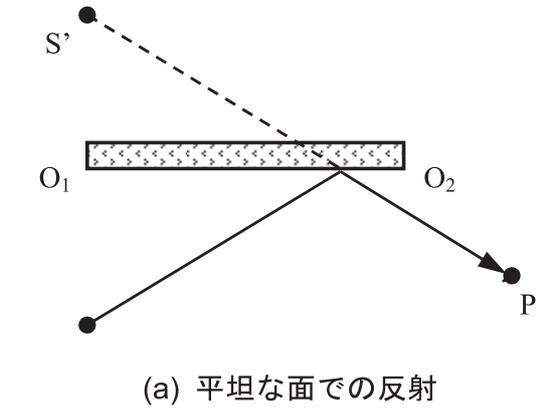
4) 矩形反射面での反射補正量 $\Delta L_{\text{refl,rect}}$

建物外壁のような矩形面での反射は、その面を無限大障壁に含まれる開口面と見なし、音源 S の鏡像 S' からその開口を透過して予測点 P に到達する音として計算する。

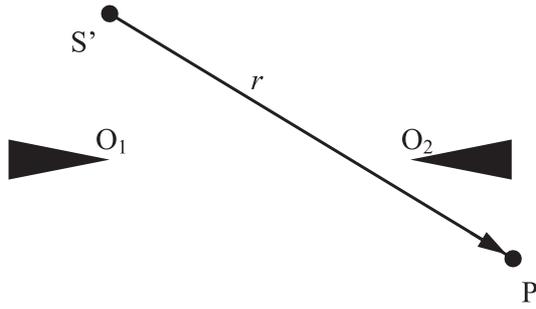
図-3.18 に示すように、仮想した無限大障壁を仮想開口面の4辺を延長した直線で9分割する。ここで、領域 $\Gamma_i, \Gamma_j, \Gamma_k$ からの音の寄与を D_{ijk} と表す。このとき全領域を通して到達するエネルギーに対する矩形開口面 (領域 Γ_0) から到達するエネルギーの比をレベル表示した反射補正量 $\Delta L_{\text{refl,rect}}$ [dB] は、次式で計算する [37]。

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{refl,rect}} &= 10 \log_{10} D_0 \\ &= 10 \log_{10}(1 - D_{1-8}) \end{aligned} \quad (3.36)$$

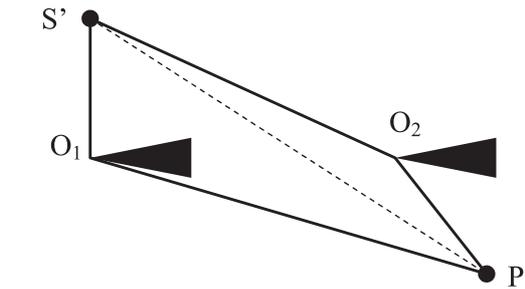
ここで、 D_0 は領域 Γ_0 を透過する音の寄与、 D_{1-8} は領域 Γ_1 から Γ_8 (Γ_0 以外) を透過する音の寄与



(a) 平坦な面での反射



(b) 音源の鏡像 S'からの伝搬



(c) スリット法の計算における仮想障壁の設定

図-3.17 スリット法による反射音の扱い方

であり、 $D_0 + D_{1-8} = 1$ を仮定している。 D_{1-8} は次式により計算する [26]。

$$D_{1-8} = D_{123} + D_{678} + D_4 + D_5 \quad (3.37)$$

$$D_4 = (1 - D_{123} - D_{678}) \times D_{146} \quad (3.38)$$

$$D_5 = (1 - D_{123} - D_{678}) \times D_{358} \quad (3.39)$$

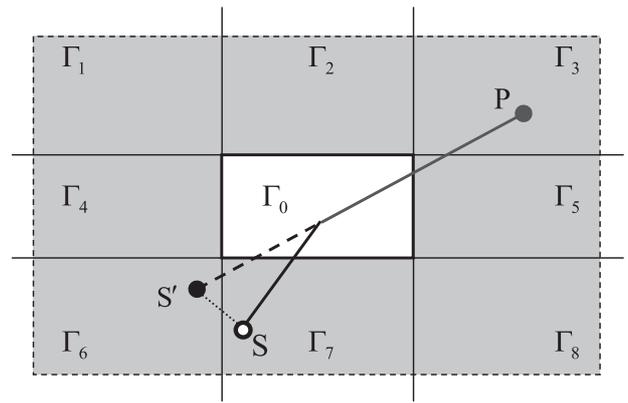
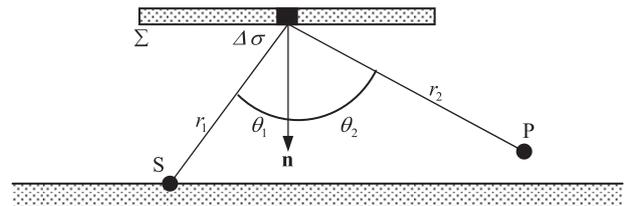


図-3.18 矩形面 (領域 Γ_0) における反射音の計算



\mathbf{n} は $\Delta\sigma$ の法線ベクトル

図-3.19 散乱反射法

$$D_{ijk} = 10^{\Delta L_{\text{refl},ijk}/10} \quad (3.40)$$

ここで、 $\Delta L_{\text{refl},ijk}$ は領域 i, j, k が「開」で他の領域が「閉」の場合の ΔL_{refl} で、式 (3.32) から式 (3.34) を用いて計算する。

3.5.2 散乱反射法

反射面を Lambert の余弦則に従う散乱反射面と仮定して計算する方法である [38]。図-3.19 に示すように、半自由空間中に点音源 S、予測点 P、反射面 Σ を考える。P における反射面全体からの反射音の A 特性音圧レベル $L_{A,\text{refl}}$ [dB] は、次式で計算する。

$$\begin{aligned} L_{A,\text{refl}} = & L_{WA} - 13 \\ & + 10 \log_{10} \int_{\Sigma} \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{r_1^2 \cdot r_2^2} d\sigma \\ & + \Delta L_{\text{abs}} \end{aligned} \quad (3.41)$$

注記：この方法では、反射角 θ_2 が 90° に近づくると反射音のパワーが 0 に近づき、誤差が大きくなるので注意を要する。

3.5.3 吸音に関する補正量 ΔL_{abs}

吸音に関する補正量 (吸音補正量) ΔL_{abs} [dB] は、次式で計算する。

$$\Delta L_{\text{abs}} = 10 \log_{10}(1 - \alpha_{A,\text{RTN}}) \quad (3.42)$$

表-3.5 材料の吸音率の目安

材料	$\alpha_{A,RTN}$
高架裏面吸音板	0.90
掘割側壁吸音板	0.85
吸音性遮音壁 (統一型遮音壁)	0.75
建物外壁吸音材	0.75
橋脚吸音材	0.70
植栽柵の側面吸音板	0.70
コンクリート面, アスファルト面	0.00~0.02

表-3.6 風の影響による L_{Aeq} の変化量 $\Delta L_{m,line}$

ベクトル風速 U_{vec} [m/s]	道路中心からの距離 l		
	50 m	100 m	200 m
±1	±0.5	±0.5	±1.0
±3	±1.5	±2.0	±3.0
±5	±2.5	±3.5	±5.0

(単位: [dB], 複号同順)

ここで, $\alpha_{A,RTN}$ は道路交通騒音のスペクトルを考慮した吸音率で, 実験により $\alpha_{A,RTN}$ が得られている場合はその値を用いる。また, 表-3.5 に示す吸音材の平均斜入射吸音率の判定基準値 [39, 40] を用いてもよい。

3.6 気象の影響

風, 大気温度勾配, 大気乱れなどによって騒音の伝搬性状は極めて複雑に変化する。このうち, 風の影響による L_{Aeq} の変化量 $\Delta L_{m,line}$ [dB] は, 直線状の道路の場合には, 道路構造の種類, 遮音壁の有無, 地表面の違いなどにかかわらず次式によって推定する。

$$\Delta L_{m,line} = \begin{cases} 0.88 \log_{10} \left(\frac{l}{15} \right) \cdot U_{vec} & l > 15 \\ 0 & l \leq 15 \end{cases} \quad (3.43)$$

ここで, l は道路の中心から予測点までの水平距離 [m], U_{vec} はベクトル風速 [m/s] で, $U_{vec} = U \cos \theta$ (U は平均風速 [m/s], θ は予測点から道路への垂線と風向のなす角度) で表される。なお, U_{vec} は順風の場合を正 (+), 逆風の場合を負 (-) とする。

式 (3.43) により求めた L_{Aeq} の変化量 $\Delta L_{m,line}$ (0.5 dB 間隔で丸めた数値) を表-3.6 に示す。

注記: 式 (3.43) は, 点音源についての風の影響による変化量の実測データから求めた実験式 [41] をもとに, これまでに収集された道路交通騒音の実測データから暫定的に求めた値である。

文 献

[22] 松本敏雄, “道路交通騒音予測に関する模型実験,” 音響学会誌, **63**, 537-542 (2007).

[23] 前川純一, “障壁 (塀) の遮音設計に関する実験的研究,” 音響学会誌, **18**, 187-196 (1962).

[24] 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**, 40-43 (1991).

[25] 大久保朝直, 福島昭則, “道路交通騒音予測における遮音壁表面の吸音効果の算定式,” 音講論集, pp. 1123-1126 (2014.3).

[26] 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,” 音響学会誌, **50**, 271-278 (1994).

[27] K. Takagi, R. Hotta and K. Yamamoto, “A simple method for the calculation of noise attenuation by a finite length barrier,” *Appl. Acoust.*, **43**, 353-365 (1994).

[28] K. Takagi, Y. Park, R. Hotta and K. Yamamoto, “Comparison of simple prediction method for noise reduction by double barriers,” *Proc. inter-noise 96*, pp. 779-782 (1996).

[29] 上坂克己, 大西博文, 三宅龍雄, 山本貢平, 高木興一, “多重回折による減音効果の計算方法—障壁間隔が大きい場合—,” 音講論集, pp. 705-706 (1999.3).

[30] 大久保朝直, 山本貢平, “道路交通騒音に対する張り出し型遮音壁の騒音低減効果,” 騒音制御工学会研究発表会講論集, pp. 121-124 (2008.9).

[31] 三宅龍雄, 上坂克己, 大西博文, 山本貢平, 高木興一, “道路交通騒音予測における地表面効果計算方法の検討,” 音講論集, pp. 725-726 (1998.3).

[32] 横田考俊, 大久保朝直, “道路交通騒音の伝搬における気象影響の波動数値解析,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-19 (2014.3).

[33] K. Yamamoto and M. Yamashita, “A simple model for estimating excess attenuation of road traffic noise,” *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, **8**, 13-22 (1987).

[34] K. Yamamoto, M. Yamashita and T. Mukai, “Revised expression of vehicle noise propagation over ground,” *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, **15**, 233-241 (1994).

[35] 三宅龍雄, 鳥海英宏, 鈴木真一, “複数の異なる地表面上における過剰減衰の簡易計算,” 音講論集, pp. 767-768 (2003.9).

[36] 吉久光一, 那須猛士, 高木興一, 橋 秀樹, “道路交通騒音の伝搬に及ぼす空気音響吸収の影響,” 音響学会騒音・振動研資, N-99-21 (1999.3).

[37] 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・振動研資, N-2006-56 (2006.11).

[38] ハイブリッド クットルフ (訳: 藤原恭司・日高孝之), 室内音響学 (市ヶ谷出版社, 東京, 2003), 第 4 章.

[39] 平成 7 年度建設技術評価制度公募課題「騒音低減効果の大きい吸音板の開発」.

[40] 日本道路公団試験研究所, 試験研究所技術手帳騒音の基礎から応用まで (日本道路公団試験研究所, 東京, 2000), p. 89.

[41] 橋 秀樹, 吉久光一, 石井聖光, “騒音の広域伝搬に対する風の実用的な予測方法 (基本モデルの検討),” 音響学会建築音響研資, AA-83-05 (1983.2).

4. 道路特殊箇所の騒音

インターチェンジ部, 連結部, 信号交差点部, トンネル坑口周辺部, 掘割・半地下部, 高架・平面

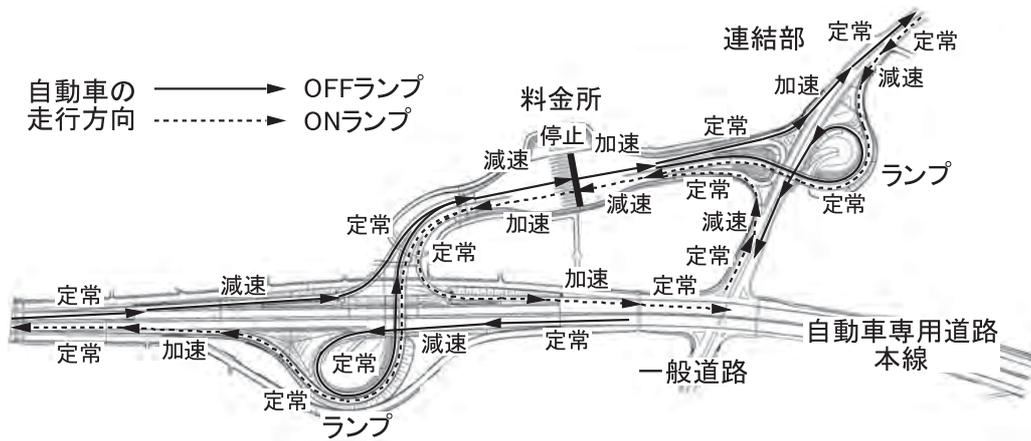


図-4.1 インターチェンジ部，連結部における走行状態

道路併設部，複層高架部などの道路特殊箇所では，道路の構造や自動車の走行状態が複雑で，騒音の予測計算では一般部とは異なった取り扱いが必要である。そこで騒音の予測は，それぞれの箇所について以下に述べる計算方法による。

4.1 インターチェンジ部

インターチェンジ部は，道路の平面・縦断線形が変化するという道路形状であることに加え，自動車が料金所付近で減速，停止，発進・加速する，又は本線とランプの合流部付近で加速もしくは減速するという走行状態を示すことに特徴がある（図-4.1 参照）。ここでは，このような特徴に着目して行われた研究の成果に基づいて，インターチェンジ部周辺における騒音の予測計算方法を示す。

4.1.1 計算手順

料金所を含むインターチェンジ部を走行する自動車の走行速度は時々刻々変化するため，道路一般部に比べてユニットパターンの求め方はやや複雑となる。まず，離散的に設定した各音源位置における自動車の走行状態に応じたパワーレベルを2章で示した方法によって設定し，音源位置から予測点に至る伝搬計算を3章に示した方法で行う。その結果から，自動車走行位置と走行経過時間との関係を考慮して，時間の関数としてのユニットパターンを求める。一例として，1台の自動車が自動車専用道路の本線からランプ，料金所を通過して一般道路へ走行するケースについて，走行速度，パワーレベルの変化，及びそれに基づいて計算した料金所近傍におけるユニットパターンを図-4.2に示す。時間の関数としてのユニットパターンを求めるためには，この図に示すようなタイムテ

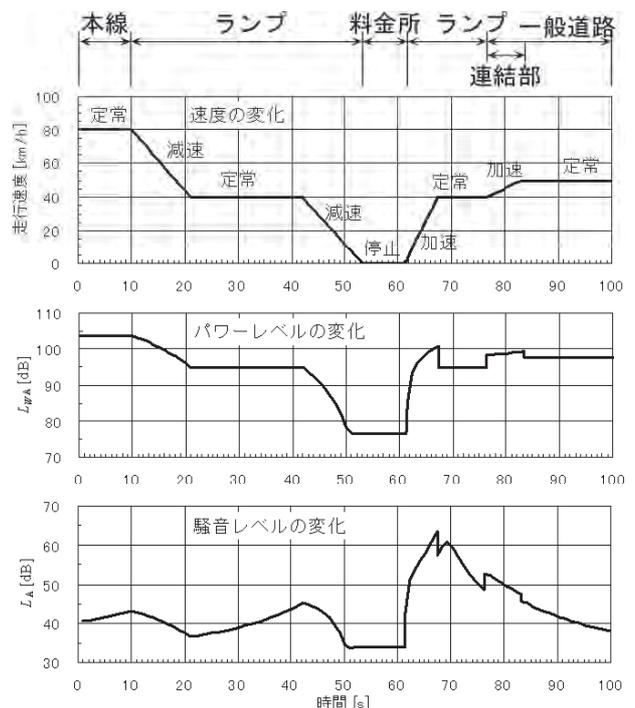


図-4.2 料金所付近のユニットパターンの概念

ブルを作成する必要がある，自動車の位置，初速度，加速度，終速度，停止時間等を設定して計算する。このようにして求められたユニットパターンから L_{Aeq} を計算する方法は，道路一般部の場合と同様である。

4.1.2 自動車の加速度

インターチェンジ部を走行する自動車の加速時及び減速時の加速度は，表-4.1 に示す値を用いる [6, 42]。なお，二輪車については乗用車の値を用いることとする。

4.1.3 料金所における停止時間

料金所におけるサービス時間としては，入口における発券，出口における料金徴収に要する自動

表-4.1 インターチェンジ部を走行する自動車の加減速時の加速度

車種	小型車類			大型車類		
	乗用車	小型貨物車		中型車	大型車	
加速時	1.9	1.4	1.8	1.3	1.1	1.2
減速時	-1.0	-0.9	-1.0	—	—	-0.8

(単位：[m/s²])

表-4.2 料金所におけるサービス時間

入口	6
出口	14
均一料金	8

(単位：[s])

車の停止時間とし、表-4.2 に示す値を用いる [43]。

注記：自動料金収受システム (ETC: Electronic Toll Collection System) を設置した料金所については、実測結果に基づいて暫定的に設定した自動車の加速度並びに料金所の通過速度を用いる [44]。

4.2 連結部

連結部とは、図-4.1 に示すような自動車専用道路のランプと一般道路を接続する加減速部である。騒音計算は、インターチェンジ部のランプから本線へ合流する場合又はその逆の場合と同じ考え方で行う。

加減速時のパワーレベルは、2.2.3 項の (2) に示した方法を用いる。加減速時の加速度は、車種によらず一定値 (加速時は 0.4 m/s², 減速時は -1.3 m/s²) を用いる。

注記：加速時の加速度は現地実測調査によって得られた値である。減速時の加速度は、付属資料 A3 に示す信号交差点部での現地実測調査により得られた減速時の加速度を便宜的に用いる。

4.3 信号交差点部

市街地の一般道路には信号交差点が多数存在し、個々の自動車は発進、加速、定常、減速、停止を頻繁に繰り返しながら走行しており、交通流は非定常流となっている。交差点部の騒音は、図-4.3 に示すとおり単に 2 本の道路が交差すると見なし、各々の道路に非定常走行のパワーレベル式を適用して L_{Aeq} を計算し、それらをエネルギー合成する [45]。

注記：実際の信号交差点付近では、信号現示の変化に対応して個々の車両の走行状態が変化し、それに応じてパワーレベルは大きく変化する。そのため、例えば信号現示の違いによる沿道騒音の差を詳細に検討する場合のように、車

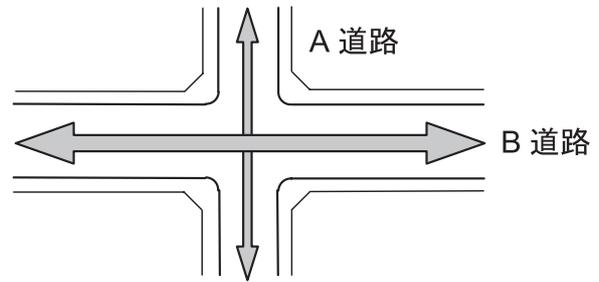


図-4.3 信号交差点部の道路

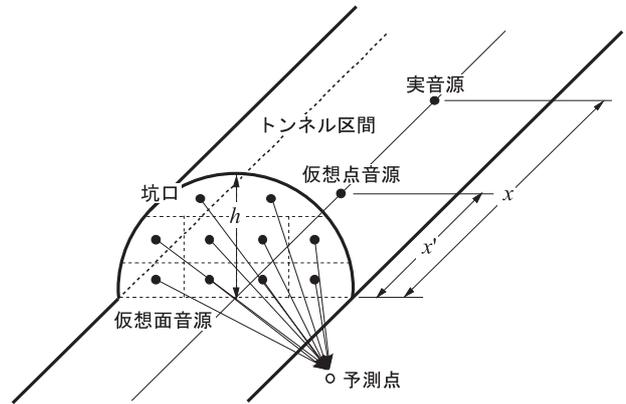


図-4.4 トンネル内の自動車と仮想音源の配置

両の走行状態の変化を考慮することが重要な場合もある。このような場合には、信号交差点付近のユニットパターンから沿道騒音を計算する準精密法 (実用計算法) や準精密法を簡便化した方法 (簡易計算法) を用いる [46]。これらの計算方法の概要を付属資料 A3 に示す。

4.4 トンネル坑口周辺部

本予測モデルでは、坑口から放射されるトンネル内部の自動車の騒音 (坑口音) を直接音とそれ以外の反射音・拡散音に分けてモデル化している。前者は、トンネル内の仮想点音源から坑口を通して放射されるとし、後者はトンネル内における直接音以外の反射・拡散音が坑口に想定した仮想面音源から放射されると仮定している [47]。

注記：この計算モデルは、原則として坑口の形状が半円形及び矩形の場合に適用するが、それ以外の形状についても適用の可能性が検討されている [48]。更に、トンネル内の吸音率が区間によって異なる場合にも適用できる。

4.4.1 トンネル坑口音の計算方法

トンネル内を走行する 1 台の自動車によって坑口周辺部で観測される A 特性音圧レベル L_A [dB] は、次式で計算する (図-4.4 参照)。

$$L_A = 10 \log_{10} \left(10^{L_{A,TD}/10} + 10^{L_{A,TR}/10} \right) \quad (4.1)$$

ここで、 $L_{A,TD}$ は仮想点音源からの直接音の寄与

[dB], $L_{A,TR}$ はそれ以外の反射音・拡散音 (仮想面音源) の寄与 [dB] である。

$L_{A,TD}$ は, 3.1 節に示した伝搬計算の基本式に準じて次式で計算する。

$$L_{A,TD} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{dif} + \Delta L_{grnd} \quad (4.2)$$

ここで, L_{WA} は自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル [dB], r は仮想点音源から予測点までの直達距離 [m], ΔL_{dif} は坑口エッジ等における回折に伴う減衰に関する補正量 [dB], ΔL_{grnd} は地表面効果による減衰に関する補正量 [dB] である。

$L_{A,TR}$ に関しては, 面音源を等面積の 10 個程度の要素に分割して各要素を点音源に置換し, 各点音源からの寄与 $L_{A,TR,i}$ の合成として求める。

$$L_{A,TR} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^N 10^{L_{A,TR,i}/10} \right) \quad (4.3)$$

$$L_{A,TR,i} = L'_{WA,R} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{dif,i} + \Delta L_{grnd,i} \quad (4.4)$$

$$L'_{WA,R} = L_{WA,R} - 10 \log_{10} N \quad (4.5)$$

ここで, N は面音源の分割数, $L_{WA,R}$ は面音源の A 特性音響パワーレベル [dB], $L'_{WA,R}$ は分割された面音源を点音源と見なした場合の A 特性音響パワーレベル [dB] である。

4.4.2 仮想音源の位置とパワーレベル

仮想点音源のパワーレベルは実音源 (自動車走行音) と同じとし, その設定位置 (坑口からの距離) x' は, トンネル内の吸音に関するパラメータ a と坑口から自動車までの実距離 x によって次式で計算する。

$$x' = ax \quad (4.6)$$

トンネル内の吸音特性が区間により異なる場合は, a を次式で計算する。

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i x_i)}{\sum_{i=1}^N x_i} \quad (4.7)$$

ここで, a_i は区間 i の吸音に関するパラメータ, x_i は距離 x に含まれる区間 i の長さ [m] である。

坑口面位置に設定した仮想面音源のパワーレベ

表-4.3 吸音に関するパラメータ a

壁面状況	密粒舗装	排水性舗装
吸音対策無し	0.04	0.1
側壁吸音対策	—	0.4
全周吸音対策	0.6	—

ル $L_{WA,R}$ は, 実音源により坑口から放射されるすべての音の A 特性音響パワー $P_{A,T}$ [W] から直接音として放射される音の A 特性音響パワー $P_{A,D}$ [W] を差し引いて次式で計算する。

$$L_{WA,R} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{A,T} - P_{A,D}}{10^{-12}} \right) \quad (4.8)$$

トンネルが半径 h [m] の半円形の場合は $P_{A,T}$, $P_{A,D}$ を次式で計算する。

$$P_{A,T} = \frac{P_A}{2} \left\{ 1 - \frac{ax}{\sqrt{h^2 + (ax)^2}} \right\} \quad (4.9)$$

$$P_{A,D} = \frac{P_A}{2} \left\{ 1 - \frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} \right\} \quad (4.10)$$

ここで, P_A は実音源の A 特性音響パワー [W] である。

また, トンネルが幅 $2w$ [m], 高さ h [m] の矩形の場合は次式で計算する。

$$P_{A,T} = \frac{P_A}{\pi} \tan^{-1} \left\{ \frac{wh}{\sqrt{(ax)^4 + (w^2 + h^2) \cdot (ax)^2}} \right\} \quad (4.11)$$

$$P_{A,D} = \frac{P_A}{\pi} \tan^{-1} \left\{ \frac{wh}{\sqrt{x^4 + (w^2 + h^2) \cdot x^2}} \right\} \quad (4.12)$$

4.4.3 トンネル内の吸音に関するパラメータ

トンネル内の吸音に関するパラメータ a は, 路面の舗装の別に表-4.3 の値を用いる。

注記: パラメータ a とトンネル内壁面の平均吸音率 $\alpha_{A,RTN}$ (3.5.3 項参照) の関係が調べられており, 平均吸音率 $\alpha_{A,RTN}$ を用いてパラメータ a を推定することもできる [47, 48]。

4.5 掘割・半地下部

掘割構造道路とは, 路面の位置が周辺の地盤より低く, 人工構造物の側壁を有する道路のことである。また, 掘割構造道路で天井部分が水平方向に張り出した構造物を有する場合, ここでは特に

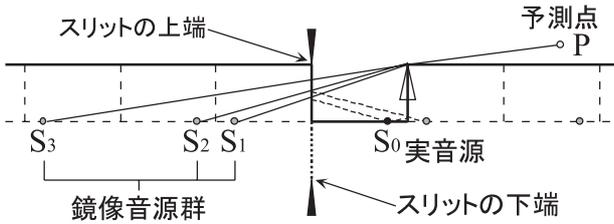


図-4.5 スリット法における掘割部の実音源と鏡像音源群

半地下構造道路と呼ぶ。掘割構造道路では、側壁間で騒音の多重反射が発生する。更に半地下構造道路では、路面、側壁、天井で囲まれた空間内で多重反射が発生し易い。このような特徴を持つ掘割・半地下構造道路からの騒音伝搬の予測方法としては、幾つかの方法が考えられる。そのうちここでは、スリット法による計算方法、指向性点音源モデルを仮定した簡易計算法を示す。更に精密な予測をする必要がある場合には、波動数値解析（付属資料 A4 参照）、又は縮尺模型実験 [22] による。

注記：半地下構造道路の騒音対策に用いられる吸音ルーバー [49] の設置効果の予測については、指向性点音源モデルによる簡易計算法にのみ適用できる。

4.5.1 スリット法による計算方法

(1) 適用範囲

この計算法は、掘割構造道路及び上部の開口率が75%程度以上の半地下構造道路に適用する。

(2) 基本式

図-4.5 に示すように、実音源を S_0 、反射面によって生じる実音源の鏡像音源群を $S_1 \sim S_n$ とする。

予測点 P における A 特性音圧レベル L_A [dB] は次式で計算する。

$$L_A = 10 \log_{10} \left[10^{L_{A,0}/10} + \sum_{i=1}^n \left\{ (1 - \alpha_{A,RTN})^i \cdot 10^{L_{A,i}/10} \right\} \right] \quad (4.13)$$

ここで、 $L_{A,0}$ は実音源からの寄与による A 特性音圧レベル [dB] で、式 (3.1) を用いて計算する。また、 $L_{A,i}$ は i 番目の鏡像音源からの寄与による A 特性音圧レベル [dB]、 n は鏡像音源の数（つまり反射回数）、 $\alpha_{A,RTN}$ は道路交通騒音のスペクトルを考慮した側壁面の吸音率（3.5.3 項参照）である。 $L_{A,i}$ は次式で計算する。

$$L_{A,i} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{cor,i} + \Delta L_{refl,slit,i} \quad (4.14)$$

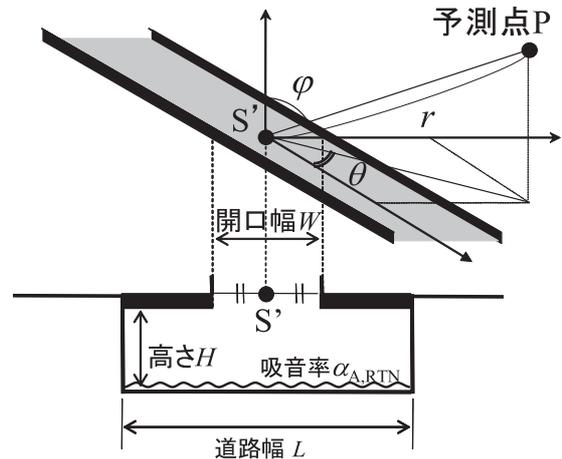


図-4.6 指向性点音源モデルにおける計算座標系

ここで、 L_{WA} は自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル [dB]、 r_i は i 番目の鏡像音源から予測点までの距離 [m]、 $\Delta L_{cor,i}$ は i 番目の鏡像音源から予測点に至る音の伝搬の際に生じる減衰に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{refl,slit,i}$ は i 番目の鏡像音源に関するスリット法による反射補正量 [dB]（3.5 節参照）である。

注記：スリット法による計算では、反射回数を増やしても収斂は遅いので適当な回数で打ち切ってよいが、考慮する反射回数を最低 2 回とする。

4.5.2 指向性点音源モデルによる簡易計算法

(1) 適用範囲

この計算法は、半地下構造道路の断面形状が左右対称で、上・下車線の交通流の条件（車種構成及び交通量）がほぼ等しい場合に適用する。

(2) 基本式

予測点 P で観測される A 特性音圧レベル L_A [dB] は、開口部の中央に設定した指向性を有する仮想点音源 S' の半自由空間における伝搬として、次式で計算する（図-4.6 参照）。

$$L_A = L_{WA,su} + 10 \log_{10} \left\{ a + (1 - a) \cos^{n(\theta)} \varphi \right\} - 8 - 20 \log_{10} r \quad (4.15)$$

$$n(\theta) = n_{max} \sin^\beta \theta \quad (4.16)$$

ここで、 $L_{WA,su}$ は仮想点音源 S' の $\varphi = 0^\circ$ 方向からみた見かけのパワーレベル [dB] で、式 (4.17) によって計算する。また、 a 、 n_{max} 、 β はそれぞれ仮想点音源の指向性に関するパラメータ、 r は仮想点音源 S' から予測点 P までの距離 [m] である。

表-4.4 仮想点音源の指向性に関するパラメータ

道路幅	張り出し 部厚さ	開口幅 (開口率)	半地下構造内部が反射性				半地下構造内部が吸音性			
			a	n_{max}	β	$\Delta L_{dir,su}$ [dB]	a	n_{max}	β	$\Delta L_{dir,su}$ [dB]
20 m	1 m	5 m (25%)	0.15	1.4	1.7	1.61	0.05	2.0	1.2	2.68
		7.5 m (37.5%)	0.15	1.2	1.7	1.45	0.05	2.0	1.2	2.68
	10 m (50%)	0.15	1.0	2.0	1.20	0.05	2.1	1.2	2.77	
4 m	5 m (25%)	7.5 m (37.5%)	0.13	1.5	2.0	1.62	0.03	1.9	1.1	2.77
		10 m (50%)	0.13	1.2	2.0	1.40	0.03	2.1	0.9	3.15
	1 m	5 m~7.5 m (16.7%~25%)	0.15	1.6	2.2	1.58	—	—	—	—
30 m	1 m	10 m (33%)	0.15	1.2	2.0	1.36	—	—	—	—
		15 m (50%)	0.15	1.0	2.0	1.20	—	—	—	—
	4 m	5 m~7.5 m (16.7%~25%)	10 m (33%)	0.12	1.6	2.2	1.65	—	—	—
15 m (50%)			0.12	1.2	2.0	1.42	0.03	1.9	1.0	2.99
15 m (50%)		0.12	1.0	2.0	1.25	0.03	2.0	1.0	3.09	



図-4.7 騒音放射指向性の例 (道路幅 20 m, 張り出し厚さ 4 m, 開口幅 7.5 m, 内部反射性)

$$L_{WA,su} = L_{WA} + \Delta L_{dim,su} + \Delta L_{dir,su} + \Delta L_{abs,su} + \Delta L_{louver} \quad (4.17)$$

ここで、 L_{WA} は自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル [dB], $\Delta L_{dim,su}$ は半地下構造道路の構造寸法に関する補正量 [dB], $\Delta L_{dir,su}$ は仮想点音源の指向性に関する補正量 [dB], $\Delta L_{abs,su}$ は半地下構造道路の吸音性に関する補正量 [dB], ΔL_{louver} は開口部に吸音ルーバーが設置された場合の設置効果に関する補正量 [dB] である。

$\Delta L_{dim,su}$ は、道路交通騒音のスペクトルを考慮した路面の吸音率 $\alpha_{A,RTN}$, 道路幅 L , 開口幅 W , 高さ H , (図-4.6 参照) によって次式で計算する [50]。

$$\Delta L_{dim,su} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{W}{2H} + \frac{\pi WH}{3L^2} + \frac{(L-W)(1-\alpha_{A,RTN})W}{\{L\alpha_{A,RTN} + (1-\alpha_{A,RTN})W\}L} \right\} \quad (4.18)$$

a, n_{max}, β 及び $\Delta L_{dir,su}$ は、縮尺模型実験及び波動数値解析の結果に基づいて、表-4.4 に示す値が構造寸法別に示されている [51, 52]。路面の吸音率 $\alpha_{A,RTN}$ は、密粒舗装の場合は 0 とする。排水性舗装の場合、現場実測の結果に基づく値を用いる [53]。 $\Delta L_{abs,su}$ の値は、構造内部の壁面が反射性の場合は 0 dB, 吸音性の場合は -1 dB とする。表-4.4 によって計算した指向性パターンの一例を図-4.7 に示す。 ΔL_{louver} の値は、吸音ルーバーが設置されていない場合は 0 dB, 設置されている場合は現場実験及び縮尺模型実験の結果に基づく値を用いる [54]。

(3) 遮音壁による回折に関する補正

半地下構造道路の開口部近傍に遮音壁が設置される場合、予測点 P における A 特性音圧レベル L_A [dB] は、次式で計算する。

$$L_A = L'_A + \Delta L_{dif, sb} \quad (4.19)$$

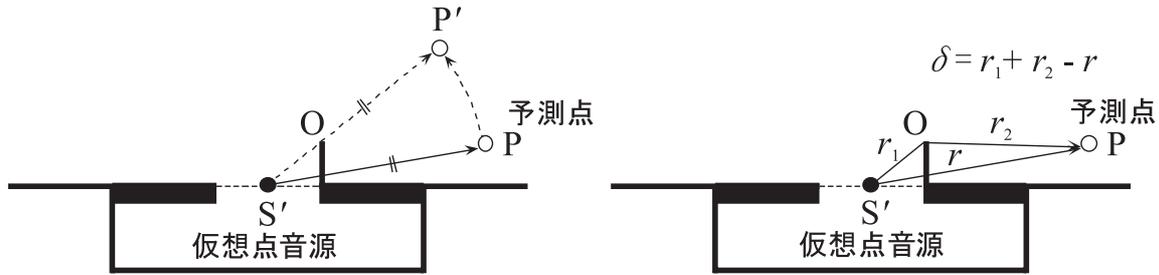


図-4.8 遮音壁による回折の計算方法



図-4.9 高架裏面の形状

ここで、 L'_A は仮想点音源から遮音壁の上端 O (回折点) へ向かう方向に、予測点までの距離と同じ距離だけ離れた点 P' (図-4.8 参照) において計算される A 特性音圧レベル [dB]、 $\Delta L_{dif, sb}$ は仮想点音源—回折点—予測点の位置から決まる回折経路差 δ から求めた回折補正量 [dB] である。

注記：同一断面の半地下構造道路が直線状に十分長い距離連続している場合には、仮想点音源列を線音源として扱うことができる。この考え方に基いて放射指向性を φ のみの関数で与える方法が検討されている [55]。

4.6 高架・平面道路併設部、複層高架部

4.6.1 高架裏面の形状と裏面反射の計算モデル

図-4.9 に示すように、高架道路裏面の形状には平坦なタイプと凹凸があるタイプがある。これらの形状の違いによって以下に述べるスリット法と散乱反射法の二つの方法を使い分ける。通常予測計算では前者の方法でよいが、凹凸の程度が無視できない場合には後者の方法による [56]。ここでは平面道路に遮音壁が設置されていない場合、及び平面道路の片側道路端にのみ遮音壁が設置されている場合を対象とする。平面道路の両側道路端に遮音壁が設置された場合には多重反射により複雑な音場になるため、スリット法も散乱反射法も適用できない。このような場合には、波動数値解析 (付属資料 A4 参照) や縮尺模型実験 [22] による。

4.6.2 スリット法による計算方法

図-4.10 に示すように、平面道路の片側道路端に遮音壁が設置された場合を考える。4~6 車線の

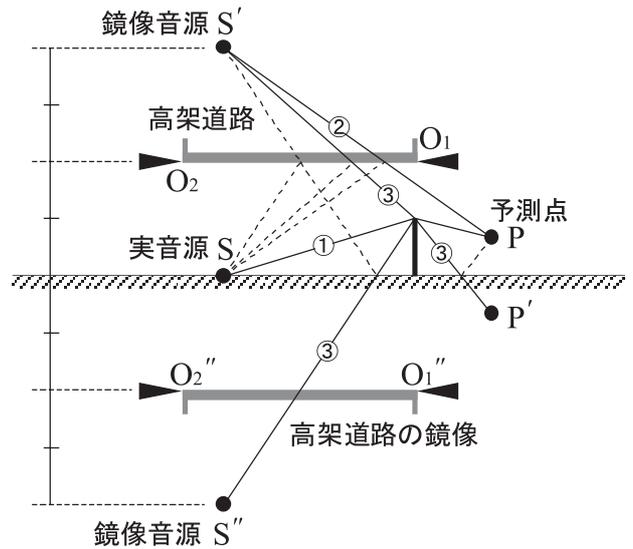


図-4.10 スリット法での伝搬経路

通常の高架道路では、①直接音 (SP)、②高架裏面反射音 (S'P)、③裏面地面反射音 (S'P' 及び S''P) の主要な 4 経路を考え、予測点 P における A 特性音圧レベル L_A [dB] は、これらの経路から伝搬音が合成されたものとして、次式で計算する。

$$L_A = 10 \log_{10} \left(10^{L_{A,0}/10} + 10^{L_{A,1}/10} + 10^{L_{A,2}/10} + 10^{L_{A,3}/10} \right) \quad (4.20)$$

ここで、 $L_{A,0}$ 、 $L_{A,1}$ 、 $L_{A,2}$ 、 $L_{A,3}$ はそれぞれ直接音、高架裏面反射音、裏面地面反射音 (S'P' 及び S''P) の A 特性音圧レベル [dB] である。そのうち、 $L_{A,1}$ 、 $L_{A,2}$ 及び $L_{A,3}$ は次式で計算する。

$$L_{A,i} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{dif, sb, i} + \Delta L_{refl, slit, i} + \Delta L_{abs} \quad i = 1 \sim 3 \quad (4.21)$$

ここで、 $\Delta L_{dif, sb, i}$ は i 番目の鏡像音源についての遮音壁に対する回折補正量 [dB]、 $\Delta L_{refl, slit, i}$ はス

リット法による反射補正量 [dB] である。なお、実際には遮音壁とスリットでの二重回折を扱う必要があるが、ここでは便宜上、 $\Delta L_{\text{dif, sb, } i}$ の計算ではスリットは無視し、 $\Delta L_{\text{refl, slit, } i}$ の計算では遮音壁は無視する。更に、高架裏面が吸音性の場合には吸音に関する補正量 ΔL_{abs} により補正する (3.5.3 項参照)。

高架裏面反射音の影響範囲は音源の位置に強く依存するため、計算では実際の車線の中心に音源を設定する (代表車線に集約しない)。また、平面道路の道路端に遮音壁がない場合は、裏面地面反射音は $S'P'$ の経路のみとなる。実際の計算は式 (4.20) の第 4 項を無視し、 $L_{A,1}$ 及び $L_{A,2}$ は式 (4.21) で $\Delta L_{\text{dif, sb, } 1} = 0$ 及び $\Delta L_{\text{dif, sb, } 2} = 0$ として計算する。

注記 1: 幅員が広い高架道路では高次の反射音の影響が無視できない。その場合には、上に述べたのと同様な方法で高次の鏡像音源を設定し、裏面と地面での多重反射音 ($S''P'$ 等) を計算する。

注記 2: 高架裏面を吸音処理した場合でも、一般には橋脚の梁までは吸音処理されることはないので、吸音板設置部と非設置部の面積率で吸音率を加重平均して設定するなどの配慮が必要である。

4.6.3 散乱反射法による計算方法

図-4.11 に示すように、音源 S と予測点 P に対して高架道路の桁下の位置に高架道路幅の散乱反

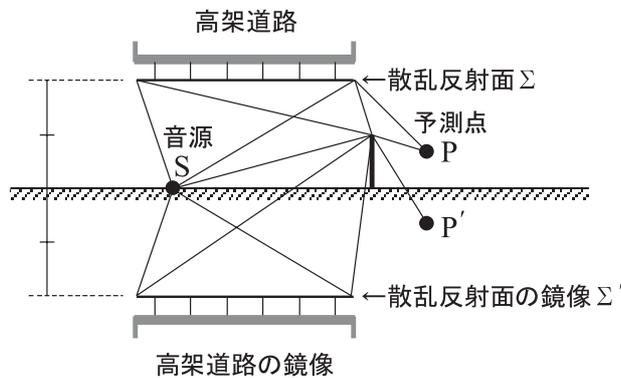
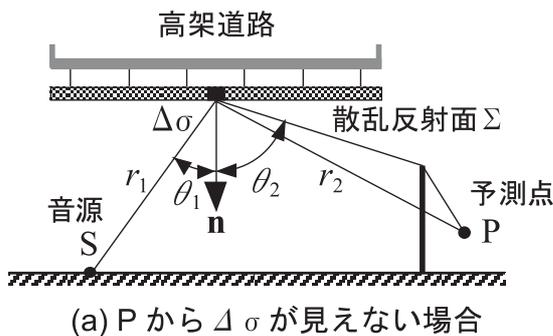


図-4.11 散乱反射法での伝搬経路



(a) P から $\Delta \sigma$ が見えない場合

射面 Σ を仮定する。スリット法と同様に、①直接音 (SP), ②高架裏面反射音 ($S\Sigma P$), ③裏面地面反射音 ($S\Sigma P'$ 及び $S\Sigma'P$) の主要な 4 経路を考える。予測点 P における A 特性音圧レベル L_A [dB] は、式 (4.20) によって計算する。ただしこの場合には、同式の中の $L_{A,1}$, $L_{A,2}$ 及び $L_{A,3}$ は次式で計算する。

$$L_{A,i} = L_{WA} - 13 + 10 \log_{10} \int_{\Sigma} \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \cdot D_{\sigma}}{r_1^2 \cdot r_2^2} d\sigma + \Delta L_{\text{abs}} \quad i = 1 \sim 3 \quad (4.22)$$

$$D_{\sigma} = 10^{\Delta L_{\text{dif, sb, } \sigma} / 10} \quad (4.23)$$

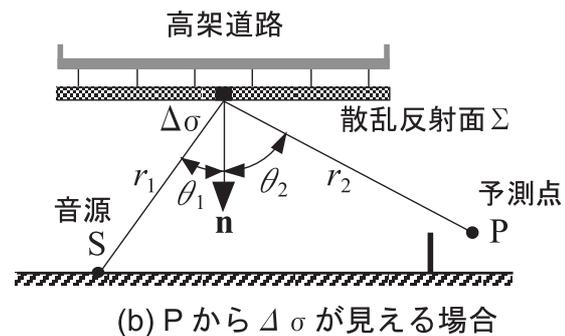
ここで、 $\Delta L_{\text{dif, sb, } \sigma}$ は要素 $\Delta \sigma$ の中心に点音源を考えた場合の遮音壁に対する回折補正量 [dB] である。また、反射角 θ_2 は要素 $\Delta \sigma$ の法線ベクトル \mathbf{n} と伝搬経路が成す角度で、図-4.12 に示すように考える。 \int_{Σ} は Σ 上の面積分を表す。

平面道路の道路端に遮音壁がない場合は、裏面地面反射音は $S\Sigma P'$ の経路のみとなる。実際の計算は式 (4.20) の第 4 項を無視し、第 3 項の $L_{A,2}$ は式 (4.22) で $D_{\sigma} = 1$ として計算する。なお、音源は代表車線に集約してよい。

注記 1: 式 (4.22) の計算は散乱反射面 Σ をいくつかの要素に分割して数値積分するが、要素の大きさによって誤差が生じる。分割要素の大きさの影響はあらかじめ検討しておくのが望ましいが、通常は 1 辺を 2 m 以下の 4 角形とする。注記 2: 定性的な予測法として幾何学的音線法がある。高架裏面反射音の到達範囲を検査する場合には有効な方法である。

文 献

[42] 船橋 修, 田近輝俊, 松本敏雄, “インターチェンジ部の騒音予測計算法に関する検討,” 音講論集, pp. 773-774 (2004.3).
 [43] 社団法人交通工学研究会, 交通工学ハンドブック 2008 (丸善, 東京, 2008), 第 6.7 節.
 [44] 松本敏雄, 吉田元臣, 石川賢一, 中尾剛土, 長船寿一, “ETC 料金所周辺の騒音予測計算方法,” 音響学会騒音・



(b) P から $\Delta \sigma$ が見える場合

図-4.12 散乱反射法における反射角 θ_2 のとり方

振動研資, N-2014-17 (2014.3).

- [45] 吉久光一, 龍田建次, 岡田恭明, “信号交差点近傍における沿道騒音の実態調査 (車線数が異なる3箇所の測定結果),” 音響学会騒音・振動研資, N-2002-04 (2002.1).
- [46] 並河良治, 吉永弘志, 田近輝俊, 押野康夫, 吉久光一, 山本貢平, “信号交差点部における騒音予測方法—道路交通騒音の予測モデル “ASJ RTN-Model 2008”—,” 音講論集, pp. 953-956 (2009.3).
- [47] 三宅龍雄, 高木興一, 山本貢平, 橋 秀樹, 飯森英哲, “トンネル坑口周辺部の騒音予測法について,” 騒音制御, 24, 127-135 (2000).
- [48] 藤本卓也, “トンネル騒音予測に関する一検討—イメージ拡散法を用いた ASJ モデルの拡張—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2003-63 (2003.10).
- [49] 松本敏雄, “吸音ルーバーによる道路交通騒音対策,” 騒音制御, 28, 334-338 (2004).
- [50] 坂本慎一, 横山 栄, 松本敏雄, 船橋 修, “半地下構造道路からの騒音伝搬に関する現場実験—高機能舗装の効果に関する検討—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2011-14 (2011.4).
- [51] 坂本慎一, 橋 秀樹, “半地下道路からの騒音放射の指向性モデル,” 音講論集, pp. 771-772 (2004.3).
- [52] 坂本慎一, 福島昭則, 山本貢平, “ASJ RTN-Model 2008 における半地下道路の騒音予測に関する検討,” 音講論集, pp. 941-944 (2009.3).
- [53] 坂本慎一, 松本敏雄, 中尾剛士, 長船寿一, “現場実験に基づく排水性舗装路面の吸音率の検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-11 (2014.2).
- [54] 松本敏雄, 坂本慎一, “吸音ルーバーを設置した半地下構造道路沿道の騒音予測計算方法,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-20 (2014.3).
- [55] 坂本慎一, 橋 秀樹, “半地下道路からの騒音予測のための指向性音源モデルにおける各種パラメータの検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2004-13 (2004.2).
- [56] 福島昭則, 一木智之, 森 喜仁, “I 桁構造高架道路裏面での音響反射,” 音響学会誌, 57, 587-595 (2001).

5. 高架構造物音

自動車が高架道路上を走行する際に、道路構造物自体が振動することによって騒音が発生する。これを高架構造物音といい、その大きさは道路構造、走行する自動車の速度や重量などに依存する。以下に予測計算方法を示す [57, 58]。

5.1 適用範囲

(1) 対象とする高架橋

表-5.1 に示す一般的な形式の鋼橋及びコンクリート橋とする。

注記：その他の形式の橋梁については現地調査を含む個別の検討が必要である [59]。

(2) 車 種

大型車類のみを対象とする。

注記：小型車類による高架構造物音は相対的に小さいので、ここでは無視する。

(3) 走行速度

40 km/h 以上とする。

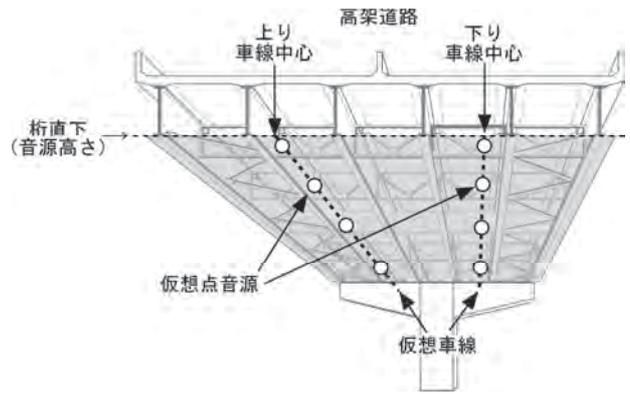


図-5.1 高架構造物音の仮想音源の配置

5.2 高架構造物音の計算方法

5.2.1 仮想音源の設定

高架構造物音は構造物全体から放射されているが、計算の便宜上、等価的な音源として自動車走行に連動して移動する無指向性点音源を考え、高架橋の桁直下（桁橋の場合は主桁の下端、中空床版橋の場合は床版下面の位置）で上下線のそれぞれ中央に仮想車線を設定し、その線上に離散的に点音源を設定する（図-5.1 参照）。

5.2.2 仮想点音源の A 特性音響パワーレベル

仮想点音源の A 特性音響パワーレベル $L_{WA, str}$ [dB] は、次式で計算する。

$$L_{WA, str} = a + 30 \log_{10} V \quad (5.1)$$

ここで、 V は走行速度 [km/h]、定数 a は橋種ごとに表-5.2 に示す値とする。橋種は 5 分類が基本であるが、橋種を確定できない場合は 3 分類を利用できる。

注記：定数 a の設定は、自動車走行騒音のパワーレベル式と同様に、個々の測定データから式 (5.1) で定数 a を逆算し、それらのパワー平均値により求めた。

5.2.3 ユニットパターンの計算

仮想点音源から予測点へ伝搬する騒音の A 特性音圧レベル $L_{A, str}$ [dB] は、高架路面部分の床版等による音の遮蔽を考慮して、次式で計算する。

$$L_{A, str} = L_{WA, str} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{dif} \quad (5.2)$$

ここで、 r は仮想点音源から予測点までの距離 [m]、 ΔL_{dif} は高架床版等による高架構造物音に関する回折補正量 [dB] (3.2.2 項参照) である。

表-5.1 対象とする高架橋の種類

橋種	鋼橋		コンクリート橋	
床版	鋼	コンクリート	コンクリート	
桁構造	鋼箱桁	鋼鈹桁	I桁	I桁以外
			箱桁	中空床版桁
略図				

※図で塗りつぶした部分が床版である。この図ではすべてコンクリート床版を表している。

表-5.2 橋種別の定数 a の値

橋種		a
鋼橋	鋼床版鋼箱桁橋	40.7
	コンクリート床版鋼箱桁橋	35.5
	コンクリート床版鋼鈹桁橋	40.4
コンクリート橋	I桁	31.8
	I桁以外	35.9

注記 1：地面からの反射音の寄与は、計算で用いる $L_{WA, str}$ の定数 a を求める際に、その影響も含めて扱っているので、上記の計算法による場合は考慮する必要はない。

注記 2：高架構造物音に関する回折補正量 ΔL_{dif} の計算式は、前川の回折計算チャートと高架構造物音の周波数特性の測定値を用いて作成した。

すべての仮想点音源に対して上記の計算を行うことによって、高架構造物音のユニットパターンが求められる。このようにして求められたユニットパターンから L_{Aeq} を計算する方法は、自動車走行騒音の場合と同様である。

文 献

- [57] 池谷公一, 並河良治, 田久保博司, 玉川 大, 鳥海英宏, 福島昭則, 田近輝俊, 山本貢平, “実測調査に基づく高架構造物音の予測方法に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2004-16 (2004.3).
- [58] 三宅龍雄, 福島昭則, 田近輝俊, 山本 稔, 山本貢平, “高架構造物音の予測計算方法—道路交通騒音の予測モデル“ASJ RTN-Model 2008”—,” 音講論集, pp. 949-952 (2009.3).
- [59] 池田義行, 斎藤直哉, 植田知孝, 石渡俊吾, 山本 稔, 長船寿一, “第二東名高速道路の高架構造物音の計算方法,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-25 (2009.3).

6. 建物・建物群背後における騒音

沿道の建物・建物群の背後では、それらの遮蔽効果によって道路交通騒音は減衰する。その程度を予測するための方法として、本予測モデルでは、単独の建物周辺及び多数の建物が密集している建物群の背後における騒音の予測計算方法を示す。

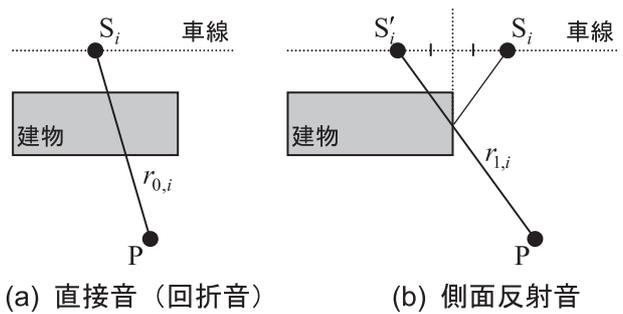


図-6.1 単独建物背後の騒音の計算

6.1 単独建物の背後における騒音 [60, 61]

単独の建物が立地している沿道の建物周辺における騒音の予測計算方法として、本予測モデルでは次の方法を示す。

建物は有限長で厚みのある障害物である。単独建物周辺では、建物の遮蔽効果による減衰と壁面による反射音を考慮する必要がある。そこで、有限長遮音壁の回折補正量の計算方法 (3.2.3 項) 及び反射音の計算方法 (3.5.1 項) を応用し、直接音 (回折音) と反射音の寄与を合成して $L_{A,i}$ を計算する (図-6.1 参照)。なお、ここでは建物は直方体と見なしてモデル化している。

ユニットパターンの計算は次式による。

$$L_{A,i} = 10 \log_{10} \left(10^{L_{A0,i}/10} + 10^{L_{A1,i}/10} \right) \tag{6.1}$$

$$L_{A0,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \log_{10} r_{0,i} + \Delta L_{bldg,i} \quad (6.2)$$

$$L_{A1,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \log_{10} r_{1,i} + \Delta L_{b-refl,i} \quad (6.3)$$

ここで、 $L_{A,i}$ は音源 S_i についての A 特性音圧レベル [dB]、 $L_{A0,i}$ は S_i からの直接音（回折音）の A 特性音圧レベル [dB]、 $L_{A1,i}$ は S_i からの壁面反射音の A 特性音圧レベル [dB] である。また、 $\Delta L_{bldg,i}$ は単独建物の回折補正量 [dB]、 $\Delta L_{b-refl,i}$ は反射面である壁面の大きさが有限であることに
関する補正量 [dB]、 $r_{0,i}$ と $r_{1,i}$ は、音源 S_i 及びその反射面に対する鏡像音源 S'_i から予測点 P までの直達距離 [m] である。

6.1.1 単独建物の回折補正量 ΔL_{bldg}

(1) 1パスの方法

建物の側方回折は考慮せず、上方回折のみを考慮する方法である。図-6.2 に示すように、ユニットパターンの計算において線分 SP と建物が交わる場合には厚さ D [m] の厚みのある無限長障壁として考え、式 (3.8) で計算した $\Delta L_{dif,dd}$ を ΔL_{bldg} とする。交わらない場合には建物がないものとして $\Delta L_{bldg} = 0$ とする。

(2) 上方と側方の回折音を考慮する方法

図-6.3 に示すように、線分 SP が建物と交わる場合には次式で ΔL_{bldg} を計算する。なお、交わらない場合には $\Delta L_{bldg} = 0$ とする。

$$\Delta L_{bldg} = 10 \log_{10} \left\{ 10^{\Delta L_{upper}/10} + (1 - 10^{\Delta L_{upper}/10}) (10^{\Delta L_{left}/10} + 10^{\Delta L_{right}/10}) \right\} \quad (6.4)$$

ここで、 ΔL_{upper} 、 ΔL_{left} 、 ΔL_{right} は、それぞれ建物の上方、左方、右方の回折に伴う減衰に関する補正量 [dB] であり、最短伝搬経路の経路差を持つ厚みのある無限長障壁として考え、式 (3.8) で計算する。

6.1.2 壁面反射音の補正量 ΔL_{b-refl}

図-6.4 に示すような音源 S、予測点 P、建物の配置を考える。対象とする建物側面（反射面）を含む鉛直平面を考え、この面に対し、(a) S と P が同じ側に位置する場合は S の鏡像音源 S' を考えて反射音を計算し、(b) 同じ側にない場合には、

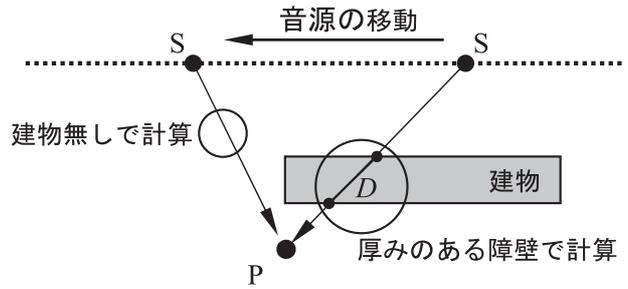


図-6.2 1パスの方法による ΔL_{bldg} の計算

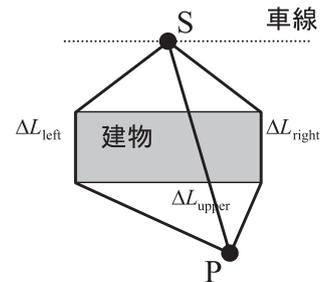
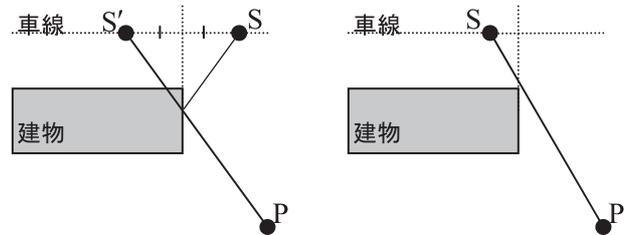


図-6.3 上方と側方の回折を考慮した ΔL_{bldg} の計算



(a) 反射を考慮する場合 (b) 反射を考えない場合

図-6.4 側面反射の取り扱い

反射音は考慮せず、式 (6.1) の右辺第 2 項を省略する。

ΔL_{b-refl} は、鏡面反射法の矩形反射面での反射補正量 $\Delta L_{refl,rect}$ (3.5.1 項 (2) の 4)) と低層遮音壁の回折補正量 $\Delta L_{dif,low}$ (3.2.8 項) の考え方を
用いて次式で計算する。

$$\Delta L_{b-refl} = \Delta L_{refl,rect} - \Delta L_{0-5} \quad (6.5)$$

ここで、 $\Delta L_{refl,rect}$ は式 (3.36) から式 (3.40) により計算する。 ΔL_{0-5} は図-3.18 の領域 Γ_6 から Γ_8 までを仮想障壁として式 (3.32) から式 (3.34) で計算した補正量 ΔL_{refl} である。

建物側壁の吸音が考えられる場合は、3.5.3 項に述べる吸音補正量 ΔL_{abs} を補正する。

6.2 建物群背後における騒音

多数の建物が密集している建物群の背後における騒音の予測計算方法として、本予測モデルでは、点音源モデルに基づく計算方法と線音源モデルに

基づく計算方法を示す。ただし、ここで示す予測計算方法は、建物を我が国の標準的な大きさの戸建て住宅であると想定しており、建物の大きさや立地条件が異なる住宅地には適用できない。

6.2.1 点音源モデルによる計算方法 [62, 63]

平面道路に面して戸建て住宅群が立地している場合、住宅群背後の騒音は住宅群の遮蔽効果によって減衰する。このとき、 i 番目の音源位置 (図-1.1 参照) に対して予測点で観測される A 特性音圧レベル $L_{A,i}$ を次式で計算する。

$$L_{A,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_B \quad (6.6)$$

ここで、 $L_{WA,i}$ は i 番目の音源位置における自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル [dB], r_i は i 番目の音源位置から予測点までの直達距離 [m], ΔL_B は i 番目の音源位置から予測点に至る音の伝搬における建物群による減衰に関する補正量 [dB] である。 ΔL_B は次式で計算する。

$$\begin{aligned} \Delta L_B &= p \cdot \Delta L_{BB} + q \\ p &= 0.017(H - h_p - 8.8) + 1 \\ q &= -0.063(H - h_p - 8.8) \end{aligned} \quad (6.7)$$

ここで、 H は建物群の高さ [m], h_p は予測点の高さ [m] である。 ΔL_{BB} は H が 10 m, h_p が 1.2 m の場合の補正量で次式で計算する。

$$\begin{aligned} \Delta L_{BB} = 10 \log_{10} & \left\{ a_0 + a_1 \cdot \frac{\phi}{\Phi} \right. \\ & + a_2 \sum_i \left(\frac{\theta_i}{\Phi} \cdot \frac{d_{road}}{d_{ref,i}} \right) \\ & + a_3 \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{0.251}{1 + 0.522\delta_k} \right) \\ & \left. + a_4 \cdot 10^{-0.0904\xi \cdot d_{road}} \right\} \end{aligned} \quad (6.8)$$

ここで、 $a_0 = 0.039$, $a_1 = 1.16$, $a_2 = 0.201$, $a_3 = 0.346$, $a_4 = 0.288$ である。

式 (6.8) の $\frac{\phi}{\Phi}$ の項は、音源から予測点へ伝搬する音の直接音成分を示し、図-6.5 に示すように、予測点 P から音源 S の前後 5 m の道路を見たとき、 Φ は建物群がない場合の見通し角 [rad], ϕ は建物群が立地している場合の見通し角 [rad] である。

式 (6.8) の $\sum_i \left(\frac{\theta_i}{\Phi} \cdot \frac{d_{road}}{d_{ref,i}} \right)$ の項は音源から予測点へ伝搬する音の反射音成分を示す。本予測式では、道路 (音源) と予測点の間と予測点のすぐ背

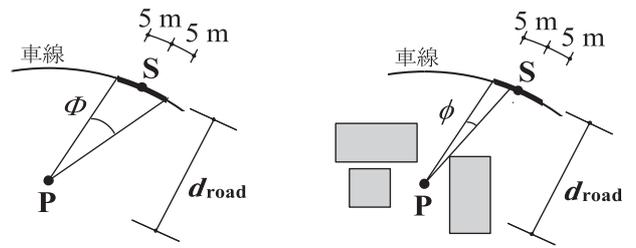


図-6.5 建物群がない場合の見通し角 Φ 、建物群が立地している場合の見通し角 ϕ 及び音源と予測点の水平距離 d_{road}

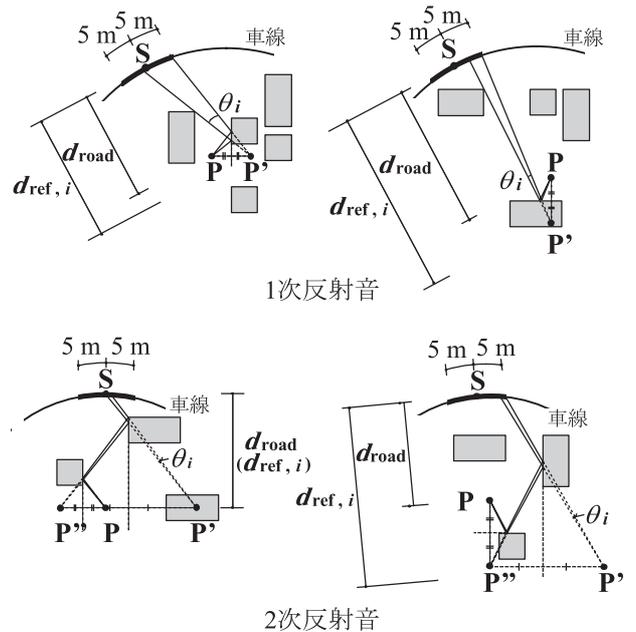


図-6.6 予測点の虚像点から音源を見たときの見通し角 θ_i と水平距離 $d_{ref,i}$

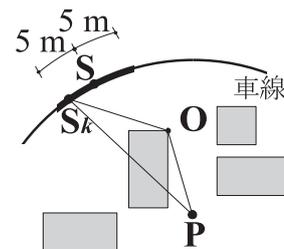


図-6.7 1 次回折音 (仮想点音源から建物の一つの頂点だけを回折して予測点に伝搬する音)

後に立地する建物群による 1 次及び 2 次の幾何学的反射音を考慮している。図-6.6 に示すように、 θ_i は予測点 P の 1 次虚像点 P' 又は 2 次虚像点 P'' から音源 S の前後 5 m の道路を見たときの見通し角 [rad], d_{road} は S と P の水平距離 [m], $d_{ref,i}$ は S と P' 又は P'' の水平距離 [m] である。

式 (6.8) の $\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{0.251}{1 + 0.522\delta_k} \right)$ の項は、図-6.7 に示すように、音源 S から建物 (平面図) の一つの

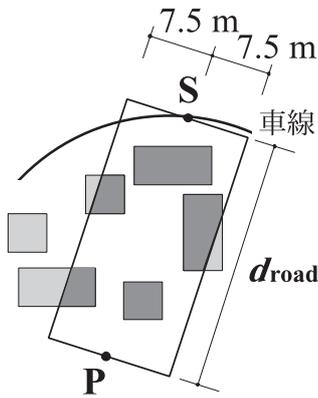


図-6.8 幅 15m, 長さ d の長方形内の建物密度 ξ , 音源と予測点の距離 d_{road}

頂点 O だけを回折して予測点 P に到達する 1 次回折音成分を示す。音源 S の前後 5m の道路に離散音源点を配置し、各離散音源 S_k から予測点に至る 1 次回折音の経路差 $(\overline{S_k O} + \overline{O P} - \overline{S_k P})$ を δ_k [m] とする。ただし、離散音源 S_k から予測点 P が見える（直接音が存在する）場合は 1 次回折音を計算しない。 n は 1 次回折音を計算する離散音源数を示す。

式 (6.8) の $10^{-0.0904\xi \cdot d_{road}}$ の項は、音源 S から予測点 P に伝搬する音の、直接音・反射音・1 次回折音成分以外の成分を示す。図-6.8 に示すように、音源 S と予測点 P の周辺に幅 15m の長方形を想定し、 ξ は長方形内の建物密度（長方形の面積に対する建物群の立地面積）、 d_{road} は S と P の水平距離 [m] である。

式 (6.7), 式 (6.8) は、標準的な大きさの多数の戸建て住宅が立地する住宅地の縮尺模型実験の結果に基づいて導出されたものである。実験条件は、予測点 P が道路から 20~50m の範囲で、建物率（住宅地面積に対する建物群の立地面積）は 0.16~0.34, 建物群の高さ H は 4~10m, 予測点の高さ h_p は 1.2~9.2m であることから、式の適用範囲も原則としてこの範囲に限定され、更に予測点の高さ h_p は建物群の高さ H 以下でなければならない。なお、住宅地内に高さの異なる建物が混在している場合や建物の屋根が陸屋根（水平の屋根）でない場合は、立地している建物の屋根の平均高さを H とすればよい [64]。

注記：建物群の立地条件が上記以外の場合でも、複数の建物が十分な間隔をおいて立地し、建物間の多重反射の影響が無視できる場合（予測点 P から道路を見通す角度が、およそ 90° よりも大きい場合）は、6.1 節に示す方法を応用して計算する方法もある。

6.2.2 線音源モデルによる計算方法

直線道路に面する地域に多数の建物が立地している場合の建物群背後の騒音は、道路を線音源と想定し、建物群が立地していない場合の $L_{Aeq,0}$ を予測し、それに建物群による減衰に関する補正量 ΔL_{bldgs} を補正して最終的な L_{Aeq} を計算する。本予測モデルでは、 ΔL_{bldgs} の計算方法として、特定点の L_{Aeq} を求める場合と評価区間の平均的な L_{Aeq} を求める場合の二つの方法を示す。

(1) 戸建て住宅群背後における特定点の L_{Aeq} [65, 66]

1) 基本式

平面道路又は盛土道路の沿道に複数の戸建て住宅が立地している場合、建物群背後の特定点における等価騒音レベル L_{Aeq} [dB] は、建物群が存在しない場合の等価騒音レベル $L_{Aeq,0}$ [dB] と建物群による減衰に関する補正量 ΔL_{bldgs} [dB] によって、次式のように表される。

$$L_{Aeq} = L_{Aeq,0} + \Delta L_{bldgs} \quad (6.9)$$

2) 平面道路

道路が平面道路（住宅地と同じ高さにある道路）の場合、建物群による減衰に関する補正量 $\Delta L_{bldgs,flat}$ [dB]（式 (6.9) の ΔL_{bldgs} に添え字 flat を付けて表記）は次式で計算する。

$$\Delta L_{bldgs,flat} = p \cdot \Delta L_{bldgs,B} + q \quad (6.10)$$

$$\Delta L_{bldgs,B} = \begin{cases} a \log_{10} \left\{ \frac{3\phi}{2\pi} (1-b) + b \right\} & (\phi \neq 0) \\ a \log_{10} b - 32.8\xi - 0.242H + 0.358 d_{road} + 3.60 & (\phi = 0) \end{cases} \quad (6.11)$$

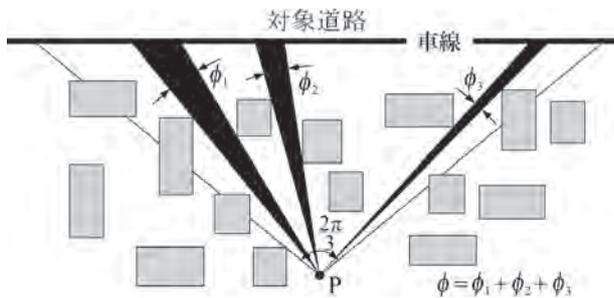
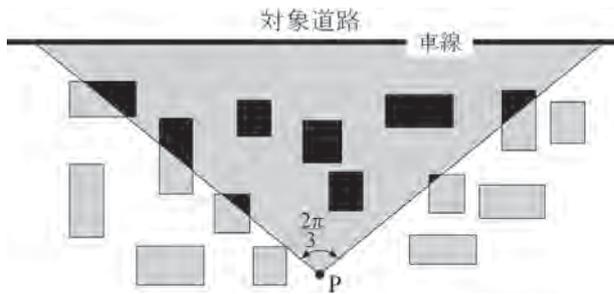
$$a = 74.2e^{-0.174d_{road}} + 4.74 \quad (6.12)$$

$$b = 8.82e^{-0.236d_{road}} \quad (6.13)$$

$$p = -2.05 \times 10^{-2} (h_p - 1.2) + 1 \quad (6.14)$$

$$q = -0.684/h_p + 0.570 \quad (6.15)$$

ただし、 h_p は予測点 P の高さ [m], ϕ は見通し角 [rad], ξ は建物率, d_{road} は予測点 P から道路へ下ろした垂線の水平距離 [m], H は建物の高さ [m]

図-6.9 見通し角 ϕ 図-6.10 建物率 ξ

である。ここで、 ϕ は、水平面において予測点Pから道路への垂線を中心とした頂角 $2\pi/3$ の2等辺3角形（基準3角形）を考えた場合の頂角に対する点Pから道路が見える角度の総和 $\phi = \phi_1 + \phi_2 + \dots$ （図-6.9参照）を、また ξ は、基準3角形の面積に対する立地した建物面積の合計の割合（図-6.10参照）を表す。

3) 盛土道路

道路が盛土道路（住宅地よりも高い位置にある道路）の場合、建物群による減衰に関する補正量 $\Delta L_{\text{bldgs, bank}}$ [dB]（式(6.9)の ΔL_{bldgs} に添え字bankを付けて表記）は、道路（音源）の高さ h_S [m]を考慮した次式で計算する。

$$\Delta L_{\text{bldgs, bank}} = m \cdot \Delta L_{\text{bldgs, flat}} + n \quad (6.16)$$

$$m = r(h_P - 1.2) + s \quad (6.17)$$

$$n = t(h_P - 1.2) + u \quad (6.18)$$

$$r = -8.21 \times 10^{-4}(h_S - 0.3)^2 + 9.09 \times 10^{-3}(h_S - 0.3) - 1.88 \times 10^{-2} \quad (6.19)$$

$$s = 2.19 \times 10^{-3}(h_S - 0.3)^2 - 4.59 \times 10^{-2}(h_S - 0.3) + 1 \quad (6.20)$$

$$t = 5.16 \times 10^{-3}(h_S - 0.3)^2 - 5.97 \times 10^{-2}(h_S - 0.3) + 5.66 \times 10^{-2} \quad (6.21)$$

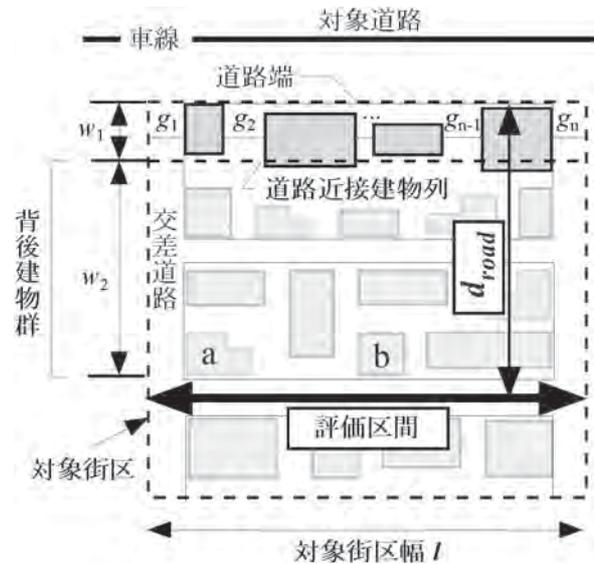


図-6.11 沿道市街地のモデル化（平面図）

$$u = -4.03 \times 10^{-2}(h_S - 0.3)^2 + 4.49 \times 10^{-1}(h_S - 0.3) \quad (6.22)$$

ここで、 $\Delta L_{\text{bldgs, flat}}$ [dB]は、式(6.10)に $h_P = 1.2$ を代入して得られる値である。

式(6.10)、式(6.16)が有効であるのは、予測点Pが道路から20~50mの範囲にあり、見通し角 ϕ は0~0.92、建物率 ξ は0.12~0.39、建物の高さ H は4~10m、音源高さ h_S は0.3~8.3m、受音点高さ h_P は1.2~8.2mに限定され、更に予測点の高さ h_P は建物の高さ H 以下の条件を満たす場合に限定される。

なお、住宅地内に高さの異なる建物が混在している場合や建物の屋根が陸屋根（水平の屋根）でない場合は、立地している建物の屋根の平均高さを H とすればよい[64]。

注記：基準3角形の外の範囲に立地する建物群の配置条件も、上記の範囲から大きく逸脱しないこととする。

(2) 建物群背後における評価区間の平均的な L_{Aeq} [67-70]

道路からの距離が一定の評価区間（区間長： l [m]）における等価騒音レベルのエネルギー平均値 $\overline{L_{\text{Aeq}}}$ [dB]は、建物群が存在しない場合の等価騒音レベル $L_{\text{Aeq, 0}}$ [dB]と建物群による減衰に関する補正量の区間平均値 $\overline{\Delta L_{\text{bldgs}}}$ [dB]によって、次式のように表される。

$$\overline{L_{\text{Aeq}}} = L_{\text{Aeq, 0}} + \overline{\Delta L_{\text{bldgs}}} \quad (6.23)$$

建物群による減衰に関する補正量 $\overline{\Delta L_{\text{bldgs}}}$ は、遮音壁が設置されていない平面道路の場合、図-6.11

表-6.1 建物パラメータの定義

w_1	道路端から道路近接建物列の平均後面位置までの水平距離 [m]。ある建物の後面位置が道路端より 15 m 以上の場合、道路端より 15 m として計算する。従って、 $w_1 \leq 15$ とする。
w_2	道路近接建物列の平均後面位置から評価区間の直前の建物 (図-6.11 では建物 a, b が相当する) の後面位置までの水平距離 [m]。背後建物群の奥行きを表す。
α	道路近接建物列の間隙率。次式で定義される。 $\alpha = \left(\sum_{i=1}^n g_i \right) / l$ ここで、 l は対象街区幅 [m]、 g_i ($i = 1 \sim n$) は道路近接建物列の i 番目の建物間隔 [m] を表す。 g_1, g_n は、評価区間の両端 (一般的には、市街地外周の交差道路の中心線) から最も近い建物側壁面までの距離を示す。また、 $g_2 \sim g_{n-1}$ は隣接する建物間の最短距離とする。
β	背後建物群の建物密度。次式で定義される。 $\beta = \frac{A_2}{w_2 l}$ ここで、 A_2 [m ²] は背後建物群中の建物の建築面積の和を表す。 β は同一街区でも評価区間位置 (d_{road}) により異なる。

のように、騒音の予測・評価のための対象街区 (区間長: l [m]) を設定し、これを道路近接建物列と背後建物群に大別してモデル化し、 w_2, α, β を用いて次式により計算する。なお、この計算方法では地表面効果を無視している。

$$\overline{\Delta L_{bldgs}} = 10 \log_{10} \alpha - 0.78 \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \right)^{0.63} \times w_2^{0.86} \quad (6.24)$$

計算に用いる建物パラメータは表-6.1 のとおりである。

本法は、建物群中を伝搬する音の寄与のみを考慮した予測計算方法である。予測点が建物より高い場合や、遮音壁の設置された高架道路、盛土道路に対する騒音予測では、建物群の上方を伝搬する音の寄与も併せて考慮する必要がある。その方法は文献 [67, 69, 70] を参照。

文 献

[60] 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 高木興一, “幹線道路に面した単独建物後方の騒音レベルの計算方法,” 騒音制御, 23, 189-199 (1999).
 [61] 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 高木興一, “道路に直

面した単独建物および建物列後方における等価騒音レベルの簡易計算方法,” 騒音制御, 23, 430-440 (1999).
 [62] 藤本一寿, 辻 京祐, 富永 亨, “平面道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法—一点音源モデルの予測式—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2013-7 (2013.3).
 [63] 富永 亨, 森田建吾, 藤本一寿, “平面道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法—建物高さを受音点高さを考慮した予測式—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-9 (2014.2).
 [64] 藤本一寿, 穴井 謙, 磯谷賢志, 関藤大樹, “戸建て住宅群による道路交通騒音の減衰—切妻屋根および高さが異なる住宅群への適用—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2003-64 (2003.10).
 [65] 藤本一壽, 山口晃治, 中西敏郎, 穴井 謙, “平面道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法,” 音響学会誌, 63, 309-317 (2007).
 [66] 山口晃治, 藤本一寿, 穴井 謙, 平栗靖浩, “盛土道路に面する地域における戸建て住宅群による道路交通騒音減衰量の予測法,” 騒音制御, 33, 153-161 (2009).
 [67] 上坂克巳, 大西博文, 千葉 隆, 高木興一, “道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの計算方法,” 騒音制御, 23, 441-451 (1999).
 [68] 上坂克巳, 木村健治, 大西博文, 千葉 隆, 高木興一, “平面道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの簡易計算方法,” 騒音制御, 25, 233-242 (2001).
 [69] 上坂克巳, 木村健治, 並河良治, 大西博文, 千葉 隆, 高木興一, “盛土道路の沿道市街地における L_{Aeq} 計算方法の実測値による検証,” 騒音制御工学会研究発表会講論集, pp. 261-264 (2001.9).
 [70] 上坂克巳, 木村健治, 並河良治, 千葉 隆, 高木興一, “沿道市街地における区間平均等価騒音レベルの簡易計算方法—遮音壁の設置された道路を対象として—,” 騒音制御工学会研究発表会講論集, pp. 105-108 (2002.9).

付 属 資 料

付属資料 A1 自動車走行騒音の周波数特性

この付属資料 A1 では、密粒舗装及び排水性舗装の自動車走行騒音の周波数特性 (パワースペクトル) を示す。

A1.1 密粒舗装におけるパワースペクトル

密粒舗装における自動車走行騒音のパワースペクトルは、以下に述べる方法で周波数帯域別 (1/n オクターブバンド別) に与える。扱う周波数帯域は、オクターブバンドの場合は中心周波数 63 Hz ~ 4 kHz, 1/3 オクターブバンドの場合は中心周波数 50 Hz ~ 5 kHz とする。

i 番目の帯域の中心周波数 $f_{c,i}$ [Hz] における A 特性バンドパワーレベル $L_{WA}(f_{c,i})$ [dB] は次式で計算する。

$$L_{WA}(f_{c,i}) = L_{WA} + \Delta L_{WA}(f_{c,i}) \quad (A1.1)$$

ここで、 L_{WA} は密粒舗装の自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル [dB] (2章参照), $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$

は $f_{c,i}$ における A 特性相対バンドパワーレベル [dB] で、次式で与える。

$$\Delta L_{WA}(f_{c,i}) = \Delta L_W(f_{c,i}) + \Delta L_A(f_{c,i}) + \Delta L_{adj} \quad (A1.2)$$

ここで、 $\Delta L_W(f_{c,i})$ は $f_{c,i}$ における補正量 [dB] (式 (A1.3), 式 (A1.4)), $\Delta L_A(f_{c,i})$ は $f_{c,i}$ における周波数重み付け特性 A の値 [dB] (JIS C 1509-1:2005 参照), ΔL_{adj} は A 特性相対バンドパワーレベルのエネルギー合成値を 0 dB とするための調整値 [dB] (式 (A1.5)) である。

(1) 定常走行及び非定常・減速走行の場合

$$\Delta L_W(f_{c,i}) = -20 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{f_{c,i}}{2500} \right)^2 \right] \quad (A1.3)$$

(2) 加速走行及び上り勾配走行の場合

加速時や上り勾配走行時でエンジン負荷が大きい場合には低音域の音圧レベルが上昇する。この影響を考慮する場合には式 (A1.3) に次式による補正量 $\Delta L_{W,V}(f_{c,i})$ [dB] を加える。

$$\Delta L_{W,V}(f_{c,i}) = 3 \log_{10} \left(1 + \frac{630}{f_{c,i}} \right) \quad (A1.4)$$

また、 ΔL_{adj} [dB] は次式で計算する。

$$\Delta L_{adj} = -10 \log_{10} \sum_i 10^{(\Delta L_W(f_{c,i}) + \Delta L_A(f_{c,i}))/10} \quad (A1.5)$$

式 (A1.3), 式 (A1.4) で表される相対バンドパワーレベルを図-A1.1 に示す。また、定常走行及び非定常・減速走行の場合の A 特性相対バンドパワーレベル $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$ [dB] を表-A1.1 に示す。

注記：自動車走行騒音の代表的スペクトルとして密粒舗装におけるスペクトルモデルが広く利用されてきたが、最近の自動車走行騒音の周波数特性の計測結果から、多くの場合、主に 2kHz 以上の周波数領域で ASJ RTN-Model 2003 のモデルよりも相対的に低下する傾向が明らかとなっている [71-73]。

A1.2 排水性舗装におけるパワースペクトル

排水性舗装における自動車走行騒音の $f_{c,i}$ での A 特性バンドパワーレベル $L_{WA}(f_{c,i})$ [dB] は、自動車専用道路での敷設直後から 15 年までの測定

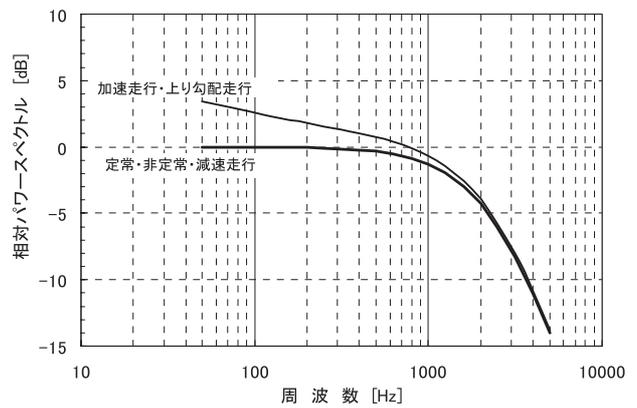


図-A1.1 相対パワースペクトル (密粒舗装)

表-A1.1 A 特性相対バンドパワーレベル $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$ (密粒舗装, 定常走行及び非定常・減速走行)

中心周波数 [Hz]		A 特性相対バンドパワーレベル [dB]	
		オクターブバンド	1/3 オクターブバンド
63	50		-37.8
	63	-29.1	-33.8
	80		-30.2
125	100		-26.8
	125	-19.0	-23.8
	160		-21.1
250	200		-18.6
	250	-11.6	-16.3
	315		-14.4
500	400		-12.7
	500	-6.4	-11.2
	630		-10.1
1,000	800		-9.3
	1,000	-4.2	-8.9
	1,250		-9.0
2,000	1,600		-9.6
	2,000	-6.0	-10.7
	2,500		-12.4
4,000	3,150		-14.7
	4,000	-12.9	-17.7
	5,000		-21.1
オーバーオール		0.0	0.0

値 [74] を基に次式で計算する。

$$L_{WA}(f_{c,i}) = L_{WA} + \Delta L_{WA,drain}(f_{c,i}) \quad (A1.6)$$

ここで、 L_{WA} は排水性舗装の自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル [dB] (2 章参照), $\Delta L_{WA,drain}(f_{c,i})$ は $f_{c,i}$ における排水性舗装の自動車走行騒音の A 特性バンドパワーレベルを求めるための補正量 [dB] で、次式で計算する。

表-A1.2 $\Delta L_{\text{drain}}(f_{c,i})$ の値

中心周波数 [Hz]	$\Delta L_{\text{drain}}(f_{c,i})$ [dB]				
	オクターブバンド		1/3 オクターブバンド		
		1年未満			1年未満
63	50			0	0
	63	0	0	0	0
	80			0	0
125	100			0	0
	125	0	0	0	0
	160			0	0
250	200			0	0
	250	+1.1	0	+1	0
	315			+2	0
500	400			+3	0
	500	+3.7	0	+4	0
	630			+4	0
1,000	800			+4	-3
	1,000	+2.0	-4.7	+2	-5
	1,250			-2	-7
2,000	1,600			-4	-7
	2,000	-4.0	-6.4	-4	-6
	2,500			-4	-6
4,000	3,150			-4	-5
	4,000	-3.4	-4.6	-3	-5
	5,000			-3	-4

$$\begin{aligned} \Delta L_{WA, \text{drain}}(f_{c,i}) = & \Delta L_W(f_{c,i}) \\ & + \Delta L_{\text{drain}}(f_{c,i}) \\ & + \Delta L_A(f_{c,i}) \\ & + \Delta L_{\text{adj}} \end{aligned} \quad (\text{A1.7})$$

ここで、 $\Delta L_W(f_{c,i})$ は $f_{c,i}$ における補正量 [dB] (式 (A1.3), 式 (A1.4)), $\Delta L_{\text{drain}}(f_{c,i})$ は表-A1.2 で与える $f_{c,i}$ における排水性舗装に関する補正量 [dB], $\Delta L_A(f_{c,i})$ は $f_{c,i}$ における周波数重み付け特性 A の値 [dB] (JIS C 1509-1:2005 参照), ΔL_{adj} は A 特性相対バンドパワーレベルのエネルギー合成値を 0 dB とするための調整値 [dB] で次式により計算する。

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{adj}} = & -10 \log_{10} \sum_i 10^{(\Delta L_W(f_{c,i}) + \Delta L_{\text{drain}}(f_{c,i}) + \Delta L_A(f_{c,i})) / 10} \end{aligned} \quad (\text{A1.8})$$

定常走行及び非定常・減速走行の場合の A 特性相対バンドパワーレベル $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$ [dB] を表-A1.3 及び図-A1.2 に示す。

表-A1.3 A 特性相対バンドパワーレベル $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$ (排水性舗装, 定常走行及び非定常・減速走行)

中心周波数 [Hz]	A 特性相対バンドパワーレベル [dB]				
	オクターブバンド		1/3 オクターブバンド		
		1年未満		1年未満	
63	50			-39.2	-35.0
	63	-30.4	-26.2	-35.2	-31.0
	80			-31.5	-27.3
125	100			-28.1	-23.9
	125	-20.4	-16.1	-25.1	-20.9
	160			-22.4	-18.2
250	200			-20.0	-15.8
	250	-11.8	-8.7	-16.7	-13.5
	315			-13.7	-11.5
500	400			-11.0	-9.8
	500	-4.1	-3.6	-8.5	-8.3
	630			-7.4	-7.2
1,000	800			-6.6	-9.4
	1,000	-3.5	-6.0	-8.3	-11.1
	1,250			-12.3	-13.1
2,000	1,600			-15.0	-13.8
	2,000	-11.3	-9.5	-16.1	-13.9
	2,500			-17.7	-15.5
4,000	3,150			-20.1	-16.9
	4,000	-17.7	-14.6	-22.0	-19.8
	5,000			-25.5	-22.3
オーバーオール		0.0	0.0	0.0	0.0

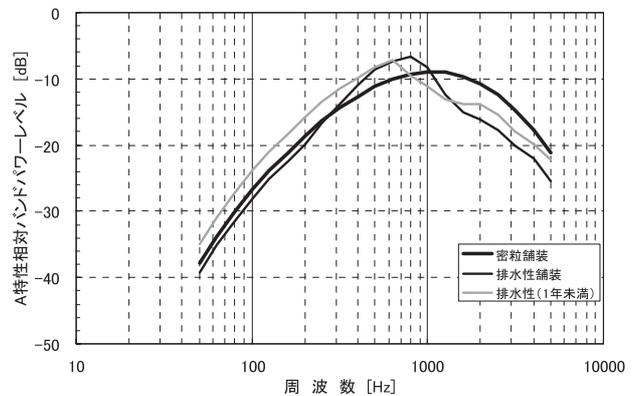


図-A1.2 A 特性相対バンドパワーレベル (定常走行及び非定常・減速走行, 1/3 オクターブバンド)

文 献

[71] T. Iwase, K. Nakasaki, Y. Namikawa and T. Mori, “On sound spectral model of road vehicle for prediction of road traffic noise: Considerations for establishing the ASJ RTN-Model 2003,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 26, 71–75 (2005).

[72] 福島昭則, 福島徹彦, 田近輝俊, 佐藤 大, 岩瀬昭雄, “自動車走行騒音のパワースペクトルとそのモデル化,” 騒音制御工学会研究発表会講論集, pp. 17–20 (2008.4).

[73] 岩瀬昭雄, “排水性舗装面の音響特性の計測と騒音低減効果の評価について,” 音講論集, pp. 1077–1080

(2008.9).

[74] 植田知孝, 石川賢一, 山本 稔, 長船寿一, 大蔵 崇, 山本貢平, 岩瀬昭雄, “排水性舗装の経年変化を考慮した回折補正量の計算方法,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-2 (2009.1).

付属資料 A2 周波数ごとの伝搬計算法

この付属資料 A2 では, 伝搬特性を周波数ごとに計算する方法について示す。

1.3 節にならない, i 番目の道路区間の中心に自動車を模した点音源を想定し, 予測点における A 特性音圧レベル $L_{A,i}$ [dB] を次式で計算する。

$$L_{A,i} = 10 \log_{10} \sum_n 10^{L_{A,i}(f_n)/10} \quad (\text{A2.1})$$

ここで, $L_{A,i}(f_n)$ は n 番目の周波数 f_n [Hz] における A 特性音圧レベル [dB] である。得られた $L_{A,i}$ を式 (1.5) に代入して L_{AE} を求め, 式 (1.6) を用いて $L_{Aeq,T}$ を算出する。

$L_{A,i}(f_n)$ の計算方法について, 実用計算法と精密計算法を以下に示す。両手法とも, 遮音壁周辺の回折などの影響を図-A2.1 又は表-A2.1 の個々の伝搬経路の寄与において計算し, 最後に全経路の寄与を合算する。地表面効果を考慮せず実数領域で演算を行う場合には実用計算法を, 地表面効果を考慮するため複素数演算を行う場合には精密計算法を選択する。

計算周波数 f_n は, 実用計算法の場合には 100 Hz~5 kHz の 1/3 オクターブバンド中心周波数とし, 精密計算法の場合には 100 Hz~5 kHz の 1/3 オクターブバンドに 1/9 オクターブ以下の間隔で設定する [75]。

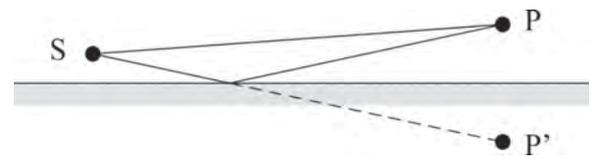
各計算法の記述において, $L_{WA}(f)$ は中心周波数 f [Hz] における自動車走行騒音の 1/n オクターブバンド音響パワーレベル [dB] (付属資料 A1 参照) である。排水性舗装の影響は $L_{WA}(f)$ の変化として考慮し, 伝搬過程における影響は考慮しない。

A2.1 実用計算法

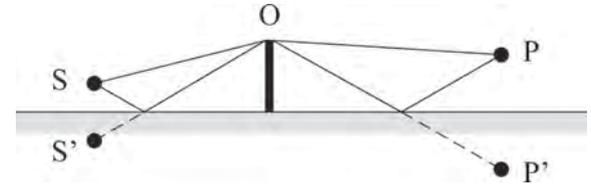
A2.1.1 伝搬計算の基本式

自由空間での伝搬計算式を基本とし, 周波数 f [Hz] における点音源 S からの予測点 P への伝搬を次式で計算する。

$$L_{A,i}(f) = 10 \log_{10} \sum_{m=1}^M 10^{L_{A,m}(f)/10} + \Delta L_{g,ex}(f) \quad (\text{A2.2})$$



(a) 遮音壁がない場合 ($m=1$: SP, $m=2$: SP')



(b) 遮音壁が設置された場合 ($m=1$: SOP, $m=2$: SOP', $m=3$: S'OP, $m=4$: S'OP')

図-A2.1 音の伝搬経路

$$L_{A,m}(f) = L_{WA}(f) - 11 - 20 \log_{10} r_m + \Delta L_{dif,m}(f) + \Delta L_{air,m}(f) \quad (\text{A2.3})$$

ここで, 添字 m は図-A2.1 での伝搬経路 m を表し, M は伝搬経路数で遮音壁がない場合が 2, ある場合が 4 である。 $L_{A,m}(f)$ は伝搬経路 m における A 特性音圧レベル [dB], r_m は伝搬経路 m に関する伝搬距離 [m], $\Delta L_{dif,m}(f)$ は回折補正量 [dB] (遮音壁がない場合には 0 dB とする), $\Delta L_{air,m}(f)$ は空気の影響吸収に関する補正量 [dB], $\Delta L_{g,ex}(f)$ は地表面超過減衰に関する補正量 [dB] である。

A2.1.2 回折補正量 $\Delta L_{dif,m}(f)$

伝搬経路 m に関する回折補正量 $\Delta L_{dif,m}(f)$ の計算方法として以下に二つの方法を示す。

道路交通騒音のような移動音源からの騒音は予測点の直前の音源からの寄与が大きく, L_{Aeq} 評価では直前付近の音源についての予測精度が特に重要である。そのような場合には前川の実験式 [23, 24] を用いる。なお, 以下では, $\Delta L_{dif,m}(f)$ を ΔL_{dif} で表す。

$$\Delta L_{dif} = \begin{cases} -13 - 10 \log_{10} N & N \geq 1 \\ -5 \mp 8 \frac{\sinh^{-1}(|N|^{0.485})}{\sinh^{-1}(1)} & -0.324 \leq N < 1 \\ 0 & N < -0.324 \end{cases} \quad (\text{A2.4})$$

ここで, $N = 2\delta/\lambda$ はフレネル数, δ は回折経路差 [m] (3.2.1 項に準じて定義), $\lambda = c/f$ は波長 [m]

表-A2.1 伝搬経路の設定, R_m と G_m の定義式

地形	伝搬経路の概略図	M	m	R_m	G_m
平坦		2	1	1	1
			2	Q_{X-CD-P_2}	
盛土		4	1	1	1
			2	Q_{X-CD-P_2}	Γ_{X-CD-P_2}
			3	Q_{X-BC-P_3}	Γ_{X-BC-P_3}
			4	$Q_{X-BC-P_4} \cdot Q_{X-CD'-P_4}$	$\Gamma_{X-BC-P_4} \cdot \Gamma_{X-CD'-P_4}$
切土		4	1	1	$\frac{1}{2}(1 + \Gamma_{S_1-AB-X})$
			2	Q_{S_2-BC-X}	$\frac{1}{2}(1 + \Gamma_{S_2-A'B-X}) \cdot \Gamma_{S_2-BC-X}$
			3	Q_{X-CD-P_2}	$\frac{1}{2}(1 + \Gamma_{S_1-AB-X})$
			4	$Q_{S_2-BC-X} \cdot Q_{X-CD-P_2}$	$\frac{1}{2}(1 + \Gamma_{S_2-A'B-X}) \cdot \Gamma_{S_2-BC-X}$

(c は音速 [m/s], 気温 20°C で 343.7 m/s) である。式中の干符号は, $N \geq 0$ の場合を負, $N < 0$ の場合を正とする。

一方, 音源が障壁に近接する場合や, 音源が予測点正面から障壁の延長方向に離れ “かすめ入射” となる場合には式 (A2.4) は効果が過大となる。そのような場合には反射性障壁に対する回折の漸近解 [76] による回折補正量を近似した以下に示す計算式 [77] を用いることができる。なお, 以下の近似計算式の適用範囲は, 予測点 P から音源 S が見えない場合である。

$$\Delta L_{dif} = 10 \log_{10} (D_{SP} + D_{S'P})^2 \quad (A2.5)$$

$$D_{SP} = \frac{1}{2\pi\sqrt{N_{SP} + 0.18}} \cdot \sqrt{1 + \left\{ \frac{1}{2\pi(N_{SP}^{0.6} + 0.18^{0.6})^{1/0.6}} \right\}^2} \quad (A2.6)$$

$$D_{S'P} = \frac{1}{2\pi\sqrt{N_{S'P} + 0.18}} \cdot \sqrt{1 + \left\{ \frac{1}{2\pi(N_{S'P}^{0.6} + 0.18^{0.6})^{1/0.6}} \right\}^2} \quad (A2.7)$$

ここで, $N_{SP} = 2\delta_{SP}/\lambda$ はフレネル数, δ_{SP} は回折経路差 [m] (図-A2.2 で, $\delta_{SP} = R_{d,SP} - R_{g,SP}$), $\lambda = c/f$ は波長 [m] (c は音速 [m/s]) である。同様に $N_{S'P}$ は, 音源 S の障壁に対する鏡像音源 S' に置き換えて計算する。

A2.1.3 空気の音響吸収に関する補正量

$\Delta L_{air,m}(f)$

$\Delta L_{air,m}(f)$ は, 単位距離当たりの減衰量 $\alpha(f)$ [dB/m] と m 番目の経路の伝搬距離 r_m [m] の積として, 次式により計算する。

$$\Delta L_{air,m}(f) = -\alpha(f) \cdot r_m \quad (A2.8)$$

$\alpha(f)$ は 1 気圧の大気 (101.325 kPa) を仮定し,

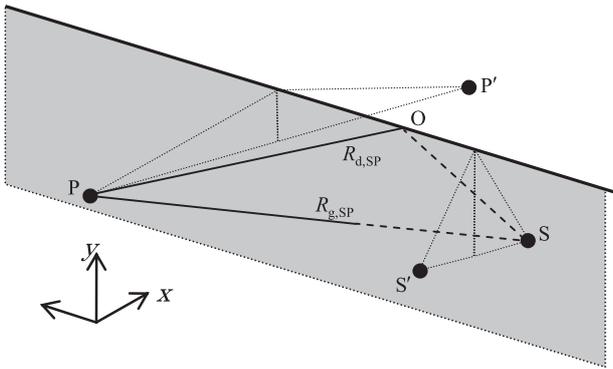


図-A2.2 幾何配置と伝搬経路

JIS Z 8738:1999 を近似した次式で計算する [78]。

$$\alpha(f) = f^2 \times 10^{-10} \cdot \left\{ 1.60 + \frac{b_O f_{rO}}{f_{rO}^2 + f^2} + \frac{b_N f_{rN}}{f_{rN}^2 + f^2} \right\} \quad (\text{A2.9})$$

ここで、 f_{rO} 及び f_{rN} は酸素分子及び窒素分子の共鳴周波数 [Hz]、 b_O 及び b_N は酸素分子及び窒素分子に関する減衰に係る係数で次式で計算する。

$$f_{rO} = 24 + 4.04 \times 10^4 h \frac{0.02 + h}{0.391 + h} \quad (\text{A2.10})$$

$$f_{rN} = \frac{17.1}{\sqrt{T_C + 273}} \left[9 + 18100 \times h \times e^{-\frac{3500}{T_C + 819}} \right] \quad (\text{A2.11})$$

$$h = 41200 \times h_r \times 10^{-\frac{8070}{(T_C + 273)^{1.261}}} \quad (\text{A2.12})$$

$$b_O = 1.11 \times 10^9 \times e^{-\frac{2240}{T_C + 273}} \left(\frac{293}{T_C + 273} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (\text{A2.13})$$

$$b_N = 9.28 \times 10^9 \times e^{-\frac{3350}{T_C + 273}} \left(\frac{293}{T_C + 273} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (\text{A2.14})$$

ここで、 T_C は気温 [°C]、 h_r は相対湿度 [%] である。

A2.1.4 地表面による超過減衰補正量 $\Delta L_{g,ex}(f)$

$\Delta L_{g,ex}(f)$ は反射性地面を基準とする音圧レベルの変化量を表す。通常は $\Delta L_{g,ex}(f) \leq 0$ であるので、安全側予測の観点から $\Delta L_{g,ex}(f) = 0$ とする。

注記：地表面と気象の影響を A4.2 節の波動数値解析により算出し、 $\Delta L_{g,ex}(f)$ として用いてもよい。なお、この方法は平坦地形で点音源が地表面に接している場合のみを対象とする。

A2.2 精密計算法

遮音壁周辺の回折、地表面の吸音性、法面を含む地形の各影響を波動的に考慮する伝搬計算方法を示す。

表-A2.1 に示す断面地形が無限に続く直線道路を想定する。点音源 S は路面に接する。図中の A 及び D は無限遠である。図に示した地形と遮音壁の影響だけを考慮しているため、例えば反対車線の路肩に建てられた遮音壁による反射などについては、別途計算する必要がある。

A2.2.1 伝搬計算の基本式

遮音壁背後の音場を表-A2.1 に示す M 本の伝搬経路の寄与の和と考え、周波数 f [Hz] における予測点 P_1 の $L_{A,i}(f)$ [dB] を次式で計算する [79]。

$$L_{A,i}(f) = L_{WA}(f) - 8 + 10 \log_{10} \left| \sum_{m=1}^M \frac{D_m \cdot R_m \cdot G_m \cdot A_m}{r_{0,m}} \right|^2 \quad (\text{A2.15})$$

ここで、 $r_{0,m}$ は m 番目の経路に対応する直達経路長 [m] (3.2.1 項参照)、 D_m は遮音壁による遮蔽効果を表す係数、 R_m は地表面の反射率を表す係数、 G_m は反射面の面積の影響を表す係数、 A_m は空気の音響吸収の影響を表す係数である。以下の記述では虚数単位を i とし、時間項 $e^{-i\omega t}$ (ω は角周波数 [rad/s]) は省略する。

A2.2.2 遮音壁に関する回折影響係数 D_m

薄い反射性半無限障壁を想定した回折影響係数 D_m は、次式で計算する。

$$D_m = D(N_m) e^{ikr_m} \quad (\text{A2.16})$$

$$D(N) = \begin{cases} \frac{1}{2\sqrt{5N}} & 1 \leq N \\ \frac{1}{2(\sqrt{5})^{\sqrt{N}}} & 0 \leq N < 1 \\ \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{|N|}{0.30}} \right) & -0.30 \leq N < 0 \\ 1 & N < -0.30 \end{cases} \quad (\text{A2.17})$$

ここで、 $k = 2\pi/\lambda$ は波数、 r_m は m 番目の経路の回折経路長 [m] (3.2.1 項参照) であり、フレネ

ル数 N_m は A2.1.2 項と同様に定義する。

薄い遮音壁ではなく張り出し型遮音壁や先端改良型遮音壁について計算を行う場合、R3.2 節に示す方法で回折影響係数を設定する。

A2.2.3 地表面の反射係数 R_m

地表面の複素音圧反射係数 R_m を定義する。各経路における定義式を表-A2.1 に示す。図-A2.3 の遮音壁上端 X-反射面 AB-受音点 P の経路について、複素音圧反射係数 $Q_{X-AB-P'}$ を次式で計算する [80]。

$$Q_{X-AB-P'} = V_{X-AB-P'} + Q'_{X-AB-P'} \quad (A2.18)$$

$$V_{X-AB-P'} = \frac{\cos \theta - \beta}{\cos \theta + \beta} \quad (A2.19)$$

$$Q'_{X-AB-P'} = \frac{4\beta b (1 + \beta \cos \theta)}{(\cos \theta + \beta)^3} G(\sqrt{ikr'b}) \quad (A2.20)$$

$$-\pi < \arg(b) < \pi$$

$$b = 1 + \beta \cos \theta - \sqrt{1 - \beta^2} \sin \theta \quad (A2.21)$$

$$\operatorname{Re} \left[\sqrt{1 - \beta^2} \right] > 0$$

$$G(z) = 1 + i\sqrt{\pi z} \cdot w(z) \quad (A2.22)$$

$$w(z) = e^{-z^2} \left(1 + \frac{2i}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{t^2} dt \right) \quad (A2.23)$$

ここで、 θ は反射面への入射角、 β は面 AB 表面の比音響アドミタンス比、 r' は X から鏡像受音点 P' までの経路長 [m]、 $w(z)$ は複素誤差関数である。面 AB の面積が有限であることの影響は A2.2.4 項の係数 G_m で考慮し、ここでは無限平面に関する反射係数として与える。 β は、実効の流れ抵抗 σ_e [kPa s/m^2] を用いて次式で計算する [13]。

$$\frac{1}{\beta} = 1 + 5.50 \left(\frac{\sigma_e}{f} \right)^{0.632} + i \cdot 8.43 \left(\frac{\sigma_e}{f} \right)^{0.632} \quad (A2.24)$$

σ_e の実測値が得られない場合には、表-A2.2 の値を用いてもよい。

注記 1：式 (A2.20) は $kr' \sin^2 \theta \gg 1$ の条件に基づく漸近解 [80] であるが、道路交通騒音予測においては、この条件を超える範囲に適用しても影響は小さい。

注記 2：道路端に設置された遮音壁の後背地における騒音予測に限れば、図-A2.3 の面 AB を基準とする壁上端 X の高さが 3 m 以上、予測点 P の高さが 1.2 m 以上、X から P' までの距離が 20 m 以内であれば、 $Q'_{X-AB-P'} \approx 0$ と近似しても等価騒音レベルの予測精度への影響は小さい [81]。

注記 3：式 (A2.23) の $w(z)$ は近似式を用いて求めることができる [82]。

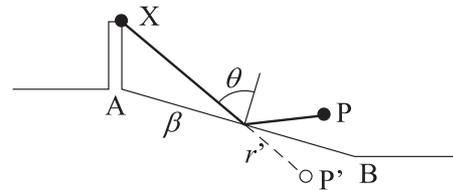


図-A2.3 地表面による音波の反射

表-A2.2 地表面の種類と実効の流れ抵抗

地表面の種類	地表面の実効の流れ抵抗 σ_e [kPa s/m^2]
コンクリート, アスファルト	20,000
運動場などの固い地面	1,250
芝地, 田んぼ, 草地	300
表面の柔らかい畑地, 耕田	75

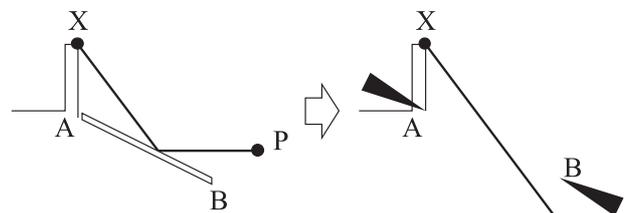


図-A2.4 スリット法による反射面積影響の計算

A2.2.4 反射面積影響係数 G_m

反射面の面積と寄与率の関係を表す係数 G_m を定義する。各伝搬経路における定義式を表-A2.1 に示す。図-A2.4 の反射面 AB についてスリット法の概念 (図-3.17 参照) を適用し、遮音壁上端 X からスリット AB を経て鏡像受音点 P' へ到達する寄与を表す係数 $\Gamma_{X-AB-P'}$ を次式で定義する。

$$\Gamma_{X-AB-P'} = D_{\text{slit}}(N_{XAP'}) - D_{\text{slit}}(N_{XBP'}) \quad (A2.25)$$

$D_{\text{slit}}(N_{XAP'})$ は経路 XAP' のフレネル数 $N_{XAP'}$ に対する回折影響係数で、次式で計算する [83]。

$$D_{\text{slit}}(N) = \begin{cases} 0 & 0.30 < N \\ \frac{1}{2} \left\{ 1 \mp \sqrt{\frac{|N|}{0.30}} \right\} & |N| \leq 0.30 \\ 1 & N < -0.30 \end{cases} \quad (A2.26)$$

ここで、式中の \mp 符号は、 $N \geq 0$ の場合を負、 $N < 0$ の場合を正とする。

A2.2.5 空気の音響吸収に関する影響係数 A_m

空気の音響吸収に関する影響係数 A_m を定義する。A2.1.3 項に従い算出した $\alpha(f)$ を用い、次式

により計算する。

$$A_m = 10^{-\alpha(f) \cdot r_m / 20} \quad (\text{A2.27})$$

文 献

- [75] 福島昭則, 藤原恭司, “広帯域騒音の伝搬予測に必要な計算周波数間隔,” 音響学会騒音・振動研資, N-2002-61 (2002.11).
- [76] J.J. Bowman, T.B.A. Senior and P.L.E. Uslenghi, *Electromagnetic and Acoustic Scattering by Simple Shapes* (North-Holland, Amsterdam, 1969), p. 335.
- [77] 福島昭則, “遮音壁の回折補正量の近似計算モデル,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-5 (2014.1).
- [78] 福島昭則, “屋外騒音伝搬予測における空気の音響吸収による減衰の計算式,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-10 (2014.2).
- [79] 大久保朝直, 山本貢平, 船橋 修, 山本 稔, “遮音壁と地面の影響を考慮した道路交通騒音予測法,” 音講論集, pp. 1005-1008 (2008.9).
- [80] 川井孝雄, “Locally reacting な境界面上の音の伝搬に関する考察,” 音響学会誌, 39, 374-379 (1983).
- [81] 大久保朝直, 山本貢平, 大蔵 崇, 山本 稔, “地表面反射の計算における平面波近似の適用限界,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-23 (2009.3).
- [82] C.F. Chien and W.W. Soroka, “A note on the calculation of sound propagation along an impedance surface,” *J. Sound Vib.*, 69, 340-343 (1980).
- [83] 大久保朝直, 山本貢平, 大蔵 崇, 山本 稔, “スリット法を用いた沿道法面反射音の予測計算,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-22 (2009.3).

付属資料 A3 信号交差点部の騒音の計算方法

信号交差点部の騒音予測計算方法としては、交差点の信号周期と自動車の挙動を考慮した交通流シミュレーションモデルに基づくダイナミックシミュレーション手法 [84] があるが、ここでは表-A3.1 に示す実用計算法（準精密法）と簡易計算法（準精密法を簡便化した方法）の 2 種類を示す。

A3.1 実用計算法 [46]

信号 1 サイクルを対象にして、青現示で通過する自動車と、赤現示で減速、停止、加速走行する自動車に分けて車線別に計算する。また、自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベルは、車種構成から求めた平均パワーレベル $\overline{L_{WA}}$ [dB] を用いる。

青現示で走行する自動車からの L_{Aeq} [dB] は、定常走行として計算する。赤現示で加減速を伴って走行する自動車については、図-A3.1 に示すように、個々の自動車からの騒音レベル L_A [dB] のユニットパターンを計算し、 L_{AE} [dB] を求め、赤現示で停止するすべての自動車を考慮して L_{Aeq} を計算する。これらの L_{Aeq} をパワー合成して全体の L_{Aeq} を計算する。

表-A3.1 信号交差点部の騒音の計算方法

計算方法	概要
実用計算法 (準精密法)	青現示で定常走行する自動車と、赤現示で減速、停止、加速する自動車に分けて L_{Aeq} を計算する方法 [46]。
簡易計算法 (準精密法を簡便化した方法)	道路を定常走行区間と加速・定常混合区間に分けて L_{WA} を設定し、 L_{Aeq} を計算する方法 [46]。

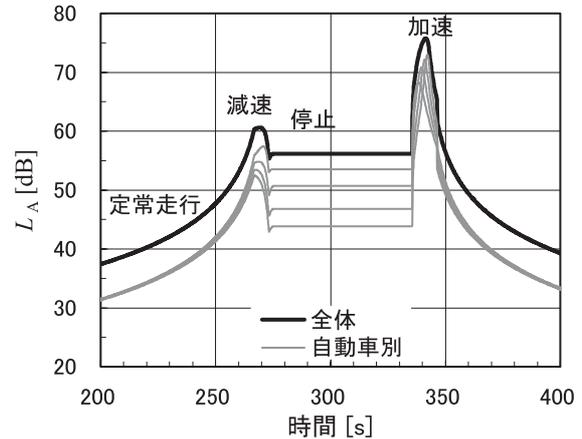


図-A3.1 赤現示の場合の L_A の例

以下に、赤現示の場合における諸条件の設定方法を示す。

(1) 交通量の設定

1 回の赤現示で停止する交通量 N_R [台/サイクル] は、次式により設定する。

$$N_R = N_C \cdot \frac{T_R}{T_C} \quad (\text{A3.1})$$

ここで、 N_C は信号 1 サイクルの間に交差点を通過する交通量 [台/サイクル]、 T_R は赤現示の時間 [s]、 T_C は信号 1 サイクルの時間 [s] である。

(2) 平均パワーレベル $\overline{L_{WA}}$

2 車種分類で大型車類混入率 q の場合の平均パワーレベル $\overline{L_{WA}}$ [dB] は次式で計算する。

$$\overline{L_{WA}} = a_L + b \log_{10} V + 10 \log_{10}(1 + c \cdot q) \quad (\text{A3.2})$$

ここで、 a_L は小型車類のパワーレベルの定数 [dB]、 b は速度依存性を表す係数、 V は走行速度 [km/h]、 c は小型車類に対する大型車類のパワーレベル換算係数で、大型車類のパワーレベルの定数 a_H を用いて次式により計算する。

$$c = 10^{(a_H - a_L)/10} - 1 \quad (\text{A3.3})$$

表-A3.2 自動車の加速度

走行状態	加速度 [m/s ²]
加速時	1.0
減速時	-1.3

注記：4車種分類の場合でも、車種別のパワーレベルの定数 a の差を用いて平均パワーレベルを設定できる。

(3) 自動車の加速度

交差点部を走行する自動車の減速時及び加速時の加速度は、表-A3.2 に示す値を用いる。

(4) 平均停止間隔と音源位置

自動車が赤現示で停止するときの平均停止間隔 d [m] は次式で計算する。

$$d = d_L + (d_H - d_L) \cdot q \tag{A3.4}$$

ここで、 d_L は小型車類の停止間隔 (= 6) [m]、 d_H は大型車類の停止間隔 (= 12) [m]、 q は大型車類混入率である。

赤現示で停止する n 番目の自動車の音源位置 x_n [m] (停止線からの距離) は次式で計算する。

$$x_n = (n - 0.5)d \tag{A3.5}$$

(5) 右左折時の平均走行速度

右左折時の平均走行速度は 20 km/h とする。なお、20 km/h に達するまでの速度は、表-A3.2 に示す加速時の加速度を用いて設定する。

A3.2 簡易計算法 [46]

実用計算法 (準精密法) での個々の自動車の走行を、1 台の自動車の走行で代表させ、その自動車が定常走行区間の速度で走行しているとして計算する方法である。このとき、実際にすべての自動車が定常走行する区間と、赤現示で一部の自動車が停止・加速走行する区間 (加速・定常混合区間) で、 $\overline{L_{WA}}$ を区別して設定する。図-A3.2 に加速・定常混合区間と定常走行区間のイメージを、図-A3.3 にユニットパターンのイメージを示す。

ユニットパターンを積分して求めた L_{AE} に評価時間 T [s] 内の交通量 N_T [台] を考慮して式 (1.6) により $L_{Aeq,T}$ を計算する。

(1) 加速・定常混合区間と定常走行区間の設定

加速・定常混合区間は、赤現示で停止する自動車の先頭から最後尾までの滞留区間 l_{stop} [m] と、青現示後に先頭の自動車が加速し終えるまでの区間長 l_{accel} [m] の和とする。各々の区間長は、次式

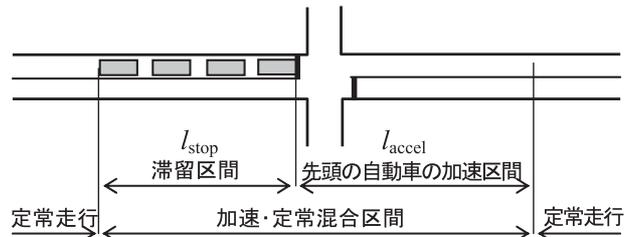


図-A3.2 加速・定常混合区間のイメージ

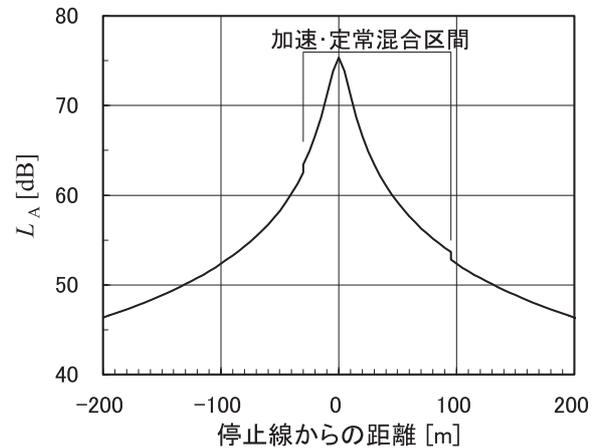


図-A3.3 ユニットパターンのイメージ

で計算する。

$$l_{stop} = d \cdot N_R \tag{A3.6}$$

$$l_{accel} = \frac{v^2}{2a_{accel}} \tag{A3.7}$$

ここで、 a_{accel} は加速時の加速度 [m/s²] で表-A3.2 に示す値、 v は定常走行区間の走行速度 [m/s] である。

定常走行区間は、加速・定常混合区間以外の区間とする。

(2) 平均パワーレベル $\overline{L_{WA}}$

平均パワーレベル $\overline{L_{WA}}$ [dB] は、定常走行区間については式 (A3.2) に示した方法により設定する。加速・定常混合区間の $\overline{L_{WA}}$ は、定常走行時 (青現示の走行時) の平均パワーレベル $\overline{L_{WA,B}}$ [dB] と加速走行時の $\overline{L_{WA,R}}$ [dB] を、それぞれの信号現示で通過する交通量の比でパワー平均した値とし、次式で計算する。

$$\overline{L_{WA}} = 10 \log_{10} \frac{N_R \cdot 10^{\overline{L_{WA,R}}/10} + (N_C - N_R) \cdot 10^{\overline{L_{WA,B}}/10}}{N_C} \tag{A3.8}$$

なお、加速走行時の $\overline{L_{WA,R}}$ は、加速走行時のパ

ワーレベル設定式に定常走行区間の速度を代入して設定する。

文 献

- [84] 鈴木 忠, 筑井啓介, 押野康夫, 橘 秀樹, “右左折車両を考慮した信号交差点周辺の騒音予測に関する検討,” 音響学会誌, 60, 526-535 (2004).

付属資料 A4 波動数値解析による騒音の計算方法

平行壁を有する平面道路上に高架道路が併設された場合や半地下構造道路で張り出し部分が多い場合など、道路構造が複雑な場合、本文で述べた実用計算法では限界がある。このような場合には、境界要素法 (BEM), 時間領域差分 (FDTD) 法などの波動数値解析手法を援用することができる。十分長い距離にわたって同一の断面形状を持つ直線道路を対象を限定することにより、干渉性線音源を想定し計算負荷が非常に小さい 2 次元解析、及び点音源を想定したユニットパターンを計算できる 2.5 次元解析 (後掲の図-A4.2 参照) のいずれかが実用的に適用可能である。これらの方法について、A4.1 節に示す。

一方、屋外における音の伝搬は、風や日照などによる影響を強く受ける。これらの気象影響の予測が必要な場合、Parabolic Equation (PE) 法と呼ばれる波動数値解析手法を適用可能である。遮音壁等のない平坦地形のみを対象が限定されるものの、高さ方向の風速分布と気温分布に起因する屈折伝搬と、草地など吸音性を有する地表面の影響を、予測可能である。この方法について、A4.2 節に示す。

A4.3 節には、すべての解析手法に共通する留意点を示す。

注記：道路沿道の騒音伝搬問題では数十～数百 m 以上の 3 次元空間を対象とする必要があるが、波動数値解析では波長に応じて境界面や音場領域を細かく離散化するため、3 次元音場解析には実用上の困難が伴う。計算機容量を節約し、計算を高速化するためのアルゴリズムが研究されている [85, 86] が、現在のところ、広い周波数帯域にわたる 3 次元解析が実用的に用いられるには至っていない。

A4.1 複雑な道路構造に関する計算方法

十分長い距離にわたって同一の断面形状を持つ直線道路を対象とする。高架道路の独立した橋脚からの反射、半地下構造道路の横梁による反射、街路や沿道建物連坦部における建物間の隙間を通

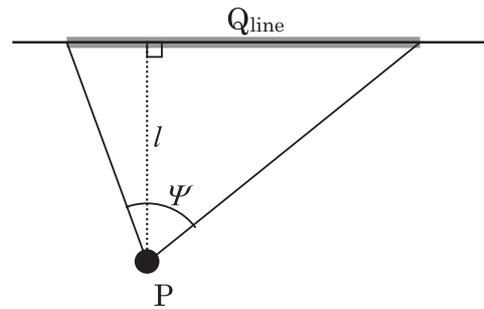


図-A4.1 有限長区間からの道路交通騒音の予測

しての音の伝搬などは解析できない。このような 3 次元的形状を考慮しなければならない場合には、縮尺模型実験 [22] を適用する。

A4.1.1 2次元波動数値解析の適用

図-A4.1 に示すように、予測点 P から道路を見込む角 Ψ [rad] の範囲に線音源 Q_{line} を設定し、中心周波数 f [Hz] のバンドにおける予測点 P での A 特性音圧レベル $L_A(f)$ [dB] を次式で計算する。

$$L_A(f) \approx L_{WA,\text{line}}(f) + 10 \log_{10} \frac{\Psi}{\pi} - 3 - 10 \log_{10} l + \Delta L_{2D}(f) \quad (\text{A4.1})$$

ここで、 $L_{WA,\text{line}}(f)$ は中心周波数 f [Hz] のバンドにおける線音源の単位長さ (1 m) 当たりの A 特性バンドパワーレベル [dB] で、自動車の走行騒音 A 特性バンドパワーレベル $L_{WA}(f)$ [dB] (付属資料 A1 参照) から次式で計算する。

$$L_{WA,\text{line}}(f) = L_{WA}(f) - 10 \log_{10} \frac{1000 V}{N} \quad (\text{A4.2})$$

ここで、 V は走行速度 [km/h], N は交通量 [台/h] である。

また、 $\Delta L_{2D}(f)$ は 2 次元波動数値解析によって求められる障壁などの挿入損失 [dB] で、次式で計算する。

$$\Delta L_{2D}(f) = 10 \log_{10} \left| \frac{\phi_{2D}(k)}{\phi_{2D,00}(k)} \right|^2 \quad (\text{A4.3})$$

ここで、 $\phi_{2D}(k)$ は、波数 $k (= 2\pi f/c)$ における、障壁などがある場合の予測点 P における複素音圧で、境界要素法、時間領域差分法などによって求める [87, 88]。また、 $\phi_{2D,00}(k)$ は障壁などの音響障害物が全くない場合 (2 次元半自由空間) の予

測点 P における複素音圧である。

境界要素法（時間項 $e^{-i\omega t}$ ）を用いる場合、 $\phi_{2D,00}(k)$ は次式で計算できる。

$$\phi_{2D,00}(k) = \frac{i}{2} H_0^{(1)}(kl) \quad (A4.4)$$

ここで、 $H_0^{(1)}(x)$ は 0 次第 1 種 Hankel 関数、 c は音速 [m/s] である。

時間領域差分法を用いる場合、対象道路が存在する 2 次元音場計算とは別に、2 次元半自由音場を設定して 2 次元音場計算を行い、得られた結果を基に $\phi_{2D,00}(k)$ を求める。

注記：2 次元波動数値解析は、円筒音源（干渉性線音源）からの音の伝搬を解析することに相当するので、道路交通騒音源のモデルであるランダム位相の点音源列（非干渉性線音源）とは物理的に異なる。しかし、十分長い直線道路における障壁の挿入損失や地表面効果について検討した結果 [89-91] によれば、予測点から $\pm 60^\circ$ 以内の線音源に対する挿入損失と 2 次元波動数値解析による計算値の差異は 1~2 dB 程度に収まることが分かっている。従って、2 次元数値解析によって計算した障壁などによる挿入損失を、実用計算法における伝搬計算に補正量として加えることによって近似解を得ることができる。

A4.1.2 2.5 次元波動数値解析の適用

図-A4.2 に示すように、一様な断面形状が z 方向に連続しており、点音源 (S) が存在する音場は、2.5 次元音場と呼ばれる。このような音場の受音点 (R) における複素音圧 $\phi_{3D}(x, y, z, k)$ は、断面形状をモデル化した 2 次元音場における複素音圧 $\phi_{2D}(x, y, k)$ と下式のように関連付けられる [92, 93]。

$$\begin{aligned} \phi_{3D}(x, y, z, k) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \phi_{2D}\left(x, y, \sqrt{k^2 - k_z^2}\right) \cos k_z z dk_z \\ & \quad (A4.5) \end{aligned}$$

2 次元空間内の波数を $k_{2D} = \sqrt{k^2 - k_z^2}$ と定義すると、式 (A4.5) より、 k_z の変化に応じて k_{2D} が $k \rightarrow 0 \rightarrow j \cdot \infty$ と変化するので、そのような k_{2D} に対して $\phi_{2D}(x, y, k)$ を計算し、式 (A4.5) に基づいて 3 次元解 $\phi_{3D}(x, y, z, k)$ を計算する。

2 次元解 $\phi_{2D}(x, y, k)$ を求めるには、境界要素法や時間領域差分法を用いる。境界要素法を用いる場合には、式 (A4.5) の積分を近似計算するため、離散的な k_{2D} に対する 2 次元解を計算する。解の精度を確保するためには、ある程度狭い波数の間隔で、多数の 2 次元解を計算しておく必要がある。特に $k_{2D} = 0$ で $\phi_{2D}(x, y, k)$ が発散してし

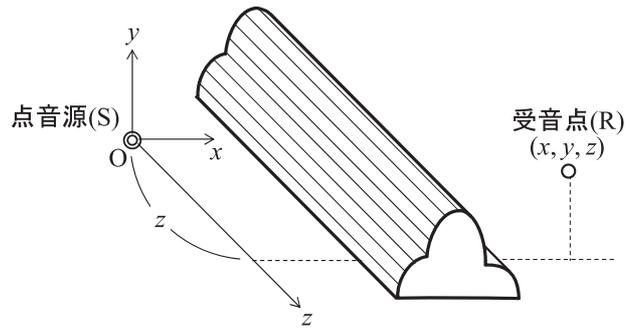


図-A4.2 2.5 次元音場

まう [94] ため、その近傍では k_{2D} の間隔を細かく設定する必要がある。

時間領域差分法を用いる場合には、時間領域のインパルス応答をあらかじめ一つ求めておき、その応答をフーリエ変換して実波数に対する $\phi_{2D}(x, y, k)$ を、ラプラス変換して虚波数に対する $\phi_{2D}(x, y, k)$ を求めることができる [95]。フーリエ変換やラプラス変換を用いるため、一つのインパルス応答から k_{2D} の間隔を自在に調整できるが、吸音境界を有する音場に対しては定式化されておらず、反射性境界を持つ音場に適用が限定される。

A4.1.3 境界要素法を適用する際の留意点

(1) 境界要素の大きさ

計算対象とする音の波長の 1/5 以下に設定する [96, 97]。できれば 1/8 以下とすることが望ましい。

(2) 音響障害物の内部共振の回避

音響障害物の寸法によって決まるある特定の周波数で計算上の共振（内部共振）が生じ、これによって大きな計算誤差が生じる場合があるので注意が必要である。この問題を解決するための方法が幾つか報告されている [98-100]。

(3) 遮音壁頂部付近の吸音性表面

先端改良型遮音壁（参考資料 R3 参照）などにおいて、遮音壁頂部に吸音材が配置される場合がある。材料の吸音特性を複素ノーマルインピーダンス (A4.3.3 節参照) で設定すると、遮音壁背後の回折音が過小予測される場合がある [101]。

A4.1.4 時間領域差分法を適用する際の留意点

(1) 差分スキームの選択

最も簡易な差分スキームである Yee アルゴリズム [102] を用いると、広い音場を計算する際、必要な計算ステップが数千以上になった場合に、数値分散性の影響で蓄積された計算誤差が無視でき

なくなる。従って、数値分散誤差を軽減するために、FDTD(2,4)法 [103] に代表される高次の差分スキームを用いることが望ましい。

注記：数値分散誤差を軽減するために、高次差分スキーム [104]、Compact 差分スキーム [105] など種々の手法が開発されている。空間差分だけでなく、時間積分についても精度の高い計算方法が提案されている [106]。

(2) 差分格子の大きさ

差分格子の大きさと数値分散誤差の関係より、Yee アルゴリズムを用いる場合は対象とする音の波長の 1/20 程度に設定することが望ましい。FDTD(2,4)法などの高次差分スキームを用いる場合は、対象とする音の波長の 1/10 程度に設定してもよい。

有限差分法では直交グリッドを用いるために物体の形状を凹凸近似することが多いが、差分格子が物体の形状をよく模擬できるような格子の大きさに設定するよう注意する。

(3) 無反射端の設定

時間領域差分法を道路交通騒音予測に適用する場合には、開空間を模擬するための高度な無反射境界を設定する必要がある。時間領域差分法で最もよく用いられる PML 吸音境界層 [107, 108] を設定するのが望ましい。特に、遮音壁や建物背後における回折場を計算する場合、仮想境界からの反射音が相対的に無視できなくなる場合があるので、反射音を十分に低減できるように PML 吸音境界層を設定しなければならない。

A4.2 気象影響の計算方法

屋外における音の伝搬は、風や高さ方向の温度分布の影響を強く受ける。このような気象影響を考慮できる計算方法として、PE 法がしばしば用いられる [109, 110]。

A4.2.1 PE 法の適用

PE 法は周波数領域の解法であり、音源から受音点方向に伝搬する進行波成分のみに着目して Helmholtz 方程式を解く手法である。 z 軸を回転軸とする回転対称音場を仮定して、図-A4.3 に示すように、地表面からの高さ z と点音源からの距離 r による 2 次元座標系 (r, z) を考える。対象とする 2 次元音場全体を計算格子に分割し、音源点を含む $r = 0$ の z 軸上の音圧分布を初期条件として設定し、 r 方向に隣接する次の直線上 $r = \Delta r$ における音圧分布を求める。同様に、 $r = 2\Delta r, 3\Delta r, \dots$

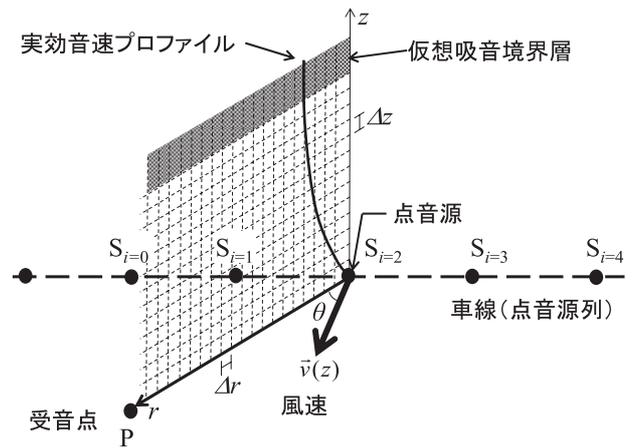


図-A4.3 ユニットパターン計算における PE 解析

の音圧分布を逐次繰り返して求めていくことで受音点の複素音圧を算出する。地表面の複素ノーマルインピーダンスを考慮でき、また、音場内各点のベクトル風速及び温度に基づき、各点の実効音速を仮定することで、音の伝搬に及ぼす気象の影響を考慮することが可能である。その一方で、音響障害物からの反射、散乱等については考慮できない。そのため、見通しの効く開けた屋外において長距離にわたって音が伝搬するような条件への適用が一般的である。

道路交通騒音の予測に PE 法を適用する場合、図-A4.3 のように対象道路上に離散的に音源点を配置し、受音点におけるユニットパターンを A2.1 節 (周波数ごとの実用計算法) に準じて計算する。解析対象を平坦地形で点音源が地表面に接している場合に限定し、式 (A2.2) における超過減衰補正量 $\Delta L_{g,ex}(f)$ を以下の手順で算出する [32]。各音源点と予測点を含む 2 次元断面において、高さ z に対するベクトル風速分布 $\vec{v}(z) \cos \theta$ 及び温度分布 $T(z)$ に基づき実効音速の分布 $c_{eff}(z)$ を仮定して周波数 f [Hz] における PE 解析を行い、 i 番目の音源位置 S_i から予測点 P への伝搬に関する複素音圧 $\phi_i(f)$ を算出する。実効音速分布 $c_{eff}(z)$ は次式で定義される。

$$c_{eff}(z) = 331.5 + 0.61T(z) + \vec{v}(z) \cos \theta \quad (A4.6)$$

同じ S_i から P への伝搬について、無風で温度一様の音速分布を想定し、なおかつ地表面を完全反射性とした解析を別途行い、複素音圧 $\phi_{i,00}(f)$ を算出する。これらを次式に代入し、 $\Delta L_{g,ex}(f)$ を算出する。

$$\Delta L_{g,ex}(f) = 10 \log_{10} \left| \frac{\phi_i(f)}{\phi_{i,00}(f)} \right|^2 \quad (A4.7)$$

A4.2.2 PE法を適用する際の留意点

(1) 音響障害物からの反射・散乱

PE法は、平坦な地表面上の伝搬について気象及び地表面の反射を考慮して波動音響解析を行う手法である。そのため、音場内の音響障害物からの反射、散乱等については基本的には考慮できない。

(2) 伝搬方向の制限

PE法では、平坦な地表面に沿った音の伝搬について高精度の解析が可能な一方、仰角が大きな方向への伝搬については精度が低下する。基本的なPE法の解法であるCrank-Nicholson PE (CN-PE)の場合、適用可能な仰角範囲は30°程度、高速解法であるGreen's-function PE (GF-PE)の場合75°程度とされている。

(3) 差分格子の大きさ

CN-PEの場合、 Δr 、 Δz ともに波長の1/10以下に設定することが望ましい。また、GF-PEを適用する場合は、 Δr を波長の10倍程度に設定することが可能である。

(4) 無反射端の設定

PE法を道路交通騒音予測に適用する場合には、開空間を模擬するため解析対象音場の上限に仮想吸音境界層を設定する必要がある。遠方までの伝搬計算を行う場合、吸音境界層への音波の入射角が浅くなることから、吸音境界層を十分厚く（波長の50倍程度）設定する必要がある。

A4.3 共通の留意点

A4.1節及びA4.2節の各計算方法に共通して留意すべき点を、以下に示す。

A4.3.1 計算周波数

計算周波数は、中心周波数125 Hz～4 kHzの6オクターブバンドを含む帯域とする。境界要素法などで周波数領域の計算を行う場合には1/9オクターブ以下の間隔で計算周波数を設定する [75]。

注記：計算時間や計算容量に制限がある場合、道路交通騒音の主要な周波数成分が含まれている250 Hz～2 kHzの4オクターブバンド帯域としてもよい。

A4.3.2 音源の設定位置

音源位置は道路の路面上とする。

注記：境界要素法を用いる場合、路面に接して音源を設定できないことがある。このような場合、音源高さを対象とする音の波長の1/20以下として路面近傍に設定してもよい [111]。

A4.3.3 境界面の吸音特性の設定

波動数値解析では、境界面の音響特性として複素ノーマルインピーダンスを設定する必要がある。コンクリート面などは完全反射として扱ってよいが、吸音材料が用いられている場合にはそのノーマルインピーダンスを用いる。地表面のインピーダンスについては付属資料A2の式(A2.24)を適用することができる。また、排水性舗装については、文献[112]にインピーダンスの実測結果が報告されている。

注記1：騒音対策用の吸音材料の音響特性は、通常は吸音率で表されている。この吸音率からノーマルインピーダンスの実数部のみを推定して波動数値解析の計算に用いることが多いが、吸音効果が過大に評価される場合があるので注意が必要である [111]。

注記2：地表面のインピーダンス z を式(A2.24)の β を用いて設定する場合、時間項が $e^{-i\omega t}$ なら $z = 1/\beta$ 、 $e^{i\omega t}$ なら $z = 1/\beta^*$ (*は複素共役)として換算する。

文 献

- [85] 安田洋介, 坂本慎一, 佐久間哲哉, “高速多重極BEMの領域分割法への適用—掘削道路の解析例—,” 音講論集, pp. 801–802 (2007.3).
- [86] 奥村陽三, 久野和宏, “境界要素法による3次元定常音場解析への高速多重極法の応用,” 音響学会誌, 55, 412–417 (1999).
- [87] 日本建築学会, 音環境の数値シミュレーション—波動音響解析の技法と応用— (丸善, 東京, 2011).
- [88] 日本建築学会, はじめての音響数値シミュレーションプログラミングガイド (コロナ社, 東京, 2012).
- [89] 福島昭則, 藤原恭司, “線音源の干渉性/非干渉性が障壁の挿入損失に及ぼす影響,” 音響学会誌, 58, 10–19 (2002).
- [90] 福島昭則, 坂本慎一, “道路交通騒音予測への2次元波動解析の適用に関する数値解析的検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2003-71 (2003.11).
- [91] 坂本慎一, 福島昭則, “道路交通騒音予測への2次元波動解析の適用に関する実験的検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2003-72 (2003.11).
- [92] D. Duhamel, “Efficient calculation of the three-dimensional sound pressure field around a noise barrier,” *J. Sound Vib.*, 197, 547–571 (1996).
- [93] D. Duhamel and P. Sergent, “Sound propagation over noise barriers with absorbing ground,” *J. Sound Vib.*, 218, 799–823 (1998).
- [94] 中島弘史, 鶴 秀生, 緒方正剛, “移動音源により生成された音場のフーリエ変換を用いた解析とその誤差の検討,” 音響学会誌, 60, 717–726 (2004).
- [95] S. Sakamoto, “Calculation of sound propagation in three-dimensional field with constant cross section by Duhamel's efficient method using transient solutions obtained by finite-difference time-domain method,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 30, 72–82 (2009).
- [96] 河井康人, “段差のある地面の騒音伝搬予測について,” 音響学会誌, 56, 98–104 (2000).
- [97] D.C. Hothersall, S.M. Chandler-Wilde and M.N. Hajmirzae, “Efficiency of single noise barriers,” *J. Sound Vib.*, 146, 303–322 (1991).
- [98] H.A. Schenck, “Improved integral formulation for acoustics radiation problems,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 44, 41–58 (1968).

- [99] 石塚 崇, 藤原恭司, “境界要素法を用いた防音壁遮音性能の解析における計算誤差改善に関する研究,” 音講論集, pp. 829–830 (2003.9).
- [100] A.J. Burton and G.F. Miller, “The application of integral equation methods to the numerical solution of some exterior boundary-value problems,” *Proc. R. Soc. London A.*, 323, 201–210 (1971).
- [101] T. Ishizuka, T. Okubo, “Inaccuracy due to local-reaction model in numerical analyses of noise-shielding efficiency of barriers with absorbing edge,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 30, 372–375 (2009).
- [102] K.S. Yee, “Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell’s equations in isotropic media,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 17, 585–589 (1996).
- [103] M.F. Hadi and M. Picket-May, “A modified FDTD (2,4) scheme for modeling electrically large structures with high phase accuracy,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 45, 254–264 (1997).
- [104] S. Sakamoto, “Phase-error analysis of high-order finite difference time domain scheme and its influence on calculation results of impulse response in closed sound field,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 28, 295–309 (2007).
- [105] S.K. Lele, “Compact finite difference scheme with spectral-like resolutions,” *J. Comput. Phys.*, 103, 16–42 (1992).
- [106] 岩津玲磨, 鶴 秀生, “時間領域音響計算に用いる Compact 差分と多段階積分法の最適化,” 京都大学数理解析研究所講究録, 1529, 1–14 (2007).
- [107] J-P. Berenger, “A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves,” *J. Comput. Phys.*, 114, 185–200 (1994).
- [108] Q. Qi and T.L. Geers, “Evaluation of the perfectly matched layer for computational acoustics,” *J. Comput. Phys.*, 139, 166–183 (1998).
- [109] 大島俊也, “PE 法を用いた騒音伝搬の予測,” 騒音制御, 28, 252–255 (2004).
- [110] 大久保朝直, “グリーン関数 PE 法を用いた屋外騒音伝搬予測,” 騒音制御, 36, 212–217 (2012).
- [111] 福島昭則, 坂本慎一, “2 次元波動解析を用いた道路交通騒音予測での条件設定に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2004-12 (2004.2).
- [112] H. Hatanaka and K. Yamamoto, “Measurements and analysis of acoustic properties of drainage asphalt,” *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 1, 55–62 (1999).

参 考 資 料

参考資料 R1 ハイブリッド・電気自動車の走行騒音のパワーレベル

我が国におけるハイブリッド自動車 (HV) や電気自動車 (EV) の保有台数は, 平成 23 年度までにそれぞれ 203 万台及び 2 万 4,000 台である。全自動車の保有台数の 3% 程度ではあるが, その販売普及率は非常に高く, 今後もこの傾向は続くことが予想される [113, 114]。このような電動モータ走行が可能な車両は, 地球温暖化対策などの環境面から大いに期待されている。その反面, ガソリン

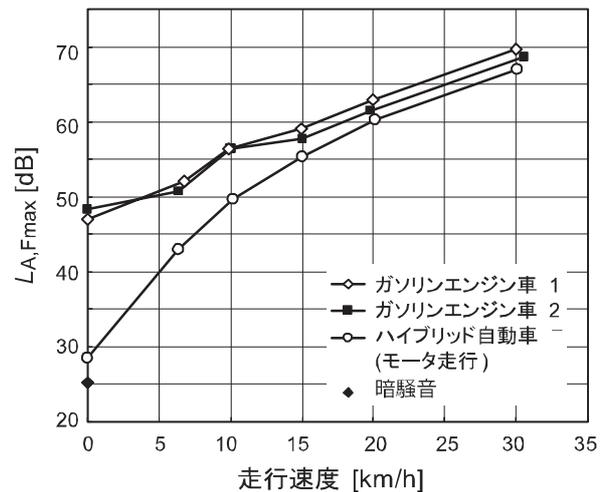


図-R1.1 ハイブリッド自動車とガソリンエンジン車の騒音レベルの比較

エンジン車などに比べて走行音が小さいことから, 走行速度 20 km/h 以下の場合に車両の接近を知らせる人工音の発生装置 (車両近接通知装置) に関するガイドラインが示されるに至っている [115]。

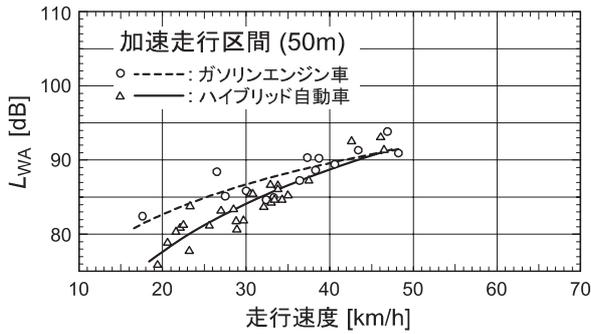
HV のモータ走行時における A 特性音圧レベルの最大値 $L_{A,Fmax}$ とガソリンエンジン車 (GEV) のそれとを比較した例として, 走行車線から 2 m 離れた点における実験結果を図-R1.1 に示す [116]。速度 15 km/h 以下になると HV の騒音レベルは, GEV に比べて 5 dB 程度以上も低下していることが分かる。図-R1.2 は, 同エンジン型式の HV と GEV (車両重量, タイヤ寸法ともほぼ同じ) を用いて, 密粒舗装での加速時と定常走行時のパワーレベル L_{WA} を比較した実験結果の例である [15]。発進直後の 50 m 点における HV の L_{WA} (20 km/h) は, GEV に比べて約 5 dB 低くなるが, 50 km/h 以上の定常走行時では同程度になっている。また, EV についても低速走行時のパワーレベルは, GEV に比べて大きく低下するとの報告がある [117]。

このように HV・EV による騒音低減効果は, エンジン系騒音が支配的となる信号交差点やインターチェンジ部などで期待できると考える。

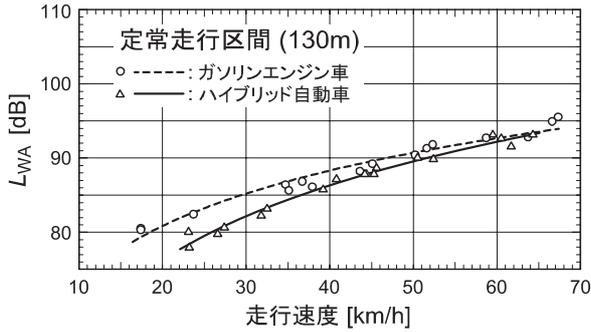
注記: 先に述べたように, HV・EV の保有台数は, 全車両に比べてわずかで, 平成 24 年の国内市販車両も HV が 37 車種, EV は 18 車種であることなどから [118], 今後, 普及するこれら車種や台数なども考慮しつつ, HV・EV のパワーレベルのデータを蓄積し, 道路交通騒音の予測に適用できるよう検討を進めていく必要がある。

文 献

- [113] 環境省総合環境政策局, “平成 25 年版 環境統計集,”



(a) 加速走行時



(b) 定常走行時

図-R1.2 ハイブリッド自動車とガソリンエンジンのパワーレベルの比較

p. 343 (2013.5).

- [114] 自動車検査登録情報協会, “自動車保有台数統計データ,” <http://www.airia.or.jp/number/> (参照 2013-11-30).
- [115] 国土交通省自動車交通局, “ハイブリッド車等の静音性に関する対策のガイドライン,” http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000049.html (参照 2013-11-30).
- [116] H. Tachibana, “General view of road traffic noise problem,” *Proc. inter-noise 2010* (2010).
- [117] 吉永弘志, 並河良治, “車両の電動化による騒音低減の予測,” 騒音制御工学会研究発表会講論集, pp. 89-92 (2008.9).
- [118] 環境省水・大気環境局, 低公害車ハンドブック 2012 (2012), pp. 20-27, 42-58.

参考資料 R2 二層式排水性舗装の騒音低減効果

我が国で採用されている二層式排水性舗装は、上層に最大粒径 5 mm~8 mm, 下層に最大粒径 13 mm のポーラスアスファルト混合物を使用したものであり、舗装厚は上層が 15 mm~20 mm, 下層が 30 mm~50 mm である [119-121]。一層式排水性舗装 (以下、排水性舗装という) の構造と比較した例を図-R2.1 に示す。

(1) 騒音低減効果

図-R2.2 は、試験走路に複数の舗装を施工して、乗用車と大型車の試験車を用いて走行実験を行い、測定された A 特性音圧レベルの最大値 $L_{A,Fmax}$ を

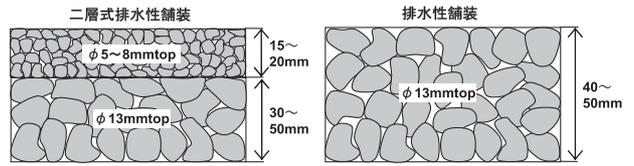


図-R2.1 舗装構造の比較例

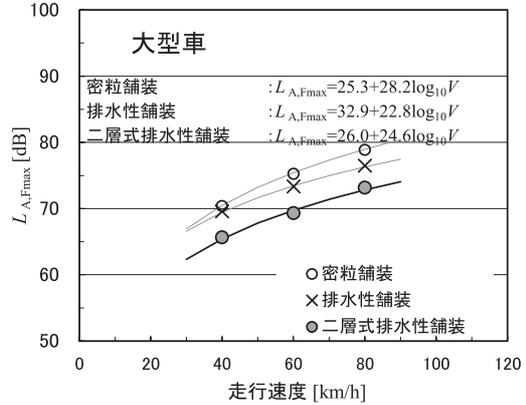
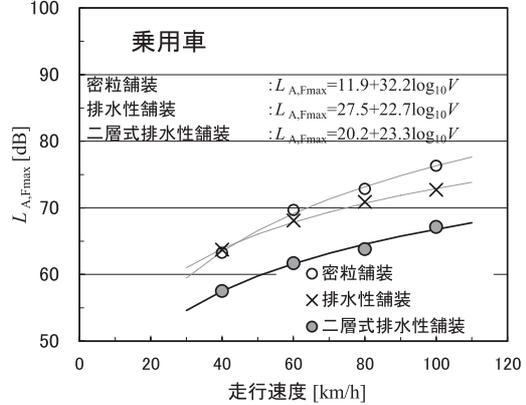


図-R2.2 舗装の違いによる $L_{A,Fmax}$

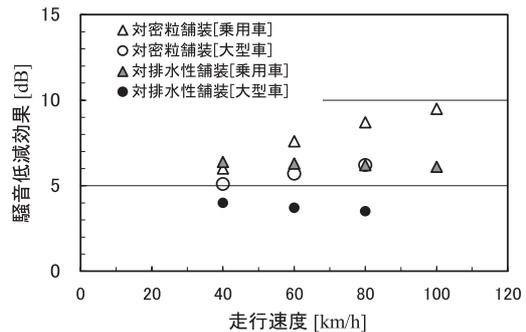


図-R2.3 二層式排水性舗装の騒音低減効果

比較したものである [122]。この図に示されている回帰式をもとに算出した二層式排水性舗装の騒音低減効果を図-R2.3 に示す。二層式排水性舗装の $L_{A,Fmax}$ は、密粒舗装より約 5 dB~10 dB, 排水性舗装より約 4 dB~6 dB 低減している。

図-R2.4 は、施工後初期の試験舗装で乗用試験車により測定された密粒舗装又は排水性舗装に対

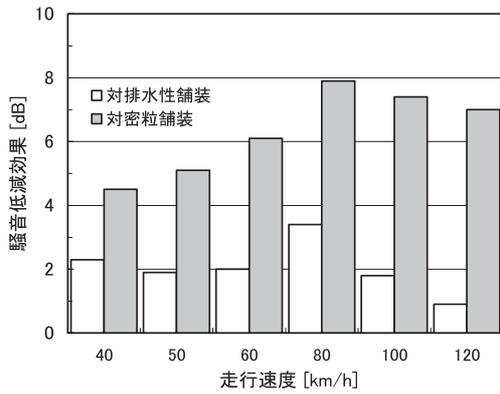


図-R2.4 二層式排水性舗装の騒音低減効果

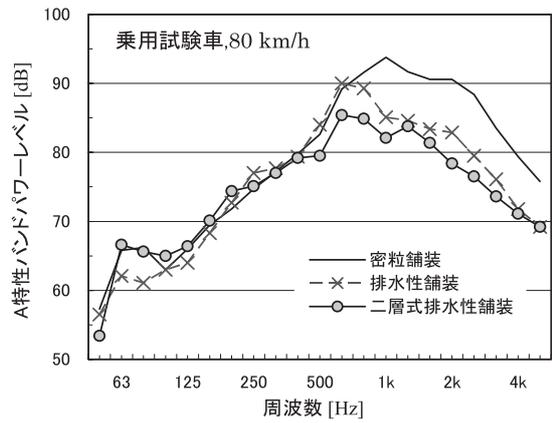


図-R2.6 L_{WA} の周波数特性

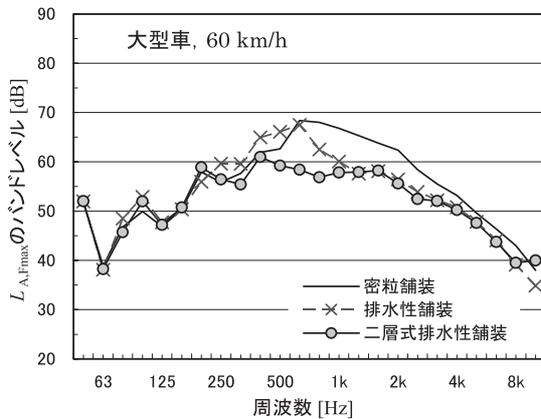
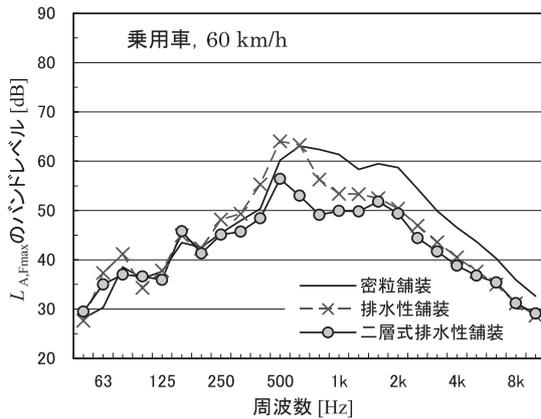


図-R2.5 $L_{A,Fmax}$ の周波数特性

する二層式排水性舗装の、 L_{WA} で評価した騒音低減効果である [123]。この図によると、二層式排水性舗装の L_{WA} は、密粒舗装より約 4 dB~8 dB、排水性舗装より約 1 dB~3 dB 低減している。

上記とは別に、タイヤ/路面騒音を専用の測定車 [124] により測定した事例がある [120]。

(2) 周波数特性

図-R2.5 は、図-R2.2 に示した速度 60 km/h のときの $L_{A,Fmax}$ の周波数特性である [122]。二層式排水性舗装は密粒舗装より 500 Hz 以上の周波数でレベルが大きく低減している。また、排水性

舗装と比較すると、200 Hz~1 kHz 付近のレベルが低減している。

図-R2.6 は、施工後初期の試験舗装で乗用試験車により測定された L_{WA} の周波数特性である [123]。二層式排水性舗装は、排水性舗装より 400 Hz 以上の周波数のレベルが低減する傾向を示している。

(3) 経時変化

一般道路において、一般車の走行騒音を経時的に測定して L_{WA} の経時変化が検討されている [121, 125]。これによると、二層式排水性舗装の騒音低減効果の経時変化(回帰式の傾き)は、排水性舗装と同等である。

文 献

[119] 藤田 仁, “タイヤ/路面騒音の低減技術—その 2 舗装側の騒音低減技術—,” 音講論集, pp.993-996 (2012.9).
 [120] 田中輝栄, “東京都車道舗装体系に取り込んだ二層式低騒音舗装の性能,” 都土木技術支援・人材育成センター年報, pp.19-30 (2011).
 [121] 山本裕一郎, 曾根真理, “一般国道における二層式排水性舗装の騒音低減効果の経時変化,” 音講論集, pp.1025-1028 (2010.3).
 [122] 押野康夫, “自動車, タイヤ, 路面の騒音対策の複合効果,” 日本自動車研究所主催・シンポジウム「道路交通騒音低減のための総合的取り組み」資料, pp.49-60 (2002.11).
 [123] 小柴 剛, 上坂克巳, 並河良治, “実用化間近な二層式排水性舗装—その減音メカニズムと諸特性—,” 土木技術資料, 44(3), pp.52-57 (2002).
 [124] 公益社団法人日本道路協会, 舗装性能評価法(平成25年版)—必須および主要な性能指標編—(丸善, 東京, 2013), pp.87-92.
 [125] 石川賢一, 植田知孝, 野口英司, 吉田元臣, “二層式排水性舗装と従来排水性舗装の騒音低減効果の機能比較,” 音響学会騒音・振動研資, N-2014-18 (2014.3).

参考資料 R3 先端改良型遮音壁に関する伝搬計算法

標準的な平板状の遮音壁以外に、先端改良型遮

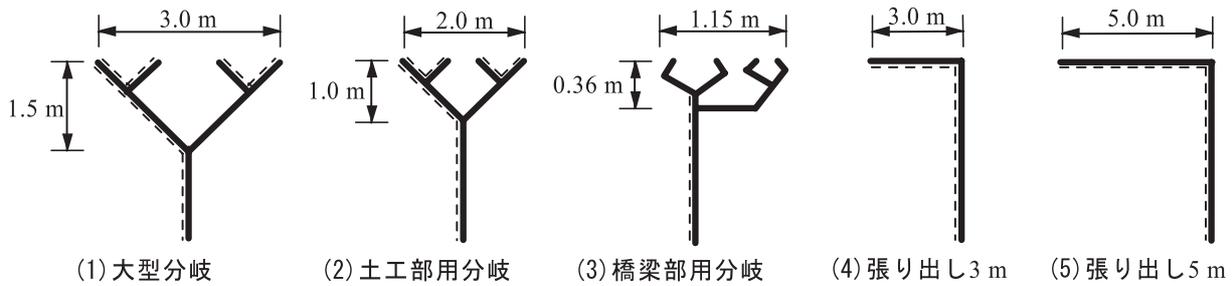


図-R3.1 先端分岐型遮音壁，張り出し型遮音壁の種類（破線部は吸音面）

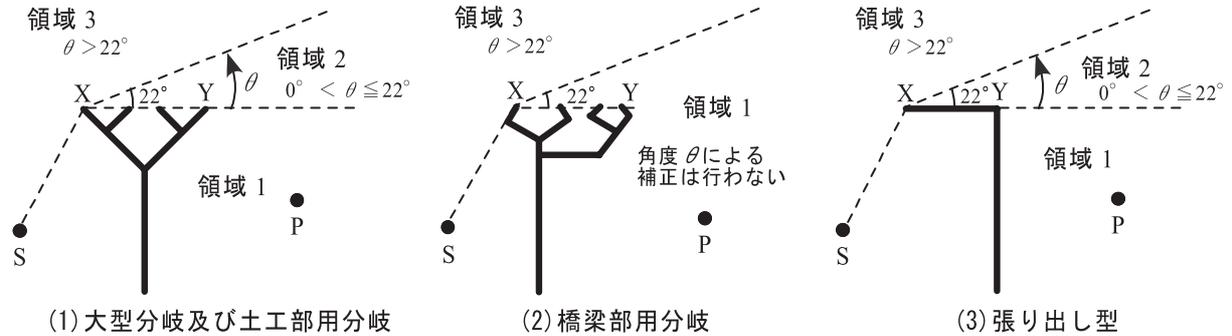


図-R3.2 領域の定義

音壁（Edge-modified barrier）や張り出し型遮音壁と呼ばれる遮音壁が沿道に設置される場合がある。これらの遮音壁に関する伝搬計算法を示す。

3章の伝搬計算を用い，なおかつ図-R3.1 に示す5種類の遮音壁（道路事業者が仕様を定めているもの）を対象とする場合，又は対象となる先端改良型遮音壁について文献 [126] と同等の縮尺模型実験を事前に実施できる場合，R3.1節の方法を選択する。周波数ごとの伝搬計算をA2.2節に基づいて行う場合には，R3.2節の方法を選択する。

R3.1 縮尺模型実験に基づく方法

図-R3.1 に示す遮音壁の回折補正量について，縮尺模型実験の結果に基づいて設定された計算式を示す [126]。図-R3.2 の各領域における回折補正量を，以下の方法で計算する。

(1) 予測点 P が領域 1 にある場合

3.2.2 項の $\Delta L_{dif, sb}$ の代わりに，次式の回折補正量 $\Delta L_{dif, emb}$ [dB] を用いる。

$$\Delta L_{dif, emb} = \Delta L_{dif, hb} + \Delta L_c \quad (R3.1)$$

$\Delta L_{dif, hb}$ [dB] は，図-3.8 の仮想直壁に関する回折補正量として算出する。補正項 ΔL_c [dB] は次式で計算する。

$$\Delta L_c = \begin{cases} -A - B \log_{10} \delta & \delta \geq 1 \\ -C - D \sinh^{-1}(|\delta|^E) & 0 \leq \delta < 1 \end{cases} \quad (R3.2)$$

ここで， δ は仮想直壁に関する経路差 [m] であり，各係数は表-R3.1 の値を用いる。

(2) 予測点 P が領域 2 にある場合

上記 (1) と同様に式 (R3.1) を適用し， ΔL_c は次式で計算する。

$$\Delta L_c = \begin{cases} -A - B \log_{10} \delta + \Delta L_{Zone2} & \delta \geq 1 \\ -C - D \sinh^{-1}(|\delta|^E) + \Delta L_{Zone2} & 0 \leq \delta < 1 \end{cases} \quad (R3.3)$$

$$\Delta L_{Zone2} = \max [F \log_{10} \theta + G, 0] \quad (R3.4)$$

ここで， θ は図-R3.2 の XY と XP の間の角度， $\max[a, b]$ は a と b のうち大きい方の値である。

(3) 予測点 P が領域 3 にある場合

式 (R3.1) を適用せず，音源側の回折点 X を上端とする直壁と考え，3.2.2 項の方法を適用する。

注記：張り出し型遮音壁の領域 3 における予測精度は未検証である。

R3.2 実製品の音響性能評価値を用いる方法

先端改良型遮音壁の任意の実製品を対象に性能評価を行い，評価結果を周波数ごとの伝搬計算に算入する方法を示す [127, 128]。

表-R3.1 補正量 ΔL_c の計算式に用いる係数

舗装	遮音壁	A	B	C	D	E	F	G	δ の適用範囲
密粒舗装	大型分岐	5.0	3.0	2.1	3.29	0.414	5.31	-1.4	0.11~10
	土工部用分岐						1.88	-0.3	0.0003~11
	橋梁部用分岐	3.5	5.0	0.0	3.97	0.600	—	—	0.0004~3.5
	張り出し 3m	1.0	5.0	0.0	1.14	0.414	2.66	0.7	0.02~20
張り出し 5m	3.66						1.4	0.08~34	
排水性舗装	大型分岐	3.7	3.0	2.1	1.82	0.414	4.42	-1.6	0.11~10
	土工部用分岐						1.65	0.1	0.0003~11
	橋梁部用分岐	2.5	4.5	0.0	2.84	0.600	—	—	0.0004~3.5
	張り出し 3m	1.0	3.5	0.0	1.14	0.414	2.30	1.2	0.02~20
張り出し 5m	3.02						1.7	0.08~34	

R3.2.1 基本概念

A2.2.2 項に示した薄い障壁の回折影響係数 D_m (m は経路番号) に代わり, 先端改良型遮音壁に関する回折影響係数 $D_{emb,m}$ を以下の方法で算出して用いる。図-R3.3 に示すように, 先端改良型遮音壁の最大高さと同様な厚さを有する厚い遮音壁に関する回折影響を $D_{thick,m}$, 上面の吸音など各先端改良装置に固有な減音機能による影響を $D_{edge,m}$ とし, $D_{emb,m}$ を次式で定義する [128]。

$$D_{emb,m} = D_{thick,m} \cdot D_{edge,m} \quad (R3.5)$$

吸音などの機構を用いない単純な張り出し型遮音壁については, 厚い壁とほぼ等価であると近似し $D_{emb,m} = D_{thick,m}$ として計算する (図-3.9 参照)。

式 (R3.5) の方法は, 先端改良装置の厚さ又は張り出し部の長さ, すなわち横断面図における幅がおおむね 1 m 以内の遮音壁に対して適用可能である [30]。

R3.2.2 厚い壁の回折影響係数 $D_{thick,m}$

先端改良型遮音壁と同様な厚さを有する厚い反射性障壁に関する回折影響係数として, $D_{thick,m}$ を定義する。3.2.4 項の厚い壁に関する計算方法を周波数ごとに適用し, 次式で計算する。

$$D_{thick,m} = \begin{cases} D(N_{SXP,m})e^{ikl_m} & P \in I, II \\ 2D(N_{SXP,m})D(N_{XYP,m})e^{ikl_m} & P \in III, N_{SXP,m} \geq N_{SYP,m} \\ 2D(N_{SYP,m})D(N_{SXY,m})e^{ikl_m} & P \in III, N_{SXP,m} < N_{SYP,m} \end{cases} \quad (R3.6)$$

ここで, $N_{SXP,m}$ は m 番目の経路の SXP に対す

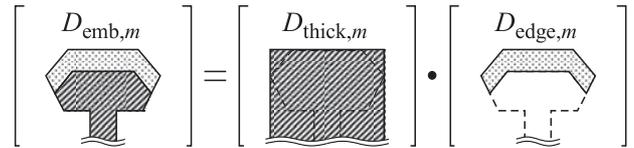


図-R3.3 先端改良型遮音壁に関する回折影響係数の概念

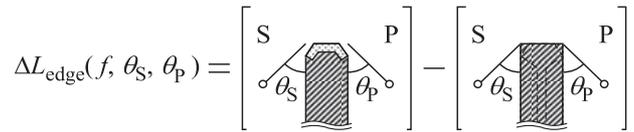


図-R3.4 先端改良装置の性能評価試験

るフレネル数 (A2.1.2 項参照) であり, $D(N)$ は式 (A2.17) により計算する。また, $P \in I, II$ (図-3.5 参照) の場合回折経路長 $l_m = SX + XP$ [m], $P \in III$ の場合 $l_m = SX + XY + YP$ [m] である。

R3.2.3 装置固有の減音効果 $D_{edge,m}$

先端改良装置の実製品を対象として音響性能評価試験を行い [127], 試験結果から $D_{edge,m}$ を設定する [128]。

図-R3.4 に示すように, 先端改良装置を伴う半無限障壁と, この外形と同様な厚さを有する厚い半無限障壁を想定し, 音源 S から受音点 P までの伝達関数を測定する。現実の測定では地面などの反射により半無限障壁を実現できないため, インパルスレスポンスの時間区間抽出などにより当該回折音以外の成分を除去し, 近似的に半無限障壁に関する伝達関数を算出する。音源と受音点は障壁エッジと垂直な同一平面内に配置し, 遮音壁表面からの角度をそれぞれ θ_S 及び θ_P と表す。伝達関数の測定結果から両障壁間の音圧レベル差を算出し, 周波数 f [Hz], θ_S, θ_P の関数 $\Delta L_{edge}(f, \theta_S, \theta_P)$ [dB] (先端改良型遮音壁の回折音が小さい場

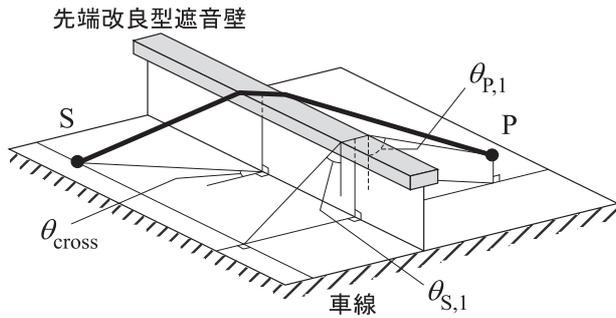
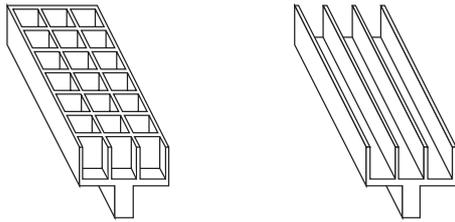


図-R3.5 経路 1 における角度の定義



(a) 仕切板あり (b) 仕切板なし

図-R3.6 干渉型先端改良装置の例

合に負号) として整理する。

$\Delta L_{edge}(f, \theta_S, \theta_P)$ の測定結果を次式により $D_{edge,m}$ に換算し、式 (R3.5) に代入して伝搬計算に用いる。

$$D_{edge,m} = 10^{\Delta L_{edge}(f, \theta_{S,m}, \theta_{P,m})/20} \quad (R3.7)$$

ここで、 $\theta_{S,m}$ 及び $\theta_{P,m}$ は、 m 番目の伝搬経路における車線及び予測点の位置を図-R3.5 に従い表した角度であり、車線上を移動する点音源位置に対する角度ではないことに留意する。また、図-R3.6(b) のように内部空間が長さ方向に仕切られていない干渉型装置については、式 (R3.7) の代わりに次式を用いる [129]。

$$D_{edge,m} = 10^{\Delta L_{edge}(f \cos \theta_{cross}, \theta_{S,m}, \theta_{P,m})/20} \quad (R3.8)$$

ここで、 θ_{cross} は伝搬経路を水平面に投影した直線と遮音壁直壁部に対する垂線がなす角度 (図-R3.5 参照) である。

上述の伝達関数測定は離散的な角度 θ_S 及び θ_P に対して行われるため、 $\Delta L_{edge}(f, \theta_S, \theta_P)$ の離散値を補完し、伝搬計算における任意の $\theta_{S,m}$ 及び $\theta_{P,m}$ に対する $D_{edge,m}$ の計算に利用する。 $\Delta L_{edge}(f, \theta_S, \theta_P)$ の測定は $\theta_S \leq 90$ [deg] 及び $\theta_P \leq 90$ [deg] の範囲で行い、これを超える範囲

では補外による推定値を適用可能である [127]。

文 献

[126] 武藤茂実, 中崎邦夫, 山本 稔, 池谷公一, 松本敏雄, “分岐型遮音壁の騒音予測計算手法について—前川チャートをベースに計算する方法,” 音講論集, pp. 747–748 (2004.3).
 [127] 大久保朝直, 山本貢平, 船橋 修, “先端改良型遮音壁の音響性能評価手法 (その 1: 実製品の性能評価),” 音講論集, pp. 935–938 (2007.9).
 [128] 大久保朝直, 山本貢平, 船橋 修, “先端改良型遮音壁の音響性能評価手法 (その 2: 性能評価値を用いた騒音予測),” 音講論集, pp. 939–942 (2007.9).
 [129] 大久保朝直, 山本貢平, 船橋 修, 大蔵 崇, 山本稔, “先端改良型遮音壁の性能を正面入射配置で評価することの妥当性,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-4 (2009.1).

参考資料 R4 単純条件下での $L_{Aeq,T}$ の簡易計算法

道路が一直線で、音の回折や地表面効果等を見捨てよい場合には、解析的に等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ [dB] を求めることができる [130]。ここでは、電卓などで等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ を簡易に計算する方法を示す。

R4.1 $L_{Aeq,T}$, L_{AE} , L_{WA} の関係式

$L_{Aeq,T}$ は、単発騒音暴露レベル L_{AE} [dB] と、対象とする時間 T [s] 内に通過する自動車の台数 N_T [台] とを用いて次式で表される。

$$L_{Aeq,T} = L_{AE} + 10 \log_{10} \left(\frac{N_T}{T} \right) \quad (R4.1)$$

L_{AE} は、A 特性音響パワーレベル L_{WA} [dB] と自動車の走行速度 V [km/h], 車線位置からの距離 l [m] を用いて、逆 2 乗則と無限積分の解析解から、次式のように表現される。

$$L_{AE} = L_{WA} + 10 \log_{10} \left(\frac{3.6}{2lV} \right) \quad (R4.2)$$

よって、 $L_{Aeq,T}$ は以下の簡易式で計算できる。

$$L_{Aeq,T} = L_{WA} - 10 \log_{10} l - 10 \log_{10} V + 10 \log_{10} N_T + 10 \log_{10} \frac{3.6}{2T} \quad (R4.3)$$

本予測モデルで提案する自動車走行騒音のパワーレベル式 (密粒舗装道路の条件) を式 (R4.3) に代入すると、以下のように $L_{Aeq,T}$ が求められる。

R4.2 車種別のパワーレベル式を用いる場合**(1) 定常走行区間の場合 ($L_{WA} = a + 30 \log_{10} V$)**

$$L_{Aeq,T} = a - 10 \log_{10} l + 20 \log_{10} V + 10 \log_{10} N_T + 10 \log_{10} \frac{3.6}{2T} \quad (R4.4)$$

(2) 非定常走行区間の場合 ($L_{WA} = a + 10 \log_{10} V$)

$$L_{Aeq,T} = a - 10 \log_{10} l + 10 \log_{10} N_T + 10 \log_{10} \frac{3.6}{2T} \quad (R4.5)$$

R4.3 大型車種の混入率 q を用いる場合

2車種分類で、大型車種と小型車種の平均速度 V が同じ場合には、大型車種の混入率 $q (\leq 1.0)$ を用いて平均パワーレベル $\overline{L_{WA}}$ [dB] が表され、 $L_{Aeq,T}$ は更に容易に求められる。

(1) 定常走行区間の場合

$$\overline{L_{WA}} = 46.7 + 30 \log_{10} V + 10 \log_{10} (1 + 3.47q) \quad (R4.6)$$

$$L_{Aeq,T} = 46.7 + 10 \log_{10} (1 + 3.47q) - 10 \log_{10} l + 20 \log_{10} V + 10 \log_{10} N_T + 10 \log_{10} \frac{3.6}{2T} \quad (R4.7)$$

(2) 非定常走行区間の場合

$$\overline{L_{WA}} = 82.3 + 10 \log_{10} V + 10 \log_{10} (1 + 3.47q) \quad (R4.8)$$

$$L_{Aeq,T} = 82.3 + 10 \log_{10} (1 + 3.47q) - 10 \log_{10} l + 10 \log_{10} N_T + 10 \log_{10} \frac{3.6}{2T} \quad (R4.9)$$

注記：排水性舗装道路の騒音、高架構造物音も同様に、式 (R4.3) から $L_{Aeq,T}$ を算出することができる。

文 献

[130] 山本貢平, 田近輝俊, 高木興一, 押野康夫, 橋 秀樹, “ASJ Model 1998 による道路交通騒音の推計：その 1—単純モデルの検討—,” 音講演集, pp. 709–710 (1999.9–10).

参考資料 R5 予測精度に関する検討

ASJ RTN-Model 2013 では、予測計算式を簡略化するため自動車走行騒音のパワーレベルの設定や伝搬計算に多くの仮定が含まれており、その予測精度を検討しておく必要がある。しかしながら、ASJ RTN-Model 2013 の予測精度を検討するために必要な等価騒音レベルの実測値を収集することができていない。また、自動車走行騒音の音響パワーレベルを ASJ RTN-Model 2008 から変更していない [15]。そのため、ここでは実測値と ASJ RTN-Model 2008 による予測値の間の対応を調べた結果を示す。

また、実測値にも各種の不確かさが含まれていることに十分注意する必要があるため、ASJ RTN-Model 2013 の予測精度を考える上で重要と思われる誤差の要因についても考察する。

R5.1 道路一般部における ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の対応 [131, 132]**R5.1.1 検討に用いたデータ**

検討に用いたデータは、一般道路及び自動車専用道路における一般的な道路構造の直線区間で平成 13 年から平成 14 年に測定された実測値を用いた。これらのデータの測定条件は以下のとおりである。

(1) 騒音レベル

L_{Aeq}, L_{AN} ($L_{A5}, L_{A10}, L_{A50}, L_{A90}, L_{A95}$)

(2) 測定方法

JIS Z 8731:1999 に準拠

(3) 測定地点

道路端の地上 1.2 m 点

(4) 実測時間

基本 10 分（おおむね 200 台以上の自動車交通量に達するまで時間延長）で 24 時間中に数回以上測定

(5) 交通量

4車種分類又は2車種分類（実測又はトラフィックカウンタによる）

(6) 走行速度

方向別走行速度（実測又はトラフィックカウンタによる）

検討に用いた実測データの内訳を表-R5.1 に示す。これらのデータは、併設道路や交差道路のな

表-R5.1 検討に用いた道路構造別データ数

道路構造	自動車専用道路		一般道路		合計	
	地点数	データ数	地点数	データ数	地点数	データ数
平面	5	100	540	9,944	545	10,044
盛土	18	389	28	468	46	857
切土	19	454	8	167	27	621
高架	18	394	4	36	22	430

表-R5.2 ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の差の統計量 (暗騒音補正無し)

道路条件	<i>a</i>	<i>S</i>	<i>R</i>
平面道路	1.4	2.5	0.85
盛土道路	1.7	2.8	0.85
切土道路	0.2	2.9	0.92
高架道路 (5 分類)	0.7	2.8	0.90
高架道路 (3 分類)	0.9	2.8	0.89
排水性舗装 (補正有)	1.3	2.6	0.88
排水性舗装 (補正無)	-2.1	2.8	0.84

表-R5.3 ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の差の統計量 (暗騒音補正有り)

道路条件	<i>a</i>	<i>S</i>	<i>R</i>
平面道路	1.2	2.6	0.84
盛土道路	1.1	3.0	0.83
切土道路	-0.6	2.9	0.92
高架道路 (5 分類)	-0.2	2.9	0.89
高架道路 (3 分類)	0.1	3.0	0.88
排水性舗装 (補正有)	1.2	2.6	0.87
排水性舗装 (補正無)	-2.2	2.8	0.84

い箇所で測定されたもので、交通量と L_{Aeq} 実測値の変動パターンがおおむね一致しているものを選定した。予測値は、実測条件に基づき 1.3.2 項の予測計算手順により求めた。なお、計算車線位置は上下線のそれぞれ中央に 1 車線ずつ配置し、計算を簡略化した。

R5.1.2 ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の比較

予測値と実測値との対応は、道路構造別及び排水性舗装に関する補正の有無別に、散布図と差 (実測値 - 予測値) の統計量で示した。散布図中、*X* 軸が予測値、*Y* 軸が実測値、*N* はデータ数、 $Y = X + a$ の定数 *a* は差の平均値、*S* は差の標準偏差、*R* は相関係数である。表-R5.2 にこれらのデータを用いて ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の差の統計量を示す。

なお、実測における不確かさの要因の一つである暗騒音の影響を除いて検討するために、実測されている L_{A95} (90%レンジの下端値) を暗騒音のレベルと仮定して L_{Aeq} 実測値からエネルギー的に差し引いた L_{Aeq} との比較結果も表-R5.3 に参考として示す。

(1) 道路構造別の結果

平面・盛土・切土・高架の道路構造別に、予測値と実測値を比較した結果を図-R5.1(a) から図-R5.1(e) に示す。いずれの結果についても、予測

値が実測値を 0 dB~2 dB 程度下回る偏りが見られるが、全体としては予測値と実測値の間により対応が認められる。

(2) 排水性舗装に関する補正の有無別にみた結果

平面・盛土・切土の道路における排水性舗装箇所の測定データについて、排水性舗装路面に関する補正を行った場合の予測値と実測値の対応を図-R5.1(f) に示す。予測値は実測値を 1.3 dB 下回る偏りが見られるが、全体としては予測値と実測値の間により対応が認められる。なお、舗装の騒音低減効果に関する補正を行わない場合は予測値が実測値を 2 dB 程度上回る偏りが見られ、標準偏差も大きいことから、ASJ RTN-Model 2008 における排水性舗装の騒音低減効果に関する補正が有効なことを示していると言える。

R5.2 道路特殊箇所における ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の対応

R5.2.1 検討に用いたデータ

検討に用いた実測データは、一般道路における信号交差点部 (10 箇所) 及び自動車専用道路における半地下構造道路 (3 箇所)、高架・平面道路併設部 (2 箇所) で測定されたものである。

信号交差点部の測定地点は、交差点の前後約 50 m の範囲で道路端の地上高さ 1.2 m に設置した。半地下構造道路と高架・平面道路併設部での測定地点は、道路端から水平距離 20 m 程度の範囲で地

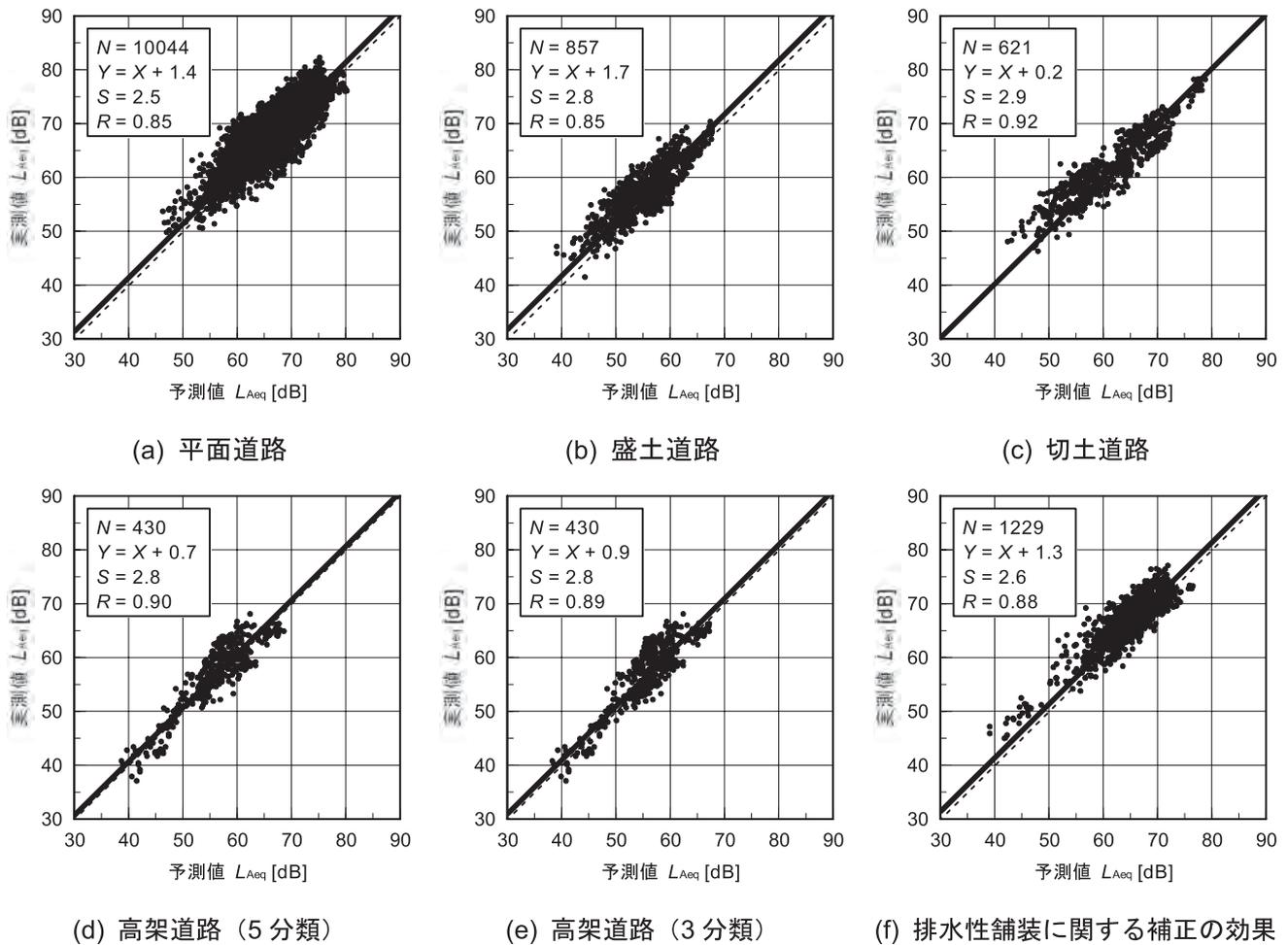


図-R5.1 道路一般部における ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の比較 (暗騒音補正無し)

上高さ 1.2m~7m に設置している。

信号交差点部の予測値は、4.3 節に示された交差道路に非定常走行区間のパワーレベル式を適用して合成する方法、付属資料 A3 に示された実用計算法及び簡易計算法の三つの予測計算方法により求めた。半地下構造道路等での予測値は、付属資料 A4 の 2次元 FDTD 法により求めた。

R5.2.2 ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の比較 [46, 133]

予測値と実測値との対応を散布図と差 (実測値 - 予測値) の統計量で示した。

(1) 信号交差点部

信号交差点部での予測値と実測値を比較した結果を図-R5.2 に示す。非定常走行区間を適用する方法による予測値は、実測値を平均で 0.9 dB 上回る偏りがみられるが標準偏差は 1.9 dB と小さく、実測値とのよい対応が認められる。また、実用計算法及び簡易計算法による予測値は、実測値との

差の平均がそれぞれ 0.1 dB, -0.4 dB であり、実測値との対応が更に良好であると認められる。

(2) 半地下構造道路

半地下構造道路での予測値と実測値を比較した結果を図-R5.3 に示す。予測値と実測値との差の平均は 0.4 dB, 標準偏差が 2.7 dB であり、良好な対応が認められる。

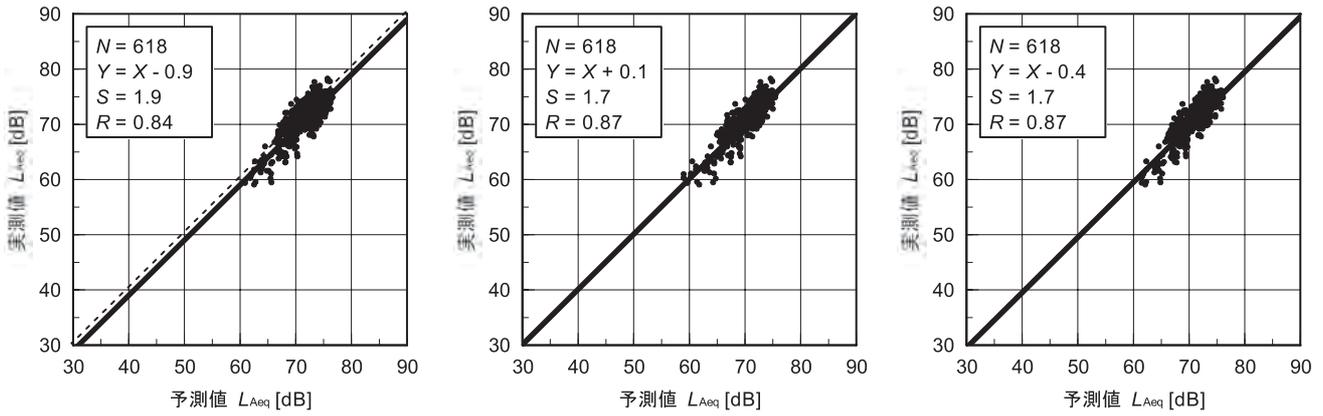
(3) 高架・平面道路併設部

遮音壁が設置された高架・平面道路併設部での予測値と実測値を比較した結果を図-R5.4 に示す。予測値が実測値を平均的に 1.5 dB 下回る偏りがみられるが、標準偏差は 1.9 dB と比較的小さく、予測値と実測値の間により対応が認められる。

R5.3 ASJ RTN-Model 2013 における誤差の要因

R5.3.1 仮想車線の設定

ASJ RTN-Model 2013 では、計算の便宜上、多車線の道路を上下線それぞれの中央に仮想的車線を



(a) 非定常走行区間のパワーレベル式を適用する方法

(b) 実用計算法

(c) 簡易計算法

図-R5.2 信号交差点部における ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の比較

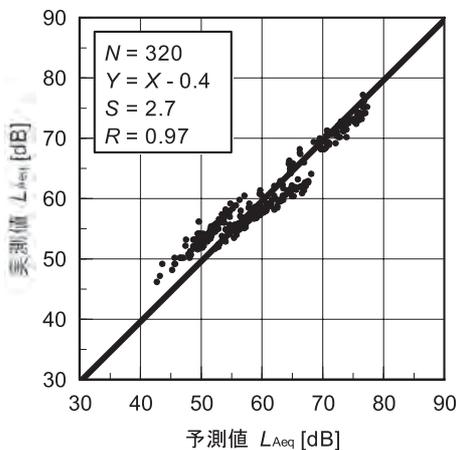


図-R5.3 半地下構造道路における ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の比較

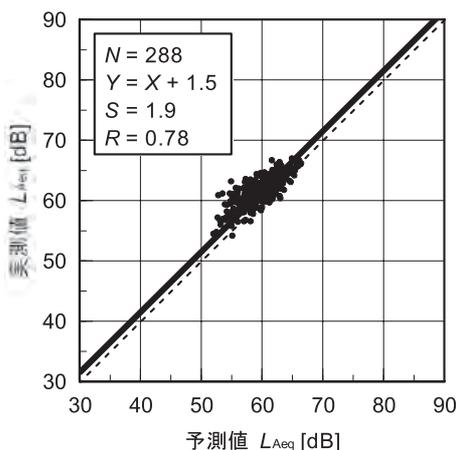


図-R5.4 高架・平面道路併設部における ASJ RTN-Model 2008 による予測値と実測値の比較

から予測点までの距離が 5 m 以上になると 8 車線道路でも近似誤差は 1 dB 以下で、大きな誤差は発生しないこと、しかし予測点までの距離がそれ以下となると近似誤差は急激に増加することが示されている。従って、多車線道路について沿道の近接点を予測する場合には、仮想車線の数を増やすことが望ましい。

R5.3.2 道路交通条件

(1) 自動車走行速度と音響パワーレベルのばらつき

ASJ RTN-Model 2013 では、すべての自動車が同一の走行状態、走行速度であると仮定して自動車走行騒音の音響パワーレベルを与えることとなっている。文献 [135] に示されている確率論的な検討の結果によれば、走行速度のばらつきによる L_{Aeq} の変動は極めて小さいことが判明している。また、音響パワーレベルの標準偏差（ばらつき）が 3 dB 以下であれば、 L_{Aeq} の変化は 1 dB 以下に収まる。

(2) 車種分類

ASJ RTN-Model 2013 では、自動車の車種分類として 4 車種分類（乗用車、小型貨物車、中型車、大型車）と 2 車種分類（小型車類、大型車類）の 2 通りの方法を示している。音響的には、4 車種分類を用いることが望ましいが、2 車種分類を用いたとしても、中型車が大型車類に占める比率が 10%~80%の範囲内であれば、4 車種分類を 2 車種分類に近似したことによる予測値の差は 1 dB 以下である [134]。

1 車線ずつ配置してもよいとしている。文献 [134] における検討の結果によれば、最近接車線の中心

R5.3.3 ユニットパターンの計算範囲

ASJ RTN-Model 2013 では、仮想車線上に離散的に多数の仮想点音源を設定し、予測点におけるユニットパターンを求め、それから L_{Aeq} を計算することを基本としている。その場合、実際にどの範囲まで点音源を配置する必要があるか、換言すればユニットパターンの計算範囲が問題となる。文献 [134] では、平坦道路、インターチェンジ部、トンネル坑口周辺部について求められたユニットパターンの例について、最大値から 5 dB, 10 dB, 15 dB 以下の部分を切り捨てて L_{Aeq} を計算した場合の誤差に関する検討が行われている。その結果、およそその目安として平坦道路やインターチェンジ部では最大値から約 10 dB 以下の部分を、トンネル坑口周辺部では最大値から約 15 dB 以下の部分を切り捨てても誤差は 1 dB 以下となるとの知見が得られている。しかし、 L_{Aeq} はユニットパターン全体のエネルギー積分値に強く依存するため、たとえ最大値からのレベルが低くても、切り捨てを安易に行うと時間的な継続部分の欠如などによって大きな誤差を招くことがあるので十分な注意が必要である。

R5.3.4 実測における問題点

予測計算における問題点と同時に、道路交通騒音の実測における不確かさの要因を考慮しておく必要がある。その代表的な要因は以下のとおりである。なお、実測においては、 L_{Aeq} の測定値が統計的に安定するのに必要な実測時間を設定することにも注意が必要である。

(1) 気象の影響

屋外を騒音が伝搬する際、距離が長くなるほど大気中の温度分布や風の影響を受ける。また、空気の音響吸収による減衰も生じるが、その程度は温度や湿度によって大きく変化する。これらの影響要因のうち、風や温度分布の影響は現象として極めて複雑で、実用的な騒音予測計算に取り入れるまでには至っていない。そこで ASJ RTN-Model 2013 では、3.6 節に述べたように、これまでの実測結果に基づいて風の影響による道路交通騒音の変化量を示すにとどめている。気温勾配によっても騒音の伝搬は影響を受けるが、ASJ RTN-Model 2013 で適用範囲としている 200 m 程度の伝搬距

離では、極端な温度分布の逆転などが生じない限り、その影響は無視できる。空気の音響吸収による減衰については、比較的正確な計算が可能であり、3.4 節に示したとおりである。

(2) 暗騒音の影響

道路交通騒音の測定を行う場合、必ずそれ以外の騒音(暗騒音)が同時に存在し、多かれ少なかれその影響を受ける。特に道路から遠く離れた点や遮音壁などの騒音対策が施されている場所でその影響は大きい。この暗騒音の程度を見積もる方法も種々検討されているが、 L_{Aeq} の測定と同時に時間率騒音レベル L_{A90} 又は L_{A95} なども測定しておけば、暗騒音の概略の値を推定することができる。

(3) その他の要因の影響

道路交通騒音の実測は、予測の際には想定していなかったような状況下で実施されることもあるため、上記のほかにも種々の誤差要因が考えられる。例えば、予測計算の際に設定した交通流条件と異なっているために生じる誤差、遮音壁などの騒音対策工の施工状態による性能のばらつきなどである。また、排水性舗装については、ASJ RTN-Model 2013 でもその騒音低減効果及びその経年変化を見積もることができるよう考慮しているが、施工後の空隙詰まりなどによる機能の劣化が場所によってかなり異なることが問題である。高架道路では、ASJ RTN-Model 2013 でも考慮している高架構造物音以外に、伸縮継手部周辺からの発生音が実測値に影響する場合もある。

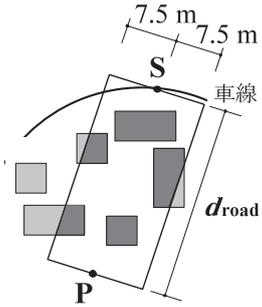
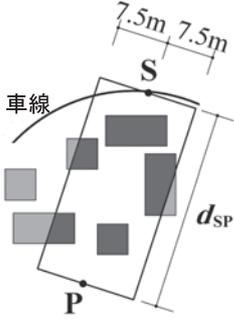
文 献

- [131] 船橋 修, 並河良治, 田久保博司, 玉川 大, 飯森英哲, 山口静馬, 佐々木實, “ASJ RTN-Model 2003 による道路交通騒音の予測精度に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2004-17 (2004.3).
- [132] 三宅龍雄, 飯森英哲, 石川賢一, 並河良治, 山本 稔, 山本貢平, “道路交通騒音予測計算方法 (ASJ RTN-Model 2008) の予測精度について,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-26 (2009.3).
- [133] 坂本慎一, 船橋 修, 松本敏雄, 山本貢平, “道路交通騒音予測に対する 2 次元波動数値解析の適用性に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2009-24 (2009.3).
- [134] 山口静馬, 為末隆弘, 佐伯徹郎, 佐々木實, “車種数・車線数及びユニットパターンの近似化が L_{Aeq} 予測誤差に及ぼす影響,” 音響学会誌, 58, 647-653 (2002).
- [135] 為末隆弘, 山口静馬, 佐伯徹郎, 加藤裕一, “走行車両の速度とパワーレベルのばらつきが L_{Aeq} 予測値に及ぼす影響,” 音響学会誌, 56, 835-838 (2000).

訂 正

本誌 70 卷 4 号「道路交通騒音の予測モデル“ASJ RTN-Model 2013”——日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告——」において誤解を招く表現や分かりにくい箇所がありました。正しくは以下のとおりです。ここにお詫びし訂正いたします。

頁	誤	正
p. 204の左段式 (6.8)	$\Delta L_{BB} = 10 \log_{10} \left\{ a_0 + a_1 \cdot \frac{\phi}{\Phi} + a_2 \sum_i \left(\frac{\theta_i}{\Phi} \cdot \frac{d_{road}}{d_{ref,i}} \right) + a_3 \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{0.251}{1 + 0.522 \delta_k} \right) + a_4 \cdot 10^{-0.0904 d_{road}} \right\}$	$\Delta L_{BB} = 10 \log_{10} \left\{ a_0 + a_1 \cdot \frac{\phi}{\Phi} + a_2 \sum_i \left(\frac{\theta_i}{\Phi} \cdot \frac{d_{road}}{d_{ref,i}} \right) + a_3 \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{0.251}{1 + 0.522 \delta_k} \right) + a_4 \cdot 10^{-0.0904 d_{SP}} \right\}$
式 (6.8) の中カッコ内の最終項の d_{road} を d_{SP} に訂正。		
p. 204の図-6.5		
<p>図-6.5 建物群がない場合の見通し角 Φ、建物群が立地している場合の見通し角 ϕ 及び音源と予測点の水平距離 d_{road}</p>		<p>図-6.5 建物群がない場合の見通し角 Φ、建物群が立地している場合の見通し角 ϕ</p>
図-6.5 に点 O を記入し、S を中心に描いている直線が接線であることが分かるように訂正。併せて、図のキャプションも修正		
p. 204の図-6.6		
<p>図-6.6 1次反射音</p> <p>図-6.6 2次反射音</p>		<p>図-6.6 1次反射音</p> <p>図-6.6 2次反射音</p>
図-6.6 に点 O を記入し、S を中心に描いている直線が接線であることが分かるように訂正。		
p. 204の右段上から5～6行目	<p>d_{road} は S と P の水平距離 [m]、$d_{ref,i}$ は S と P' 又は P'' の水平距離 [m] である。</p>	<p>d_{road} は P から S への垂線の距離 (P から S における道路の接線への最短平面距離) [m]、$d_{ref,i}$ は P' 又は P'' から S への垂線の距離 [m] である。</p>
d_{road} と $d_{ref,i}$ の説明を分かり易く訂正。		

<p>p. 205の図-6.8</p>	 <p>図-6.8 幅 15 m, 長さ d の長方形内の建物密度 ξ, 音源と予測点の距離 d_{road}</p>	 <p>図-6.8 幅 15 m, 長さ d_{SP} の長方形内の建物密度 ξ, 音源と予測点の水平距離 d_{SP}</p>
<p>図-6.8 の d_{road} を d_{SP} に訂正。併せて、図のキャプションも修正。</p>		
<p>p. 205の左段上から 9 行目</p>	<p>式 (6.8) の $10^{-0.0904 \xi \cdot d_{road}}$ の項は, ...</p>	<p>式 (6.8) の $10^{-0.0904 \xi \cdot d_{SP}}$ の項は, ...</p>
<p>d_{road} を d_{SP} に訂正。</p>		
<p>p. 205の左段上から 14 行目</p>	<p>..., d_{road} は S と P の水平距離 [m] である。</p>	<p>..., d_{SP} は S と P の水平距離 [m] である。</p>
<p>d_{road} を d_{SP} に訂正。</p>		
<p>p. 205の左段注記の位置</p>	<p>「6.2.1 点音源モデルによる計算方法」の最後に記述されている。</p>	<p>本来は, 「6.2.2 線音源モデルによる計算方法」の最後に記述すべき (p. 207 の左段の文献の前)。</p>
<p>注記の位置を訂正</p>		