

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 2018”

—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、適用範囲を一樣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]。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 ASJ RTN-Model 2008 [10]、平成 26 年 4 月には ASJ RTN-Model 2013 を発表した [11]。

ASJ Model 1998 以降の予測モデルは、その発表に併せて「道路環境影響評価の技術手法」[12, 13] 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 2013 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 [14]。そして、当委員会が掲げている 5 年ごとの予測モデルの見直しを行い、その成果として新たな予測モデル ASJ RTN-Model 2018 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、委員で分担して執筆した。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 2013 を基本としているが、主として以下の点が更新されて

\* Road traffic noise prediction model “ASJ RTN-Model 2018”: Report of 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

	氏名	所属	
委員長	坂本慎一	東京大学 生産技術研究所	
	穴井 謙	福岡大学 工学部	
	岡田恭明	名城大学 理工学部	
	福島昭則	株式会社 ニューズ環境設計	
	幹 事	松本敏雄	一般財団法人 小林理学研究所
	安田洋介	神奈川大学 工学部	
	山内勝也	九州大学 大学院芸術工学研究院	
委員	横田考俊	一般財団法人 小林理学研究所	
	井上隆司*1	国土交通省 国土技術政策総合研究所	
	伊藤晃佳	一般財団法人 日本自動車研究所	
	今泉博之	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	
	田近輝俊	株式会社 環境技術研究所	
	中崎邦夫*1	株式会社 高速道路総合技術研究所	
	船橋 修*2	株式会社 高速道路総合技術研究所	
間瀬利明*2	国土交通省 国土技術政策総合研究所		
技術委員	大野英夫	日野自動車株式会社	
	岩瀬昭雄	新潟大学名誉教授	
顧問	押野康夫	元一般財団法人 日本自動車研究所	
	藤本一壽	九州大学名誉教授	
	山本貢平	一般財団法人 小林理学研究所	

\*1：～平成 29 年度，\*2：平成 30 年度～

いる。

(1) 音源特性

- 車種分類を見直し、音響的特徴を重視した分類を従来の 4 車種分類から 3 車種分類に変更した。
- 自動車走行騒音のパワーレベルに関して、最新の知見に基づき一部の内容を見直すと共に、舗装種別ごとのモデル式に変更した。
- 舗装種別として高機能舗装 II 型を追加した。
- 自動車走行騒音の周波数特性に関して、内容を更新し、付属資料 A1 を改訂した。
- ハイブリッド自動車 (HV)、電気自動車 (EV) のパワーレベルに関して、最新の知見を付属資料 A2 に示した。
- 自動車専用道路の密粒舗装における加速区間並びに一般道路における排水性舗装での自動車走行騒音のパワーレベルに関しては、それぞれ付属資料 A3 と付属資料 A4 に示した。

(2) 伝搬計算

- 伝搬計算における各種補正量に関して、最新の知見に基づき一部の内容を見直し、更新した。
- 回折計算に関して、遮音壁等のナイフウェッ

ジと建物等の直角ウェッジを区別し、それぞれの計算式を示した。

- 自動車走行騒音の周波数特性の変更及び高機能舗装 II 型の追加に伴い、回折計算式の係数を見直した。
- 築堤等の厚みのある障害物と張り出し型遮音壁の回折の計算方法を変更した。
- 地表面効果の計算対象に排水性舗装路面上の伝搬を追加した。
- 反射音の計算方法のうち、散乱反射法に関して、計算条件の設定方法を記載し内容を更新した。
- 気象の影響に関する検討結果を踏まえ、回折に関する減衰量と地表面効果に関する減衰量に上限を設定した。
- 周波数ごとの伝搬計算に関して、一般性のあるエネルギーベースの内容に更新し、付属資料 A5 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 A6 に示した。

(3) 道路特殊箇所の騒音

- トンネル坑口周辺部について、坑口放射音の指向性を考慮した計算方法に変更した。
- 高架・平面道路併設部、複層高架部の散乱反射法による計算方法に関して、簡便化を図り内容を更新した。
- 信号交差点部の騒音の計算方法に関しては、付属資料 A7 に移動し、内容を変更した。

(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の点音源モデルの計算方法に関して、簡便化を図り内容を更新した。
- これまでの点音源モデルの計算方法については、詳細計算法として付属資料 A8 に示した。

(5) その他

- 本予測モデルの予測精度に関して、最新の知見に基づき検討した結果を参考資料 R4 に示した。
- 道路交通騒音のパワーレベル測定方法を参考資料 R5 に示した。

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。

表-1.2 ASJ RTN-Model 2018 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
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 $\Delta L_{dif}$
	3.3 地表面効果に関する補正量 $\Delta L_{grnd}$
	3.4 空気の音響吸収に関する補正量 $\Delta L_{air}$
	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 単独建物周辺における騒音
	6.2 建物群背後における騒音
付属資料	A1 自動車走行騒音の周波数特性
	A2 ハイブリッド自動車・電気自動車の走行騒音のパワーレベル
	A3 密粒舗装における加速区間のパワーレベル
	A4 一般道路における排水性舗装のパワーレベル
	A5 周波数ごとの伝搬計算法
	A6 波動数値解析による騒音の計算方法
	A7 信号交差点部の騒音の計算方法
	A8 建物群背後における騒音の詳細計算法
参考資料	R1 二層式排水性舗装の騒音低減効果
	R2 張り出し型遮音壁及び先端改良型遮音壁に関する伝搬計算法
	R3 単純条件下での $L_{Aeq,T}$ の簡易計算法
	R4 予測精度に関する検討
	R5 道路交通騒音のパワーレベル測定方法

また、モデルの検討に際しデータを提供いただいた環境省、名古屋高速道路公社、東京都に対してここに感謝の意を表す。国土交通省国土技術政策総合研究所、首都高速道路株式会社、阪神高速道路株式会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。

#### 文 献

- [1] 坂本慎一, “道路交通騒音調査研究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] 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 2013,”音響学会誌, 70, 172-230 (2014).
- [12] 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 4. 騒音 4.1 自動車走行に係る騒音 (平成 26 年度版),”国土技術政策総合研究所資料第 842 号 (2015.3).
- [13] 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).
- [14] 坂本慎一, 岡田恭明, 福島昭則, 松本敏雄, 穴井 謙, 田近輝俊, “ASJ RTN-Model 2018 作成に向けた検討経緯,”音講論集, pp. 1449-1450 (2018.3).

## 本 文

### 1. 予測計算方法の概要

ここでは, ASJ RTN-Model 2018 (以下, 本予測モデルと呼ぶ) の適用範囲と主要な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

本予測モデル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 40~140 km/h, 一般道路の非定常走行区間については 10~60 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 0~80 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 0~60 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, 原理的には適用できる予測範囲に制限はない。

### (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

本予測モデル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 $L_A$

A 特性音圧の実効値の 2 乗を基準の音圧の 2 乗で除した値の常用対数の 10 倍で, 次式で与えられる。

$$L_A(t) = 10 \log_{10} \frac{p_{Ae}^2(t)}{p_0^2} \quad (1.1)$$

ここで,  $L_A(t)$  及び  $p_{Ae}(t)$  は時刻  $t$  の騒音レベル [dB] 及び A 特性音圧  $p_A(t)$  の実効値 [Pa],  $p_0$  は基準の音圧で 20  $\mu$ Pa である。なお, JIS Z 8731:1999 では騒音レベルの記号として  $L_{pA}$  が用いられている。道路交通騒音の測定では, A 特性音圧の 2 乗値に JIS C 1509-1:2005 に規定する騒音計の時間重み付け特性 F を掛けて次式により騒音レベルを算出する。このときの騒音レベルの記号は  $L_{A,F}(t)$  [dB] を用いる。

$$L_{A,F}(t) = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{\tau_F} \int_{-\infty}^t p_A^2(\xi) \cdot e^{-\frac{t-\xi}{\tau_F}} d\xi}{p_0^2} \quad (1.2)$$

ここで,  $\tau_F$  は時間重み付け特性 F の時定数で 0.125 s,  $\xi$  は時間を表す変数 [s] である。

##### (2) 等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$

ある時間  $T$  [s] ( $t_1 \sim t_2$ ) について, 変動する騒音の騒音レベルをエネルギー的な平均値として表した量 [dB] で, 次式で与えられる。時間平均騒音レベルや A 特性時間平均サウンドレベルともいう。以下では時間  $T$  を省略して  $L_{Aeq}$  と表記することもある。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \quad (1.3)$$

道路交通騒音の測定では, 式 (1.3) の代わりに  $L_{A,F}(t)$  のサンプル値  $L_{A,F}[n]$  を用いて次式により  $L_{Aeq,T}$  を算出することが多い。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \frac{1}{N} \sum_{n=n_1}^{n_2} 10^{\frac{L_{A,F}[n]}{10}} \quad (1.4)$$

ここで、 $n_1$  及び  $n_2$  は  $L_{A,F}[n]$  の最初及び最後のサンプルを表し、式 (1.3) の  $t_1$  及び  $t_2$  に対応する。また、 $N$  はサンプル数で、 $N = n_2 - n_1 + 1$  である。

注記：道路交通騒音においては、 $L_{A,F}(t)$  のサンプリング間隔が十分小さければ式 (1.3) により求めた  $L_{Aeq,T}$  と式 (1.4) により求めた  $L_{Aeq,T}$  は一致する。

### (3) 騒音暴露レベル $L_{AE,T}$

ある時間  $T$  ( $t_1 \sim t_2$ ) について、変動騒音のエネルギー的な総量を評価するための量 [dB] で、A 特性音圧の 2 乗を時間  $T$  にわたって積分し、基準の時間で基準化してレベル表示し次式で与えられる。

$$L_{AE,T} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \quad (1.5)$$

ここで、 $T_0$  は基準の時間で 1s である。

道路交通騒音の測定では、式 (1.5) の代わりに  $L_{A,F}[n]$  を用いて次式により  $L_{AE}$  を算出することが多い。

$$L_{AE,T} = 10 \log_{10} \frac{\Delta t}{T_0} \sum_{n=n_1}^{n_2} 10^{\frac{L_{A,F}[n]}{10}} \quad (1.6)$$

ここで、 $\Delta t$  は  $L_{A,F}(t)$  のサンプリング間隔 [s]、 $n_1$  及び  $n_2$  は  $t_1$  及び  $t_2$  に対応するサンプルを表す。

注記：騒音暴露レベルを表示する場合には、必ず積分時間  $T$  を表示しなければならない。

### (4) 単発騒音暴露レベル $L_{AE}$

自動車 が 1 台通過したときのような単発騒音の A 特性音圧の 2 乗を発生時間全体にわたって積分し、基準の時間で基準化してレベル表示した量 [dB] で、次式で与えられる。

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \quad (1.7)$$

道路交通騒音の測定では、式 (1.7) の代わりに  $L_{A,F}[n]$  を用いて次式により  $L_{AE}$  を算出することが多い。

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \frac{\Delta t}{T_0} \sum_{n=n_1}^{n_2} 10^{\frac{L_{A,F}[n]}{10}} \quad (1.8)$$

注記：単発騒音が時刻  $t_1 \sim t_2$  の間に含まれている限り、 $L_{AE}$  は積分時間  $t_1 \sim t_2$  によらない。ただし、実際の測定では、暗騒音の影響を防ぐために、 $t_1 \sim t_2$  を適切に設定する必要がある (参考資料 R5 参照)。

### (5) 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、それが放射する音響パワー (1s 当たり放射する音響エネルギー) に周波数重み付け特性 A をかけた A 特性音響パワーを基準の音圧の 2 乗で除した値の常用対数の 10 倍で、次式で与えられる。

$$L_{WA} = 10 \log_{10} \frac{P_A}{P_0} \quad (1.9)$$

ここで、 $L_{WA}$  は A 特性音響パワーレベル [dB]、 $P_A$  は音響パワー [W]、 $P_0$  は基準の音響パワーで 1pW 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に式 (1.9) により算出したパワーレベルを  $1/N$  オクターブバンド A 特性音響パワーレベルと呼ぶ。

### (6) ユニットパターン

本予測モデルでは、道路上を 1 台の自動車が行ったときの、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をユニットパターンという。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。

### (7) 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。

### (8) 車種分類

自動車の車種分類は、3 車種分類 (小型車、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。二輪車と大型バスを別のカテゴリとして分類することができる (2.1 節参照)。

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 以上の定常走行時には、ガソリンエンジン車 (GEV) と同程度であることから (付属資料 A2 参照)、GEV と同じ車種に含めることとする。

### (9) 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。

### (10) 舗装の種類

本予測モデルで対象とする舗装路面は以下の 3

種類とする。

1) 密粒舗装：密粒度アスファルト混合物を使用した舗装。

2) 排水性舗装：ポーラスアスファルト混合物を使用した舗装（高機能舗装 I 型あるいは単に高機能舗装、低騒音舗装と呼ぶこともある）。本予測モデルでは、最大粒径 13 mm，設計空隙率 20% の舗装を対象としている。

3) 高機能舗装 II 型：排水性舗装と比べ表面のきめ深さは類似している（最大粒径は 13 mm）が、内部は水密性が高い舗装。排水性舗装に比べると排水性は少し劣るが耐久性に優れている。

注記 1：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（二層式低騒音舗装と呼ぶこともある）も開発されている（参考資料 R1 参照）。東京都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，目標空隙率 18~25%，下層に最大粒径 13 mm，目標空隙率 16~22% 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 20 mm 程度，下層が 50 mm 程度である。

注記 2：他にも遮熱性舗装などの様々な舗装が開発されているが、まだ施工実績が少ないため本予測モデルに取り入れるには至っていない。

(11) 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繊維系の多孔質材料（厚さ 50 mm，密度 32 kg/m<sup>3</sup>）が挿入されている。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めっき加工された鉄板（厚さ 1.6 mm）となっている。

(12) 高架構造物音

高架道路上を自動車が行ったとき、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。

(13) 実効的流れ抵抗  $\sigma_e$

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/m<sup>2</sup>）。

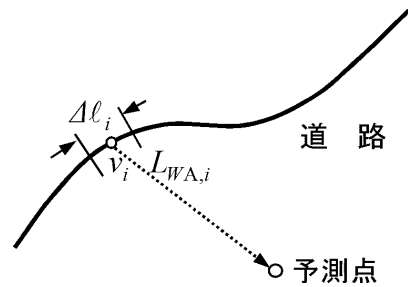


図-1.1 音源点から予測点への音の伝搬

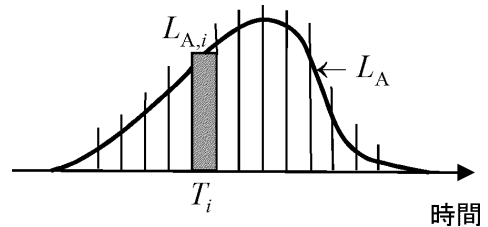


図-1.2 ユニットパターン

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 予測法の考え方と基本式

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 台の自動車が行っ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）を求め、単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  を計算することが基本となる。この  $L_{AE}$  に車種別の交通量を考慮して、予測点における騒音のエネルギー的な時間平均値である  $L_{Aeq,T}$  を求める。具体的な手順は次のとおりである。

最初に、対象とする車線を幾つかの区間に分割する（図-1.1 参照）。このときに、分割した区間内では、走行速度  $v_i$  [m/s] 及び音源（自動車）が放射する A 特性音響パワーレベル  $L_{WA,i}$  は一定と見なせなければならない。分割した一つの区間  $i$  に着目し、その中点を代表とする音源点とし、音源の A 特性音響パワーレベル  $L_{WA,i}$  を設定する。

次に伝搬計算により予測点における騒音レベル  $L_{A,i}$  を計算する。音源が区間  $i$  に存在する時間  $T_i$  [s] の騒音レベルを音源がその区間の代表点にあるときの騒音レベル  $L_{A,i}$  で代表させ、次式により騒音暴露レベル  $L_{AE,T_i,i}$  を算出する（図-1.2 参照）。

$$L_{AE,T_i,i} = L_{A,i} + 10 \log_{10} \frac{T_i}{T_0} \quad (1.10)$$

以上の計算を車線の分割区間ごとに行い、それらの結果から、1 台の自動車を対象とする道路の

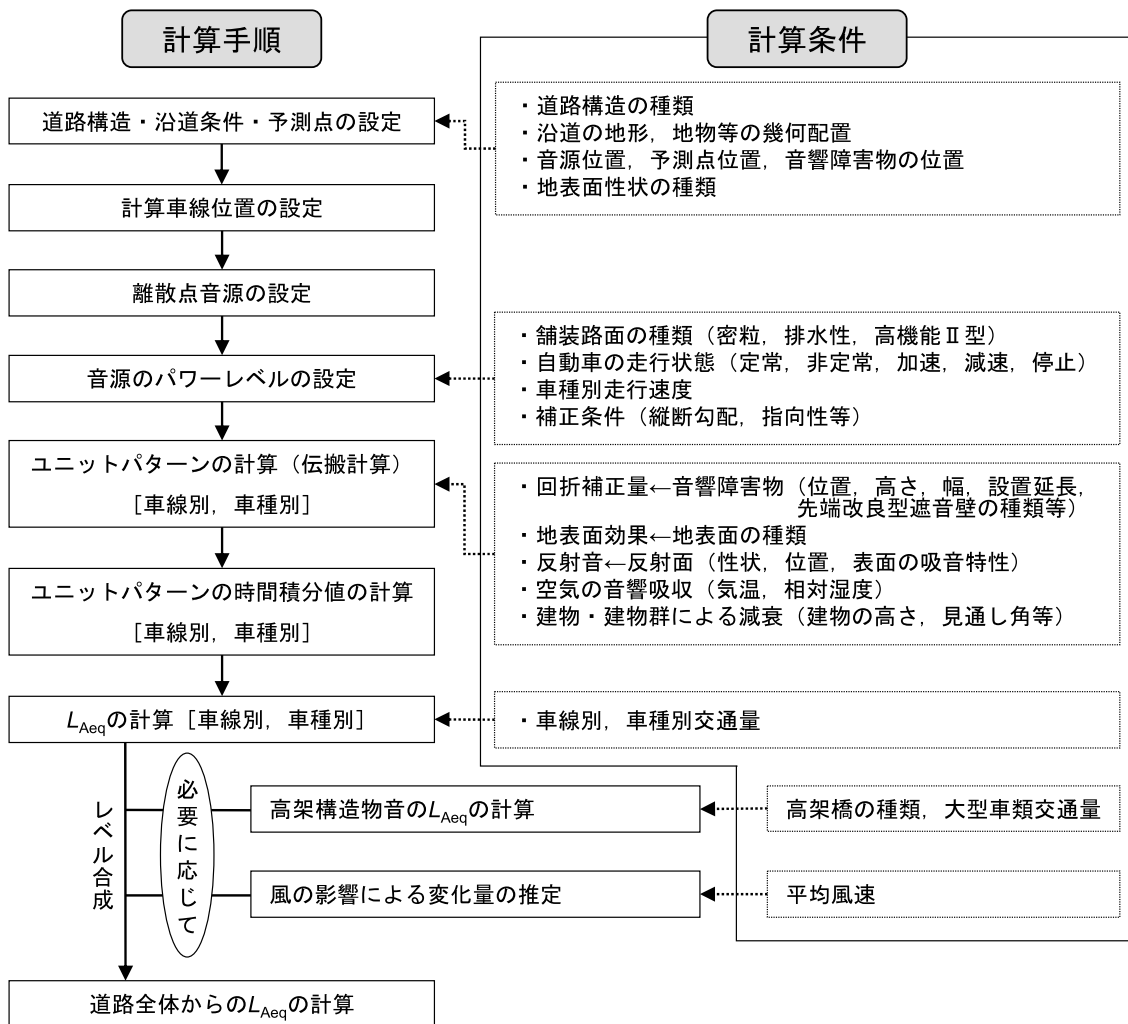


図-1.3 道路交通騒音の予測計算の手順

全区間を通過する間の予測点における単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  [dB] を次式によって求める。

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{AE,T_i,i}}{10}} \quad (1.11)$$

実際には車種により A 特性音響パワーレベルは異なるので、車種ごとに単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  を計算し、対象とする時間における車種別の交通量を考慮し、次式により等価騒音レベル  $L_{Aeq,T}$  を求める。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \frac{\sum_j N_{T,j} 10^{\frac{L_{AE,j}}{10}}}{T} \quad (1.12)$$

ここで、 $T$  は対象とする時間 [s],  $L_{AE,j}$  は式 (1.11) により求めた車種  $j$  の単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  [dB],  $N_{T,j}$  は時間  $T$  における車種  $j$  の交通量 [台] である。

### 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

設定した車線上の高さ 0 m に離散的に点音源を配置する。この点音源は、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。一方、道路特殊箇所等のように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と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して、ユニットパターンの最大騒音レベルを確実に捉え、そこを中心としてその最大値より 10dB 以上低いレベルまでの範囲に点音源を配置する。

注記：計算車線から予測点までの距離が最短となる位置に設定した音源が最大騒音レベルを与えるとは限らないので、予備計算等を行い予測箇所周辺の各種計算条件を設定する必要がある。

#### (4) 音源のパワーレベルの設定

$L_{WA}$  は、舗装路面の種類、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(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

式 (1.11) により車種別の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] 内の車種別交通量  $N_{T,j}$  [台] を考慮し、式 (1.12) により等価騒音レベル  $L_{Aeq,T}$  を求める。計算車線が複数の場合には、車線別に  $L_{Aeq,T}$  を求め、それらをエネルギー合成し道路全体からの  $L_{Aeq,T}$  を算出する。

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。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。

## 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。本予測モデルにおけるパワーレベルの基本式は、舗装種別(密粒舗装、排水性舗装、高機能舗装 II 型)及び車種分類ごとに速度の関数として与え、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。

なお、舗装種別ごとの自動車走行騒音の周波数特性については、付属資料 A1 に示す。

### 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 3 車種分類又は 2 車種分類を適用する [15]。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。3 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 [16]。

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 1：車種分類において、パワーレベル  $L_{WA}$  の違いから、従来、小型車類(2 車種分類)を乗用車と小型貨物車に区分していたが、小型貨物車の通行台数は他の車種に比べて非常に少ないこと、また環境アセスメント等では 2 車種分類(小型車類、大型車類)が広く用いられていることを考慮し、4 車種分類を 3 車種分類(小型・中型・大型車)に変更する [15]。

注記 2：ハイブリッド自動車(HV)、電気自動車(EV)のカテゴリは設けず、小型車(類)に含める。HV の  $L_{WA}$  に関する知見を付属資料 A2 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、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 舗装種別及び走行区間別のパワーレベル

自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベルは、参考資料 R5 の方法で測定したデータ [15, 17] を用いて、密粒舗装、騒音低減効果を有する排水性舗装及び高機能舗装 II 型ごとに、それぞれ設定した(2.2.2~2.2.4 項参照)。図-2.1 は、以下に定義



表-2.1 車種分類 (二輪車以外)

2 車種分類	3 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	小型車	3, 4, 5, 6, 7 ●乗車定員 10 人以下の乗用車 ●小型貨物車
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。  
 注 4) 小型貨物車は、分類番号の頭一文字 4 (バンを除く) 及び 6 の中に含まれる。  
 注 5) 乗車定員 10 人以下のバン (分類番号の頭一文字 1 の車両も含む) は、小型車に区分する。

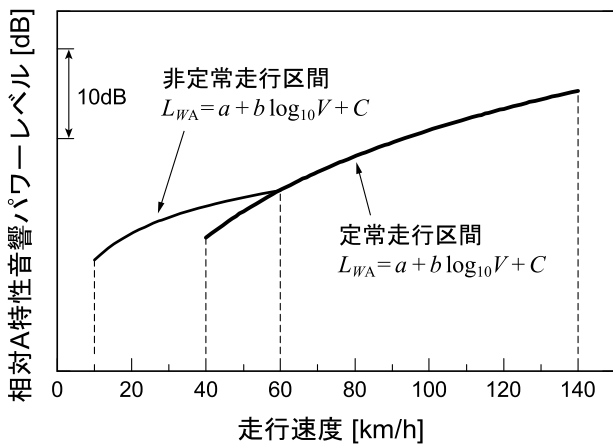


図-2.1 自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベルの模式図 (密粒舗装, 定常・非定常走行区間)

する定常走行区間と非定常走行区間の別に与えられるパワーレベルの模式図である。

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 40~140 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 10~60 km/h の範囲とする。

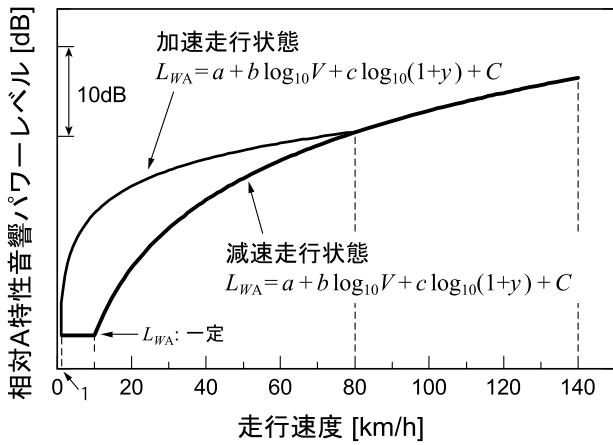
注記：ここで述べる非定常走行区間のパワーレベル式を適用すると、加速状態、減速状態、停止状態を含む、一般道路における平均的なパワーレベルを求めることができる。

また、自動車専用道路のインターチェンジ部 (料金所, 一般道路との連結部) など、以下に定義する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こともできる。図-2.2 は加速・減速区間におけるパワーレベルの模式図である。

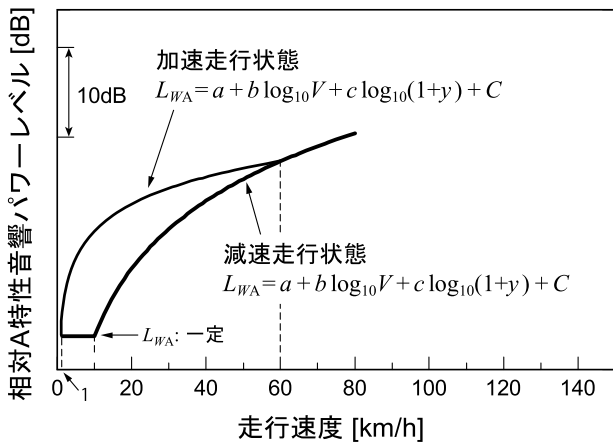
(1) 自動車専用道路の料金所付近

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、1~80 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, 図-2.2(a) 参照) 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、140~10 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。



(a) 自動車専用道路の料金所付近



(b) 自動車専用道路と一般道路の連結部付近

図-2.2 自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベルの模式図 (排水性舗装, 加速・減速区間)

(2) 連結部付近

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 (図-2.2(b) 参照)。

1) 加速走行状態：1~60 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区間と見なす。

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。

2.2.2 密粒舗装のパワーレベル

密粒舗装における自動車走行騒音の 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、 $C$  は各

種要因による補正項である。

$L_{WA}$  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。

$$C = \Delta L_{grad} + \Delta L_{dir} + \Delta L_{etc} \quad (2.2)$$

ここで、 $\Delta L_{grad}$  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]、 $\Delta L_{dir}$  は自動車走行騒音の指向性に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{etc}$  はその他の要因に関する補正量 [dB] である (2.3 節参照)。

(1) 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  $b$  の値は表-2.3 に示すとおり、定常走行区間と非定常走行区間の別に与える。密粒舗装における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) 加速・減速区間のパワーレベル

自動車専用道路の料金所付近及び連結部付近では、自動車の加速状態や減速状態によって走行騒音は変化する。加速・減速区間のパワーレベルは、加速走行状態については付属資料 A3 に、減速走行状態は表-2.3 に示す定常走行区間の定数  $a$ 、係数  $b$  を用いて、式 (2.1) により与える。速度依存性を表す係数  $b$  の値は、各車種とも減速区間で 30、加速区間で 10 とする。

2.2.3 排水性舗装のパワーレベル

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、また舗設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 A 特性音響パワーレベル  $L_{WA}$  [dB] は次式で計算する。

$$L_{WA} = a + b \log_{10} V + c \log_{10}(1 + y) + C \quad (2.3)$$

$$C = \Delta L_{grad} + \Delta L_{dir} + \Delta L_{traf} + \Delta L_{etc} \quad (2.4)$$

ここで、係数  $c$  は排水性舗装による騒音低減効果の経年変化を表す係数、 $y$  は舗設後の経過年数 [年]、

表-2.3 密粒舗装における定数  $a$ , 係数  $b$  の値 (定常・非定常走行区間)

車種分類	定常走行区間 ( $40 \leq V \leq 140$ km/h)		非定常走行区間 ( $10 \leq V \leq 60$ km/h)	
	$a$	$b$	$a$	$b$
	3 車種分類	小型車	45.8	82.3
	中型車	51.4	30	87.1
	大型車	54.4		90.0
2 車種分類	小型車類	45.8	30	82.3
	大型車類	53.2		88.8
	二輪車	49.6	30	85.2

注) 自動車専用道路における減速走行状態 ( $10 \text{ km/h} \leq V$ ) の  $L_{WA}$  については、定常走行区間の定数  $a$ , 係数  $b$  を適用する。

表-2.4 排水性舗装における定数  $a$ , 係数  $b$ ,  $c$  の値 (定常走行区間・減速区間)

(a) 3 車種・2 車種分類

3 車種分類	定常走行区間 ( $60 \leq V \leq 140$ km/h)			2 車種分類	定常走行区間 ( $60 \leq V \leq 140$ km/h)		
	減速走行状態 ( $10 \text{ km/h} \leq V$ )				減速走行状態 ( $10 \text{ km/h} \leq V$ )		
	$a$	$b$	$c$		$a$	$b$	$c$
小型車	50.6		1.5	小型車類	50.6		1.5
中型車	56.5	25	0.7	大型車類	57.7	25	0.6
大型車	58.7		0.5				

(b) 二輪車・大型バス

車種分類	定常走行区間 ( $60 \leq V \leq 140$ km/h)			車種分類	定常走行区間 ( $60 \leq V \leq 140$ km/h)		
	減速走行状態 ( $10 \text{ km/h} \leq V$ )				減速走行状態 ( $10 \text{ km/h} \leq V$ )		
	$a$	$b$	$c$		$a$	$b$	$c$
二輪車	49.6	30	—	大型バス	56.1	25	0.5

注) 高速走行時の大型バスの  $L_{WA}$  については、3 軸以上の大型トラック等に比べて小さいことから、バスを除く大型車(類)の定数  $a$  とは別に設定する。

$\Delta L_{\text{traf}}$  は日通過交通量に伴う舗装の空隙潰れや詰まり等による騒音低減効果の変化に関する補正量 [dB] (注記 3) である。その他の補正量 ( $\Delta L_{\text{grad}}$ ,  $\Delta L_{\text{dir}}$ ,  $\Delta L_{\text{etc}}$ ) は 2.3 節を参照。

注記 1: 排水性舗装の  $L_{WA}$  は、舗設後 11 年までの日通過交通量が 15,000 台以下の自動車専用道路 (積雪地を除く) での定常走行データに基づいて設定した [17]。従って、適用範囲は上記データを取得した期間内とする。

注記 2: 最近の自動車走行騒音の計測結果から、排水性舗装の  $L_{WA}$  は、調査箇所により異なるが、舗設直後からの経過年数による変化はほとんど見られないことが明らかとなっている [17]。

注記 3: 排水性舗装の低減効果は、舗設後の経過年数の他に日通過交通量によっても変化すると考えられるが、これ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  $\Delta L_{\text{traf}} = 0$  とする。

注記 4: 二層式排水性舗装に関する騒音低減効果を参考資料 R1 に示す。

(1) 定常走行区間のパワーレベル

自動車専用道路の定常走行区間でのパワーレベル式 (式 (2.3)) の定数  $a$  及び係数  $b$ ,  $c$  の値を表-2.4 に示す。走行速度  $V$  は  $60 \sim 140$  km/h の範囲

とする。排水性舗装における速度依存性を表す係数  $b$  の値は、各車種とも 25 とするが、二輪車の係数  $b$ ,  $c$  は常に 30, 0 とする。

なお、一般道路の排水性舗装における定常・非定常走行区間のパワーレベルについては、付属資料 A4 の定数  $a$  及び係数  $b$ ,  $c$  を用いて、式 (2.3), 式 (2.4) により与える。

(2) 加速・減速区間のパワーレベル

料金所付近、連結部付近における加速走行状態の A 特性音響パワーレベル  $L_{WA}$  については、表-2.5 に示す定数  $a$  及び係数  $b$ ,  $c$  を、減速走行状態の  $L_{WA}$  については表-2.4 に示す値をそれぞれ用いて、式 (2.3), 式 (2.4) により車種別に与える。なお、二輪車については係数  $c$  を常に 0 とする。

2.2.4 高機能舗装 II 型のパワーレベル

高機能舗装 II 型における A 特性音響パワーレベル  $L_{WA}$  は、排水性舗装と同様、式 (2.3), 式 (2.4) から計算する [17]。

表-2.5 排水性舗装における定数  $a$ , 係数  $b$ ,  $c$  の値 (料金所・連結部付近の加速区間)

(a) 3車種・2車種分類

車種分類	加速走行状態									
	料金所付近						連結部付近			
	$(1 \leq V < 60 \text{ km/h})$			$(60 \leq V \leq 80 \text{ km/h})$			$(1 \leq V \leq 60 \text{ km/h})$			
	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$	
3車種分類	小型車	79.1		6.4	88.0		6.4	76.6		6.4
	中型車	85.7	10	3.6	94.6	5	3.6	83.2	10	3.6
	大型車	88.6		3.6	97.5		3.6	86.1		3.6
2車種分類	小型車類	79.1		6.4	88.0		6.4	76.6		6.4
	大型車類	87.4	10	3.6	96.3	5	3.6	84.9	10	3.6

注) 大型バスの加速走行状態の  $L_{WA}$  については、大型車 (類) の定数  $a$ , 係数  $b$ ,  $c$  を適用する。

(b) 二輪車

車種分類	加速走行状態					
	料金所付近			連結部付近		
	$(1 \leq V \leq 80 \text{ km/h})$			$(1 \leq V \leq 60 \text{ km/h})$		
	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$
二輪車	87.7	10	—	85.2	10	—

注記1: 高機能舗装 II 型の  $L_{WA}$  は、舗設後 6 年までの日通過交通量が 15,000 台以下の自動車専用道路での定常走行データに基づいて設定した [17]。従って、適用範囲は上記データを取得した期間内とする。

注記2: 高機能舗装 II 型の低減効果は、舗設後の経過年数の他に日通過交通量によっても変化すると考えられるが、これに関する定量的な知見がないため、現時点では、式 (2.4) の  $\Delta L_{traf}$  は 0 とする。

(1) 定常走行区間のパワーレベル

自動車専用道路の定常走行区間におけるパワーレベル式 (式 (2.3)) の定数  $a$  及び係数  $b$ ,  $c$  の値を表-2.6 に示す。走行速度  $V$  は 60~140 km/h の範囲とする。高機能舗装 II 型における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 とし、二輪車の係数  $c$  は常に 0 とする。

注記: 加速・減速区間の  $L_{WA}$  を定量的に設定する知見がないため、現時点では定常走行区間の  $L_{WA}$  のみとする。

2.3 各種要因による補正

ここでは、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 縦断勾配に関する補正量  $\Delta L_{grad}$

道路の縦断勾配によるパワーレベルの変化を考慮する場合には、補正量  $\Delta L_{grad}$  [dB] を次式によって計算する。

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

$$0 \leq i_{grad} \leq i_{grad,max} \quad (2.5)$$

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-2.7 で与える。この補正は、十分長い上り勾配の道路を走行する大型車類にのみ適用する。

注記: この補正量は、車両の運動方程式 [18] 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 [19]。

2.3.2 指向性に関する補正量  $\Delta L_{dir}$

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 [20, 21]。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  $\Delta L_{dir}$  [dB] は、次式によって与える。なお、自動車の走行速度は 40 km/h 以上とする。

$$\Delta L_{dir} = \begin{cases} (a + b \cdot \cos \varphi + c \cdot \cos 2\varphi) \cos \theta & \varphi < 75^\circ \\ 0 & \varphi \geq 75^\circ \end{cases} \quad (2.6)$$

ここで、座標系は図-2.3、係数  $a$ ,  $b$ ,  $c$  は表-2.8 に示すとおりとする。また、 $\theta \geq 80$  の場合は、 $\theta = 80$  とする。なお、 $\theta$  は、 $\theta$  の水平面への投影角度  $\Theta$  と以下の関係にある。

$$\theta = \tan^{-1}(\sin \varphi \tan \Theta) \quad \varphi \neq 0 \quad (2.7)$$

この補正は、高架裏面反射音の計算や沿道建物の高層階における騒音の予測に適用する。

表-2.6 高機能舗装 II 型における定数  $a$ , 係数  $b$ ,  $c$  の値 (定常走行区間)

(a) 3 車種・2 車種分類

3 車種分類	定常走行区間 ( $60 \leq V \leq 140$ km/h)			2 車種分類	定常走行区間 ( $60 \leq V \leq 140$ km/h)		
	$a$	$b$	$c$		$a$	$b$	$c$
	小型車	45.2			0.1	小型車類	45.2
中型車	49.5	30	0.5	大型車類	50.3	30	0.4
大型車	50.9		0.4				

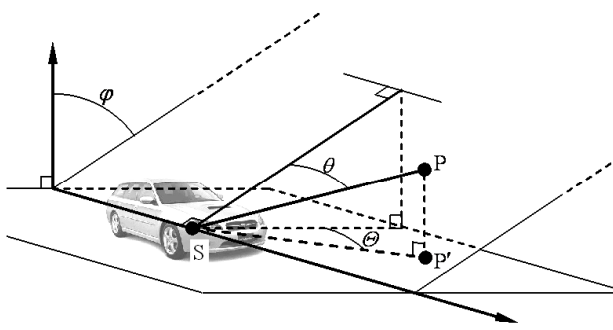
(b) 二輪車・大型バス

車種分類	定常走行区間 ( $60 \leq V \leq 140$ km/h)			車種分類	定常走行区間 ( $60 \leq V \leq 140$ km/h)		
	$a$	$b$	$c$		$a$	$b$	$c$
	二輪車	49.6	30		—	大型バス	47.9

注) 高速走行時の大型バスの  $L_{WA}$  については, 3 軸以上の大型トラック等に比べて小さいことから, バスを除く大型車(類)の定数  $a$  と別に設定する。

表-2.7 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



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-2.8 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

注記: 遮音壁が高い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。

### 2.3.3 その他の要因に関する補正量 $\Delta L_{etc}$

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, 路面の凹凸や温度等による走行騒音の

変化が考えられる。ただし, 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  $\Delta L_{etc} = 0$  とする。

### 文 献

[15] 岡田恭明, 市川友己, 吉久光一, 植村友昭, 米村美紀, 李 孝珍, 坂本慎一, 山内勝也, “一般道路における自動車走行騒音の音響パワーレベル—全国各地の密粒舗装での測定データに基づく検討—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2019-13 (2019.3).

[16] 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).

[17] 福島昭則, 一木智之, 太田達也, 船橋 修, 大蔵 崇, 岩吹啓史, 兼重 仁, “自動車専用道路における自動車走行騒音のパワーレベル式とパワースペクトル,” 音響学会騒音・振動研資, N-2019-14 (2019.3).

[18] 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).

[19] 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).

[20] 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).

[21] Y. Mori, A. Fukushima, K. Uesaka and H. Ohnishi, “Noise directivity of vehicles on actual road,” *Proc. inter-noise 99*, pp. 209-212 (1999).

### 3. 伝搬計算

この章では, 騒音の伝搬に関して, 幾何拡散(逆二乗則)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, 空気の音響吸収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の程度, 反射音や透過音の計算方法を示

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	$\Delta L_{d,k}$	各種回折補正量を計算する場合の基本となる量 $\Delta L_{d,k}$ は遮音壁のようなナイフウェッジでの回折計算に、	式 (3.3)
	$\Delta L_{d,r}$	$\Delta L_{d,r}$ は建物や盛土・切土道路の法肩のような開き角のあるウェッジでの回折計算に使用	式 (3.4)
遮音壁での一回回折	$\Delta L_{dif, sb}$	一般的な遮音壁での一回回折による回折補正量	式 (3.5)
	$C_{dif, abs}$	統一型遮音壁の吸音効果に関する補正量	式 (3.6)
法肩部での一回回折	$\Delta L_{dif, rw}$	遮音壁がない盛土・切土道路の法肩部での回折補正量	式 (3.7)
二枚の遮音壁等での二回回折	$\Delta L_{dif, db}$	おおむね 5 m 以上離れて設置された 2 枚の遮音壁等での回折補正量	式 (3.8)
厚みのある障害物での二回回折	$\Delta L_{dif, tb}$	築堤や建物など、開き角が 90° 程度の回折点が二つある場合の回折補正量	式 (3.9)
張り出し型遮音壁	$\Delta L_{dif, ob}$	先端部が張り出した遮音壁の回折補正量	式 (3.10)
	$C_{dif, ob}$	張り出しの効果に関する補正量	式 (3.11)
先端改良型遮音壁	$\Delta L_{dif, emb}$	先端改良型遮音壁の回折補正量	式 (3.12)
	$\Delta L_{dif, hb}$	仮想直壁の回折補正量	式 (3.3)
	$C_{dif, emb}$	先端の音響的工夫による効果の補正量	参考資料 R2
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 挿入損失として計算	式 (3.13)
遮音壁の透過音	$\Delta L_{dif, trns}$	遮音壁の透過音を考慮した回折補正量	式 (3.14)
	$\Delta L_{dif, slit}$	スリット回折に関する補正量	式 (3.15)

す。以下に示す方法は、道路交通騒音の騒音レベルのオーバオール値（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、周波数ごとの計算方法については付属資料 A5 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（付属資料 A6 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騒音レベル  $L_{A,i}$  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。

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

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騒音レベル [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線距離 [m]、 $\Delta L_{cor,i}$  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。

$$\Delta L_{cor,i} = \Delta L_{dif,i} + \Delta L_{grnd,i} + \Delta L_{air,i} \quad (3.2)$$

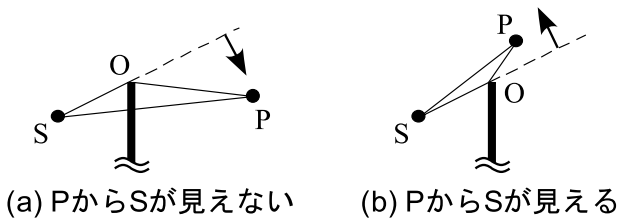
ここで、 $\Delta L_{dif,i}$  は回折に伴う減衰に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{grnd,i}$  は地表面効果による減衰に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{air,i}$  は空気の音響吸収による減衰に関する補正量 [dB] である。以下、音源位置に関する添え字  $i$  は省略する。

### 3.2 回折に伴う減衰に関する補正量 $\Delta L_{dif}$

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  $\Delta L_{dif}$ （以下、回折補正量と呼ぶ）は、回折経路差  $\delta$  から求まる基本量  $\Delta L_{d,k}$  及び  $\Delta L_{d,r}$  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。

#### 3.2.1 回折補正量計算の基本量 $\Delta L_{d,k}$ , $\Delta L_{d,r}$

回折補正量計算の基本量は、点音源 S、回折点 O、予測点 P に関する回折経路差  $\delta$  [m]（図-3.1 参照）を用いて、遮音壁のようなナイフウェッジ（薄い板状の障害物）については式 (3.3) で [23, 24]、建物や盛土・切土道路の法肩のような開き角 90° 程度の場合には直角ウェッジと見なし式 (3.4) で計算する [25, 26]。



直達経路  $R = SP$ , 回折経路  $L = SO + OP$

図-3.1 回折経路差  $\delta$  の定義

(1) ナイフウェッジ (遮音壁での基本量)

$$\Delta L_{d,k} = \begin{cases} -20 - 10 \log_{10}(c_{\text{spec}} \delta) & c_{\text{spec}} \delta \geq 1 \\ -5 - 17.0 \cdot \sinh^{-1}(c_{\text{spec}} \delta)^{0.415} & 0 \leq c_{\text{spec}} \delta < 1 \\ \min[0, -5 + 17.0 \cdot \sinh^{-1}(c_{\text{spec}} |\delta|)^{0.415}] & c_{\text{spec}} \delta < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

(2) 直角ウェッジ (建物, 法肩での基本量)

$$\Delta L_{d,r} = \begin{cases} -17.5 - 10 \log_{10}(c_{\text{spec}} \delta) & c_{\text{spec}} \delta \geq 1 \\ -2.5 - 17.0 \cdot \sinh^{-1}(c_{\text{spec}} \delta)^{0.415} & 0 \leq c_{\text{spec}} \delta < 1 \\ \min[0, -2.5 + 17.0 \cdot \sinh^{-1}(c_{\text{spec}} |\delta|)^{0.415}] & c_{\text{spec}} \delta < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

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

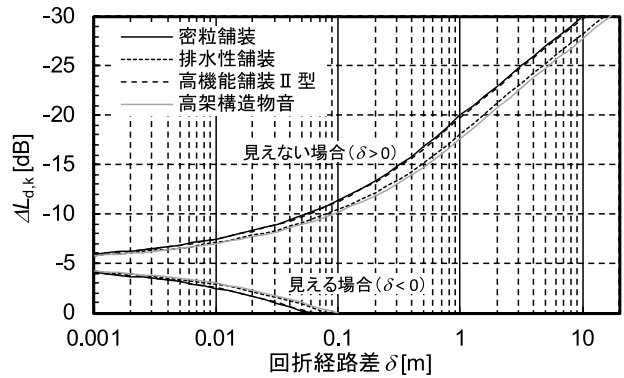
注記 1: 上記計算式は, 障壁での回折に関する周波数ごとの計算式 (付属資料 A5 参照) と自動車走行騒音の周波数特性 (付属資料 A1 参照) を用いて, 周波数別の計算値の合成値での減衰量を近似するようにカーブフィッティングにより作成した。

注記 2: カーブフィッティングに用いたデータは, 回折経路差  $\delta$  がおよそ 20 m まで,  $\Delta L_{d,k}$  及び  $\Delta L_{d,r}$  はおよそ -30 dB までである。それ以上の経路差になると, より低い周波数域が卓越し, 上記計算式を用いて求めた値ほどの効果は得られない。

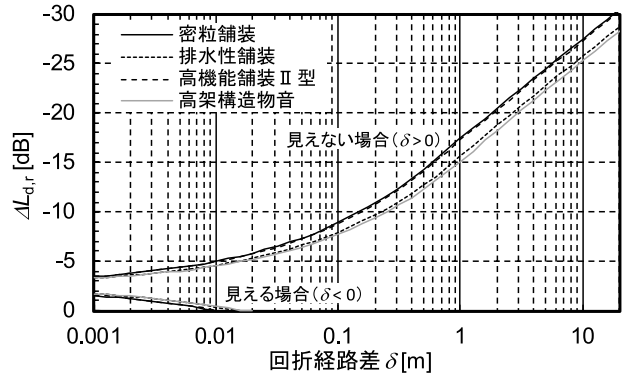
注記 3: 回折経路差  $\delta$  が 20 m を超える場合には, 付属資料 A5 に示す周波数ごとの回折計算によりオーバーオール値での回折補正量を算出する。なお, このときに透過音の影響が考えられる場合には 3.2.8 項に示す方法で透過音を考慮しなければならない。

表-3.2 係数  $c_{\text{spec}}$  の値

騒音の分類		$c_{\text{spec}}$
自動車走行騒音	密粒舗装	1.00
	排水性舗装	0.75
	高機能舗装 II 型	0.96
高架構造物音	橋種区分なし	0.60



(a) ナイフウェッジ ( $\Delta L_{d,k}$ )



(b) 直角ウェッジ ( $\Delta L_{d,r}$ )

図-3.2  $\Delta L_{d,k}$ ,  $\Delta L_{d,r}$  の計算チャート

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行う (2.3.2 項参照)。

3.2.2 一回回折の回折補正量

(1) 遮音壁での回折補正量  $\Delta L_{\text{dif, sb}}$

1 枚の遮音壁のような回折点がある場合の回折補正量  $\Delta L_{\text{dif, sb}}$  は, 次式で与える。

$$\Delta L_{\text{dif, sb}} = \begin{cases} \Delta L_{d,k} & \text{統一型遮音壁以外} \\ \Delta L_{d,k} + C_{\text{dif, abs}} & \text{統一型遮音壁} \end{cases} \quad (3.5)$$

ここで,  $C_{\text{dif, abs}}$  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 [27]。

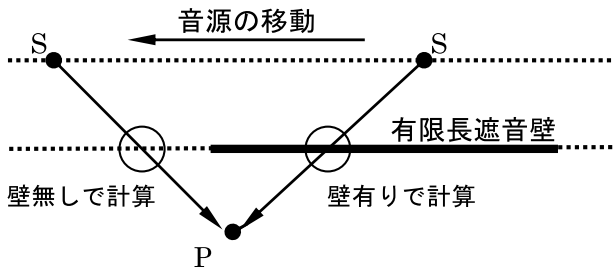


図-3.3 1パスの方法

$$C_{\text{dif,abs}} = \begin{cases} -0.5 \log_{10}(1 + 20\delta) & \delta > 0 \\ 0 & \delta \leq 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

注記1：遮音壁の透過音が無視できない場合には 3.2.8 項に示す方法で透過音を考慮する。

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  $C_{\text{dif,abs}}$  を考慮してよい。

(2) 法肩部での回折補正量  $\Delta L_{\text{dif,rw}}$

遮音壁のない盛土・切土の法肩部や建物など開き角を有するウェッジでの回折補正量  $\Delta L_{\text{dif,rw}}$  は、次式で与える。

$$\Delta L_{\text{dif,rw}} = \Delta L_{\text{d,r}} \quad (3.7)$$

注記：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。

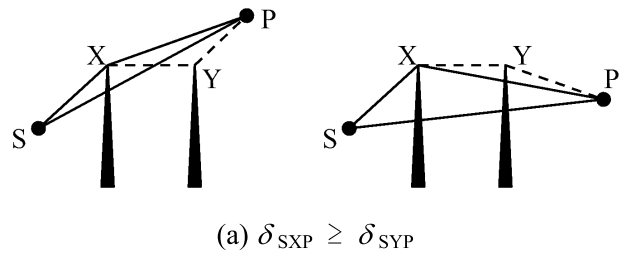
(3) 有限長遮音壁での回折計算

ある範囲にのみ遮音壁が設置されている有限長遮音壁についての計算方法には、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 [28] がある。ユニットパターンを計算するためには後者の方法によるが、ユニットパターンを積分して算出した  $L_{\text{AE}}$  あるいは  $L_{\text{Aeq}}$  の計算値はどちらの方法で計算してもほぼ同じ値となる。ここでは1パスの方法を示す。

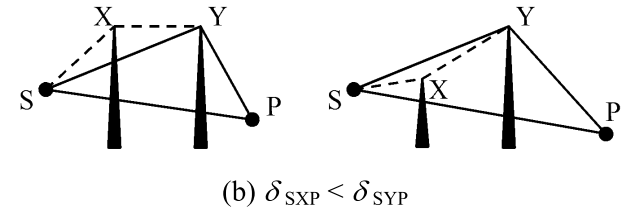
図-3.3のような点音源 S，予測点 P，及び有限長遮音壁の平面配置を考える。ユニットパターンの計算において線分 SP と有限長遮音壁が交差する場合には無限長の遮音壁を考えて式 (3.5) により  $\Delta L_{\text{dif,sb}}$  を計算し，SP と有限長遮音壁が交わらない場合には遮音壁がないものとして計算する。

注記1：ユニットパターンを正確に計算し，音源位置による騒音レベルの違いを検討する場合には，文献 [28] の上方と側方の回折を考慮する方法による。

注記2：高架道路に有限長遮音壁が設置されている場合で，SP と有限長遮音壁が交わらない場合には，高欄を遮音壁相当として計算する。



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



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

図-3.4 二重遮音壁の回折計算

3.2.3 二回回折の回折補正量  $\Delta L_{\text{dif,db}}$

(1) 平行に設置された二重遮音壁の場合

図-3.4 や図-3.5(a) 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平行に設置された場合の回折補正量  $\Delta L_{\text{dif,db}}$  は次式で計算する [29]。

$$\Delta L_{\text{dif,db}} = \begin{cases} \Delta L_{\text{SXP,k}} + \Delta L_{\text{XYP,k}} & \delta_{\text{SXP}} \geq \delta_{\text{SYP}} \\ \Delta L_{\text{SYP,k}} + \Delta L_{\text{SXY,k}} & \delta_{\text{SXP}} < \delta_{\text{SYP}} \end{cases} \quad (3.8)$$

ここで，X，Y は回折点， $\Delta L_{\text{ABC,k}}$  は音の伝搬経路が ABC の場合のナイフウェッジでの回折補正量の基本量  $\Delta L_{\text{d,k}}[\text{dB}]$ ， $\delta_{\text{ABC}}$  は伝搬経路 ABC の場合の回折経路差 [m] である。

注記1：二重遮音壁背後では単体の遮音壁背後に比べて低い周波数成分が卓越し，式 (3.3) による基本量を用いて式 (3.8) で計算したオーバーオール値での回折補正量ほどの効果は得られないことがある。二重遮音壁による減衰量がおよそ 30 dB を超える場合 ( $\Delta L_{\text{dif,db}} < -30 \text{ dB}$ ) には，ナイフウェッジでの回折に関する周波数ごとの計算式 (付属資料 A5.2.1 参照) により周波数ごとに回折計算を行い，自動車走行騒音の周波数特性 (付属資料 A1 参照) を重み付けした合成値での挿入損失から  $\Delta L_{\text{dif,db}}$  を設定する必要がある (付属資料 A5.2.4 参照)。

注記2：三重遮音壁の回折補正量の計算方法については文献 [30] を参照されたい。なお，三重遮音壁背後では二重遮音壁よりも更に低い周波数成分が卓越することがある。

(2) 変則的な二回回折の場合

図-3.5(b) や (c) に示す変則的な二回回折も考えられる。図-3.5(b) はトンネル坑口と明り部の遮音壁での二回回折が相当し，図-3.5(c) は平面道路の本線と側道の両方の道路端に遮音壁が設置され，側道から本線に合流する場合が相当する。このよ



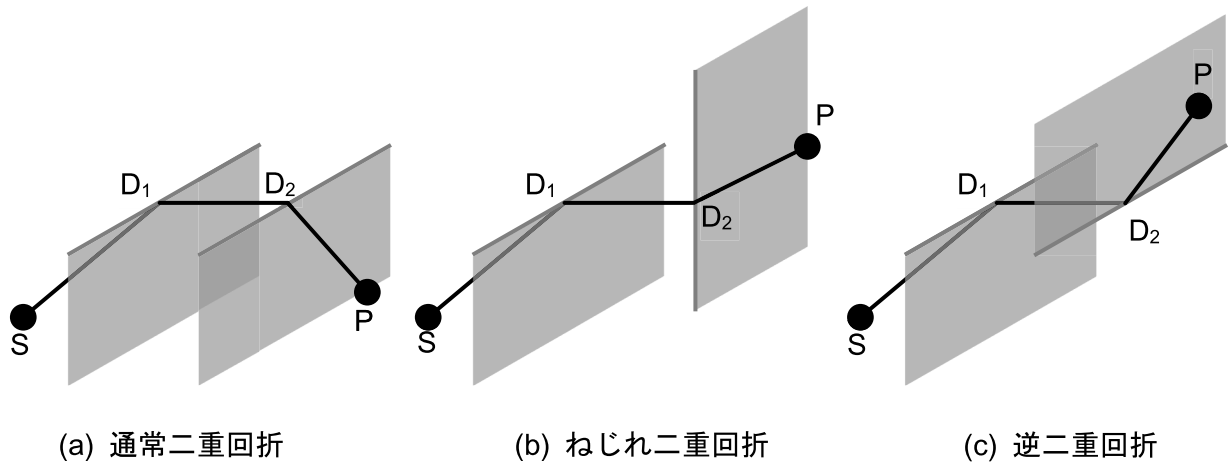


図-3.5 音響障害物 I, II での二重回折

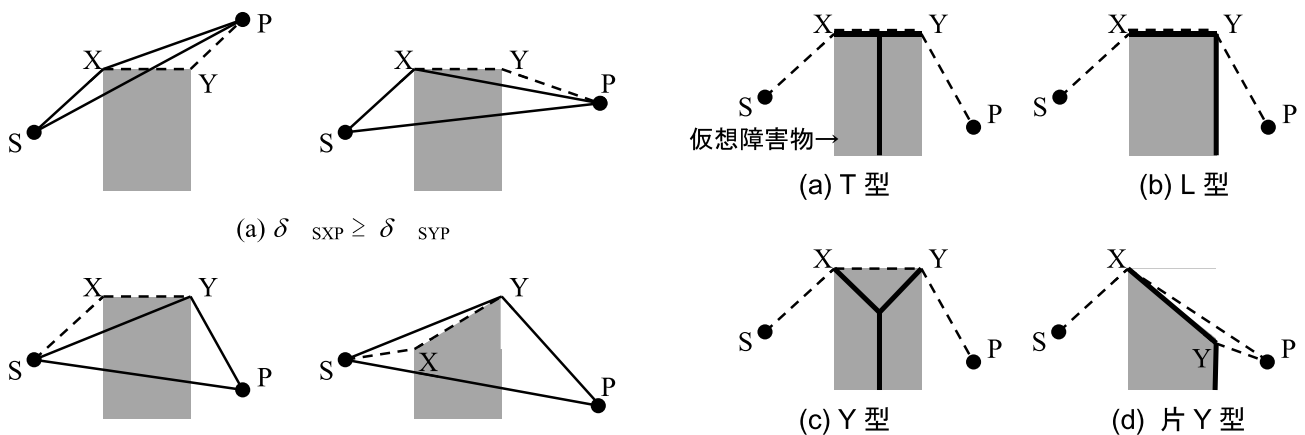


図-3.6 築堤・厚みのある障害物の回折計算

図-3.7 張り出し型遮音壁の回折計算

うな場合の二重回折の回折補正量  $\Delta L_{dif,db}$  は、回折点 X, Y を求め、式 (3.8) で計算する [31]。

### 3.2.4 築堤・厚みのある障害物の回折補正量 $\Delta L_{dif,tb}$

図-3.6 に示すような築堤や建物などの厚みのある音響的な障害物での二重回折の回折補正量  $\Delta L_{dif,tb}$  は、次式で計算する [25, 32]。

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

ここで、X, Y は回折点、 $\Delta L_{ABC,r}$  は音の伝搬経路が ABC の場合の直角ウェッジでの回折補正量の基本量  $\Delta L_{d,r}$  [dB] である。

注記：築堤や厚みのある障害物の背後では単体の遮音壁背後に比べて低い周波数成分が卓越し、式 (3.4) による基本量を用いて式 (3.9) で計算したオーバーオール値での回折補正量ほ

どの効果は得られないことがある。厚みのある障害物による減衰量がおよそ 30 dB を超える場合 ( $\Delta L_{dif,tb} < -30$  dB) には、直角ウェッジでの回折に関する周波数ごとの計算式 (付属資料 A5.2.2 参照) により周波数ごとに回折計算を行い、自動車走行騒音の周波数特性 (付属資料 A1 参照) を重み付けした合成値での挿入損失から  $\Delta L_{dif,tb}$  を設定する必要がある (付属資料 A5.2.4 参照)。

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

図-3.7 に示すように、上端を折り曲げた張り出し型遮音壁の回折補正量  $\Delta L_{dif,ob}$  は、遮音壁の回折点 X, Y をエッジとする厚みのある障害物での回折補正量に補正を行い次式で計算する [33]。

$$\Delta L_{dif,ob} = \Delta L_{dif,tb} + C_{dif,ob} \quad (3.10)$$

$$C_{dif,ob} = A \left\{ \left( \frac{B}{B - \Delta L_{dif,tb}} \right)^C - 1 \right\} \quad (3.11)$$

ここで、 $\Delta L_{dif,tb}$  は厚みのある障害物の回折補正量 [dB]、 $C_{dif,ob}$  は張り出し型遮音壁と厚みのある

表-3.3  $C_{dif,ob}$  の計算式中の定数の値

張り出し型 遮音壁の種類	式 (3.11) の定数		
	A	B	C
T 型	3.0	10.0	1.0
Y 型	3.5	10.0	2.0
L 型	1.5	10.0 </td <td>1.5</td>	1.5
片 Y 型	1.5	10.0	1.5

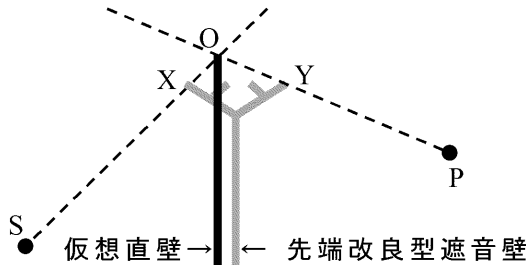


図-3.8 先端改良型遮音壁の回折計算における仮想直壁の設定

障害物の挿入損失の差に関する補正量であり，定数  $A, B, C$  は張り出し型遮音壁の種類に応じて表-3.3 の値を用いる。

注記 1：式 (3.11) 及び表-3.3 の値は，波動数値解析により求めた反射性の張り出し型遮音壁及び厚みのある障害物による道路交通騒音に対する挿入損失のレベル差を関数近似して求めたものである。

注記 2：張り出し部の幅が 1 m 未満については， $C_{dif,ob} = 0$  dB とする [34]。

注記 3： $C_{dif,ob}$  は舗装種別には関係しない。

注記 4：張り出し部の幅が 50 cm 未満については検討していない。そのような場合には遮音壁先端を端部とする仮想直壁として計算する。

注記 5：張り出しが大きくなると，張り出し下面と路面での多重反射が生じるため，そのような場合には適用できない。そのような場合を予測する必要があるときには，波動数値解析による。

注記 6：この方法の他に，幾つかの種類の吸音性の張り出し型遮音壁について，実験値から求めた計算式により張り出しの効果を検討する方法がある（参考資料 R2 参照）。

### 3.2.6 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改良型遮音壁と呼ぶ。先端改良型遮音壁の回折補正量  $\Delta L_{dif,emb}$  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の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に先端の音響的工夫に関する効果の補正量を加えて次式で計算する。

$$\Delta L_{dif,emb} = \Delta L_{dif,hb} + C_{dif,emb} \quad (3.12)$$

ここで， $\Delta L_{dif,hb}$  は仮想直壁に対する回折補正量で図-3.8 の回折点 O についての経路差  $\delta$  を用いて

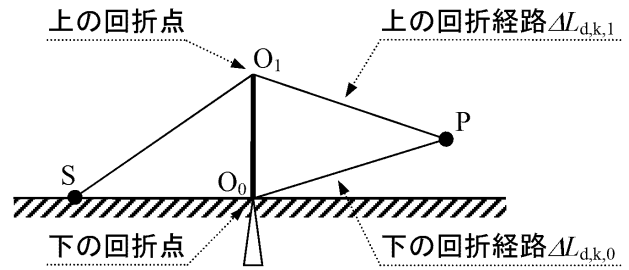


図-3.9 低層遮音壁の回折補正量の計算

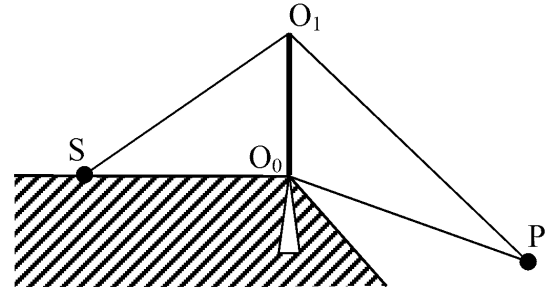


図-3.10 透過音計算の考え方

式 (3.3) により求めた  $\Delta L_{d,k}$  [dB]， $C_{dif,emb}$  は先端の音響的工夫による効果の補正量 [dB] である。 $C_{dif,emb}$  は装置の大きさや減音原理により異なり，一般化するのは難しい。参考資料 R2 に幾つかの先端改良型遮音壁の  $C_{dif,emb}$  の設定式等を示す。

### 3.2.7 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。

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

ここで， $\Delta L_{d,k,1}$  は図-3.9 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  $\Delta L_{d,k}$ ， $\Delta L_{d,k,0}$  は下端部  $O_0$  を頂点とした仮想障壁の  $\Delta L_{d,k}$  である。

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

図-3.10 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  $\Delta L_{dif,trns}$  を用いる。

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

ここで， $\Delta L_{d,k,1}$  は遮音壁の頂点  $O_1$  を頂点とした場合の  $\Delta L_{d,k}$  [dB]， $\Delta L_{dif,slit}$  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 特性スペクトルを考慮した遮音壁の音響透過損

表-3.4 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

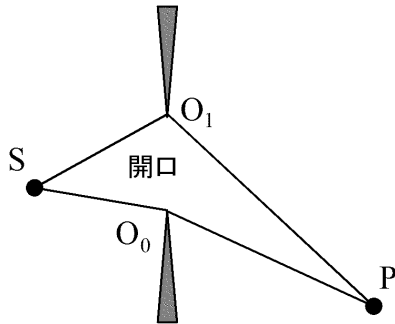
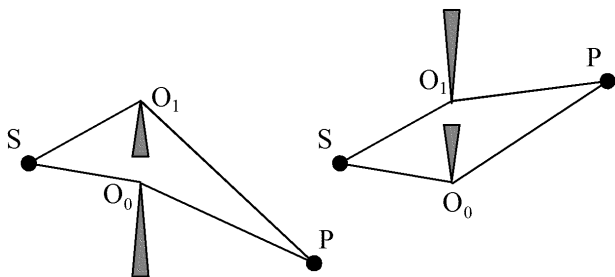


図-3.11 スリット回折



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

図-3.12 スリット回折計算での仮想障壁の設定

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-3.4 に示す。

$\Delta L_{\text{dif,slit}}$  は、図-3.11 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-3.12 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。

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

ここで、 $\Delta L_{\text{dif,slit}}$  はスリット回折に関する補正量 [dB],  $\Delta L_{d,k,n}$  は  $O_n$  を頂点とした場合の  $\Delta L_{d,k}$  [dB] である。

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 $\Delta L_{\text{grnd}}$

#### (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  $\Delta L_{\text{grnd}}$  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 [35]。

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

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

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・排水性舗装路面) について  $K_i$  と  $r_{c,i}$  の計算式を示す。なお、密粒舗装やコンクリート舗装などの舗装面では、 $\Delta L_{\text{grnd}} = 0$  とする。

注記 1: 地表面効果と気象の影響は独立なものではなく互いに密接に関係し合っている [36, 37]。そのため、伝搬距離が長く、地表面効果による減衰量がおよそ 30 dB を超える ( $\Delta L_{\text{grnd}} < -30\text{ dB}$ ) と、風の影響や大気の乱れの影響を受け、特に逆風条件では計算値ほどの減衰が生じない [38]。そのため、地表面効果による減衰量が 30 dB を超える場合 ( $\Delta L_{\text{grnd}} < -30\text{ dB}$ ) は  $\Delta L_{\text{grnd}} = -30\text{ dB}$  とする。

注記 2: 式 (3.16) 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 [39]。

注記 3: 自動車専用道路におけるスピーカを用いた実験により、排水性舗装路面では固い地面相当の地表面効果による超過減衰が生じることが確認されている [40]。

注記 4: 3.3 節の方法は、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 [41] が提案されている。

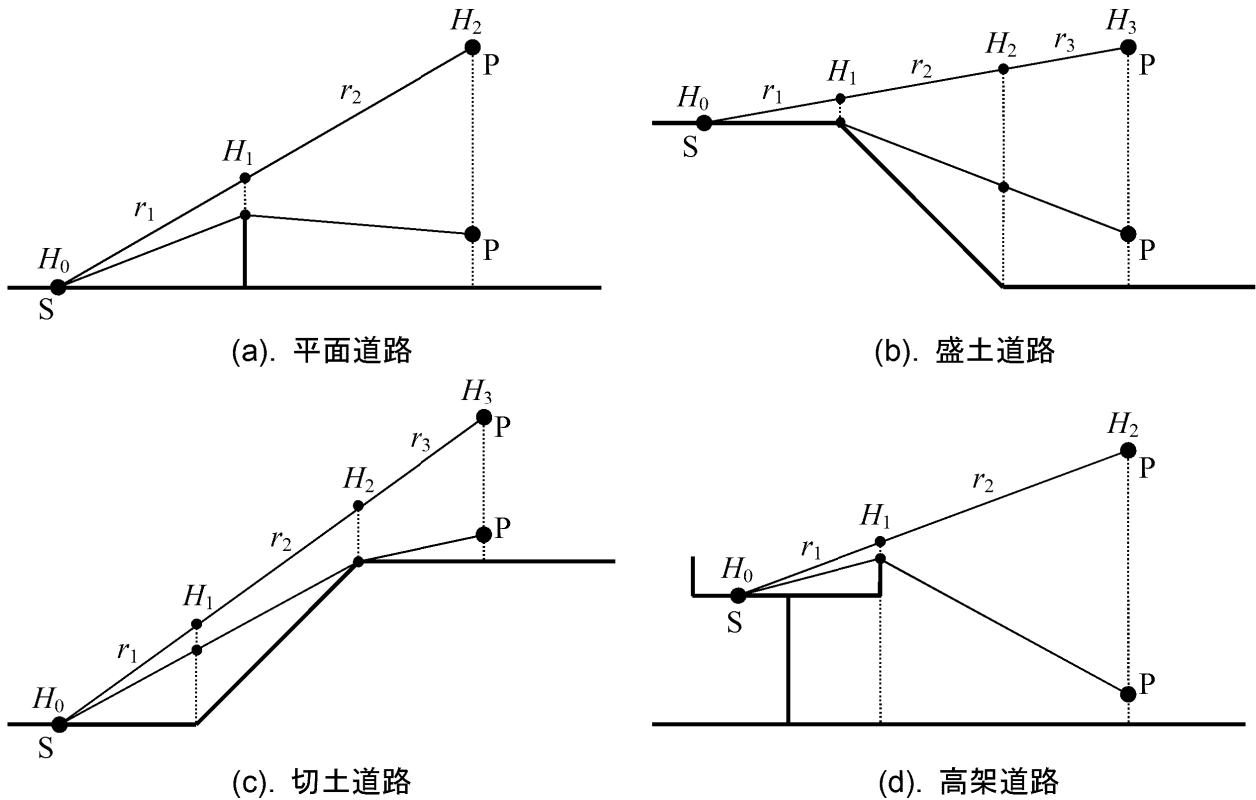


図-3.13 各地表面上の伝搬経路高さ

注記5：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などによって、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する（付属資料 A5 参照）。

(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 [42]。

1) 柔らかい畑地

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

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、排水性舗装路面

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

ここで、平均伝搬経路高  $H_{a,i}$  は、図-3.13 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、 $H_{a,i}$  が 0.6 m 未満の場合には  $H_{a,i} = 0.6$  とする。

$$H_{a,i} = \begin{cases} \frac{(H_{i-1} + H_i)}{2} & H_{i-1} + H_i \geq 1.2 \\ 0.6 & H_{i-1} + H_i < 1.2 \end{cases} \quad (3.21)$$

(3) 地表面による超過減衰が生じ始める距離

$r_{c,i}$

地表面による超過減衰が生じ始める距離  $r_{c,i}$  は、次式で与える。

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

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  $H_i$  及び  $H_{a,i}$  から次式で計算する。

$$Z_i = \frac{|H_{i-1} - H_i|}{2H_{a,i}} \quad (3.23)$$

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

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

### 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、排水性舗装路面

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

式 (3.22) の  $g(Z_i)$  は次式で計算する。

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

ここで、係数  $a, b, c, d$  は地表面の種類別に表-3.5 で与える。ただし、固い地面あるいは排水性舗装路面で  $H_{a,i} < 1.1$  の場合には、 $r_{c,i}$  は次式で計算する。

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

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

表-3.5  $g(Z_i)$  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・排水性舗装路面	18.6	0.946	-32.5	32.2

### 3.4 空気の音響吸収に関する補正量 $\Delta L_{\text{air}}$

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

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

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 [43]。異なる大気の状態について予測する必要がある場合は、空気の音響吸収に関する周波数ごとの計算式 (付属資料 A5.3.1 参照) により周波数ごとに計算し、自動車走行騒音の周波数特性 (付属資料 A1 参照) を重み付けした合成値での減衰量から  $\Delta L_{\text{air}}$  を求めればよい (付属資料 A5.3.2 参照)。

### 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い、表面に大きな凹凸がある場合には散乱反射として扱う。

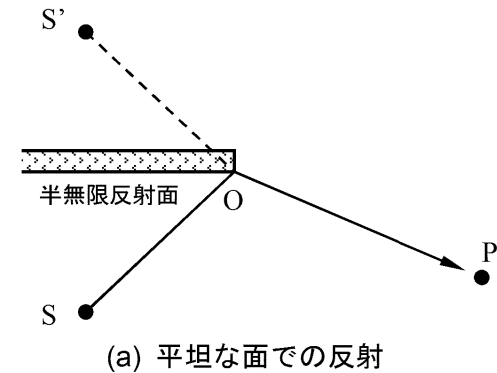
#### 3.5.1 鏡面反射法

##### (1) 計算式

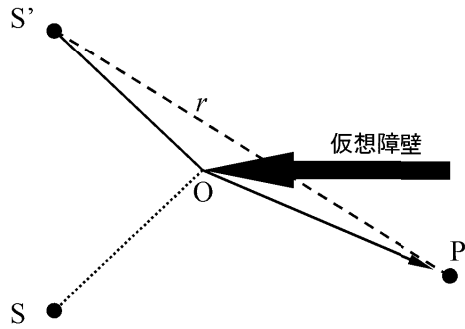
図-3.14(a) のように音源  $S$  と予測点  $P$  及び端部を  $O$  とする平坦な半無限反射面を考える。この場合の反射音は、図-3.14(b) に示すように反射面に対する  $S$  の鏡像音源  $S'$  から反射面と相補的に設定した半無限吸音障壁 (仮想障壁) を回折して  $P$  に到達する音波と見なす。この考えに基づく鏡面反射法の計算式を以下に示す。

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

ここで、 $L_{A,\text{refl}}$  は反射音の騒音レベル [dB]、 $r$  は  $S'$  から  $P$  までの直達距離 [m]、 $\Delta L_{\text{refl}}$  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)、であり、反射面の形状に応じて計算式及び量記号が異なるが、総称として  $\Delta L_{\text{refl}}$  で表



(a) 平坦な面での反射



(b) 音源の鏡像 S'からの伝搬

図-3.14 半無限平坦面による反射音の扱い方

す。また、 $\Delta L_{\text{abs}}$  は反射面の吸音に関する補正量 [dB] (3.5.3 項参照) である。

(2) 反射補正量  $\Delta L_{\text{refl}}$

1) 反射補正量計算の基本量  $\Delta L_r$

$\Delta L_r$  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  $\delta$  [m] を用いて次式で計算する。

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

$c_{\text{spec}}$  は表-3.2 に示した値を用いる。 $\Delta L_r$  と  $\delta$  の関係を図-3.15 に示す。

注記：式 (3.32) はエネルギーの相補性を仮定した計算式である [44]。

2) 半無限反射面での反射補正量  $\Delta L_{\text{refl,semi}}$

図-3.14(a) のような半無限反射面での反射補正量  $\Delta L_{\text{refl,semi}}$  は、図-3.14(b) のように仮想障壁を設定し次式で計算する。

[図-3.14(b) で P から S' が見えないとき]

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

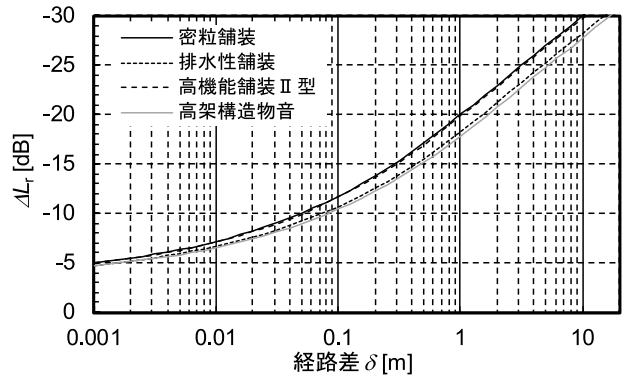


図-3.15  $\Delta L_r$  と経路差  $\delta$  の関係

[図-3.14(b) で P から S' が見えるとき]

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

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

図-3.16(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-3.16(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-3.16(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。

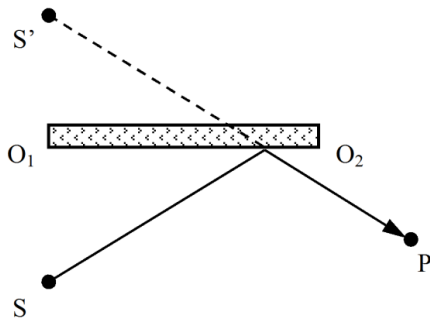
$$\Delta L_{\text{refl,slit}} = 10 \log_{10} \left| 10^{\Delta L_{\text{refl},1}/10} - 10^{\Delta L_{\text{refl},2}/10} \right| \quad (3.35)$$

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

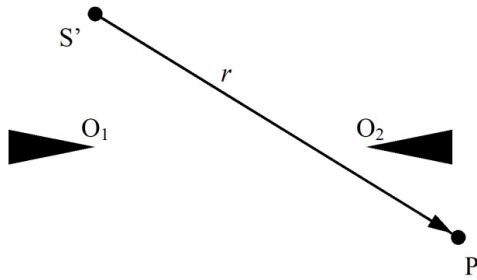
4) 矩形反射面での反射補正量  $\Delta L_{\text{refl,rect}}$

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。

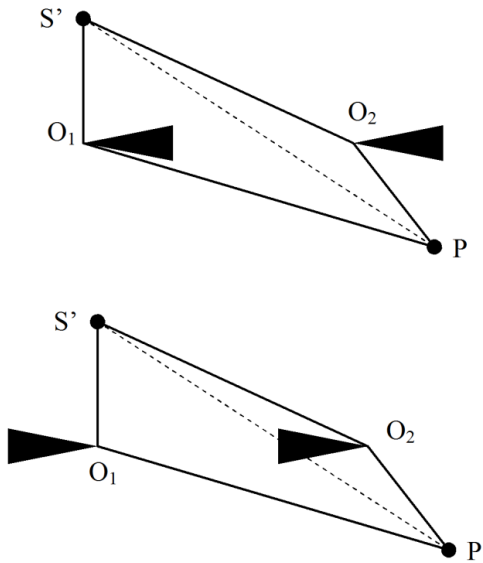
図-3.17 に示すように、無限大障壁を仮想開口面の4辺を延長した直線で9分割する。ここで、領域  $\Gamma_i, \Gamma_j, \Gamma_k$  からの音の寄与を  $D_{ijk}$  と表す。このとき全領域を通して到達するエネルギーに対す



(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-3.16 スリット法による反射音の扱い方

る矩形開口面 (領域  $\Gamma_0$ ) 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 [44]。

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

ここで、 $D_0$  は領域  $\Gamma_0$  を透過する音の寄与、 $D_{1-8}$  は領域  $\Gamma_1$  から  $\Gamma_8$  ( $\Gamma_0$  以外) を透過する音の寄与

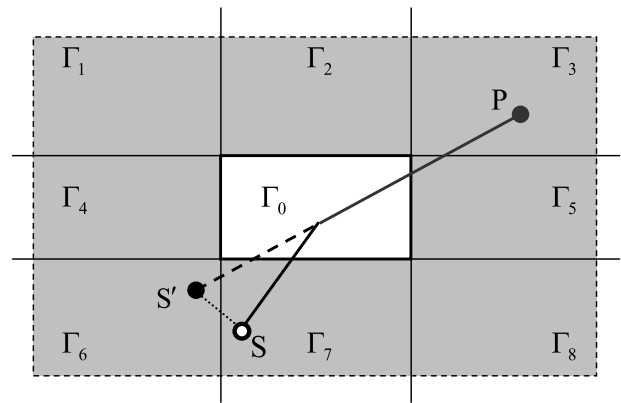


図-3.17 矩形面 (領域  $\Gamma_0$ ) における反射音の計算

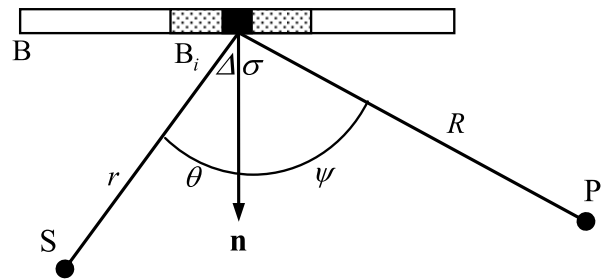


図-3.18 散乱反射法

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。

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

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

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

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

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  $\Delta L_{\text{refl,semi}}$  で、式 (3.33)、式 (3.34) を用いて計算する。

### 3.5.2 散乱反射法

鋸桁構造の高架裏面反射音のように凹凸のある反射面を 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 [45, 46]。図-3.18 に示すように、自由空間中に点音源 S、予測点 P、反射面 B を考え、B の要素  $\Delta\sigma$  の法線ベクトルを  $\mathbf{n}$  とする。P における反射面全体からの反射音の騒音レベル  $L_{A,\text{refl}}$  [dB] を次式で計算する。

$$\begin{aligned} L_{A,\text{refl}} &= L_{WA} - 16 \\ &+ 10 \log_{10} \int_B \frac{\cos \theta \cdot \cos \psi}{r^2 R^2} d\sigma + \Delta L_{\text{abs}} \end{aligned} \quad (3.41)$$

ここで、 $\theta$  及び  $\psi$  は散乱反射面への音の入射角及び反射角 [°],  $r$  及び  $R$  は音源及び予測点から B の微小部分  $\Delta\sigma$  の中心までの距離 [m],  $\Delta L_{\text{abs}}$  は反射面の吸音による補正量 [dB] である。

式 (3.41) を数値積分するために、反射面 B をある大きさの  $N$  個の反射面  $B_i$  ( $B_i \in B, i = 1 \sim N$ ) に分割し、 $L_{A,\text{refl}}$  を次式で計算する。

$$L_{A,\text{refl}} = L_{WA} - 16 + 10 \log_{10} \sum_{i=1}^N \frac{S_i \cos \theta_i \cdot \cos \psi_i}{r_i^2 R_i^2} + \Delta L_{\text{abs}} \quad (3.42)$$

ここで、 $S_i$  は  $B_i$  の面積 [m<sup>2</sup>],  $r_i, R_i, \theta_i, \psi_i$  はそれぞれ  $B_i$  の中心に対する  $r, R, \theta, \psi$  である。

注記 1: 反射角  $\psi$  が 90° に近づくと、 $\cos \psi \approx 0$  となり、 $\psi$  方向に伝搬する音の音響エネルギーが 0 に近づき、誤差が大きくなるので注意を要する。

注記 2: 式 (3.41), 式 (3.42) は自由空間での計算式であるが、音源が路面上にある場合 (半自由空間にある場合) は、計算式の定数 “-16” は “-13” となる。

注記 3: 矩形の散乱反射面での反射計算法として、見込み角を用いた方法がある [47]。

### 3.5.3 吸音に関する補正量 $\Delta L_{\text{abs}}$

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

$$\Delta L_{\text{abs}} = 10 \log_{10}(1 - \alpha_{A,\text{RTN}}) \quad (3.43)$$

ここで、 $\alpha_{A,\text{RTN}}$  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  $\alpha_{A,\text{RTN}}$  が得られている場合はその値を用いる。また、表-3.6 に示す吸音材の平均斜入射吸音率の判定基準値 [48] を用いてもよい。

### 3.6 気象の影響

これまで示した伝搬計算法は無風で均質な大気における計算法であるが、現実には、風、大気温度の温度勾配、大気の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。数値解析結果によれば、風の影響により遮音壁の効果が変化し、無風時ほどの効果が得られない場合がある [38]。

風の影響による  $L_{A\text{eq}}$  の変化量  $\Delta L_{\text{m,line}}$  [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。

$$\Delta L_{\text{m,line}} = \begin{cases} 0.88 \log_{10} \left( \frac{l}{15} \right) \cdot U_{\text{vec}} & l > 15 \\ 0 & l \leq 15 \end{cases} \quad (3.44)$$

表-3.6 材料の吸音率の目安

材料	$\alpha_{A,\text{RTN}}$
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-3.7 風の影響による  $L_{A\text{eq}}$  の変化量  $\Delta L_{\text{m,line}}$

ベクトル風速 $U_{\text{vec}}$ [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、 $l$  は道路の中心から予測点までの水平距離 [m],  $U_{\text{vec}}$  はベクトル風速 [m/s] で、 $U_{\text{vec}} = U \cos \theta$  ( $U$  は平均風速 [m/s],  $\theta$  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、 $U_{\text{vec}}$  は順風の場合を正 (+), 逆風の場合を負 (-) とする。

式 (3.44) により求めた  $L_{A\text{eq}}$  の変化量  $\Delta L_{\text{m,line}}$  (0.5 dB 間隔で丸めた数値) を表-3.7 に示す。

注記: 式 (3.44) 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 [49] 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] 福島昭則, 坂本慎一, 安田洋介, “厚みのある障壁での回折計算の実用計算法に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2018-35 (2018.7).
- [26] 福島昭則, 坂本慎一, 安田洋介, 横田考俊, “道路交通騒音の予測モデル “ASJ RTN-Model 2018” —伝搬計算方法—,” 音講論集, pp. 1397-1400 (2019.3).
- [27] 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).
- [28] 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).
- [29] 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).
- [30] 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).
- [31] 福島昭則, 一木智之, “変則的な二重回折音場の数値解析と実用計算モデルの検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2017-22 (2017.6).
- [32] 坂本慎一, 安田洋介, 福島昭則, “厚みのある障壁による回折音場の実用計算方法に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2017-23 (2017.6).
- [33] 福島昭則, 坂本慎一, “張り出し型遮音壁の騒音低減効果の実用計算方法に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2019-12 (2019.2).
- [34] 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).
- [35] 三宅龍雄, 上坂克巳, 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).
- [36] 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).
- [37] 岡田恭明, 吉久光一, 横田考俊, 岩瀬昭雄, “地表面と風との複合効果に着目した音響伝搬実験,” 騒音制御, 39, 120–128 (2015.8).
- [38] 横田考俊, 松本敏雄, 福島昭則, “道路交通騒音に及ぼす気象の影響—風の影響による地表面効果及び回折補正量の変化に関する波動解析—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2019-16 (2019.3).
- [39] 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).
- [40] 福島昭則, 一木智之, 太田達也, 中尾剛士, 岩吹啓史, 長船寿一, “排水性舗装(高機能舗装 I 型)路面の音響特性と騒音伝搬特性,” 音響学会騒音・振動研資, N-2015-16 (2015.3).
- [41] 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).
- [42] K. Yamamoto, M. Yamashita and T. Mukai, “Revised expression of vehicle noise propagation over ground,” *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 15, 233–241 (1994).
- [43] 吉久光一, 那須猛士, 高木興一, 橘 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).
- [44] 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).
- [45] ハイリッヒ 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.
- [46] 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).
- [47] 福島昭則, 一木智之, 松本敏雄, “散乱反射法による高架裏面反射音の予測における条件設定に関する検討,” 音響学会騒音・振動研資, N-2018-41 (2018.8).
- [48] 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」.
- [49] 橘 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ー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, 50]。なお, 二輪車については小型車類の値を, 大型バスは大型車類の値をそれぞれ用いることとする。

##### 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

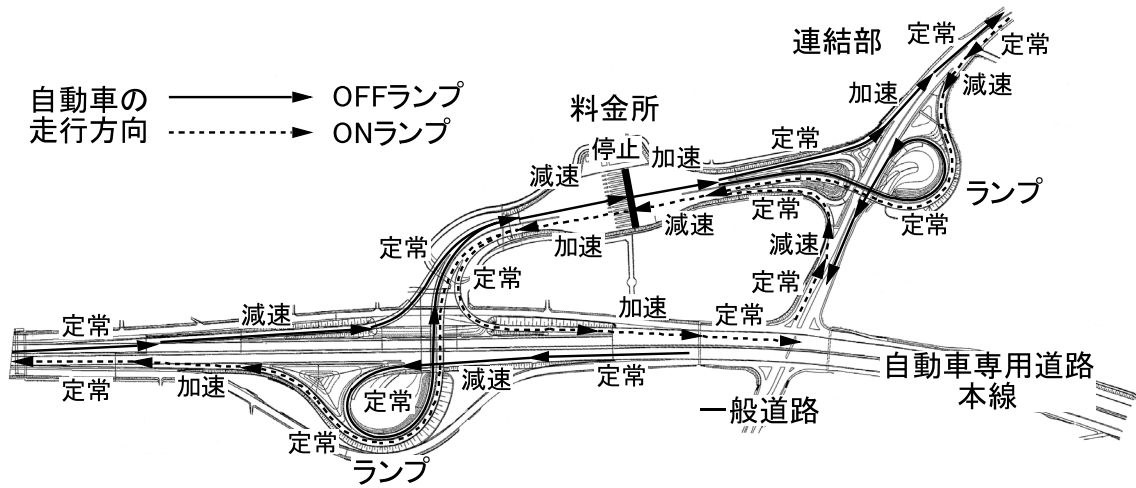


図-4.1 インターチェンジ部、連結部における走行状態

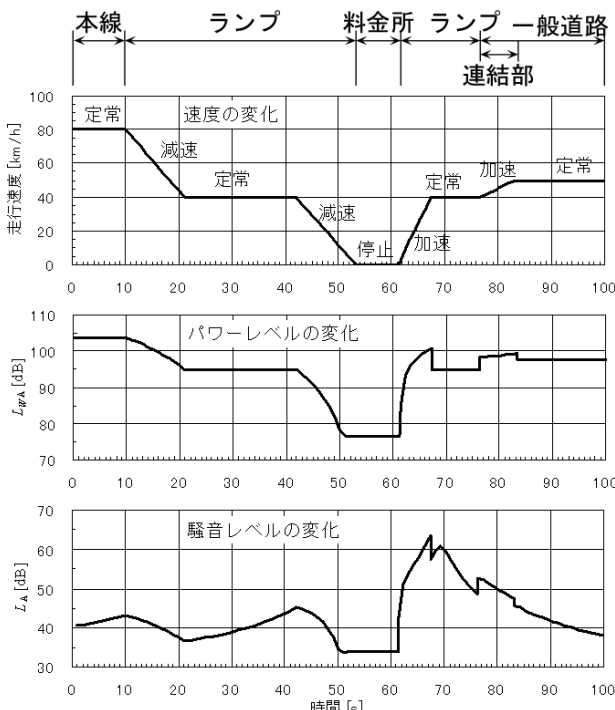


図-4.2 料金所付近のユニットパターンの概念

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		
		中型車	大型車	1.2
加速時	1.8	1.3	1.1	1.2
減速時	-1.0	—	—	-0.8

(単位：[m/s<sup>2</sup>])

車の停止時間とし、表-4.2に示す値を用いる [51]。

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 [52]。

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])

### 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章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  $0.4 \text{ m/s}^2$ 、減速時は  $-1.3 \text{ m/s}^2$ ) 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、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 (付属資料 A7 参照)。

### 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、停止を頻り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 [53]。

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、車両の

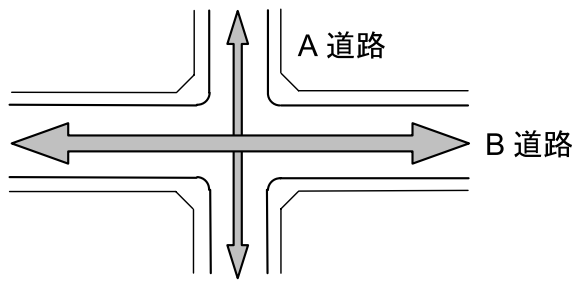


図-4.3 信号交差点部の道路

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実用計算法や簡易計算法を用いる [54]。これらの計算方法の概要を付属資料 A7 に示す。

#### 4.4 トンネル坑口周辺部

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する。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・拡散音が坑口に設定した仮想面音源から放射されると仮定する [55]。

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 [56]。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）。

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

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]、 $\Delta L_{dif}$  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]、 $\Delta L_{grnd}$  は地表面効果による減衰に関する補正量 [dB] である。

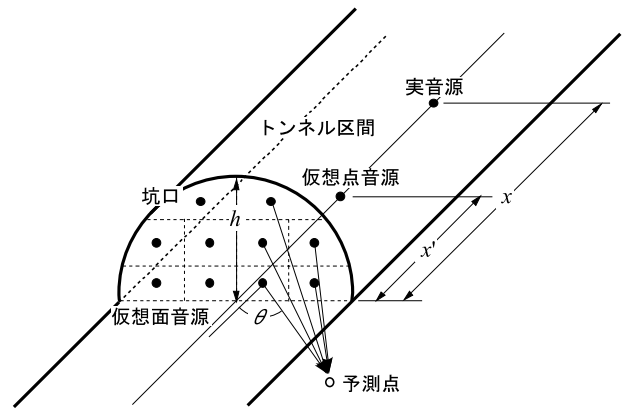


図-4.4 トンネル内の実音源と仮想音源の配置

表-4.3 仮想面音源の指向性に関するパラメータ

壁面状況	$n_a$	$n_b$
吸音対策なし	1.6	0.1
側壁吸音対策	—	—
全周吸音対策	—	—

$L_{A,TR}$  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指向性点音源に置換し、各点音源からの寄与  $L_{A,TR,i}$  の合成として求める。

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

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

$$n = n_a (1 - e^{-n_b x}) \quad (4.5)$$

$$L'_{WA,R} = L_{WA,R} - 10 \log_{10} N \quad (4.6)$$

ここで、 $r_i$  [m] は  $i$  番目の仮想面音源から予測点までの直達距離、 $\theta_i$  [rad] は  $i$  番目の仮想面音源から予測点を結ぶベクトルと道路の進行方向がなす角度、 $n$  は仮想面音源の指向係数で、坑口から実音源までの実距離  $x$  [m] によって式 (4.5) で計算する [57]。 $n_a$  及び  $n_b$  は表-4.3 の値を用いる。また、 $N$  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)  $x'$  [m] は、トンネル内の吸音に関するパラメータ  $a$  と坑口から実音源までの実距離  $x$  によって次式で計算する。

$$x' = ax \tag{4.7}$$

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。

$$a = \frac{\sum_{i=1} (a_i x_i)}{\sum_{i=1} x_i} \tag{4.8}$$

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。

$$L_{WA,R} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{A,T} - P_{A,D}}{10^{-12}} \right) \tag{4.9}$$

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。

$$P_{A,T} = \frac{P_A}{2} \left\{ 1 - \frac{ax}{\sqrt{h^2 + (ax)^2}} \right\} \tag{4.10}$$

$$P_{A,D} = \frac{P_A}{2} \left\{ 1 - \frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} \right\} \tag{4.11}$$

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。

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

$$P_{A,D} = \frac{P_A}{\pi} \tan^{-1} \left\{ \frac{wh}{\sqrt{x^4 + (w^2 + h^2) \cdot x^2}} \right\} \tag{4.13}$$

#### 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-4.4 の値を用いる。

表-4.4 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
吸音対策なし	0.04	0.1
側壁吸音対策	—	0.4
全周吸音対策	0.6	—

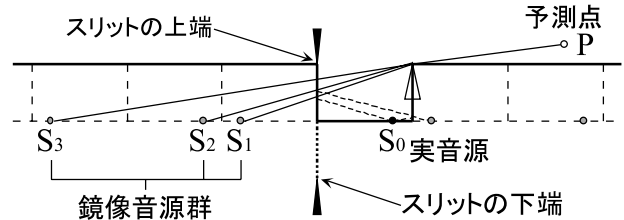


図-4.5 スリット法における掘割部の実音源と鏡像音源群

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 [55, 56]。

#### 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 A6 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 [58] 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。

$$L_A = 10 \log_{10} \left[ 10^{L_{A,0}/10} + \sum_{i=1}^n \left\{ (1 - \alpha_{A,RTN})^i \cdot 10^{L_{A,i}/10} \right\} \right] \quad (4.14)$$

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。

$$L_{A,i} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{cor,i} + \Delta L_{refl,slit,i} \quad (4.15)$$

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束は遅いので適当な回数でうち切つてよいが、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)。

$$L_A = L_{WA,su} + 10 \log_{10} \left\{ a + (1 - a) \cos^n(\theta) \phi \right\} - 8 - 20 \log_{10} r \quad (4.16)$$

$$n(\theta) = n_{\max} \sin^\beta \theta \quad (4.17)$$

ここで、座標系は図-4.6 に示すようにとり、 $L_{WA,su}$  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 (4.18) によって計算す

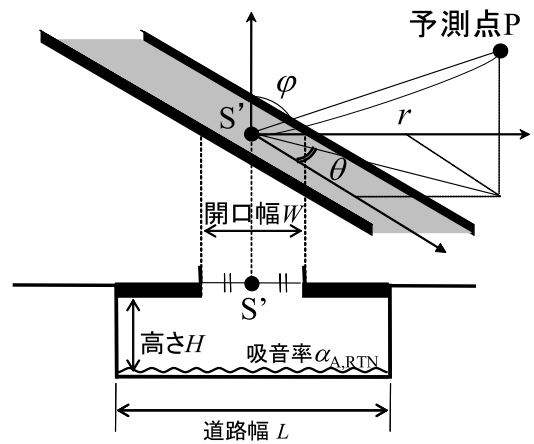


図-4.6 指向性点音源モデルにおける計算座標系

る。また、 $a$ 、 $n_{\max}$ 、 $\beta$  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。

$$L_{WA,su} = L_{WA} + \Delta L_{dim,su} + \Delta L_{dir,su} + \Delta L_{abs,su} + \Delta L_{louver} \quad (4.18)$$

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]、 $\Delta L_{louver}$  は開口部に吸音ルーバ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 [59]。

$$\Delta L_{dim,su} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{W}{2H} + \frac{\pi WH}{3L^2} + \frac{(L - W)(1 - \alpha_{A,RTN})W}{\{L\alpha_{A,RTN} + (1 - \alpha_{A,RTN})W\}L} \right\} \quad (4.19)$$

$a$ 、 $n_{\max}$ 、 $\beta$  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-4.5 に示す値が構造寸法別に示されている [60, 61]。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 [62]。 $\Delta L_{abs,su}$  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

表-4.5 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			
			$a$	$n_{max}$	$\beta$	$\Delta L_{dir,su}$ [dB]	$a$	$n_{max}$	$\beta$	$\Delta L_{dir,su}$ [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%)	0.13	1.5	2.0	1.62	0.03	1.9	1.1	2.77
		7.5 m (37.5%)								
		10 m (50%)	0.13	1.2	2.0	1.40	0.03	2.1	0.9	3.15
30 m	1 m	5~7.5 m (16.7~25%)	0.15	1.6	2.2	1.58	—	—	—	—
		10 m (33%)	0.15	1.2	2.0	1.36	—	—	—	—
		15 m (50%)	0.15	1.0	2.0	1.20	—	—	—	—
	4 m	5~7.5 m (16.7~25%)	0.12	1.6	2.2	1.65	—	—	—	—
		10 m (33%)	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

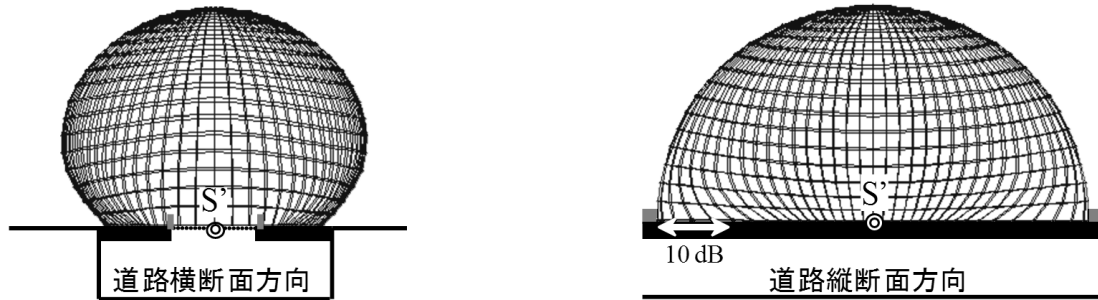


図-4.7 騒音放射指向性の例 (道路幅 20 m, 張り出し厚さ 4 m, 開口幅 7.5 m, 内部反射性)

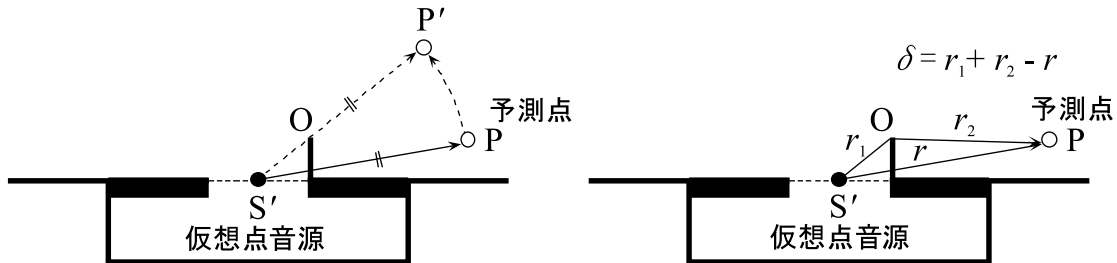


図-4.8 遮音壁による回折の計算方法

る。表-4.5 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。 $\Delta L_{louver}$  の値は、吸音ルーバ  
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 [63]。

(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。

$$L_A = L'_A + \Delta L_{dif, sb} \quad (4.20)$$

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 S'—回折点 O—予測点 P の位置から決まる  
回折経路差  $\delta$  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。この考え方に基づいて放射指向性を  $\varphi$  の  
関数で与える方法が検討されている [64]。

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

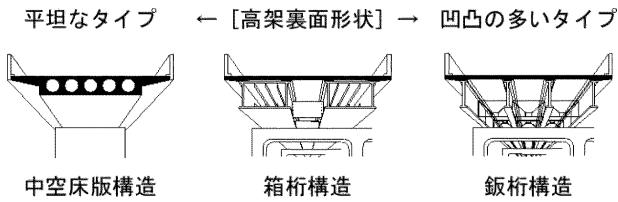


図-4.9 高架裏面の形状

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。中空床版構造のように凹凸が小さく平坦と見なせる高架裏面の場合はスリット法で、鋳桁構造のような凹凸の程度が無視できない場合には散乱反射法による [46, 65]。ここでは高架・平面併設道路について、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の計算方法について述べる。複層高架部についても高架裏面反射音の計算の考え方は高架・平面併設道路と同じである。なお、平面道路の両側道路端に特に高い遮音壁が設置された場合には、遮音壁と高架裏面及び路面での多重反射により複雑な音場になるため、いずれの方法も適用できない。このような場合には、波動数値解析 (付属資料 A6 参照) により計算する。

注記 1: 「凹凸が小さく平坦と見なせる高架裏面」には、図-4.9 の中空床版構造のような高架裏面の他に、平板タイプの高架裏面吸音板が設置されている場合がある。

注記 2: 集約料金所のような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。そのような場合のエネルギーベースの騒音予測として境界エネルギー積分法を用いた方法が報告されている [66]。

注記 3: 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討する場合には有効な方法である。

#### 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 における騒音レベル  $L_A$  [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。

$$L_A = 10 \log_{10} (10^{L_{A,0}/10} + 10^{L_{A,1}/10} + 10^{L_{A,2}/10} + 10^{L_{A,3}/10}) \quad (4.21)$$

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

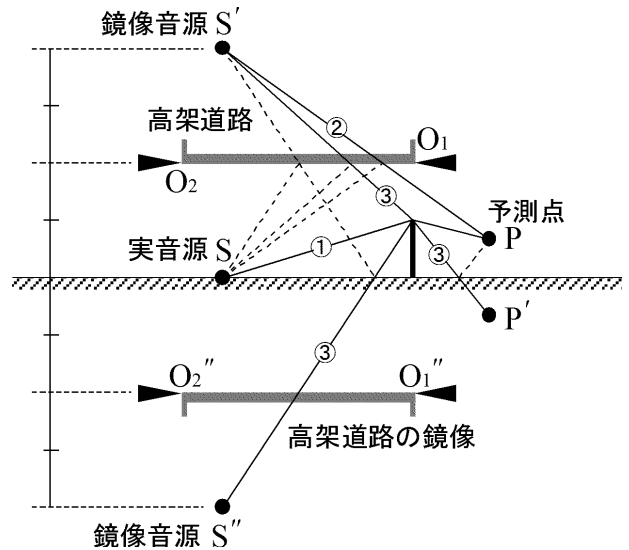


図-4.10 スリット法での伝搬経路

S'P) の騒音レベル [dB] である。このうち、高架裏面が関係した反射音  $L_{A,1}$ ,  $L_{A,2}$  及び  $L_{A,3}$  は次式で計算する。

$$L_{A,i} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{dif, sb, i} + \Delta L_{refl, slit, i} + \Delta L_{abs} \quad i = 1 \sim 3 \quad (4.22)$$

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 (3.5.1 項参照)。なお、本来は遮音壁とスリットでの二回回折を扱う必要があるが、ここでは便宜上、 $\Delta L_{dif, sb, i}$  の計算ではスリットは無視し、 $\Delta L_{refl, slit, i}$  の計算では遮音壁は無視する。更に、高架裏面吸音板が設置されている場合には吸音に関する補正量  $\Delta L_{abs}$  により吸音による効果を補正する (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。そのため、計算では、各車線の中心に設定し、直接音の計算のような代表車線に集約することはしない。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 (4.21) の  $L_{A,3}$  を省略し、 $L_{A,1}$  及び  $L_{A,2}$  は式 (4.22) で  $\Delta L_{dif, sb, 1} = 0$  及び  $\Delta L_{dif, sb, 2} = 0$  として計算する。

注記: 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。

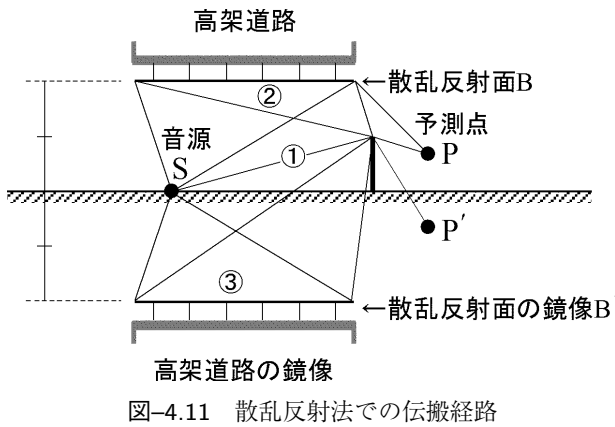


図-4.11 散乱反射法での伝搬経路

### 4.6.3 散乱反射法による計算方法 [47]

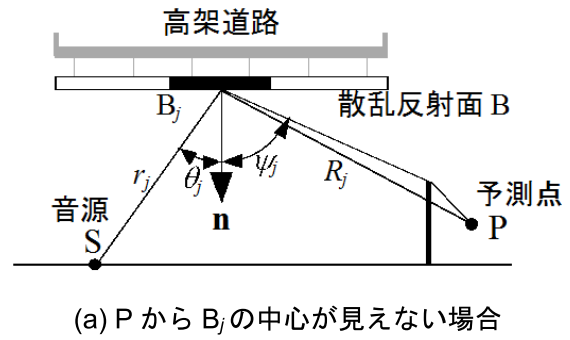
#### (1) 計算式

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射面 B 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 (SBP)、③裏面地面反射音 (SBP' 及び SB'P) の主要な 4 経路を考える。予測点 P における騒音レベル  $L_A$  [dB] は、式 (4.21) によって計算する。散乱反射法では、反射面 B を幾つかの要素  $B_j$  ( $j = 1 \sim N$ ) に分割し、式 (4.21) の  $L_{A,1}$ 、 $L_{A,2}$  及び  $L_{A,3}$  を次式で計算する (図-4.12 参照)。

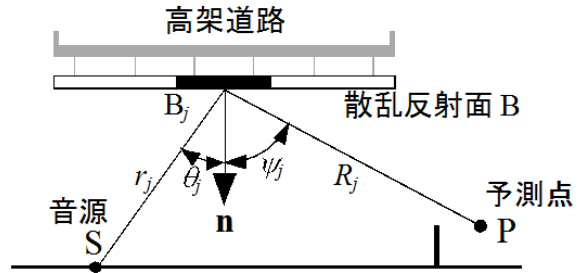
$$L_{A,i} = L_{WA} - 13 + 10 \log_{10} \sum_{j=1}^N \frac{S_j \cos \theta_j \cdot \cos \psi_j D_j \rho_j}{r_j^2 R_j^2} \quad i = 1 \sim 3 \quad (4.23)$$

$$D_j = 10^{\Delta L_{\text{dif, sb, } j} / 10} \quad (4.24)$$

ここで、 $S_j$  は散乱反射面の分割要素  $B_j$  の面積 [m<sup>2</sup>]、 $\theta_j$  及び  $\psi_j$  は  $B_j$  の中心に対する入射角及び反射角 [°]、 $r_j$  は音源 S から  $B_j$  の中心までの距離 [m]、 $R_j$  は  $B_j$  の中心から予測点 P までの距離 [m]、 $\Delta L_{\text{dif, sb, } j}$  は  $B_j$  の中心に点音源を考えた場合の遮音壁に対する一回回折の回折補正量 [dB] である。なお、反射角  $\psi_j$  は要素  $B_j$  の法線ベクトル  $\mathbf{n}$  と伝搬経路が成す角度で、図-4.12 に示すようにとる。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 SBP' の経路のみとなる。実際の計算は、式 (4.21) の第 4 項 ( $L_{A,3}$  に関係する項) を省略し、第 3 項の  $L_{A,2}$  は式 (4.23) で  $D_j = 1$  として計算する。なお、音源は仮想的車線 (1.3.2 項 (2) 参照) に集約してよい。



(a) P から  $B_j$  の中心が見えない場合



(b) P から  $B_j$  の中心が見える場合

図-4.12 散乱反射法における反射角  $\psi$  のとり方

表-4.6 高架裏面反射音の幾何的計算条件の設定

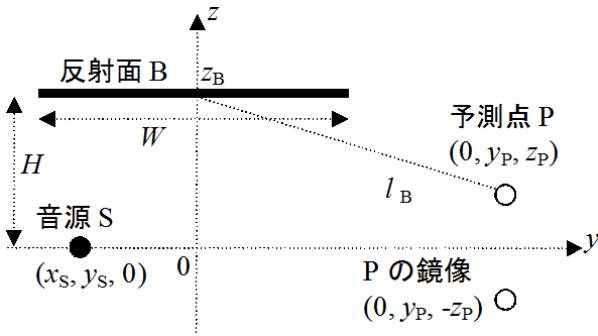
項目	実用ケースの条件
反射計算において考慮する音源の範囲 $x_S$	$x_S = x_P - (1.5l_B + 70) \sim x_P + (1.5l_B + 70)$
反射計算において考慮する反射面範囲 $x_B$	$x_B = x_S + \Delta x_B \sim x_P - \Delta x_B$ $\Delta x_B = (H + 15)$
分割要素 $B_i$ の大きさ	一辺が $H/4$ 以下

#### (2) 散乱反射法の計算条件の設定

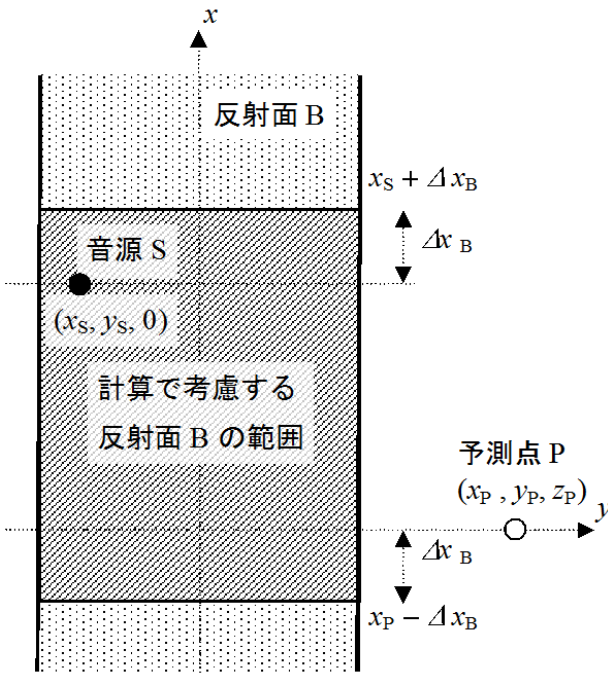
平面道路と高架道路が並行しており道路断面が一樣と見なせる場合には、高架裏面反射音の計算は表-4.6 及び図-4.13 の範囲の離散点音源と反射面を考え、高架裏面高さ  $H$  [m] の 1/4 以下を一辺とする四角形で分割すればよい。平面道路と高架道路が斜交している場合は、この方法は使用できない。このような場合の  $L_{Aeq}$  を計算するときは、3次元での騒音計算により高架裏面反射音のユニットパターン (式 (4.21) の  $L_{A,1} \sim L_{A,3}$  の合成値) を計算し、その最大値から -15 dB 程度までの範囲については式 (4.21) により直接音  $L_{A,0}$  と合成し、それ以外の範囲については  $L_{A,1} \sim L_{A,3}$  を省略してユニットパターンを求め、 $L_{AE}$  を計算し  $L_{Aeq}$  を算出する。

注記：直接音  $L_{A,0}$  については、1.3.2 項 (3) の範囲で計算する。





(a) 断面配置図



(b) 平面配置図

図-4.13 散乱反射法の計算条件の設定

文 献

[50] 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).

[51] 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.

[52] 松本敏雄, 吉田元臣, 石川賢一, 中尾剛士, 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・振動研資, N-2014-17 (2014.3).

[53] 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).

[54] 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).

[55] 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).

[56] 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).

[57] 坂本慎一, 松本敏雄, 船橋 修, “トンネル坑口周辺部における騒音の予測計算と現場実験の比較,” 音響学会騒音・振動研資, N-2019-17 (2019.3).

[58] 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, 834-838 (2004).

[59] 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).

[60] 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).

[61] 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).

[62] 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).

[63] 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).

[64] 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).

[65] 阿部菜摘, 関根秀久, 安田洋介, “3次元波動数値解析を用いた I 桁構造高架道路裏面での音響反射の検討,” 建築学会学術講演梗概集 (環境工学 I), pp. 361-362 (2018.9).

[66] 福島昭則, 一木智之, 塚本 学, 玉川 大, “境界エネルギー積分法を用いた高架裏面反射音の予測,” 音講論集, pp. 739-740 (2002.9).

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 [67, 68]。

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。

(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。

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

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		
	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	38.9
	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	34.8
	I桁以外	35.9	

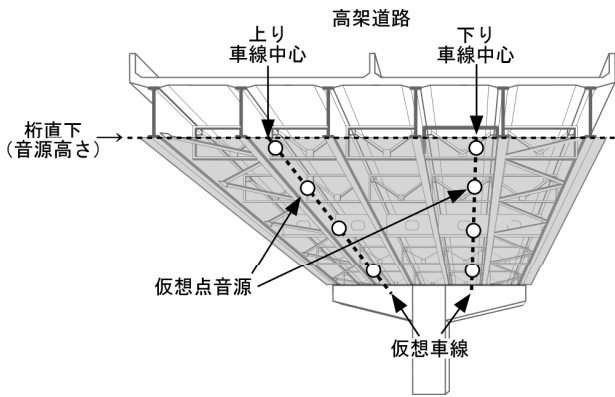


図-5.1 高架構造物音の仮想点音源の配置

れ中央に仮想車線を設定し、その線上に離散的に仮想点音源を設定する (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 1：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。  
 注記 2：その他の形式の橋梁については現地調査 (参考資料 R5.2 参照) を含む個別の検討が必要である [69]。

**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]、 $\Delta L_{dif}$  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] で、表-5.1 の鋼鈹桁や I 桁での回折では  $\Delta L_{dif, sb}$  を、鋼箱桁、箱桁、中空床版桁での回折では  $\Delta L_{dif, rw}$  を用いる (3.2.2 項参照)。

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ため、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  $\Delta L_{dif}$  の計算式は、回折計算チャート [23, 24] 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

[67] 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).

[68] 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).

[69] 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。

### 6.1 単独建物周辺における騒音

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, 建物の側方回折は考慮せず, 上方回折のみを考慮する 1 パスの方法を示す。

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を考慮する必要がある。そこで, 有限長遮音壁の回折計算方法 (3.2.2 項 (3) 参照) 及び築堤・厚みのある障害物の回折計算方法 (3.2.4 項参照) を応用し, 直接音に回折音の寄与を合成して  $L_{A0,i}$  を計算する (図-6.1(a) 参照)。

ユニットパターンの計算は次式による。

$$L_{A0,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \log_{10} r_{0,i} + \Delta L_{\text{bldg},i} \quad (6.1)$$

ここで,  $L_{A0,i}$  は音源  $S_i$  からの直接音 (あるいは上方からの回折音) 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] である。また,  $\Delta L_{\text{bldg},i}$  は単独建物の回折補正量 [dB] であり,  $r_{0,i}$  は, 音源  $S_i$  から予測点 P までの直達距離 [m] である。

単独建物の回折補正量  $\Delta L_{\text{bldg},i}$  は, 図-6.1(b) 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 (3.9) で計算した  $\Delta L_{\text{dif,tb}}$  を  $\Delta L_{\text{bldg}}$  とする。交わらない場合には建物がないものとして  $\Delta L_{\text{bldg}} = 0$  とする。

注記 1: 1 パスの方法でユニットパターンを計算すると, 伝搬経路上に建物の端部が位置する前後において騒音レベルが大きく変化する。そのため, ユニットパターンを正確に求めるときには使用できない。そのような場合にも適用可

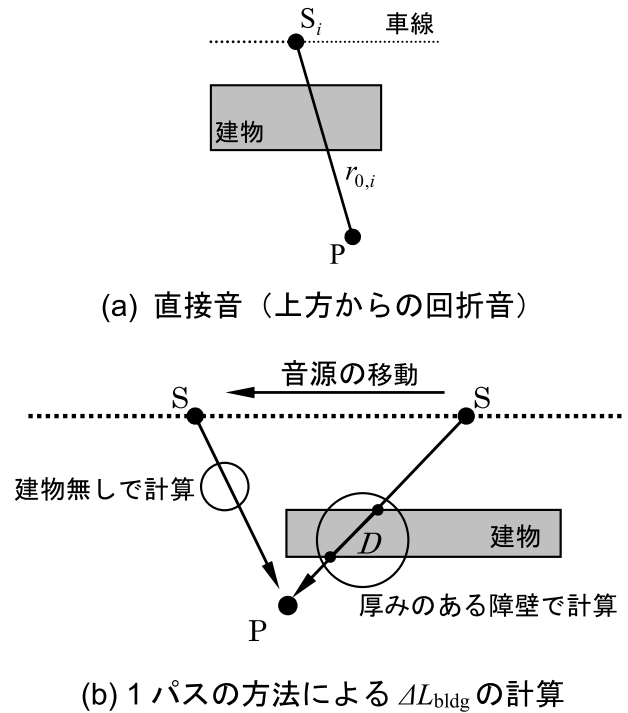


図-6.1 単独建物周辺の騒音の計算

能な方法として, 上方回折と側方回折を考慮した計算方法が文献 [70, 71] に示されている。

注記 2: 1 パスの方法による  $L_{Aeq}$  と, 上方回折及び側方回折を考慮した計算方法による  $L_{Aeq}$  は, 特別な場合を除いてほぼ等しいと考えてよい [71]。

### 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, 次の実用計算法を示す。ただし, ここで示す計算方法は, 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大きく異なる住宅地には適用できない。また, 建物群の隣棟間隔が広いなどの理由から, 建物の側方回折と側面反射による影響をより詳細に取り扱う場合や, 音源位置による騒音レベルの違いを検討する等ユニットパターンをより正確に求める場合には, 付属資料 A8 に示す詳細計算法で計算することを推奨する。

#### 6.2.1 実用計算法 [72]

平面道路に面して戸建て住宅群が立地している場合, 住宅群の遮蔽効果によって建物群背後における騒音は減衰する。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  $L_{A,i}$  は次式で計算する。

$$L_{A,i} = L_{WA,i} - 8 - 20 \log_{10} r_i + \Delta L_{B,i} \quad (6.2)$$

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],  $\Delta L_{B,i}$  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。 $\Delta L_{B,i}$  は次式で計算する。以下、音源位置に関する添え字  $i$  は省略する。

$$\begin{aligned} \Delta L_B &= p \cdot \Delta L_{BB} + q \\ p &= 0.017(H - h_P - 8.8) + 1 \\ q &= -0.063(H - h_P - 8.8) \end{aligned} \quad (6.3)$$

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。 $\Delta L_{BB}$  は  $H$  が 10 m,  $h_P$  が 1.2 m の場合の補正量 [dB] であり、次式で計算する。

$$\begin{aligned} \Delta L_{BB} &= 10 \log_{10} \left\{ b_0 + b_1 \cdot \frac{\phi}{\Phi} + b_2 \cdot 10^{-0.0904\xi \cdot d_{SP}} \right\} \end{aligned} \quad (6.4)$$

ここで、 $b_0 = 0.046$ ,  $b_1 = 1.01$ ,  $b_2 = 0.554$  である。

式 (6.4) の  $\frac{\phi}{\Phi}$  の項は、音源  $S$  から予測点  $P$  へ伝搬する音の直接音成分を示し、図-6.2、図-6.3 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、 $\Phi$  は建物群がない場合の見通し角 [rad],  $\phi$  は建物群が立地している場合の見通し角 [rad] である。

式 (6.4) の  $10^{-0.0904\xi \cdot d_{SP}}$  の項は、音源  $S$  から予測点  $P$  に伝搬する音の、直接音以外の成分を示す。図-6.4 に示すように、 $d_{SP}$  は音源  $S$  と予測点  $P$  の水平距離 [m] であり、また、音源  $S$  と予測点  $P$  の周辺に幅 15 m の長方形を想定し、その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の比）を  $\xi$  とする。

なお、式 (6.3)、式 (6.4) 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を想定した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 20~50 m 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 4~10 m、予測点の高さ  $h_P$  は 1.2~9.2 m であることから、各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

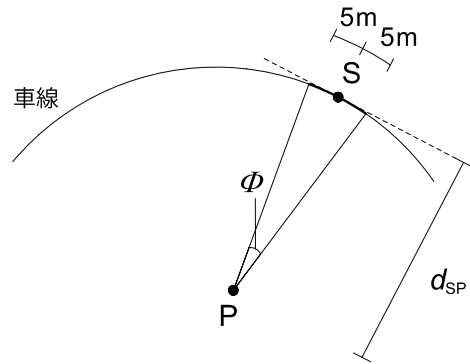


図-6.2 建物群がない場合の見通し角  $\phi$

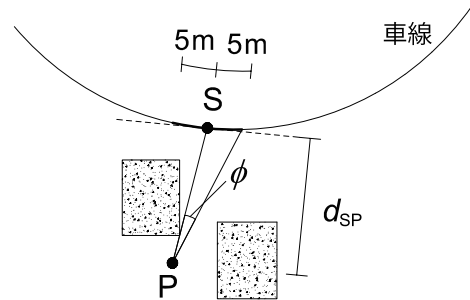


図-6.3 建物群が立地している場合の見通し角  $\phi$

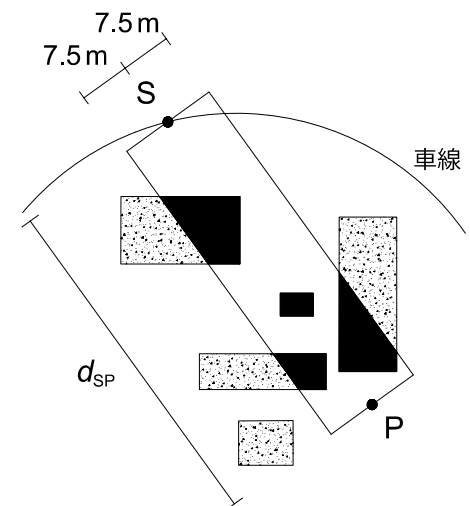


図-6.4 音源と予測点の水平距離  $d_{SP}$ 、及び幅 15 m、長さ  $d_{SP}$  の長方形内の建物密度  $\xi$

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 [73]。

### 6.2.2 実用計算法における計算の省略 [74, 75]

建物群による騒音の減衰に関する補正量  $\Delta L_{BB}$  を求める式 (6.4) は、定数項、直接音成分の項、及び直接音以外の成分の項（以降  $E_{oth}$  と表す）の和で構成されている。このうち  $E_{oth}$  の計算は、騒音予測の対象地域において建物が概ね均等に立地している場合、 $\Delta L_{BB}$  の誤差が 0.5 dB を超えないと

いう条件で、次の三つの判断手順で省略できる。

### (1) 音源と予測点の水平距離による判断

音源 S と予測点 P の水平距離  $d_{SP}$  が 254 m 以上の上のときには、建物密度  $\xi$  の計算を省略して  $E_{oth}$  を 0 としても良い。

この計算省略は  $d_{SP}$  だけで判断できるため、実施が容易である。

### (2) 直接音成分を踏まえた判断

音源 S と予測点 P の水平距離  $d_{SP}$  が 254 m を超えないときには、直接音成分を求めるためのパラメータ  $\phi$  を使い、予測点 P から音源 S までの計算省略可能な最短の水平距離  $d_{SP}^*$  [m] を次式で計算し、

$$d_{SP}^* = -234 \left( \frac{\phi}{\Phi} \right)^3 + 659 \left( \frac{\phi}{\Phi} \right)^2 - 386 \left( \frac{\phi}{\Phi} \right) + 220 \quad (6.5)$$

$d_{SP}$  が  $d_{SP}^*$  以上であれば、 $\xi$  の計算を省略して  $E_{oth}$  を 0 としても良い。

この計算省略は、式 (6.5) を計算する必要があるものの、予測点から音源を見通せるか否かに関わらず判断できるため広く適用できる。

### (3) 予測点から音源が見通せない場合の判断

予測点に近い音源から建物群背後の騒音予測計算を開始し、順に遠い音源に対して騒音予測を行うという手順に従う場合は、予測点 P から音源 S が見通せない場合、すなわち見通し角  $\phi$  が 0 の場合に、 $\xi \cdot d_{SP}$  が 22.1 m 以上になれば、それ以遠の ( $d_{SP}$  が大きな) 音源に対する  $E_{oth}$  を 0 としても良い。

この計算省略によれば、上述(2)の  $d_{SP}^*$  に達する前に  $E_{oth}$  を 0 にすることができ、それ以遠の  $\phi = 0$  のすべての音源に対して  $\xi$  の計算を省略できる。上述(1)(2)に比べると煩雑な手順であるが、例えば手計算で特定の敷地の騒音予測を行う場合など、最大限に計算を省略したい場合に有用である。

注記：本章で示した予測計算方法は、建物群中を伝搬する音の寄与のみを考慮したものである。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を併せて考慮する必要がある。

## 文 献

[70] 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).

[71] 上坂克巳, 大西博文, 三宅龍雄, 高木興一, “道路に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).

[72] 藤本一寿, 森田建吾, “平面道路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 F2012 の簡易計算法—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2015-14 (2015.2).

[73] 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—一切妻屋根および高さ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).

[74] 穴井 謙, 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—一点音源モデルの簡易予測式 F2012\* の計算省略化—,” 音響学会騒音・振動研資, N-2017-08 (2017.2).

[75] K. Fujimoto and K. Anai, “Prediction of insertion loss of detached houses against road traffic noise using a point sound source model: Simplification of prediction formula F2012,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 38, 287–294 (2017).

## 付 属 資 料

### 付属資料 A1 自動車走行騒音の周波数特性

本付属資料では、参考資料 R5 の方法で算出したパワースペクトルの実測データ [15, 17] から求めた密粒舗装, 排水性舗装及び高機能舗装 II 型における自動車走行騒音の周波数特性を示す。

#### A1.1 密粒舗装のパワースペクトル

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] (2.2.2 項参照),  $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  における A 特性相対バンドパワーレベル [dB] である。密粒舗装における代表的な自動車走行騒音の  $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$  を表-A1.1 及び図-A1.1 に示す。

#### A1.2 排水性舗装のパワースペクトル

排水性舗装における自動車走行騒音の中心周波数  $f_{c,i}$  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舗設直後から 11 年までの測定値を基に設定したパワーレベル  $L_{WA}$

表-A1.1 密粒舗装における自動車走行騒音の A 特性相対バンドパワーレベル  $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$

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
50		-38.7
63	63	-30.2
	80	-32.7
	100	-29.8
125	125	-22.1
	160	-25.0
	200	-21.2
250	250	-14.0
	315	-17.2
	400	-15.4
500	500	-7.9
	630	-10.6
	800	-8.3
1,000	1,000	-3.0
	1,250	-8.0
	1,600	-9.3
2,000	2,000	-6.0
	2,500	-13.2
	3,150	-15.8
4,000	4,000	-13.4
	5,000	-21.7
	オーバーオール	0.0

表-A1.2 排水性舗装における自動車走行騒音の A 特性相対バンドパワーレベル  $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$

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
50		-36.4
63	63	-25.0
	80	-26.8
	100	-24.5
125	125	-17.0
	160	-19.8
	200	-17.5
250	250	-9.9
	315	-12.7
	400	-11.3
500	500	-4.5
	630	-7.7
	800	-7.7
1,000	1,000	-4.4
	1,250	-11.2
	1,600	-12.6
2,000	2,000	-9.1
	2,500	-16.0
	3,150	-18.9
4,000	4,000	-16.0
	5,000	-23.7
	オーバーオール	0.0

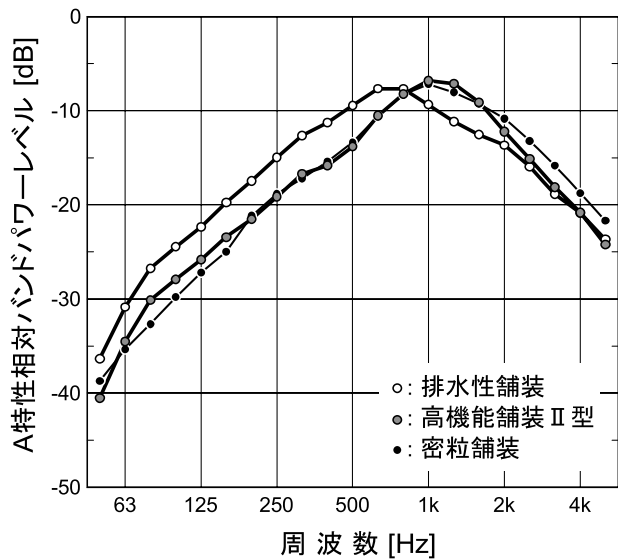


図-A1.1 舗装種別ごとの A 特性相対バンドパワーレベル (1/3 オクターブバンド)

[dB] (2.2.3 項参照) と表-A1.2 及び図-A1.1 に示す排水性舗装における代表的な自動車走行騒音の A 特性相対バンドパワーレベル  $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$  [dB] から、式 (A1.1) により与える。

### A1.3 高機能舗装 II 型のパワースペクトル

高機能舗装 II 型における自動車走行騒音の中心周波数  $f_{c,i}$  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舗設直後から 6 年までの測定値を基に設定したパワーレベル  $L_{WA}$  [dB] (2.2.4 項参照) と、表-A1.3 及び図-A1.1 に示す高機能舗装 II 型における代表的な自動車走行騒音の A 特性相対バンドパワーレベル  $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$  [dB] から、式 (A1.1) により与える。

注記 1：加速走行及び上り勾配走行時の自動車走行騒音の周波数特性については、エンジン負荷が大きいため、本付属資料で示す特性に比べて低域の音圧レベルが上昇することに注意する必要がある [11, 76-78]。

注記 2：最近の計測結果から、密粒舗装における走行騒音の周波数特性は、1 kHz 以下の領域で ASJ RTN-Model 2013 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 [15]。

注記 3：最近の計測結果から、排水性舗装及び高機能舗装 II 型における走行騒音の周波数特性は、調査箇所により異なるが、舗設直後からの経過年数による変化はほとんど見られないことから、舗設後 1 年未満のパワースペクトルを別に設定する必要はないことが明らかとなっている [17]。

### 文 献

[76] T. Iwase, K. Nakasaki, Y. Namikawa and T. Mori,

表-A1.3 高性能舗装 II 型における自動車走行騒音の A 特性相対バンドパワーレベル  $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$

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		-40.5
	63	-28.5	-34.5
	80		-30.1
125	100		-27.9
	125	-20.5	-25.8
	160		-23.4
250	200		-21.5
	250	-13.9	-19.1
	315		-16.7
500	400		-15.8
	500	-8.0	-13.8
	630		-10.5
1,000	800		-8.2
	1,000	-2.6	-6.8
	1,250		-7.1
2,000	1,600		-9.1
	2,000	-6.7	-12.2
	2,500		-15.1
4,000	3,150		-18.1
	4,000	-15.6	-20.8
	5,000		-24.2
オーバーオール		0.0	0.0

“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).

- [77] 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).
- [78] 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).

付属資料 A2 ハイブリッド自動車・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) 等の保有台数は, 平成 29 年度までにそれぞれ 750 万台, 9 万台となっており, この 5 年間で普及台数は約 3 倍にのび, 特に乗用車の保有台数に占める割合は 10% 以上にもなる [79]。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, 低速走行時の発生騒音が小さいことから, 車両の接近を知らせる人工音の発生装置「車両接近通報装置 (AVAS)」の搭載が義務化されている。

HV のモータ走行時における A 特性音圧レベル

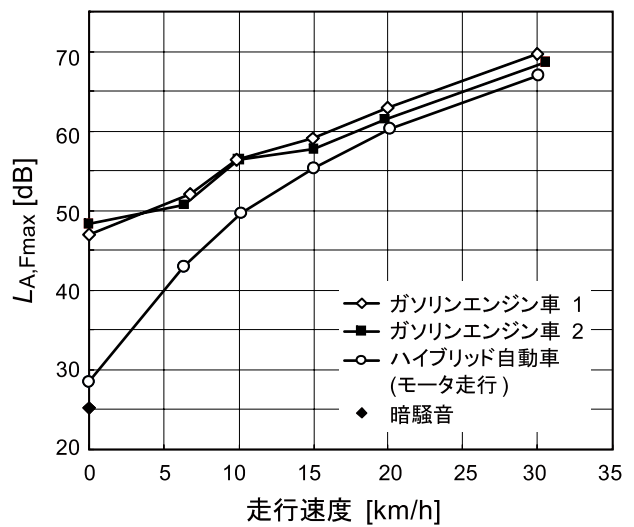


図-A2.1 ハイブリッド自動車とガソリンエンジン車の騒音レベルの比較

表-A2.1 ハイブリッド自動車とガソリンエンジン車のパワーレベル式 (密粒舗装)

	定常走行区間 (40 ≤ V ≤ 140 km/h)	測定台数
HV	$L_{WA} = 45.2 + 30 \log_{10} V$	451
GEV	$L_{WA} = 45.8 + 30 \log_{10} V$	2,527

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 離れた点におけるテスト走行実験の結果を図-A2.1 に示す [80]。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 程度以上低下していることが分かる。一方, 表-A2.1 は, 参考資料 R5 の方法で測定した 451 台の HV (2 台の EV も含む) の A 特性音圧レベルの最大値  $L_{A,Fmax}$  から求めた定常走行区間のパワーレベル式と GEV のそれである [15]。HV の測定台数は GEV の 18% 程度と少ないが, タイヤ/路面騒音が支配的となる速度 40 km/h 以上での HV のパワーレベルは, GEV に比べて 0.6 dB 低くなる。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付近やインターチェンジ部の料金所・連結部付近などで期待できると考えられ, そのような低速あるいは加速走行状態における測定データの蓄積が望まれる。

文 献

- [79] 自動車検査登録情報協会, “わが国の自動車保有動向,” <https://www.airia.or.jp/publish/statistics/> (参照 2018-12-1)。
- [80] H. Tachibana, “General view of road traffic noise problem,” *Proc. inter-noise 2010* (2010).

表-A3.1 密粒舗装における定数  $a$ , 係数  $b$  の値 (自動車専用道路, 加速区間)

車種分類	料金所付近 ( $1 \leq V \leq 80 \text{ km/h}$ )		連結部付近 ( $1 \leq V \leq 60 \text{ km/h}$ )		
	$a$	$b$	$a$	$b$	
	3 車種分類	小型車	84.8		82.3
	中型車	89.6	10	87.1	10
	大型車	92.5		90.0	
2 車種分類	小型車類	84.8	10	82.3	10
	大型車類	91.3		88.8	
	二輪車	87.7	10	85.2	10

表-A4.1 排水性舗装における定数  $a$ , 係数  $b$ ,  $c$  の値 (一般道路, 定常・非定常走行区間)

車種分類	定常走行区間 ( $40 \leq V \leq 80 \text{ km/h}$ )			非定常走行区間 ( $10 \leq V \leq 60 \text{ km/h}$ )		
	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$
	3 車種分類	小型車	41.0		7.3	76.6
	中型車	47.6	30	3.6	83.2	10
	大型車	50.5		3.6	86.1	3.6
2 車種分類	小型車類	41.0	30	7.3	76.6	7.3
	大型車類	49.3		3.6	84.9	3.6
	二輪車	49.6	30	—	85.2	10

付属資料 A3 密粒舗装における加速区間のパワーレベル

自動車専用道路のインターチェンジ部 (料金所付近, 連結部付近) における密粒舗装での加速走行状態の A 特性音響パワーレベルについては, 表-A3.1 に示す定数  $a$ , 係数  $b$  を用いて式 (2.1), 式 (2.2) により与える (2.2.2 項参照)。速度依存性を表す係数  $b$  の値は, 各車種とも 10 とする。

なお, 停止時から速度 1km/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  $V = 10 \text{ km/h}$  を代入した値) を用いる。また, 料金所付近においては速度 80 km/h 以上, 連結部付近では 60 km/h 以上の速度域は定常走行区間と見なす。

付属資料 A4 一般道路における排水性舗装のパワーレベル

一般道路における排水性舗装でのパワーレベルについては, 表-A4.1 に示す定数  $a$ , 係数  $b$ ,  $c$  を用いて式 (2.3), 式 (2.4) により与える (2.2.3 項参照)。走行速度  $V$  は, 定常走行区間で 40~80 km/h, 非定常走行区間で 10~60 km/h の範囲とする。また, 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 とし, 二

輪車の係数  $c$  は常に 0 とする。

付属資料 A5 周波数ごとの伝搬計算法

ここでは, 道路交通騒音の予測に限定せずに, より一般性のある周波数ごとのエネルギーベースの伝搬計算法について示す。

A5.1 伝搬計算の基本式

図-A5.1 のように, 平坦な地面上に点音源  $S$  と予測点  $P$  を考える。考慮する伝搬経路は, 遮音壁がない (回折計算が必要ない) ときは図-A5.1(a) の 2 経路, 遮音壁があるときは図-A5.1(b) の 4 経路である。なお, 自動車走行騒音の予測計算では音源を路面上に配置するので, 遮音壁なしの場合は 1 経路, 遮音壁ありの場合は 2 経路の計算となる。このときの騒音レベル  $L_A$  [dB] を次式で計算する。式 (A5.1) の  $L_A$  が, 式 (3.1) の道路交通騒音の騒音レベル  $L_A$  に対応する。

$$L_A = 10 \log_{10} \sum_i 10^{L_A(f_{c,i})/10} \quad (\text{A5.1})$$

$$L_A(f_{c,i}) = 10 \log_{10} \sum_{m=1}^M 10^{L_{A,m}(f_{c,i})/10} + \Delta L_{g,ex}(f_{c,i}) \quad (\text{A5.2})$$



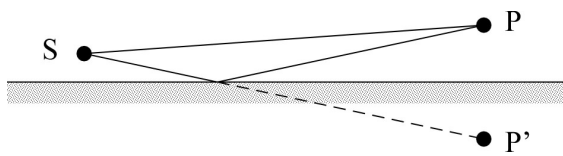
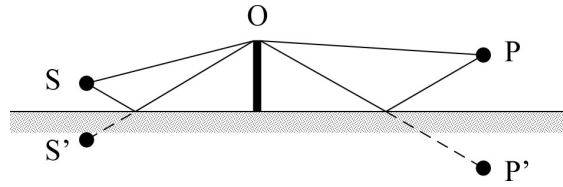
(a) 遮音壁がない場合 ( $m=1$ : SP,  $m=2$ : SP')(b) 遮音壁が設置された場合 ( $m=1$ : SOP,  $m=2$ : SOP',  $m=3$ : S'OP,  $m=4$ : S'OP')

図-A5.1 音の伝搬経路

$$L_{A,m}(f_{c,i}) = L_{WA}(f_{c,i}) - 11 - 20 \log_{10} r_m + \Delta L_{\text{dif},m}(f_{c,i}) + \Delta L_{\text{air},m}(f_{c,i}) \quad (\text{A5.3})$$

ここで、 $f_{c,i}$  は  $i$  番目の帯域の中心周波数 [Hz]、 $L_A(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  における A 特性音圧レベル [dB]、 $L_{A,m}(f_{c,i})$  は  $L_A(f_{c,i})$  の構成要素である伝搬経路  $m$  (図-A5.1 参照) についての  $f_{c,i}$  における A 特性音圧レベル [dB]、 $L_{WA}(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  の周波数帯域の音響パワーレベル [dB]、 $r_m$  は伝搬経路  $m$  に関する伝搬距離 (音源あるいは音源の鏡像から予測点あるいは予測点の鏡像までの直線距離) [m]、 $\Delta L_{\text{dif},m}(f_{c,i})$  は回折補正量 [dB] (遮音壁がない場合には 0 dB)、 $\Delta L_{\text{air},m}(f_{c,i})$  は空気の音響吸収に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{\text{g,ex}}(f_{c,i})$  は地表面超過減衰に関する補正量 [dB] である。計算周波数  $f_{c,i}$  は、100 Hz~5 kHz の 1/3 オクターブバンド中心周波数とする。なお、以下では周波数  $f$  の添え字、及び伝搬経路を表す添え字  $m$  がなくても誤解を生じない場合は省略する。

注記：道路交通騒音予測においては、音源  $S$  を移動させながら  $L_A$  を計算し、得られたユニットパターンから式 (1.11) により  $L_{AE}$  を求め、式 (1.12) を用いて  $L_{Aeq,T}$  を算出する。

## A5.2 回折補正量 $\Delta L_{\text{dif}}(f)$

道路交通騒音の伝搬計算と同様に、障壁等での回折を対象としたナイフウェッジでの回折補正量の基本量  $\Delta L_{d,k}(f)$  [dB] と、建物や法肩のような開き角を有するウェッジでの回折を対象とした直角ウェッジでの回折補正量の基本量  $\Delta L_{d,r}(f)$  [dB]

を式 (A5.4) と式 (A5.5) で計算し、各種回折補正量の計算に用いる。

**A5.2.1 ナイフウェッジでの回折補正値の基本量**  
障壁等での回折については、回折補正量の基本量  $\Delta L_{d,k}(f)$  [dB] を次式で計算する [23, 24]。

$$\Delta L_{d,k}(f) = \begin{cases} -13 - 10 \log_{10} N & N \geq 1 \\ -5 \mp 9.08 \sin h^{-1}(|N|^{0.485}) - 0.324 & -0.324 \leq N < 1 \\ 0 & N < -0.324 \end{cases} \quad (\text{A5.4})$$

ここで、 $N = 2\delta/\lambda$  はフレネル数、 $\delta$  は回折経路差 [m] (3.2.1 項に準じて定義)、 $\lambda = c/f$  は波長 [m] ( $c$  は音速 [m/s]、気温 20°C で 343.7 m/s) である。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。

注記 1：式 (A5.4) は、反射性障壁に対する減衰量の実験値に基づく計算チャート [23] を計算式化したものである [24]。  
注記 2：式 (A5.4) のもととなった実験の音源と観測点の配置は、音源が観測点の正面から 60° 程度までの範囲である。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 (A5.4) は減衰を過大に評価する可能性がある。そのようなときの計算式として漸近解 [81] による回折補正量を近似した計算式 [82] がある。

**A5.2.2 直角ウェッジでの回折補正値の基本量**  
建物や法肩のような開き角での回折については、回折補正量の基本量  $\Delta L_{d,r}(f)$  を次式で計算する [25]。

$$\Delta L_{d,r}(f) = \begin{cases} -10.5 - 10 \log_{10} N & N \geq 1 \\ -2.5 \mp 9.08 \sin h^{-1}(|N|^{0.485}) - 0.0718 & -0.0718 \leq N < 1 \\ 0 & N < -0.0718 \end{cases} \quad (\text{A5.5})$$

## A5.2.3 各種回折補正量の算出

各種回折補正量の計算は、基本量  $\Delta L_{d,k}(f)$  や  $\Delta L_{d,r}(f)$  を用いて 3.2 節に示す方法で、周波数ごとに計算する。

注記：3.2 節に示す方法の中の、補正量  $C_{\text{dif,abs}}$ 、 $C_{\text{dif,ob}}$ 、 $C_{\text{dif,emb}}$  等については周波数ごとの補正量がないため、これらが関係した回折計算はできない。計算する必要がある場合には、波動数値解析や実験により、周波数ごとの補正量を設定する必要がある。

### A5.2.4 道路交通騒音に対する回折補正量

回折による減衰が大きくなると、遮音壁などの背後では低い周波数成分が卓越する。回折による減衰がおよそ 30 dB を超える場合には 3.2 節に示す回折補正量の基本量の計算式は使用できない。そのような条件で予測する必要がある場合には、式 (A5.4) や式 (A5.5) で周波数ごとに回折補正量の基本量を計算し、次式により音源のパワースペクトルで重み付けして回折補正量  $\Delta L_{\text{dif}}$  を算出する。なお、次式では表-3.1 に示した  $\Delta L_{\text{dif, sb}}$  等の各種回折補正量の総称として  $\Delta L_{\text{dif}}$  あるいは  $\Delta L_{\text{dif}}(f)$  を用いる。

$$\Delta L_{\text{dif}} = 10 \log_{10} \frac{\sum_i 10^{\frac{\Delta L_{\text{WA}}(f_{c,i}) + \Delta L_{\text{dif}}(f_{c,i})}{10}}}{\sum_i 10^{\frac{\Delta L_{\text{WA}}(f_{c,i})}{10}}} \quad (\text{A5.6})$$

ここで、 $\Delta L_{\text{WA}}(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  の周波数帯域の A 特性相対バンドパワーレベル [dB] であり、1/3 オクターブバンド中心周波数で計算する場合は付属資料 A1 の値を用いる。

### A5.3 空気の音響吸収に関する補正量 $\Delta L_{\text{air}}(f)$

#### A5.3.1 計算式

$\Delta L_{\text{air}}(f)$  は、単位距離当たりの減衰量  $\alpha_{\text{air}}(f)$  [dB/m] と伝搬距離  $r$  [m] から次式で計算する。

$$\Delta L_{\text{air}}(f) = -\alpha_{\text{air}}(f) \cdot r \quad (\text{A5.7})$$

$\alpha_{\text{air}}(f)$  は 1 気圧の大気 (101.325 kPa) を仮定し、JIS Z 8738:1999 を近似した次式で計算する [83]。

$$\alpha_{\text{air}}(f) = f^2 \times 10^{-10} \left\{ 1.60 + \frac{b_{\text{O}} f_{\text{rO}}}{f_{\text{rO}}^2 + f^2} + \frac{b_{\text{N}} f_{\text{rN}}}{f_{\text{rN}}^2 + f^2} \right\} \quad (\text{A5.8})$$

ここで、 $f_{\text{rO}}$  及び  $f_{\text{rN}}$  は酸素分子及び窒素分子の共鳴周波数 [Hz]、 $b_{\text{O}}$  及び  $b_{\text{N}}$  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。

$$f_{\text{rO}} = 24 + 4.04 \times 10^4 h \frac{0.02 + h}{0.391 + h} \quad (\text{A5.9})$$

$$f_{\text{rN}} = \frac{17.1}{\sqrt{T_{\text{C}} + 273}} \cdot \left[ 9 + 18100 \times h \times e^{-\frac{3500}{T_{\text{C}} + 819}} \right] \quad (\text{A5.10})$$

$$h = 41200 \times h_{\text{r}} \times 10^{-\frac{8070}{(T_{\text{C}} + 273)^{1.261}}} \quad (\text{A5.11})$$

$$b_{\text{O}} = 1.11 \times 10^9 \times e^{-\frac{2240}{T_{\text{C}} + 273}} \left( \frac{293}{T_{\text{C}} + 273} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (\text{A5.12})$$

$$b_{\text{N}} = 9.28 \times 10^9 \times e^{-\frac{3350}{T_{\text{C}} + 273}} \left( \frac{293}{T_{\text{C}} + 273} \right)^{\frac{5}{2}} \quad (\text{A5.13})$$

ここで、 $T_{\text{C}}$  は気温 [°C]、 $h_{\text{r}}$  は相対湿度 [%] である。

### A5.3.2 道路交通騒音に対する空気の音響吸収に関する補正量

様々な気温・湿度条件で道路交通騒音に対する空気の音響吸収による減衰量を計算する必要がある場合には、式 (A5.7)～式 (A5.13) で周波数ごとに空気の音響吸収に関する補正量  $\Delta L_{\text{air}}(f_{c,i})$  を計算し、次式により音源のパワースペクトルで重み付けして補正量  $\Delta L_{\text{air}}$  を算出する。

$$\Delta L_{\text{air}} = 10 \log_{10} \frac{\sum_i 10^{\frac{\Delta L_{\text{WA}}(f_{c,i}) + \Delta L_{\text{air}}(f_{c,i})}{10}}}{\sum_i 10^{\frac{\Delta L_{\text{WA}}(f_{c,i})}{10}}} \quad (\text{A5.14})$$

ここで、 $\Delta L_{\text{WA}}(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  の周波数帯域の A 特性相対バンドパワーレベル [dB] であり、1/3 オクターブバンド中心周波数で計算する場合は付属資料 A1 の値を用いる。

### A5.4 地表面による超過減衰補正量 $\Delta L_{\text{g,ex}}(f)$

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

### A5.5 反射音の伝搬計算

#### A5.5.1 基本式

図-A5.2 のように、平坦な地面上に点音源 S と予測点 P、及び  $O_1$  と  $O_2$  を両端とする反射面があるケースを考える。反射計算では、反射物である地面及び反射物の音源側の面を鏡面とする S 及び P の鏡像を設定する。このときの反射音の騒音レベル  $L_{\text{A,refl}}$  [dB] を次式で計算する。

$$L_{\text{A,refl}} = 10 \log_{10} \sum_i 10^{L_{\text{A,refl}}(f_{c,i})/10} \quad (\text{A5.15})$$

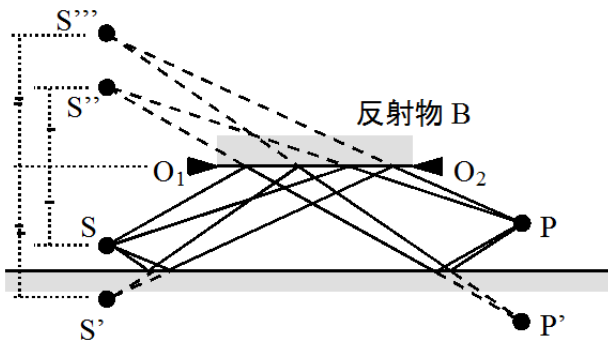


図-A5.2 反射音の伝搬経路 ( $S^{(n)}$  は  $S$  の鏡像)

$$L_{A,\text{refl}}(f_{c,i}) = 10 \log_{10} \sum_{m=1}^M 10^{L_{A,\text{refl},m}(f_{c,i})/10} + \Delta L_{g,\text{ex}}(f_{c,i}) \quad (\text{A5.16})$$

$$L_{A,\text{refl},m}(f_{c,i}) = L_{WA}(f_{c,i}) - 11 - 20 \log_{10} r_m + \Delta L_{\text{refl},m}(f_{c,i}) + \Delta L_{\text{abs},m}(f_{c,i}) + \Delta L_{\text{air},m}(f_{c,i}) + \Delta L_{\text{dif},m}(f_{c,i}) \quad (\text{A5.17})$$

ここで、 $L_{A,\text{refl}}(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  の周波数帯域における反射音の A 特性音圧レベル [dB]、 $L_{A,\text{refl},m}(f_{c,i})$  は伝搬経路  $m$  の  $f_{c,i}$  帯域の反射音の A 特性音圧レベル [dB]、 $L_{WA}(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  帯域の A 特性音響パワーレベル [dB]、 $r_m$  は伝搬経路  $m$  の伝搬距離 (音源あるいは音源の鏡像から予測点あるいは予測点の鏡像までの直線距離) [m]、 $\Delta L_{\text{refl},m}(f_{c,i})$  は伝搬経路  $m$  での反射補正量 [dB]、 $\Delta L_{\text{abs},m}(f_{c,i})$  は吸音に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{\text{dif},m}(f_{c,i})$  は伝搬経路  $m$  での回折補正量 [dB] (図-A5.2 では遮音壁がないので 0 dB)、 $\Delta L_{\text{air},m}(f_{c,i})$  は空気の音響吸収に関する補正量 [dB]、 $\Delta L_{g,\text{ex}}(f_{c,i})$  は地表面による超過減衰に関する補正量 [dB] である。

注記：吸音に関する補正量  $\Delta L_{\text{abs}}(f_{c,i})$  は周波数により異なるため、反射面の吸音率の実験データや既存文献により設定する。

### A5.5.2 反射補正量 $\Delta L_{\text{refl}}(f)$

3.5.1 項に示した反射音の計算方法と同様に、反射補正量の基本量  $\Delta L_r(f)$  [dB] を次式で計算し、各種反射補正量の計算に用いる [44]。

$$\Delta L_r(f) = \begin{cases} 10 \log_{10} \frac{0.5}{(1+(10N)^{\frac{2}{3}})^{\frac{3}{2}}} & N \geq 0 \\ 10 \log_{10} \left\{ 1 - \frac{0.5}{(1+(10|N|)^{\frac{2}{3}})^{\frac{3}{2}}} \right\} & N < 0 \end{cases} \quad (\text{A5.18})$$

### A5.5.3 各種反射補正量の算出

各種反射補正量の計算は、基本量  $\Delta L_r(f)$  を用いて 3.5 節に示す方法で、周波数ごとに計算する。

### A5.5.4 道路交通騒音に対する吸音に関する補正量

表-3.6 に示した材料以外について道路交通騒音に対する吸音に関する補正量を計算する必要がある場合には、音源のパワースペクトルで重み付けして次式により補正量  $\Delta L_{\text{abs}}$  [dB] を算出する。

$$\Delta L_{\text{abs}} = 10 \log_{10} \frac{\sum_i 10^{\frac{\Delta L_{WA}(f_{c,i})}{10}} (1 - \alpha(f_{c,i}))}{\sum_i 10^{\frac{\Delta L_{WA}(f_{c,i})}{10}}} \quad (\text{A5.19})$$

ここで、 $\Delta L_{WA}(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  の周波数帯域の A 特性相対バンドパワーレベル [dB] であり、1/3 オクターブバンド中心周波数で計算する場合は付属資料 A1 の値を用いる。 $\alpha(f_{c,i})$  は  $f_{c,i}$  の周波数帯域における反射面の吸音率である。

### 文 献

- [81] 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.
- [82] 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).
- [83] 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).

### 付属資料 A6 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ある場合など、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

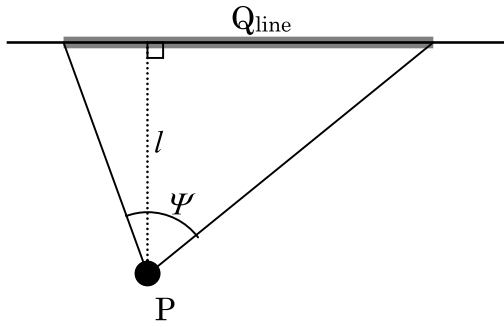


図-A6.1 有限長区間からの道路交通騒音の予測

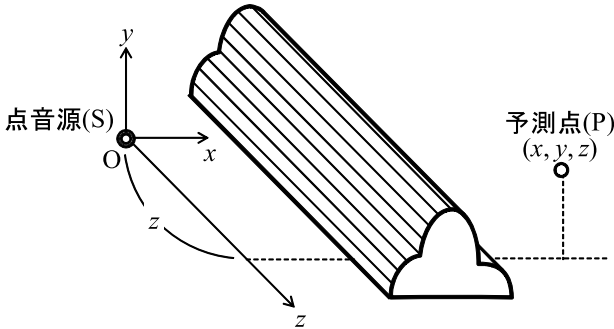


図-A6.2 一様断面を持つ構造物のある音場

どの波動数値解析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場合には (図-A6.2 参照), 干渉性線音源を想定し計算負荷が小さい2次元解析, 及び, 計算負荷は大きい点音源を想定したユニットパターンを計算できる, 積分変換を用いた方法が実用的に適用可能である。近年では, 計算機環境の進歩と効率的な解析手法の開発により, 3次元音場を完全に計算することが可能となりつつある。これらの方法について, A6.1 節に示す。

一方, 屋外における音の伝搬は, 風や日射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に対象が限定されるが, 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, A6.2 節に示す。

A6.3 節には, すべての解析手法に共通する留意点を示す。

### A6.1 複雑な道路構造に関する計算方法

#### A6.1.1 2次元波動数値解析の適用

十分長い距離にわたって同一の断面形状を持つ道路構造を対象とする。このとき, 図-A6.1 に示

すように, 予測点 P から道路を見込む角  $\Psi$  [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。

$$L_A(f) \approx L_{WA,line}(f) + 10 \log_{10} \frac{\psi}{\pi} - 3 - 10 \log_{10} l + \Delta L_{2D}(f) \quad (A6.1)$$

ここで,  $L_{WA,line}(f)$  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。

$$L_{WA,line}(f) = L_{WA}(f) - 10 \log_{10} \frac{1000V}{N} \quad (A6.2)$$

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。

$$\Delta L_{2D}(f) = 10 \log_{10} \left| \frac{\phi_{2D}(k)}{\phi_{2D,00}(k)} \right|^2 \quad (A6.3)$$

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 [84, 85]。  $c$  は音速 [m/s] である。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。

$$\phi_{2D,00}(k) = \frac{i}{2} H_0^{(1)}(kl) \quad (A6.4)$$

ここで,  $H_0^{(1)}(x)$  は0次第1種 Hankel 関数である。

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 [86-88] 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值として加えることによって近似解を得ることができる。

### A6.1.2 積分変換の適用

図-A6.2 に示すように、一様な断面形状が  $z$  方向に連続し、かつ点音源 (S) が存在する場合、予測点 (P) 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 [89, 90]。

$$\begin{aligned} \phi_{3D}(x, y, z, k) \\ = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \phi_{2D}\left(x, y, \sqrt{k^2 - k_z^2}\right) \cos k_z z dk_z \end{aligned} \quad (\text{A6.5})$$

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 (A6.5) より、 $k_z$  の変化に応じて  $k_{2D}$  が  $k \rightarrow 0 \rightarrow i \cdot \infty$  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 (A6.5) 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 (A6.5) 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  $\phi_{2D}(x, y, k)$  が発散してしまうため [91]、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 [92]。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。

### A6.1.3 3 次元波動数値解析の適用

従来、屋外音響伝搬の 3 次元波動数値解析は計算コストの点から困難であった。しかしながら、近年

の計算機環境の進歩と効率的な解析手法の開発に伴い、適用範囲は限定的ながら、3 次元波動解析が実用化されつつある。例えば、境界要素法 (BEM) に高速多重極法 (FMM) を適用して高効率化を図った高速多重極境界要素法 (FMBEM) [93, 94] を用いた解析 [65, 95, 96] や、FDTD 法を用いた解析 [97] が報告されている。

### A6.1.4 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 [98, 99]。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 (外部問題における解の一意性問題)。この問題を解決するための方法が複数報告されている [100-103]。

#### (3) 薄い物体の解析

境界要素の大きさに比べて薄い物体に通常の BEM を適用すると、物体両面の境界要素が近接することと境界要素積分の被積分関数の特異性に起因して計算誤差が生じる。この問題への対処方法として、厚み 0 の境界 (縮退境界) を導入し、法線微分型の定式化 [104] を用いて解く方法が知られている。通常、定式化を用いる場合は、少なくとも物体の厚みと同程度の大きさの境界要素に分割する必要がある。

#### (4) 遮音壁頂部付近の吸音性表面

波動数値解析では、通常、吸音材料の境界条件を材料表面の比音響インピーダンスとして与えるが (A6.3.3 項参照)、先端改良型遮音壁 (参考資料 R2 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に、局所作用を仮定して材料表面に比音響インピーダンスを与えると、遮音壁背後の回折音が過小予測され、遮音壁の効果が過大に評価される場合がある。そのような場合には、吸音材内部の音響伝搬を考慮した拡張作用モデルで計算するのが望ましい [105]。

### A6.1.5 高速多重極境界要素法を適用する際の留意点 [106]

#### (1) 周波数域に応じた使い分け

FMBEM を用いる際は、計算効率の観点から

低周波数域用 (LF-FMBEM) [94] と高周波数域用 (HF-FMBEM) [93] を使い分けるのが望ましい(ただし, ここでは FMBEM において境界要素をグループ化するセルのサイズを  $D$  として, これにより無次元化した波数  $kD$  が小さい領域を低周波数域, 大きい領域を高周波数域と呼んでいる)。両者のハイブリッド手法も提案されている [107, 108]。

(2) 地表面の取り扱い

BEM では, 地表面を無限大剛平面としてその鏡像からの寄与を基本解に含めておくことで, 解析対象を地表面上の物体のみに限定できる。FMBEM ではこの方法をそのまま使うことができず, 面対称音場のための効率化手法を用いる必要がある [109, 110]。

A6.1.6 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 [111] 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, 高次の差分スキームを用いることが望ましい。時間差分を 2 次精度, 空間差分を 4 次精度とした FDTD(2,4) 法 [112] がよく用いられている。

注記: 数値分散誤差を軽減するために, 高次差分スキーム [113], Compact 差分スキーム [114] 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 [115]。

(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 [116, 117] を

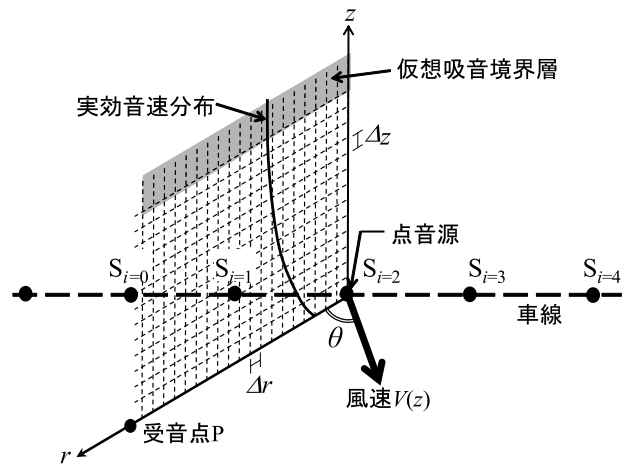


図-A6.3 ユニットパターン計算における PE 解析

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。

A6.2 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 [118, 119]。

A6.2.1 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-A6.3 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,  $r = 2\Delta r, 3\Delta r, \dots$  の音圧分布を逐次繰り返し求めていくことで受音点の複素音圧を算出する。地表面の比音響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, 見通しの利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。計算手法としては, 移流方程式の微分

項に Crank-Nicolson 近似を適用して差分方程式を構成する Crank-Nicolson PE (CN-PE) 法と、2次元音場解の平面波展開を利用して計算の効率化を図った Green's Function PE (GF-PE) 法の2種類がある。

道路交通騒音予測に対する PE 法の適用では、平坦地形で点音源が地表面に接している場合に限定する。図-A6.3 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周波数ごとの伝搬計算 (付属資料 A5 参照) に準じて計算する際、式 (A5.2) 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 [36]。

図-A6.3 に示すように、音源点と予測点を含む2次元断面を PE 法による計算領域とし、高さ  $z$  における風速を  $V(z)$ 、気温を  $T(z)$ 、風向と2次元断面のなす角度を  $\theta$  とする。このとき、高さ  $z$  に対する実効音速  $c_{eff}(z)$  を次式により計算する。

$$c_{eff}(z) = 331.5 + 0.61T(z) + V(z) \cos \theta \quad (A6.6)$$

この実効音速分布を仮定して周波数  $f$  [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。

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。

$$\Delta L_{g,ex}(f) = 10 \log_{10} \left| \frac{\phi_i(f)}{\phi_{i,00}(f)} \right|^2 \quad (A6.7)$$

### A6.2.2 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である一方、仰角が大きな方向への伝搬については精度が低下する。基本的な解法である CN-PE 法の場合、適用可能な仰角範囲は  $30^\circ$  程度、高速解法である GF-PE 法

の場合  $75^\circ$  程度とされている。

### (3) 差分格子の大きさ

CN-PE 法の場合、 $\Delta r$ 、 $\Delta z$  とともに波長の  $1/10$  以下に設定することが望ましい。GF-PE 法を適用する場合は、 $\Delta r$  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端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。

## A6.3 共通の留意点

### A6.3.1 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 [120]。

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。

### A6.3.2 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 [121]。

### A6.3.3 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比音響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材料の比音響インピーダンスの値を用いる。地表面については、実効的流れ抵抗  $\sigma_e$  [kPa s/m<sup>2</sup>] を用いて式 (A6.8) により比音響インピーダンス比  $\zeta$  を計算し [122]、空気密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]、音速  $c$  [m/s] を用いて式 (A6.9) により比音響インピーダンス  $z$  [Pa s/m] を求める。

$$\zeta = 1 + 5.50 \left( \frac{\sigma_e}{f} \right)^{0.632} + i \cdot 8.43 \left( \frac{\sigma_e}{f} \right)^{0.632} \quad (A6.8)$$

$$z = \rho c \cdot \zeta \quad (A6.9)$$

$\sigma_e$  の値として、地表面の種類に応じて表-A6.1 の

表-A6.1 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 $\sigma_e$ [kPa s/m <sup>2</sup> ]
コンクリート, アスファルト	20,000
固い地面, 排水性舗装路面	1,250
芝地, 田んぼ, 草地	300
表面の柔らかい畑地, 耕田	75

値を用いてもよい。

また、排水性舗装については、文献 [123] に比音響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。この吸音率から比音響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と、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 [121]。

注記 2: 式 (A6.8), (A6.9) による地表面の比音響インピーダンス  $z$  は、時間項を  $e^{-i\omega t}$  としている。時間項が  $e^{i\omega t}$  の場合には式 (A6.8), (A6.9) による値の複素共役を比音響インピーダンスとする。

文 献

[84] 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— (丸善出版, 東京, 2011)。  
 [85] 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)。  
 [86] 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)。  
 [87] 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)。  
 [88] 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)。  
 [89] D. Duhamel, “Efficient calculation of the three-dimensional sound pressure field around a noise barrier,” *J. Sound Vib.*, 197, 547–571 (1996)。  
 [90] D. Duhamel and P. Sergent, “Sound propagation over noise barriers with absorbing ground,” *J. Sound Vib.*, 218, 799–823 (1998)。  
 [91] 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)。  
 [92] 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)。  
 [93] T. Sakuma and Y. Yasuda, “Fast multipole boundary element method for large-scale steady-state sound field analysis. Part I: setup and validation,” *Acta Acust. united Ac.*, 88, 513–525 (2002)。  
 [94] Y. Yasuda, T. Oshima, T. Sakuma, A. Gunawan and T. Masumoto, “Fast multipole boundary element method for low-frequency acoustic problems based on a variety of formulations,” *J. Comput. Acoust.*, 18, 363–395 (2010)。  
 [95] 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—掘割道路の解析例—,” 音講論

集, pp. 801–802 (2007.3)。  
 [96] 阿部菜摘, 関根秀久, 安田洋介, “厚みのある障壁の回折補正量に関する検討—ASJ RTN-Model と 3 次元波動数値解析の比較—,” 音講論集, pp. 879–880 (2017.9)。  
 [97] T. Oshima, T. Ishizuka and T. Kamijo, “Three-dimensional urban acoustic simulations and scale-model measurements over real-life topography,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 135, EL324–EL330 (2014)。  
 [98] 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, 68–104 (2000)。  
 [99] D. C. Hothersall, S. M. Chandler-Wilde and M. N. Hajmirzae, “Efficiency of single noise barriers,” *J. Sound Vib.*, 146, 303–322 (1991)。  
 [100] H. A. Schenck, “Improved integral formulation for acoustics radiation problems,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 44, 41–58 (1968)。  
 [101] 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)。  
 [102] 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)。  
 [103] T. Masumoto, T. Oshima, Y. Yasuda, T. Sakuma, M. Kabuto and M. Akiyama, “HRTF calculation in the full audible frequency range using FMBEM,” *Proc. 19th Int. Congr. Acoust. (Madrid)*, COM-06-012 (2007)。  
 [104] T. Terai, “On calculation of sound fields around three dimensional objects by integral equation methods,” *J. Sound Vib.*, 69, 71–100 (1980)。  
 [105] 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)。  
 [106] 安田洋介, 関根秀久, 樋口和孝, 大嶋拓也, “FMBEM による屋外広域音響伝搬解析の現状と課題,” 騒音制御工学会研究発表会講論集, pp. 9–12 (2013.9)。  
 [107] H. Cheng, W. Y. Crutchfield, Z. Gimbutas, L. F. Greengard, J. F. Ethridge, J. Huang, V. Rokhlin, N. Yarvin and J. Zhao, “A wideband fast multipole method for the Helmholtz equation in three dimensions,” *J. Comput. Phys.*, 216, 300–325 (2006)。  
 [108] N. A. Gumerov and R. Duraiswami, “A broadband fast multipole accelerated boundary element method for the three dimensional Helmholtz equation,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 125, 191–205 (2009)。  
 [109] Y. Yasuda and T. Sakuma, “A technique for plane-symmetric sound field analysis in the fast multipole boundary element method,” *J. Comput. Acoust.*, 13, 71–85 (2005)。  
 [110] Y. Yasuda, K. Higuchi, T. Oshima and T. Sakuma, “Efficient technique in low-frequency fast multipole boundary element method for plane-symmetric acoustic problems,” *Eng. Anal. Boundary Elem.*, 36, 1493–1501 (2012)。  
 [111] 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)。  
 [112] M. F. Hadi, M. Picket-May, Jr. and S. L. Manry, “A modified FDTD (2,4) scheme for modeling electrically large structures with high phase accuracy,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 45, 254–264 (1997)。  
 [113] 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).

[114] S. K. Lele, “Compact finite difference scheme with spectral-like resolutions,” *J. Comput. Phys.*, 103, 16–42 (1992).

[115] 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義録, 1529, 1–14 (2007).

[116] J-P. Berenger, “A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves,” *J. Comput. Phys.*, 114, 185–200 (1994).

[117] Q. Qi and T. L. Geers, “Evaluation of the perfectly matched layer for computational acoustics,” *J. Comput. Phys.*, 139, 166–183 (1998).

[118] 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).

[119] 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).

[120] 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).

[121] 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).

[122] Y. Miki, “Acoustical properties of porous materials—Modifications of Delany-Bazley models—,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 11, 19–24 (1990).

[123] H. Hatanaka and K. Yamamoto, “Measurements and analysis of acoustic properties of drainage asphalt,” *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 1, 55–62 (1999).

表-A7.1 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	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 [54].
簡易計算法	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 [54].

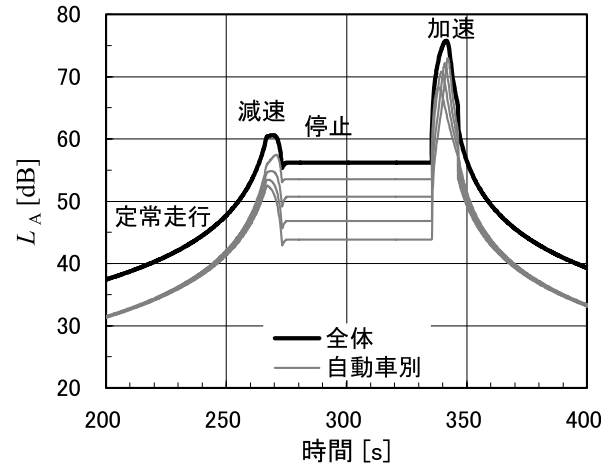


図-A7.1 赤現示の場合の  $L_A$  の例

付属資料 A7 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 [124] があるが, ここでは表-A7.1 に示す実用計算法と簡易計算法の 2 種類を示す。

A7.1 実用計算法 [54]

信号 1 サイクルを対象にして, 青現示で走行する自動車と, 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-A7.1 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。以下に, 信号交差点付近に適用するパワーレベル及び赤現示の場合における諸条件の設定方法を示す。

A7.1.1 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, 1~60 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。

(2) 減速走行状態

自動車が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。

A7.1.2 諸条件の設定方法

(1) 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。

$$\overline{L_{WA}} = a_L + b \log_{10} V + 10 \log_{10}(1 + c \cdot q) \tag{A7.1}$$

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],

表-A7.2 定数  $a_L$ ,  $a_H$  及び係数  $b$  の値 (密粒舗装)

車種分類	$a_L$	$a_H$	$b$
加速走行状態	82.3	88.8	10
減速走行状態	45.8	53.2	30

※減速走行状態に適用する定数及び係数は、定常走行状態に適用する値と同じである。

表-A7.3 自動車の加速度

走行状態	加速度 [m/s <sup>2</sup> ]
減速時	-1.3
加速時	1.0

$c$  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。

$$c = 10^{(a_H - a_L)/10} - 1 \tag{A7.2}$$

密粒舗装に適用する  $a_L$ ,  $a_H$  及び  $b$  を表-A7.2 に示す。排水性舗装を対象とする場合は、表-A4.1 に示した数値を用いて  $\overline{L_{WA}}$  を計算する。

注記：表-A4.1 に示した定常走行区間の数値は減速走行状態に適用し、非定常走行区間の数値は加速走行状態に適用する。

(2) 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。

$$N_R = N_C \cdot \frac{T_R}{T_C} \tag{A7.3}$$

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。

(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-A7.3 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。

$$d = d_L + (d_H - d_L) \cdot q \tag{A7.4}$$

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。

$$x_n = (n - 0.5)d \tag{A7.5}$$

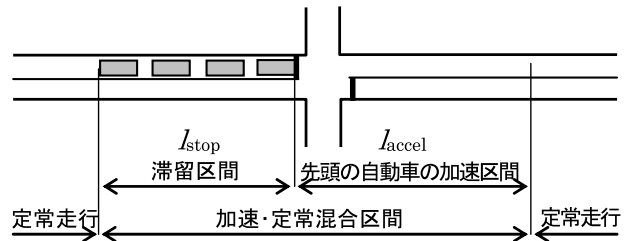


図-A7.2 加速・定常混合区間のイメージ

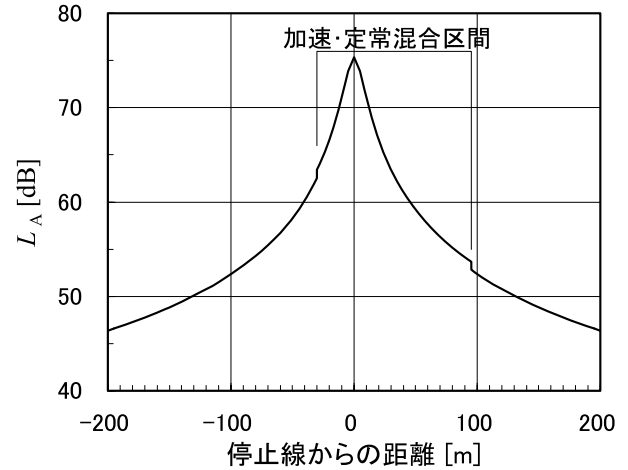


図-A7.3 ユニットパターンのイメージ

(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-A7.3 に示す加速時の加速度を用いて設定する。

A7.2 簡易計算法 [54]

実用計算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-A7.2 に加速・定常混合区間と定常走行区間のイメージを、図-A7.3 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  $L_{Aeq,T}$  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、次式で計算する。

$$l_{\text{stop}} = d \cdot N_R \quad (\text{A7.6})$$

$$l_{\text{accel}} = \frac{v^2}{2a_{\text{accel}}} \quad (\text{A7.7})$$

ここで、 $a_{\text{accel}}$  は加速時の加速度 [m/s<sup>2</sup>] で表-A7.3 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 (A7.1) 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。

$$\overline{L_{WA}} = 10 \log_{10} \frac{N_R \cdot 10^{\overline{L_{WA,R}}/10} + (N_C - N_R) \cdot 10^{\overline{L_{WA,B}}/10}}{N_C} \quad (\text{A7.8})$$

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

[124] 鈴木 忠, 筑井啓介, 押野康夫, 橋 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 A8 建物群背後における騒音の詳細計算法 [125-127]

建物群の隣棟間隔が広いなどの理由から、建物の側方回折と側面反射による影響をより詳細に取り扱う場合や、音源位置による騒音レベルの違いを検討する等ユニットパターンをより正確に求める場合には、式 (6.3) の  $\Delta L_{BB}$  を次式で計算する。

$$\begin{aligned} \Delta L_{BB} = & 10 \log_{10} \left\{ a_0 + a_1 \cdot \frac{\phi}{\Phi} \right. \\ & + a_2 \sum_i \left( \frac{\theta_i}{\Phi} \cdot \frac{d_{\text{road}}}{d_{\text{ref},i}} \right) \\ & + a_3 \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left( \frac{0.251}{1 + 0.522\delta_k} \right) \\ & \left. + a_4 \cdot 10^{-0.0904\xi \cdot d_{SP}} \right\} \quad (\text{A8.1}) \end{aligned}$$

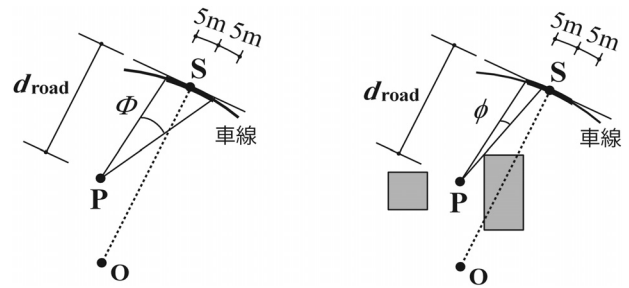


図-A8.1 建物群がない場合の見通し角  $\Phi$ , 建物群が立地している場合の見通し角  $\phi$

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 (A8.1) 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-A8.1 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、 $\Phi$  は建物群がない場合の見通し角 [rad],  $\phi$  は建物群が立地している場合の見通し角 [rad] である。

式 (A8.1) の  $\sum_i \left( \frac{\theta_i}{\Phi} \cdot \frac{d_{\text{road}}}{d_{\text{ref},i}} \right)$  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。本詳細計算法では、道路（音源）と予測点の間と予測点のすぐ背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-A8.2 に示すように、 $\theta_i$  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],  $d_{\text{road}}$  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],  $d_{\text{ref},i}$  は P' 又は P'' から S への垂線の距離 [m] である。

式 (A8.1) の  $\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left( \frac{0.251}{1 + 0.522\delta_k} \right)$  の項は、図-A8.3 に示すように、音源 S から建物（平面図）の一つの頂点 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 5 m 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  $\delta_k$  [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 (A8.1) の  $10^{-0.0904\xi \cdot d_{SP}}$  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-6.4 に示すように、音源 S と予測点 P の周辺に幅 15 m の長方形を想定し、 $\xi$  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の比）、 $d_{SP}$  は音源 S と受音点 P の水平距離 [m] である。

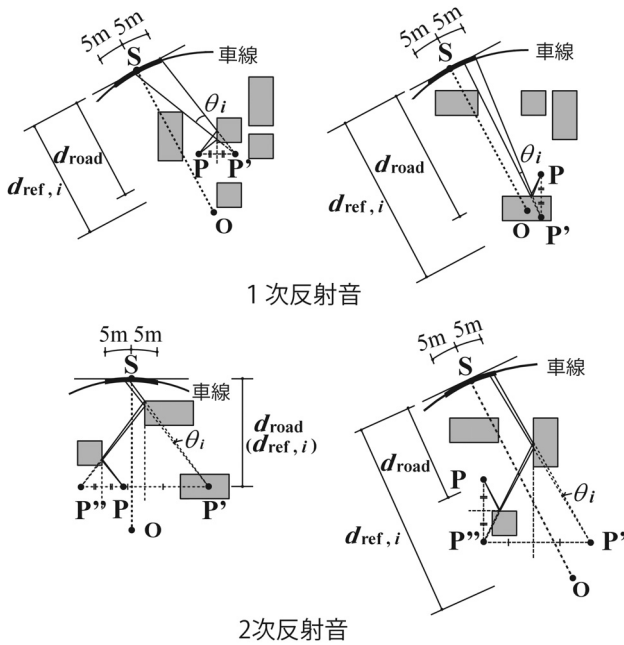


図-A8.2 音源と予測点の水平距離  $d_{road}$ 、予測点の虚像点から音源を見たときの見通し角  $\theta_i$  と水平距離  $d_{ref,i}$

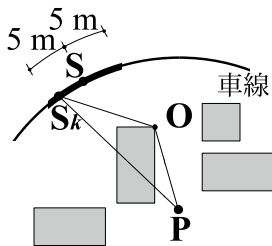


図-A8.3 1次回折音 (仮想点音源から建物の一つの頂点だけを回折して予測点に伝搬する音)

文 献

[125] 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—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).  
 [126] 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).  
 [127] K. Fujimoto, K. Tsuji, T. Tominaga and K. Morita, “Prediction of insertion loss of detached houses against road traffic noise using a point sound source model,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 36, 109–119 (2015).

参 考 資 料

参考資料 R1 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 5~8 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

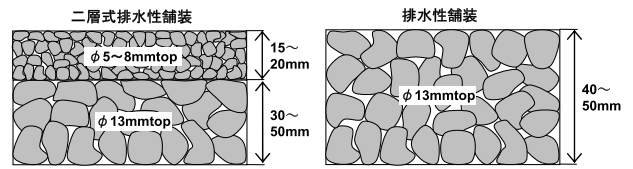


図-R1.1 舗装構造の比較例

あり、舗装厚は上層が 15~20 mm、下層が 30~50 mm である [128–130]。排水性舗装の構造と比較した例を図-R1.1 に示す。

(1) 騒音低減効果

図-R1.2 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  $L_{A,Fmax}$  を比較したものである [131]。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-R1.3 に示す。二層式排水性舗装の  $L_{A,Fmax}$  は、密粒舗装より 5~10 dB、排水性舗装より 4~6 dB 低減している。

(2) 周波数特性

図-R1.4 は、図-R1.2 に示した速度 60 km/h のときの乗用車と大型車の走行騒音  $L_{A,Fmax}$  の周波数特性である。二層式排水性舗装は密粒舗装より 500 Hz 以上の周波数領域で音圧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。

(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 [130, 132]。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は、排水性舗装と同等であると報告されている。

文 献

[128] 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).  
 [129] 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).  
 [130] 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).  
 [131] 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).  
 [132] 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).

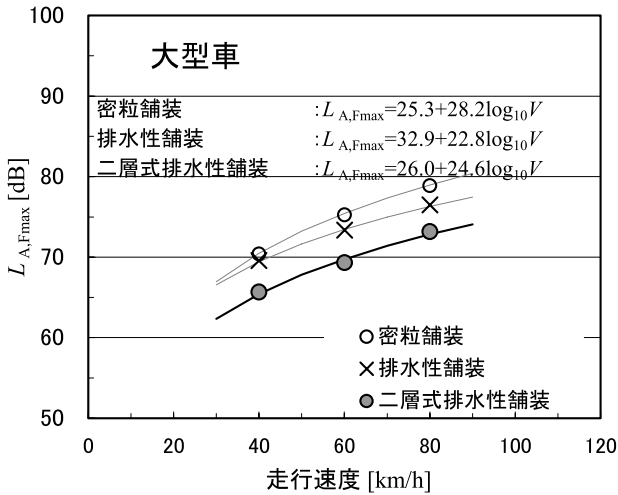
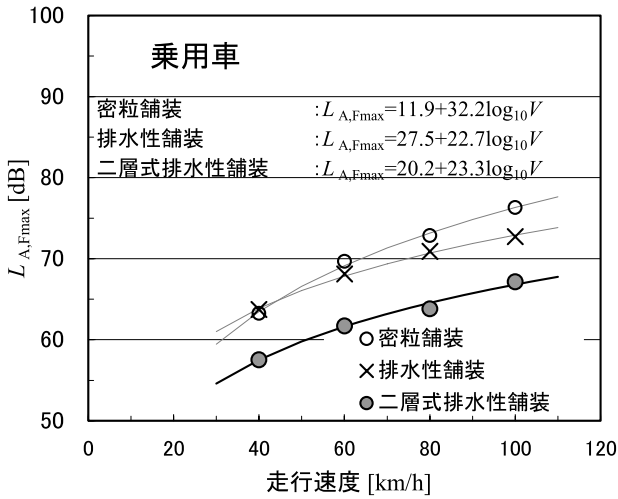


図-R1.2 舗装の違いによる  $L_{A,Fmax}$

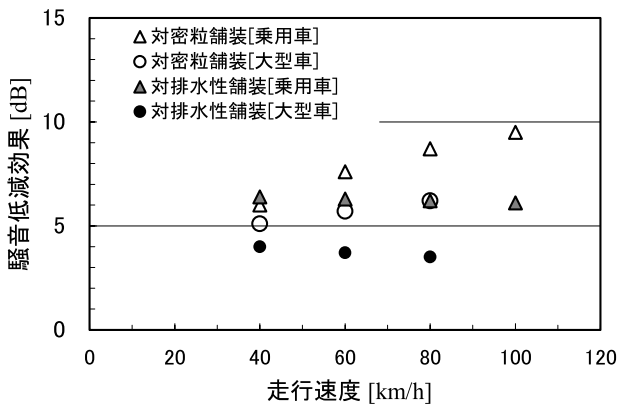


図-R1.3 二層式排水性舗装の騒音低減効果

**参考資料 R2 張り出し型遮音壁及び先端改良型遮音壁に関する伝搬計算法**

張り出し型遮音壁や先端改良型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。なお、遮音壁の上部を単純に折り曲げた遮音壁を張り出し型遮音壁、遮音壁の

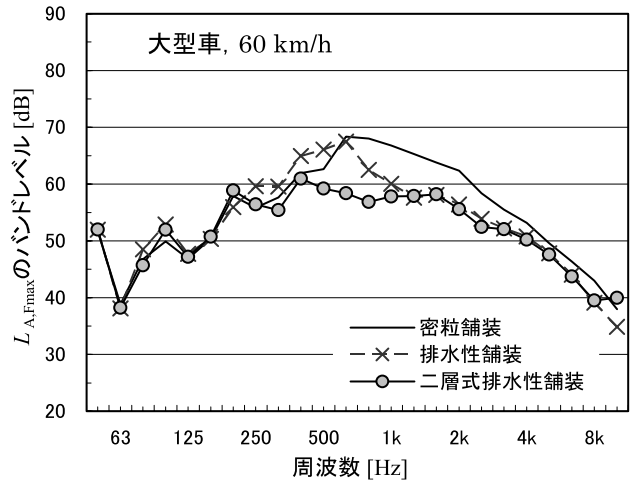
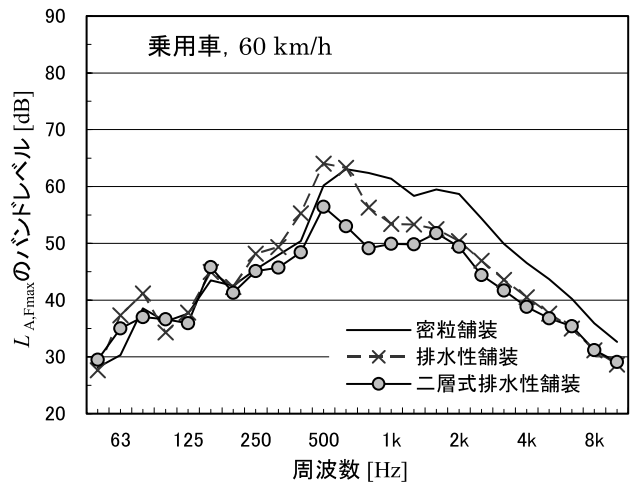


図-R1.4  $L_{A,Fmax}$  の周波数特性

先端に音響的な工夫を施した遮音壁を先端改良型遮音壁とし区別する。

図-R2.1 に示す道路事業者が仕様を定めている5種類の遮音壁については、実験により求めた計算式が報告されている [133]。それ以外の遮音壁や新たに開発した遮音壁については、前述の5種類の遮音壁と同様な縮尺模型実験や実物実験を行い、同様な計算式を作成する必要がある。

図-R2.1 に示す先端改良型遮音壁や張り出し型遮音壁の回折補正量は、図-R2.2 に示す領域ごとに次式で計算する。

(張り出し型遮音壁)

$$\Delta L_{dif,ob} = \Delta L_{dif,hb} + C_{dif,ob} \quad (R2.1)$$

(先端改良型遮音壁)

$$\Delta L_{dif,emb} = \Delta L_{dif,hb} + C_{dif,emb} \quad (R2.2)$$

ここで、 $\Delta L_{dif,ob}$  及び  $\Delta L_{dif,emb}$  は張り出し型遮音壁及び先端改良型遮音壁の回折補正量 [dB]、

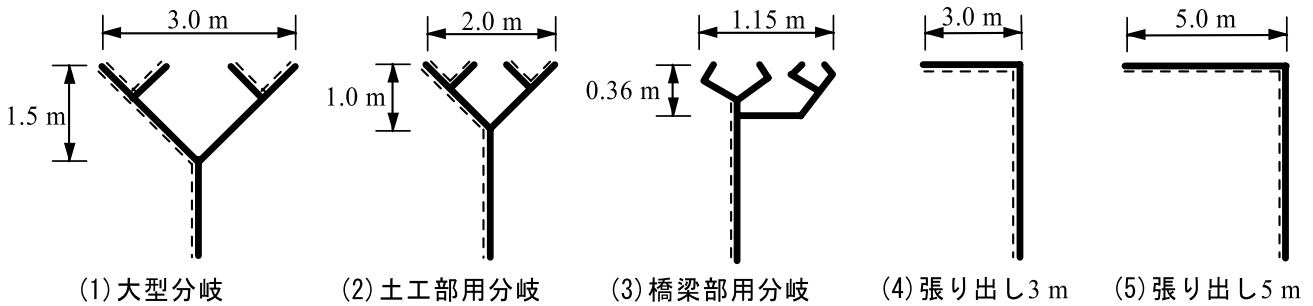


図-R2.1 先端分岐型遮音壁，張り出し型遮音壁の種類（破線部は吸音面）

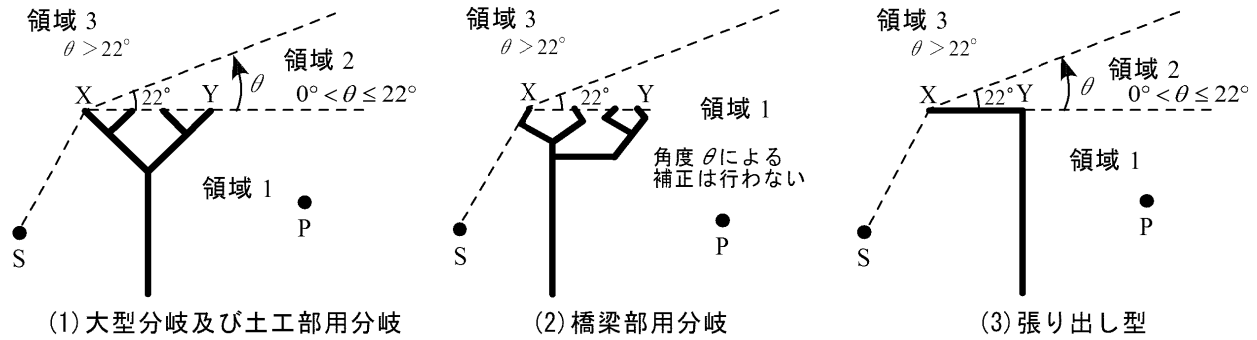


図-R2.2 領域の定義

$\Delta L_{dif,hb}$  は仮想直壁に対する回折補正量で、図-3.8 に示すように、音源 S と音源側回折点 X，予測点 P と予測点側回折点 Y をおのおの結ぶ直線の交点 O に先端を持つ仮想直壁に対する回折補正量 [dB]， $C_{dif,ob}$  及び  $C_{dif,emb}$  は張り出し型遮音壁の張り出しによる効果の付加的な補正量及び先端改良型遮音壁の先端の音響的工夫に関する効果の補正量 [dB] である。

予測点 P が図-R2.2 の領域 1 あるいは領域 2 にあるときの  $C_{dif,ob}$  及び  $C_{dif,emb}$  の計算式は以下のとおりである。また、予測点 P が領域 3 にあるときの  $C_{dif,ob}$  及び  $C_{dif,emb}$  は 0 とする。

$$\begin{pmatrix} C_{dif,ob} \\ C_{dif,emb} \end{pmatrix} = \begin{cases} -A - B \log_{10} \delta + C_{Zone2} & \delta \geq 1 \\ -C - D \sinh^{-1} \delta^E + C_{Zone2} & 0 \leq \delta < 1 \end{cases} \quad (R2.3)$$

$$C_{Zone2} = \begin{cases} \max [F \log_{10} \theta + G, 0] & P \in \text{Zone 2} \\ 0 & P \in \text{Zone 1} \end{cases} \quad (R2.4)$$

ここで、 $\delta$  は仮想直壁に関する経路差 [m]，各係数は表-R2.1 の値を用いる。また、 $\theta$  は図-R2.2 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。

注記 1:  $C_{dif,ob}$  及び  $C_{dif,emb}$  は、吸音型遮音壁をベースとしたときの実験結果から求めているので、 $C_{dif,ob}$  や  $C_{dif,emb}$  に式 (3.6) の統一型遮音壁の吸音効果による補正量  $C_{dif,abs}$  を補正してはならない。

注記 2: 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。

注記 3: 張り出し型遮音壁及び先端改良型遮音壁の回折補正量を波動計算に算入し、騒音レベルを算出する方法が文献 [134, 135] に示されている。

### 文 献

- [133] 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).
- [134] 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).
- [135] 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).

### 参考資料 R3 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が無視できる場合には、次式により等価騒音レベル  $L_{Aeq,T}$  を求めることができる [136]。

$L_{Aeq,T}$  は、単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  と、対象とする時間  $T$  内に通過する自動車の台数  $N_T$  [台]

表-R2.1 補正量  $C_{dif,ob}$  及び  $C_{dif,emb}$  の計算式に用いる係数

舗装	遮音壁	A	B	C	D	E	F	G*	$\delta$ 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 3 m	1.0	5.0	0.0	1.14	0.414	2.66	0.7	0.02~20
排水性舗装	張り出し 5 m						3.66	1.4	0.08~34
	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 3 m	1.0	3.5	0.0	1.14	0.414	2.30	1.2	0.02~20
	張り出し 5 m						3.02	1.7	0.08~34

とを用いて次式で表される。

$$L_{Aeq,T} = L_{AE} + 10 \log_{10} \left( \frac{N_T}{T} \right) \quad (R3.1)$$

ここで、 $T$  は対象とする時間 [s] である。 $L_{AE}$  は、A 特性音響パワーレベル  $L_{WA}$  と自動車の走行速度  $V$  [km/h]、計算車線位置からの距離  $l$  [m] を用いて、次式で表される。

$$L_{AE} = L_{WA} + 10 \log_{10} \left( \frac{3.6}{2lV} \right) \quad (R3.2)$$

よって、 $L_{Aeq,T}$  は以下の簡易式で計算できる。

$$L_{Aeq,T} = L_{WA} - 10 \log_{10} l - 10 \log_{10} V + 10 \log_{10} N_T + 10 \log_{10} \frac{3.6}{2T} \quad (R3.3)$$

$L_{WA}$  は車種別に与えられるので、 $L_{Aeq,T}$  を車種別に算出して車種の構成比率を考慮してパワー合成することにより、全体の  $L_{Aeq,T}$  が算出できる。

#### 文 献

[136] 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—,” 音講論集, pp. 709–710 (1999.9).

#### 参考資料 R4 予測精度に関する検討

本予測モデルでは、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。ここでは本予測モデルによる計算値と実測値の対応を見ることにより、予測精度について考察する。ただし、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。

ある。また、本予測モデル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。

#### R4.1 一般道路における検討 [137]

##### R4.1.1 検討に用いたデータ

検討に用いたデータは、「自動車騒音常時監視マニュアル」[138] に基づいて平成 25 年度に測定されたもので、環境省から提供されたものである。データの測定条件は以下のとおりである。測定方法は JIS Z 8731:1999 に準拠している。

##### (1) 騒音レベル

$L_{Aeq}$ ,  $L_{AN}$  ( $L_{A5}$ ,  $L_{A10}$ ,  $L_{A50}$ ,  $L_{A90}$ ,  $L_{A95}$ )。実測時間は、基本 10 分で 24 時間中に数回以上である。

##### (2) 測定点

平面道路の道路端の地上 1.2 m の点である。測定点は、併設道路や交差道路がなく、音の伝搬経路に障害物や草地がない箇所を選定した。車線数は片側 1 車線から 4 車線であった。

##### (3) 交通量

3 車種分類 (小型車, 中型車, 大型車) 又は 2 車種分類 (小型車類, 大型車類) で、更に二輪車を区別した上下線別の車種別交通量を用いた。対象道路の時間交通量は 4,500 台/時以下、大型車類混入率は 0~100% であった。

##### (4) 走行速度

上下線別の走行速度を用いた。実測時間内の平均走行速度が 40 km/h 以上のデータを対象とした。

##### R4.1.2 計算方法

舗装は密粒舗装を対象とし、計算車線位置は上下線のそれぞれ中央に 1 車線ずつ配置した。計算は参考資料 R3 に示す簡易計算法により、定常走行状態に適用する  $L_{WA}$  を用いた。

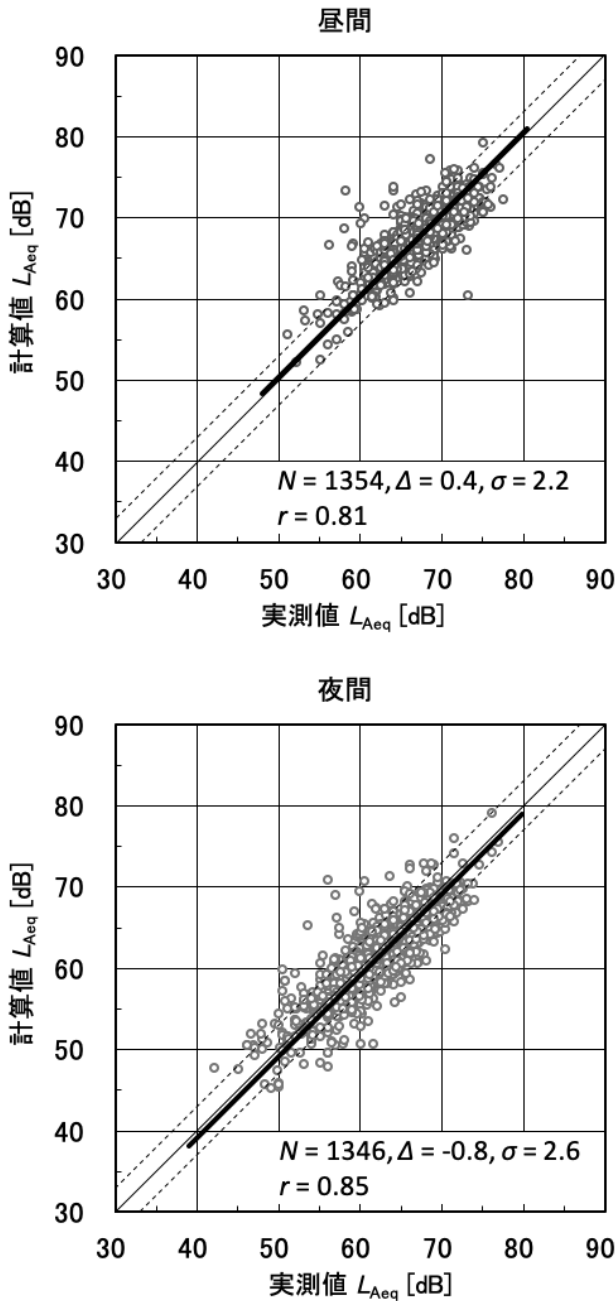


図-R4.1 一般道路（密粒舗装）における計算値と実測値の対応

#### R4.1.3 計算値と実測値の対応

基準時間帯（昼間：6:00-22:00，夜間：22:00-翌日 6:00）における計算値と実測値を比較した結果を図-R4.1に示す。図には、1:1の直線（実線）及び±3dBの範囲（点線）を示している。相関係数は、昼間で0.81，夜間で0.85と比較的よい対応が認められる。計算値と実測値のレベル差 $\Delta$  ( $L_{Aeq}$ の計算値-実測値)は、昼間で+0.4dB，夜間で-0.8dBであった。計算値と実測値との差が±3dBの範囲内に収まる割合は、昼間が87%，夜間が76%であった。

表-R4.1 検討に用いた測定データの概要

道路	構造	舗装		測定点数		遮音壁
		種別	経過年数	基準点	沿道	
1	盛土	排水性	8.0	1	1	なし
2	盛土	排水性	6.3	1	1	なし
3	盛土	排水性	7.3	1	1	なし
4	盛土	排水性	8.3	1	1	なし
5	盛土	排水性	0.5	1	1	なし
6	盛土	II型	1.3	1	1	なし
7	切土	排水性	3.0	1	2	高さ2m

### R4.2 自動車専用道路における検討 [139]

#### R4.2.1 検討に用いたデータ

盛土構造と切土構造の自動車専用道路の道路近傍と沿道において平成26年から平成30年に測定された実測値を用いた。表-R4.1に測定データの概要を示す。また、測定条件は以下のとおりである。

##### (1) 騒音レベル

$L_{Aeq}$ ,  $L_{A95}$ 。実測時間は、道路1~6が2時間，道路7が15分である。

##### (2) 測定点

沿道の測定点は地上1.2mである。道路端の測定点（以下、基準点と呼ぶ）は、道路1~6については走行車線中心から水平距離7.5mで路面から1.2~2.8m，道路7については法肩に設置された遮音壁上3mである。

##### (3) 交通量

道路1~6については3車種分類（小型車，中型車，大型車）で，更に大型バスと二輪車を区別し，方向別，車線別に交通量を測定した。道路7については2車種分類（小型車類，大型車類）で，方向別，車線別のトラフィックカウンタの測定値を使用した。道路1~7の時間交通量は800~4,000台/時，大型車類混入率は17~32%である。

##### (4) 走行速度

道路1~6については，方向別，車線別，2車種分類別に目視により測定した。道路7については方向別のトラフィックカウンタの測定値を使用した。道路1~7の平均走行速度は80~110km/h程度である。

#### R4.2.2 計算方法

計算は1.3.2項の予測計算手順により，実測交通条件を用いて行った。詳細を以下に示す。



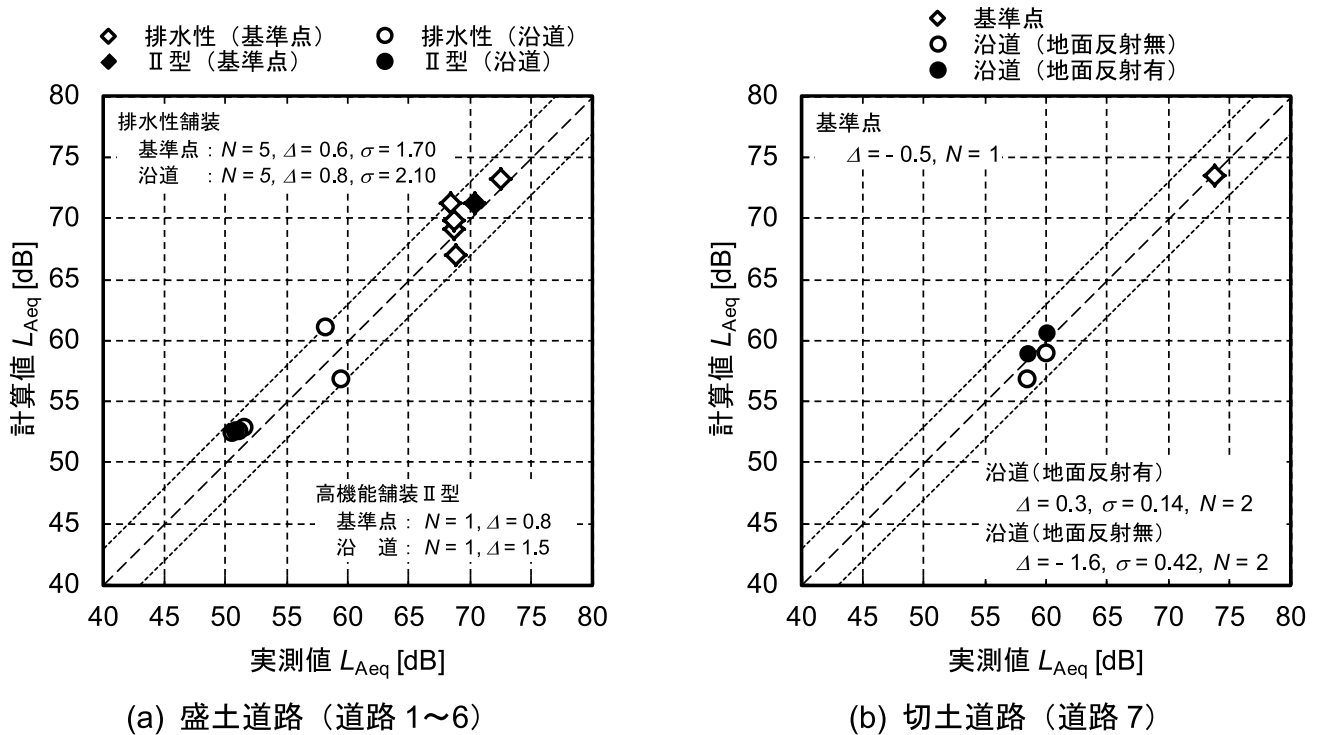


図-R4.2 自動車専用道路における計算値と実測値の対応

計算車線位置は各車線の中央位置、盛土道路の法肩での回折計算には直角ウェッジの計算式を、遮音壁の回折計算にはナイフウェッジの計算式（遮音壁の吸音に関する補正を考慮）を用いた。地表面効果に関する補正量の計算は、道路法面は腐葉土で草地であったことから「柔らかい畑地」として扱った。測定点側の地面は、側道や駐車場でアスファルト舗装されていることから、地表面効果に関する補正量は0 dBとした。また、空気の音響吸収による補正量も考慮した。なお、道路7（切土道路）については、沿道の測定点が遮音壁の背後であることから、沿道の地面反射音を考慮しない場合と考慮した場合の2ケースについて計算値を算出した（3.3節の注記5参照）。

#### R4.2.3 計算値と実測値の対応

道路構造別に、計算値と実測値を比較した結果を図-R4.2に示す。盛土道路については地面反射音を考慮していない。なお、 $L_{Aeq}$ と $L_{A95}$ の実測値のレベル差が約10 dBあったことから、暗騒音補正は行っていない。

盛土道路では、計算値と実測値は、すべて $\pm 3$  dB以内で対応しており、排水性舗装における計算値と実測値のレベル差 $\Delta$  ( $L_{Aeq}$ の計算値-実測値)は、基準点で+0.6 dB、沿道の測定点で+0.8 dBであった。高機能舗装 II型は1データしかない

が、レベル差 $\Delta$ は基準点で+0.8 dB、沿道の測定点で+1.5 dBであった。

切土道路では、遮音壁背後の沿道の測定点における計算値と実測値のレベル差 $\Delta$ は、測定点側の地面を鏡面と考えて地面反射音を考慮した場合は平均+0.3 dB、考慮しない場合は平均-1.6 dBで、地面反射音を考慮した方が計算値と実測値の対応はよかった。

#### R4.3 建物群背後における検討 [140]

6.2節の建物群背後における騒音予測が、本予測モデルでは新しい実用計算法に代わり、従来のASJ RTN-Model 2013の計算方法は付属資料A8に詳細計算法として示している。

実用計算法の計算値と市街地における実測値との検証の例として、テスト走行車両による騒音レベルの検討、及び交通センサデータに基づく等価騒音レベルの検討を以下に示す。

##### R4.3.1 テスト走行車両による検討

平面道路あるいは切土道路に面する戸建て住宅地においてテスト車両を定常走行させ、建物群背後において検証した。

##### (1) 平面道路に面する戸建て住宅地の検証例

戸建て住宅地に面する平面道路を二輪車あるいは乗用車が単独走行するときの、建物群背後における実測値と実用計算法を用いた計算値を比較し

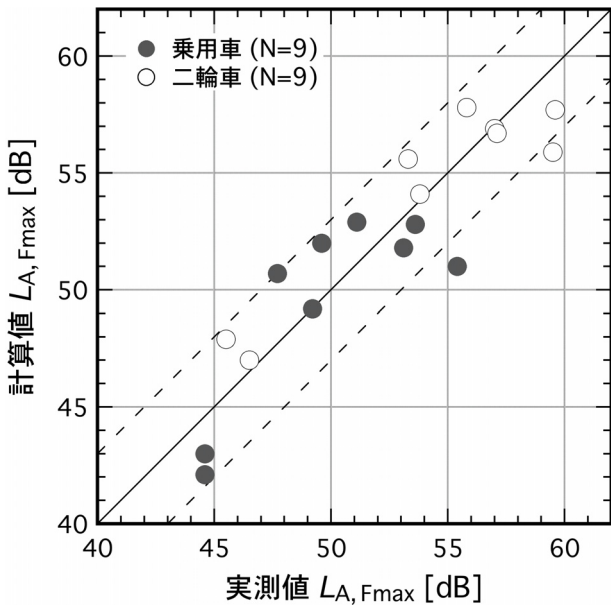


図-R4.3 平面道路に面する建物群背後の最大騒音レベル  $L_{A,Fmax}$  の計算値と実測値の対応

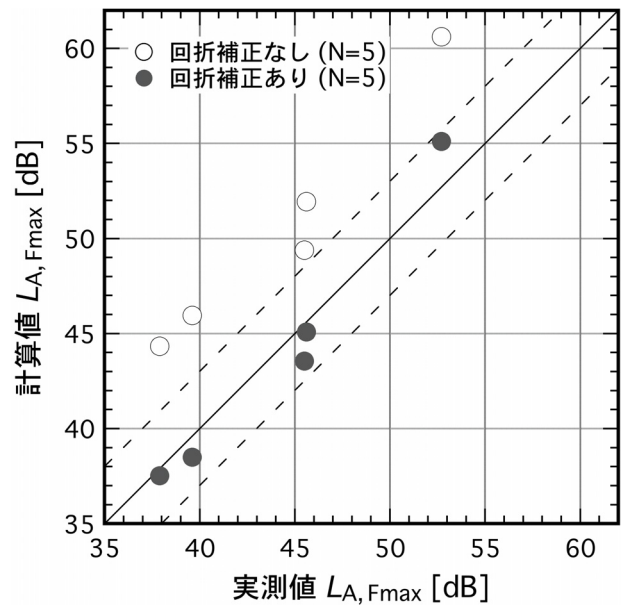


図-R4.4 切土道路に面する建物群背後の最大騒音レベル  $L_{A,Fmax}$  の計算値と実測値の対応

た。二輪車の速度を 46.1 km/h,  $L_{WA}$  を 97.4 dB と推定し、乗用車の速度を 35.6 km/h,  $L_{WA}$  を 92.5 dB と推定している。

建物群背後の受音点 9 点において、二輪車と乗用車のユニットパターンにおける最大騒音レベル  $L_{A,Fmax}$  について、計算値と実測値の相関を図-R4.3 に示す。二輪車、乗用車に関わらず、計算値と実測値のレベル差は概ね  $\pm 3$  dB に収まっており良い対応である。

(2) 切土道路に面する戸建て住宅地の検証例

戸建て住宅地に面する切土道路を、速度 41.9 km/h の乗用車が、98.6 dB の  $L_{WA}$  で単独走行するとき、建物群背後における予測値 (45 点) から切土先端の回折影響を受ける 5 点の最大騒音レベル  $L_{A,Fmax}$  を抜粋して検証した。

図-R4.4 に、切土を考慮せずに住宅地と地盤高さが等しい平面道路として計算した値 (○) と、切土先端 (ナイフウェッジと仮定) による回折補正量を加えた値 (●) を示した。建物群による減衰補正量に加えて回折補正量を考慮することで、計算値と実測値のレベル差が縮まり  $\pm 3$  dB に収まるようになることから、切土道路に面する戸建て住宅地においても本予測モデルは適用可能であると言える。

R4.3.2 交通センサデータに基づく検討

平面道路 (A と B) に面する地域の建物群背後において、ノイズマップ作成を意図して等価騒音

レベルを計算し、その実測値との比較検証を行った。本検討では、交通条件として道路交通センサデータを用いた。その結果、対象道路 A は、時間交通量 3,370 台 (小型車類), 996 台 (大型車類), 平均速度 (旅行速度) 36.7 km/h であった。測定箇所は信号交差点部から離れた場所が多く交通流が定常的であると考えられたことから、定常走行を仮定して  $L_{WA}$  を 92.7 dB (小型車類), 100.1 dB (大型車類) と推定した。また対象道路 B は、時間交通量 768 台 (小型車類), 64 台 (大型車類), 平均速度 (旅行速度) 19.9 km/h であり、信号交差点が連続する区間であることを考慮し非定常走行を仮定して、 $L_{WA}$  を 95.3 dB (小型車類), 101.8 dB (大型車類) と推定した。

計算値と実測値のレベル差は、図-R4.5 に示すとおり、対象道路 A では概ね  $\pm 3$  dB 以内、対象道路 B では概ね  $\pm 5$  dB 以内であった。

R4.4 誤差の要因

R4.4.1 仮想車線の設定

本予測モデルでは、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 1 車線ずつ配置してもよいとしている。文献 [141] における検討の結果によれば、最近接車線の中心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

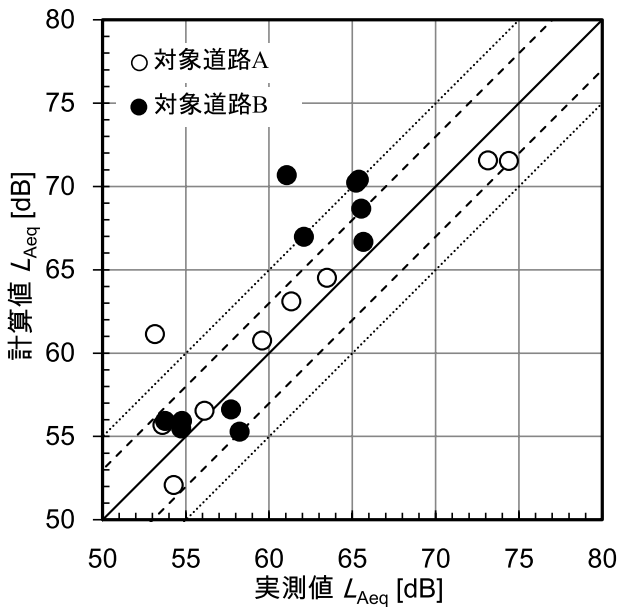


図-R4.5 平面道路に面する地域における等価騒音レベルの計算値と実測値の対応

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や、車線により交通量や走行速度が大幅に異なる場合には、仮想車線の数を増やすことが望ましい。

#### R4.4.2 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

本予測モデルでは、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 [142] 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

本予測モデルでは、自動車の車種分類として 3 車種分類 (小型車, 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、3 車種分類を用いることが望ましい。ただし、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、3 車種分類を 2 車種分類に近似したことによる計算値の差は 1 dB 以下である [137]。

#### R4.4.3 ユニットパターンの計算範囲

本予測モデルでは、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 [141] 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、おおよそ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。

#### R4.4.4 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きわめて複雑で、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。本予測モデルでは、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 (3.6 節参照)。気温勾配によっても騒音の伝搬は影響を受けるが、本予測モデル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る (3.4 節参照)。

##### (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、本予測モデル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、舗設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、本予測モデル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

- [137] 山内勝也, 田近輝俊, 福島昭則, 穴井 謙, “道路交通騒音の予測モデル“ASJ RTN-Model 2018”の予測精度検証,” 音響学会騒音・振動研資, N-2019-19 (2019.3).
- [138] 環境省水・大気環境局自動車環境対策課, “自動車騒音常時監視マニュアル,” <https://www.env.go.jp/air/car/noise/note/kanshimanual.pdf> (参照 2018-12-11).
- [139] 福島昭則, 一木智之, 太田達也, 船橋 修, 大蔵 崇, 岩吹啓史, 兼重 仁, 長船寿一, “自動車専用道路沿道における“ASJ RTN-Model 2018”の予測精度の検証,” 音響学会騒音・振動研資, N-2019-20 (2019.3).
- [140] 穴井 謙, 松本敏雄, 横田考俊, 坂本慎一, “建物群背後の道路交通騒音に関する市街地における実用計算法の検証,” 音響学会騒音・振動研資, N-2019-18 (2019.3).
- [141] 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).
- [142] 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).

## 参考資料 R5 道路交通騒音のパワーレベル測定方法 [143]

### R5.1 自動車走行騒音のパワーレベルの測定方法

実走行車両を対象としてパワーレベルを測定するときの一般的な方法を以下に示す。なお、以下に示す測定方法は、本予測モデルでの自動車走行騒音のパワーレベルの算出に用いた方法である。

#### R5.1.1 測定点の配置

図-R5.1 に示すように、車線中心から水平距離

$l_h$  [m] 離れた、路面から高さ  $h$  [m] の位置にウィンドスクリーンを装着したマイクロホンを設置する。測定場所及び測定点の選定における注意点を以下に示す。

- 測定点を中心とした進行方向前後において路面にクラックや舗装打ち替え跡がなく、良好な路面の同一の舗装であること。
- 道路の両側に反射音の問題となるような建物等の反射物がないこと。
- ガードレールにより測定点からタイヤの接地位置が見えない場合には、十分見える高さまで測定点を移動する。
- 定常走行を対象とする場合は、交差点の近くなど走行速度や走行状態が変化する場所は避ける。

注記：一般には、 $l_h = 7.5\text{m}$ ,  $h = 1.2\text{m}$  として測定するが、測定場所の制約などにより適宜設定することになる。

### R5.1.2 騒音測定

騒音計の時間重み付け特性 F を用いて、騒音レベル  $L_{A,F}$  を時間間隔 0.1s 以下でサンプリングすると共に、レベルレコーダを用いて騒音レベルの変動をモニタする。対象とする自動車について、測定点直前の走行速度を測定し、併せて車種（2章の3車種分類で大型バスと二輪車は区別）と走行した車線を記録する。このとき、対象とする自動車の前後を走行する自動車騒音や対向車線の自動車騒音の影響を聴感及びレベルレコーダのモニタ波形から確認する。

注記1：排水性舗装及び高機能舗装 II 型については、発生騒音の経年変化が考えられるため、舗設年月あるいは舗設からの経過年月を把握しておく。

注記2：大型車については、車軸数も記録しておく。

注記3：二輪車は走行位置が車線中心から大きくはずれる場合があるので、その場合には走行位置からの距離  $l$  で  $L_{WA}$  を算出する。

### R5.1.3 パワーレベルの算出

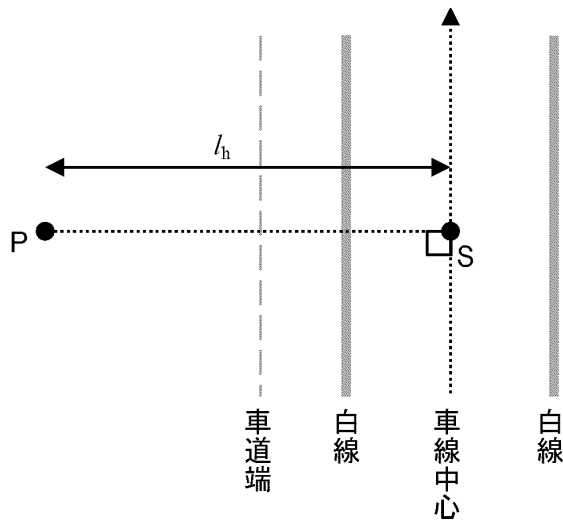
#### (1) 最大騒音レベル法

他の自動車走行騒音の影響を受けていないユニットパターンの最大騒音レベル  $L_{A,Fmax}$  から次式によりパワーレベル  $L_{WA}$  を算出する。

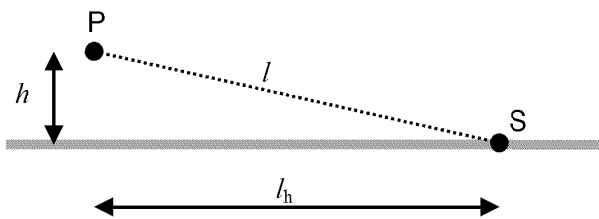
$$L_{WA} = L_{A,Fmax} + 8 + 20 \log_{10} l \quad (\text{R5.1})$$

ここで、 $l$  は車線中心から測定点までの斜距離 [m] である（図-R5.1 参照）。

他の自動車走行騒音の影響の有無の判断は、 $L_{A,Fmax}$  発生時刻における対象とする自動車以外



(a) 平面配置



(b) 断面配置

図-R5.1 自動車走行騒音のパワーレベルの測定点配置 (S: 音源, P: 測定点)

からの騒音レベルと  $L_{A,Fmax}$  のレベル差が 10 dB 以上 (できれば 15 dB 以上) 確保できているかで判断する。対向車線や並行する車線を自動車が行っていないければ、ユニットパターンの下がりきったときの騒音レベルと  $L_{A,Fmax}$  のレベル差が 10 dB 以上あるかどうかで判断してよい。

注記: 最大騒音レベル法は, “ピーク法” と呼ばれることがあるが, “ピーク” は「音圧  $p$  の最大値 [Pa]」であり, 騒音レベルの最大値とは異なることから, ここでは “最大騒音レベル法” と呼ぶ。

(2) 二乗積分法

最大騒音レベル法は, 自動車がひとつの点音源と見なせる場合の算出方法であるが, 測定点が車線に近い, あるいは特大車のように車体が大きく軸数が多い場合には, 自動車をひとつの点音源と見なせない場合もある。二乗積分法はこのような場合にもパワーレベルの算出方法として適用できる方法である。パワーレベルの測定においては, 最大騒音レベル法の外に, 二乗積分法によるパワーレベルも算出しておくといよい。

他の自動車走行騒音の影響を受けていないユニットパターンの最大騒音レベル  $L_{A,Fmax}$  から次式に

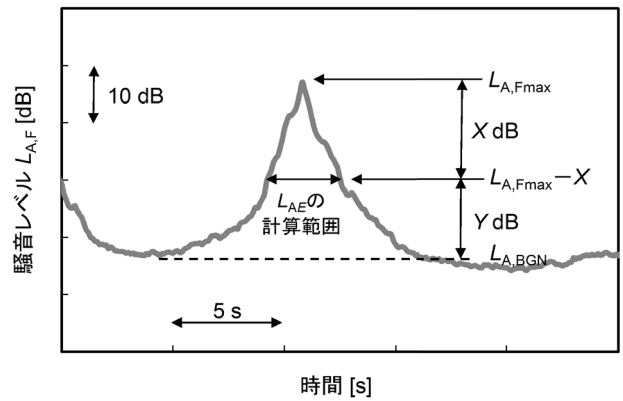
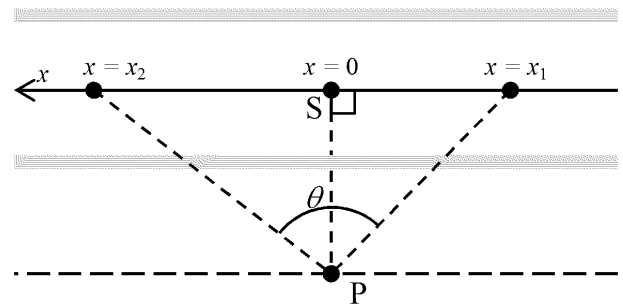


図-R5.2 自動車走行騒音のパワーレベルの算出



$\theta$  は測定点 P から路面上の  $x_i$  の点を見込む角度である。

図-R5.3 二乗積分法 (S: 音源, R: 測定点)

よりパワーレベル  $L_{WA}$  を算出する。

$$L_{WA} = L_{AE} + 3 + 10 \log_{10} vl - 10 \log_{10} \frac{\theta}{\pi} \tag{R5.2}$$

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \Delta t \sum_{n=m_1}^{m_2} 10^{\frac{L_{A,F}[n]}{10}} \tag{R5.3}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x_1}{l} + \tan^{-1} \frac{x_2}{l} \tag{R5.4}$$

ここで,  $L_{AE}$  はユニットパターンの  $(L_{A,Fmax} - X)$  dB の範囲 (図-R5.2 参照) の  $L_{A,F}$  のサンプル値  $L_{A,F}[n]$  から求めた単発騒音暴露レベル [dB],  $m_1$  と  $m_2$  は  $(L_{A,Fmax} - X)$  dB となるときにサンプルの番号,  $\Delta t$  は  $L_{A,F}$  のサンプリング間隔 [s],  $v$  は走行速度 [m/s],  $l$  は車線中心から測定点までの斜距離 [m] (図-R5.1 参照) である。また,  $\theta$  は図-R5.3 に示すように  $L_{A,F}[m_1]$  と  $L_{A,F}[m_2]$  に対応する音源位置  $x_1$  と  $x_2$  を測定点 P から見込む角度 [rad] である。  $L_{A,Fmax}$  の発生時刻と  $L_{A,F}[m_1]$ ,  $L_{A,F}[m_2]$  の時刻の時間差を  $t_i$  ( $i = 1, 2$ ) [s] とす

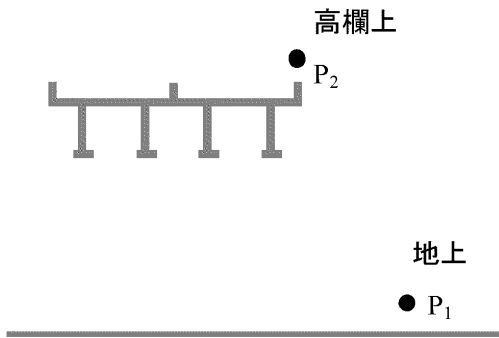


図-R5.4 高架構造物音のパワーレベルの測定点の配置

ると、 $x_i = vt_i$  [m] である。

他の自動車走行騒音の影響の有無の判断は、 $(L_{A,Fmax} - X)$  dB の時間において、 $L_{A,Fmax}$  と対象とする自動車以外からの騒音レベル  $L_{A,BGN}$  とのレベル差が  $(X + 10)$  dB 以上確保できているか (図-R5.2 で  $Y \geq 10$  dB) で判断する。

注記 1：通常は、 $X = 10$  dB として、 $(L_{A,Fmax} - 10)$  dB の範囲を積分すればよい。

注記 2：パワースペクトルを算出するときも同様に行えるが、周波数帯域により最大音圧レベルの発生時刻や積分範囲が異なる。そのため、パワーレベルを算出した積分範囲で式 (R5.3) に準じて各周波数帯域の  $L_{A,F}(f)$  を積分して  $L_{AE}(f)$  を算出し、式 (R5.2) により A 特性バンドパワーレベル  $L_{WA}(f)$  を算出し、オーバーオール値である音響パワーレベル  $L_{WA}$  を基準として相対表示する。

## R5.2 高架構造物音のパワーレベルの測定方法

高架道路沿道で観測される道路交通騒音は、回折音と高架構造物音の合成騒音である。そのため、高架構造物音のパワーレベルの算出においては、回折音の影響を補正する必要がある。また、一般には高架道路の路下では騒音レベルが小さく、暗騒音の影響を受け易い。ここでは実走行車両を対象とした高架構造物音のパワーレベルの一般的な測定方法を示す。なお、以下に示す測定方法は、本予測モデルでの高架構造物音のパワーレベルの算出に用いた方法である。

### R5.2.1 測定点の配置

図-R5.4 に示すように、高架道路の路下と高架道路の道路端に測定点 P<sub>1</sub> と P<sub>2</sub> を設置する。測定点 P<sub>2</sub> は自動車走行騒音のパワーレベルを測定するための測定点、測定点 P<sub>1</sub> は高架構造物音と回折音の合成騒音を測定するための測定点である。また、車種、走行車線、走行速度、及び走行状態を把握するための測定点が必要になる。

測定場所及び測定点の選定における注意点を以下に示す。

- 複数径間が連続した高架橋の中央部付近を測定場所とし、ジョイント部からの騒音が測定に影響がない場所を選定する。
- 測定点を中心とした進行方向前後において路面にクラックや舗装打ち替え跡がなく、良好な路面の同一の舗装であること。
- 高架橋の両側に反射音が問題となるような建物等の反射物がないこと。
- 走行速度や走行状態は一定と見なせること。

注記 1：一般には、測定点 P<sub>1</sub> は高架道路の雨だれ線から官民境界までの範囲で、地上高さ  $h = 1.2$  m に設置する。測定点の高さが高くなると、回折音の寄与が大きくなり、高架構造物音が正しく測定できなくなる場合がある。

注記 2：高架道路に遮音壁が設置されていると、測定点 P<sub>2</sub> で測定される自動車走行騒音に、指向性の影響や車体と遮音壁での多重反射音の影響が無視できなくなる。そのため遮音壁が設置されていない高架道路の高欄上や、遮音壁が設置されている場合は非常駐車帯の遮音壁上などに測定点を設置する必要がある。

注記 3：車種、走行車線、走行速度、及び単独走行の識別のために、例えば測定点 P<sub>2</sub> の前後においてビデオカメラで録画する。

### R5.2.2 騒音測定

騒音レベル  $L_{A,F}$  を時間間隔 0.1 s 以下でサンプリングすると共に、レベルレコーダを用いて騒音レベルの変動をモニタする。対象とする自動車について、測定点直前の走行速度を測定し、併せて車種 (2章の3車種分類で大型バスは区別) と走行した車線を記録する。このときに、対象とする自動車の前後を走行する自動車騒音や対向車線の自動車騒音の影響を現地では聴感及びレベルレコーダのモニタ波形で確認し、分析時にはビデオ画像であらためて確認する。

注記：大型車については、車軸数も記録しておく。

### R5.2.3 パワーレベルの算出

#### (1) 自動車走行騒音のパワーレベルの算出

自動車走行騒音のパワーレベルは、R5.1.3 項に示した二乗積分法により、測定点 P<sub>2</sub> における騒音レベル  $L_{A,F}$  のサンプル値  $L_{A,F}[n]$  を用いて算出する。

#### (2) 高架構造物音のパワーレベルの算出

##### 1) 測定点 P<sub>1</sub> での単発騒音暴露レベルの算出

測定点 P<sub>1</sub> における対象とする自動車走行時の単発騒音の単発騒音暴露レベル  $L_{AE,AS}$  を次式により算出する。 $L_{AE,AS}$  は、回折音と高架構造物音の合成騒音の単発騒音暴露レベルである。

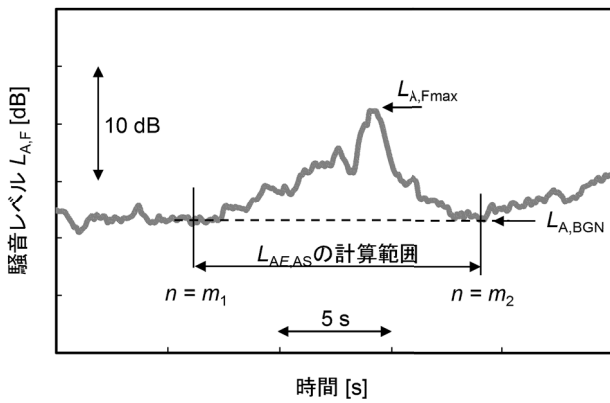


図-R5.5 測定点  $P_1$  での単発騒音暴露レベル  $L_{AE,AS}$  の算出

$$L_{AE,AS} = 10 \log_{10} \Delta t \left( \sum_{n=m_1}^{m_2} 10^{\frac{L_{A,F}[n]}{10}} - M \cdot 10^{\frac{L_{A,BGN}}{10}} \right) \quad (R5.5)$$

ここで、 $m_1$  と  $m_2$  は対象とする自動車走行時の単発騒音とその前後の暗騒音を含むサンプルの範囲を表す番号 (図-R5.5 参照)、 $L_{A,BGN}$  は暗騒音が定常騒音と見なせる場合の暗騒音の騒音レベル [dB]、 $\Delta t$  は  $L_{A,F}$  のサンプリング間隔 [s]、 $M$  はサンプル数で、 $M = m_2 - m_1 + 1$  である。なお、式 (R5.5) の適用は暗騒音が定常騒音と見なせる場合に限る。

注記 1: 自動車走行時の単発騒音の最大騒音レベルが暗騒音よりも 10 dB 以上大きいデータが望ましいが、少なくとも 7 dB 以上のレベル差があるデータを採用する。

注記 2: 暗騒音が変動する場合には自動車走行時の暗騒音が推定できないため  $L_{AE,AS}$  は算出できない。

## 2) 測定点 $P_1$ での回折音の単発騒音暴露レベルの推計

測定点  $P_2$  で算出した自動車走行騒音のパワーレベルを用いて、3 章の伝搬計算法により測定点  $P_1$  における回折音のユニットパターン  $L_A[n]$  を計算し、次式により測定点  $P_1$  での回折音の単発騒音暴露レベル  $L_{AE,A}$  [dB] を推計する。

$$L_{AE,A} = 10 \log_{10} \Delta t \sum_{n=m_1}^{m_2} 10^{\frac{L_A[n]}{10}} \quad (R5.6)$$

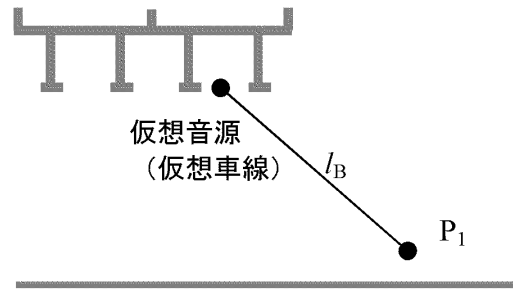


図-R5.6 高架構造物音のパワーレベルの算出

## 3) 測定点 $P_1$ での高架構造物音の単発騒音暴露レベルの算出

次式により、測定点  $P_1$  での高架構造物音の単発騒音レベル  $L_{AE,S}$  [dB] を算出する。

$$L_{AE,S} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{L_{AE,AS}}{10}} - 10^{\frac{L_{AE,A}}{10}} \right) \quad (R5.7)$$

注記:  $L_{AE,AS}$  と  $L_{AE,A}$  のレベル差が 4 dB 未満の場合は  $L_{AE,S}$  は参考値とする。

## 4) 高架構造物音のパワーレベルの算出

算出した  $L_{AE,S}$  及び図-R5.6 に示す幾何配置から高架構造物音のパワーレベル  $L_{WA,str}$  を次式により算出する。

$$L_{WA,str} = L_{AE,S} + 3 + 10 \log_{10} v l_B - 10 \log_{10} \frac{\theta_B}{\pi} \quad (R5.8)$$

ここで、 $v$  は走行速度 [m/s]、 $l_B$  は測定点  $P_1$  から高架構造物音の騒音計算における仮想車線 (5.2.1 項) までの斜距離 [m]、 $\theta_B$  は式 (R5.5) のサンプルの両端  $m_1$ 、 $m_2$  に対応する仮想車線における仮想音源位置 (5 章参照) を測定点  $P_1$  から見込む角度 [rad] である。

## 文 献

- [143] 橋 秀樹, 日高新人, 吉久光一, “自動車定常走行音パワーレベルの測定方法について,” 音響学会騒音・振動研資, N-85-05-3 (1985.5).