

## —第4回 音響の基礎:騒音の測定方法と対策方法—

第1章「騒音の測定方法」 財団法人 ひょうご環境創造協会 住友聡一

第2章「騒音の対策方法」 財団法人 小林理学研究所 加来治郎

### 1章 騒音の測定方法

#### 1.1 はじめに

騒音の測定には、①騒音規制法に基づいて規制基準との適合状況を調べるために行う工場・事業場・建設作業および道路沿道での測定、②騒音に関する環境基準に基づいて基準との適合状況などを調べるために行う環境騒音、新幹線鉄道騒音、航空機騒音の測定などがあります。また、③その他として在来鉄道騒音、低周波音、さらには騒音対策を検討するための測定等があります。

この内、交通騒音の測定は、必ずしも苦情に対応した測定とは言えませんが、あらゆる苦情に対応するためだけではなく、騒音測定の際に必要な基本的な知識として解説しています。

これらの測定で使用する騒音計は、計量法第71条の条件に合格した騒音計を用いることになっています。また、騒音の測定方法は、日本工業規格（JIS）Z 8731に定める騒音レベル測定方法によるものとされています。

なお、現行のJIS Z 8731:1999は、「環境騒音の表示・測定方法」と称しており、基本的には等価騒音レベル（ $L_{Aeq}$ ）、単発騒音暴露レベル（ $L_{AE}$ ）の測定方法について記述されています。しかし、騒音規制法や環境基準が告示されたときの旧JIS Z 8731は「騒音レベル測定方法」と称しており、法律等の文言の修正が行われていないため表現が異なっています。

また、騒音測定時における騒音計の特性は、法律等で次のように定められています。

騒音計の周波数補正特性はA特性を、時間重み特性は、工場・事業場騒音、建設作業騒音、環境騒音に対しては速い動特性（Fast）を、新幹線鉄道騒音、航空機騒音に対しては、遅い動特性（Slow）を用いることになっています。

騒音計の規格については、新幹線鉄道騒音及び2013年4月以降に航空機騒音を測定する場合は、計量法の適合品であることの他にJIS C 1509-1に適合したものの使用が条件として入っています。

#### 1.2 騒音規制法に基づく測定方法

##### (1) 工場・事業場・建設作業騒音

騒音規制法に基づいて工場・事業場・建設作業場で騒音を測定することは、敷地境界線における規制基準との適合状況を調べる場合が多いと考えられます。また、周辺民家から騒音苦情

が発生し、その対応のために民家周辺で測定することもあります。

騒音の測定点は、騒音規制法との適合状況を確認するときには、工場・事業場の敷地境界線です。建設作業騒音についても測定点は敷地境界線となっています。

これらの測定において、マイクロホン高さは1.2～1.5mで、通常はこの高さで測定することになりますが、もし、騒音苦情を伴っているような場合は、「生活環境の保全の観点から事例ごとに合理的に判断する」となっており、条件ごとに、次のように測定点を選定するのがよいと考えられています。図1.1に測定点選定の考え方を示します。

- a. 発生源と受音点の位置がともに低い場合
- b. 発生源が高く受音点が低い場合
- c. 発生源が低く受音点が高い場合

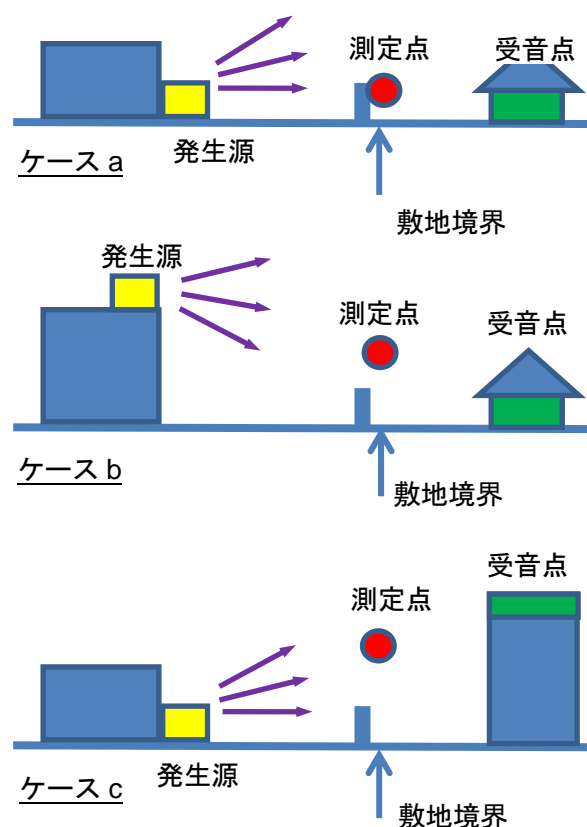


図 1.1 測定点選定の考え方

ケース a の場合は、測定点は敷地境界線で高さ 1.2～1.5 m に設置します。ケース b の場合は発生源の位置が高いため、測定点は発生源から受音点への直線経路上になりますが、測定が出来ない場合は、受音点で騒音レベルを測定し、その値と発生源との距離の関係から敷地境界線上の騒音レベルを推測することも可能となります。ケース c はケース b と逆の場合になりますがケース b と同様に考えます。

騒音の大きさの決定は、「特定工場等において発生する騒音の規制に関する基準」に示された方法によります。例えば、定常騒音の場合はその指示値、不規則・大幅に変動する騒音の場合は、90 %レンジの上端値 ( $L_{A5}$ ) となっています。建設作業騒音における評価値の決定方法も工場・事業場の場合と同様です。

騒音レベルの評価は、特定工場の場合は、朝・昼間・夕・夜間の時間帯及び区域区分ごとに定められた規制値と比較します。建設作業騒音の場合は、作業が昼間に限られているということと、区域区分によって時間帯が異なっていることに注意が必要です。

## (2) 要請限度に対応した測定

騒音規制法第 17 条には、自動車騒音に関して「測定に基づく要請および意見」が示されており、「市町村長は、自動車騒音を測定した結果が環境省令で定める限度を超えており、周辺の生活環境が著しく損なわれると認めるときは、地方公安委員会に交通規制等の措置をとるよう要請することが出来る。また、道路管理者に対しては道路構造の改善等の意見を述べる事が出来る」とされています。

測定は、道路に接して住居等が存在している場合には道路敷地の境界線で行い、道路から距離をおいて住居等がある場合には住居の前で騒音測定ができる地点において行います。また、測定は、原則として交差点を除いた所の自動車騒音を対象とし、連続する 7 日間のうち自動車騒音の状況を代表すると認められる 3 日間について行います。

騒音の評価値は、等価騒音レベルです。また、対象道路の自動車騒音以外の騒音による影響があると認められる場合は、影響を考慮に入れて実測値を補正するものとします。騒音の大きさは、原則として測定した値を 3 日間の全時間を通じての時間の区分ごとにエネルギー平均した値とします。

## 1.3 環境基準に基づく測定方法

騒音に関する環境基準は、自動車騒音を含む環境騒音、新幹線鉄道騒音、航空機騒音の 3 つについて定められています。

### (1) 環境騒音（道路に面する地域を含む）

環境騒音の評価は、住民が受ける騒音レベルによって評価することを基本とするため、住居において騒音の影響を受けやすい面での騒音レベルによって行います。この場合、屋内へ透過する騒音の基準は、騒音の影響を受けやすい面における騒音レベルからこの建物の遮音性能を差し引いて評価します。

環境基準は、地域の類型及び時間の区分ごとに基準値が定められています。地域の類型は、静穏を要する地域、住居が主な地域、相当数の住居があるものの商業や工業等の用途にも使われている地域などです。これらの地域の指定は、都道府県知事が行います。

時間の区分は、昼間を午前 6 時から午後 10 時の間とし、夜間を午後 10 時から翌日の午前 6

時の間としています。また、必要な実測時間が確保できない場合においては、測定に代えて道路交通量等の条件から騒音レベルを推計する方法により求めることが出来ます。

騒音の評価手法は、等価騒音レベルによるものとし、時間の区分ごとの全時間を通じた等価騒音レベルによって評価することになっています。評価の時期は、騒音が1年間を通じて平均的な状況を呈する日を選定します。

## (2) 新幹線鉄道騒音

環境基準に定められた新幹線鉄道騒音の評価は、新幹線鉄道の上り、下りの列車を合わせて、原則として連続して通過する20本の列車について、列車ごとの最大騒音レベル( $L_{A,Smax}$ )を測定し、そのうち上位半数の騒音レベルのエネルギー平均値を求めて評価します。2010年5月に環境省から発行された「新幹線鉄道騒音の測定・評価マニュアル[1]」には、騒音測定に関する詳細な説明が記述されています。以下にその中からいくつか抜粋します。

騒音の測定は、列車ごとの最大騒音レベルを測定しますが、従来、測定に広く使用されてきたレベルレコーダは、それを用いて最大騒音レベルを求めることは出来ません。

また、列車ごとの最大騒音レベルと列車が通過する直前または直後の暗騒音レベルとの差が10 dB未満の場合は、欠測（測定不能）とします。また、上下線の列車が重なって通過し、各列車を区別して評価できない場合も欠測とします。

環境基準との適合状況を見るための評価方法は次の計算式により求めます。

$$\bar{L}_{A,Smax} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{(L_{A,Smax,i})/10} \right\}$$

ここに、 $\bar{L}_{A,Smax}$  は最大騒音レベルのエネルギー平均値 (dB)、 $n$  はデータ数（上位半数が10本の場合、 $n=10$ ）、 $L_{A,Smax,i}$  は上位半数のうちの  $i$  番目の最大騒音レベル (dB)。

なお、「新幹線鉄道騒音に係る環境基準について」ではここで用いた「エネルギー平均」を「パワー平均」と称しています。

その他、新幹線鉄道騒音測定には、騒音レベルの根拠になる一つとして列車速度の測定が必要になります。列車速度  $V$ (km/h)は、次式の関係を用いて算出できます。

$$V = \frac{l}{t} \times 3.6 \quad (\text{km/h})$$

ここに、 $l$  は列車長(m)で16両編成の場合は400m、 $t$  は通過時間(s)。

なお、測定には、ストップウォッチ、ビデオカメラ等を用います。

## (3) 航空機騒音

現在、運用されている航空機騒音の環境基準は、1973年12月に告示され、都道府県知事が指定した地域の類型ごとに基準値が定められています。

航空機騒音の測定は、原則として連続7日間行い、暗騒音より10 dB以上大きい航空機騒音の最大騒音レベル及び飛来した航空機の時間帯別機数を記録します。

航空機騒音の評価は、最大騒音レベル及び時間帯別の機数を考慮して1日毎の加重等価平均感覚騒音レベル（単位：*WECPNL*）を算出し、そのすべての値をエネルギー平均して行います。次に1日毎に得られた *WECPNL* を用いて、7日間のエネルギー平均を求めます。

ここで、類型Ⅰをあてはめる地域は専ら住居の用に供される地域とし、類型Ⅱをあてはめる地域はⅠ以外の地域であって通常の生活を保全する必要がある地域とされています。

一方、近年の騒音測定機器の技術的進歩及び国際的動向に即して、2007年12月17日付けで環境基準が一部改正され、新たな評価指標を採用することになりました。

新しい評価指標は、時間帯補正等価騒音レベル( $L_{den}$ )です。これにあわせて基準値の改正も行われます。新基準値は表 1.1 に示すとおりです。この新しい評価指標は2013年の4月1日から運用されますがそれまでは現行の *WECPNL* が用いられます。

表 1.1 新基準（2013年4月1日以降運用）

地域の類型	基準値 ( $L_{den}$ )
Ⅰ	57 dB 以下
Ⅱ	62 dB 以下

地域の類型Ⅰ、Ⅱの区分けは現行の環境基準に定められた方法と同様

2010年7月に  $L_{den}$  の測定・評価に対応した「航空機騒音の測定・評価マニュアル[2]」が環境省から発行されました。これには、航空機の騒音測定・評価に関する詳細な説明が記述されています。以下にその中からいくつか抜粋します。

航空機騒音の測定は、原則として連続7日間行い、騒音レベルの最大値が暗騒音より10 dB以上大きい航空機騒音について、単発騒音暴露レベル ( $L_{AE}$ ) を計測します。ただし、 $L_{AE}$  の求め方については、JIS Z 8731 に従うことになっています。測定は、屋外で行い、測定点は、当該地域の航空機騒音を代表すると認められる地点を選定します。

評価は、次に示す式により1日（0:00~24:00）ごとの  $L_{den}$  を算出し、それらをすべてエネルギー平均して求めた値で行います。単位はデシベル(dB)です。

$$L_{den} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{T_0}{T} \left( \sum_i 10^{\frac{L_{AE,di}}{10}} + \sum_j 10^{\frac{L_{AE,ej}+5}{10}} + \sum_k 10^{\frac{L_{AE,nk}+10}{10}} \right) \right\}$$

ここに、 $i$ 、 $j$ 及び $k$ とは、各時間帯での観測標本の $i$ 番目、 $j$ 番目及び $k$ 番目をいい、 $L_{AE,di}$ は午前7時から午後7時までの時間帯における $i$ 番目の $L_{AE}$ 、 $L_{AE,ej}$ は午後7時から午後10時までの時間帯における $j$ 番目の $L_{AE}$ 、 $L_{AE,nk}$ は午前0時から午前7時まで及び午後10時から午後12時までの時間帯における $k$ 番目の $L_{AE}$ 、 $T_0$ は基準の時間(1秒)、 $T$ は観測1日の時間(86400秒)。

#### 1.4 その他の騒音測定方法

## (1) 在来鉄道騒音の測定法

新設や大規模改造を除く既設の在来鉄道に対しては騒音を規制する法令等はありませんが、新幹線や航空機に関する騒音測定・評価マニュアルの作成に合わせ、環境省は「在来鉄道騒音の測定マニュアル[3]」を作成し2010年5月に公表しました。

ここでは、列車ごとの最大騒音レベル  $L_{A,Smax}$  と単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  を測定し、個々の列車の  $L_{AE}$  に基づいて昼間(07~22:00)と夜間(22~07:00)の等価騒音レベルを算出する方法を定めています。

$L_{AE}$  の算出方法を図 1.2 に示します。測定は積分型騒音計の使用を前提としていますが、 $L_{A,Smax}$  に継続時間補正を行うことで近似的に  $L_{AE}$  を算出する方法も示されています。暗騒音レベルと最大騒音レベルとの差(S/N)が 10 dB 未満のときは欠測扱いとすることは新幹線と同様です。

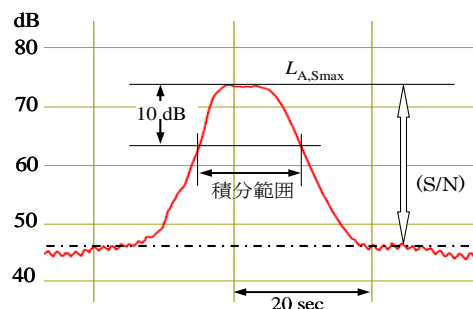


図 1.2 単発騒音暴露レベルの算出方法

昼夜の時間帯別の等価騒音レベルは次式によって算出します。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \frac{T_0}{T} \left( \frac{N_T}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{AE,i}/10} \right)$$

ここに、 $n$  は測定された列車本数、 $L_{AE,i}$  は  $i$  番目に測定された列車の単発騒音暴露レベル、 $T$  は昼間もしくは夜間の時間間隔、 $N_T$  は昼間もしくは夜間の時間帯に測定地点を走行する列車の本数、 $T_0$  は基準の時間(1 秒)。

マニュアルでは、測定地点を通過するすべての列車を測定することを義務付けてはいません。例えば、山手線では1時間あまりですべての列車のデータを得ることができます。列車速度や乗客数による騒音レベルの変動が小さければ、1時間データをもとに各時間帯の等価騒音レベルを求めることが可能です。データのばらつきによる測定本数の求め方はマニュアルに記載されていますので、必要な場合はそちらを参照してください。

## (2) 低周波音の測定方法

低周波音は、耳に聞こえない音というイメージで一般に認識されていますが、環境省では100Hz くらいまでの音を対象と考えており、人間の可聴域の音も含まれています。ただし、20Hz 以下の音を超低周波音といっています。

1998年に環境省から「低周波音の測定方法に関するマニュアル[4]」が発行されました。そこには、心身への影響をはかる評価値の一つとして G 特性音圧レベルが示されています。得られた G 特性音圧レベルは、「低周波音問題対応の手引書[5]」とあわせて、低周波音問題対応のための「評価指針」に示された「心身に係る苦情の参照値」により評価することができます。ただし、この参照値は、固定発生源からの低周波音に対しての評価であり、移動発生源、

発破等の衝撃的な低周波音については適用されません。

低周波音による影響の一つに建具等のがたつきがあります。建具等のがたつきの評価に関する測定は、周波数分析器等を用いて中心周波数 1～50Hz の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定します。得られた結果は、「低周波音問題対応の手引書」に示された「物的苦情の参照値」を参考に評価すればよいと思います。

### (3) 騒音対策を検討するための測定方法

騒音対策を検討するとき、必要となる情報は、騒音レベルの大きさ、騒音の周波数成分（高い音か低い音か）です。騒音レベルの大きさは、騒音計を用いて測定することができますが、周波数成分は、周波数分析器を用いなければ測定できません。周波数分析は、騒音計から直接周波数分析器に入力しても求められますが、一般的には、騒音計の出力をデータレコーダに記録し、その記録されたデータを再生しながら周波数成分を特定します。周波数分析器は、オクターブバンド、1/3 オクターブバンド分析器が一般的ですが、FFT というさらに高分解能の分析器を用いて分析することもあります。

周波数成分の情報は、建物の壁・窓・天井等による騒音の遮音性（透過損失）、防音塀による遮音量等を求めるときに必要となります。また、屋内空間の音エネルギーを小さくするために壁・天井等に取りつけられた吸音材による吸音力を知るためにも発生源の周波数成分の情報は必要となります。

測定に使用する騒音計は、JIS C 1509-1 に適合したものを用いて行います。JIS C 1509-1 にはクラス 1 とクラス 2 がありますが、クラス 1 は旧 JIS の精密騒音計にあたるもので、クラス 2 は普通騒音計に相当するものです。騒音対策を検討するような測定ではより正確な値が必要とされるので出来ればクラス 1 の騒音計を使用するほうが望ましいと考えられます。

騒音の測定方法は、目的に応じて異なります。例えば、防音塀の遮音効果を調べるときには、塀の設置前後の騒音レベルを測定すれば効果は明確ですが、設置された後にその効果を調べるには周波数分析の他に防音塀の材質、透過損失、高さ、幅などいくつかの情報が必要になってきます。

### 【1章参考文献】

- [1] 環境省：新幹線鉄道騒音の測定・評価マニュアル, 2010.5.
- [2] 環境省：航空機騒音の測定・評価マニュアル, 2010.7.
- [3] 環境省：在来鉄道騒音の測定マニュアル, 2010.5.
- [4] 環境省：低周波音の測定方法に関するマニュアル, 1998.10.
- [5] 環境省：「低周波音問題対応のための手引書」2004.6.

## 2章 騒音の対策方法

### 2.1 はじめに

騒音苦情の一番の解決策は問題となる音を無くしてしまうことですが、それができない場合は、苦情者に暴露する音の音量を下げる、あるいは問題となりやすい時間帯に音を出さない、などの対策を講じる必要があります。後者のソフト的な対策も有効ですが、本章では、音量を下げるというハード的な対策に主眼を置いて話を進めます。

本シリーズの#2 で触れましたが、音は空気中を伝わっていく過程で距離とともに減衰します。騒音対策は、音が空気の振動であることや直進性を有することなどを利用して、積極的に距離減衰以上の騒音低減を図ったものといえるでしょう。

なお、音の発生、伝搬、人への暴露という過程に対応して、騒音対策は「発生源対策」、「伝搬経路対策」、「受信側対策」の3つに分類できます。以下では、自動車、鉄道、航空機、工場・事業場、建設工事の5つの騒音源を対象にして、音の発生から暴露に至るそれぞれの過程で実施されている対策方法の概要を解説します。

### 2.2 騒音の対策方法と低減の仕組み

#### (1) 騒音の発生源における対策

火事の時に火元を絶つことが最善であるように、発生する騒音を極力小さくすることは、多くの場合、騒音の発生後に行われる伝搬経路対策や受信側対策に比べて効果的です。対策方法は発生源によって大きく異なるため、ここでは個別に紹介します。

##### >自動車騒音

走行している自動車からの主な騒音としては、エンジン関連騒音とタイヤ騒音を挙げることができます。

高圧の燃焼ガスがエンジンから排出される際の排気音については、排気管の途中にマフラーと呼ばれる「消音器」を取り付ける対策が取られてきました。最近では、消音器の性能向上とともに、エンジン本体に対する対策（ブロックの剛性増による振動放射音の抑制）やエンジンルームに対する対策（吸音処理による騒音低減）などが行われるようになり、低速走行時ではエンジンからの音がほとんど聞こえないような車も登場しています。

エンジン関連の騒音が下がったことによって浮かび上がってきた音がタイヤ騒音です。音の発生は、タイヤと路面との間で圧縮された空気の急な膨張によるもので、ポンピングノイズとも呼ばれます。空気の圧縮がなければ音は発生しないため、図 2.1 の右図の例に見られるように空隙を有する舗装としたり、圧縮の起こりにくいタイヤの溝形状にしたりするなどの対

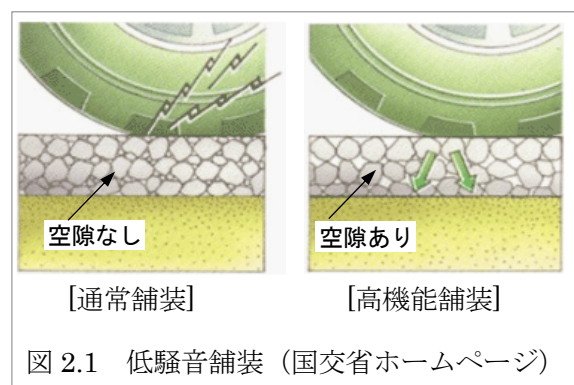


図 2.1 低騒音舗装（国交省ホームページ）



策が取られています。

なお、国交省の調査では、「高機能舗装」の平均的な効果は3 dB程度と報告しています。このような舗装は、雨天時に路面上の雨水によるスリップを防止するために開発された透水性舗装がその起源ですが、思わぬ副産物といえるかもしれません。

### ➤鉄道騒音

列車走行時の主な騒音としては、レールと車輪の衝突音（転動音とも呼ばれます）、モータや歯車などの駆動系に関わる騒音、パンタグラフに関わる集電系音を挙げることができます。

転動音に関しては、レールと車輪が接触する面の状態が騒音発生と深く関わっており、平滑さを保つために車輪滑走の防止装置の導入や目視等の検査に基づいた定期的な研磨が行われています。また、レールの継目を溶接してロングレールにすることも、衝撃的なジョイント音の対策として有効です。

駆動用のモータを冷却するためのファンの音は、しばらく前までは転動音よりも大きな騒音を出していました。最近になってファンをカバーで覆った「内扇型」と呼ばれるファンが登場してからは、ファン自体の騒音は大幅に低減しています。

パンタグラフからの音には、スパーク音、摺動音や空力音があります。これらは主に高速で



図 2.2 N700 系のパンタグラフ周辺  
(JR 東海「環境報告書 2009」より)

走行する新幹線鉄道で問題となる騒音で、パンタグラフが車体の上部にあることや空力的な騒音は列車速度の6~8乗に比例して増大するために、列車通過時の騒音レベルの最大値を決定してきました。対策方法としては、図 2.2 に示すように風防カバーを設置してパンタグラフ本体に当たる風を弱くして音源となる渦の発生を防止するとともに、両サイドに遮音壁を設置して沿線への騒音伝搬を防いでいます。

### ➤航空機騒音

航空機騒音に関しては、ジェット機が登場して以来、飛行機騒音の主音源であるジェットノイズをいかに下げるかということに対策の主眼が置かれてきました。

騒音対策の切り札として採られてきた手法が高バイパス比エンジンの採用です。「バイパス比」は、図 2.3 に示すように、エンジン吸気口に流入した空気の内、ファンによって後方に吐き出される空気量①と圧縮機に入ってジェット流としてノズルから噴き出される空気量②の比をいいます。

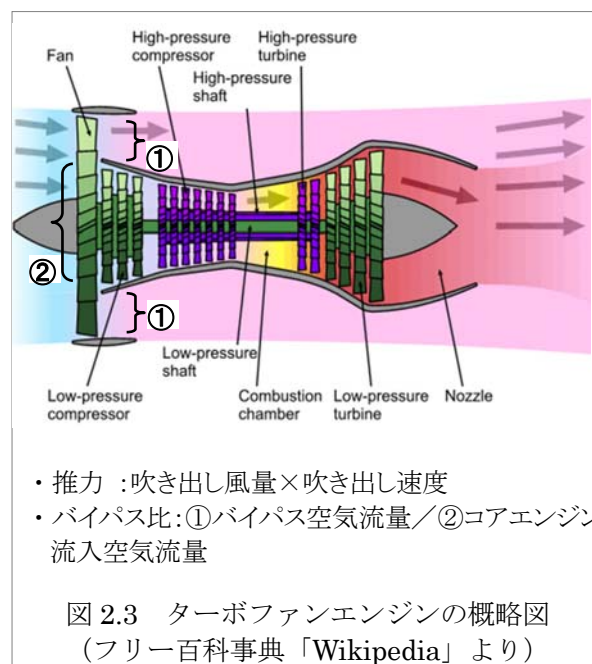
バイパス比を上げることが騒音低減に繋がる理由は以下のとおりです。

- ・ジェットエンジンの推力は、吐き出される空気の量とその速度の積で与えられます。

- ジェットの一部を利用して前面のファンを回転させ、大量の空気を後方に噴き出すことによって噴き出し速度は低下しても総合的な推力は維持できます。

- ジェットノイズは噴き出し速度の 6~8 乗に比例しますが、高速で噴き出すジェットの量が減ることによって騒音レベルも下がります。

近年の高バイパス比（概ね 5 以上）のターボファンエンジンを積んだ B767 や B777 などのジェット旅客機は、1970 年代初期の B737 や B727 に比べて 20 dB あまりの騒音低減を実現しています。これは飛行機の本数が 1/100 に減ったことと等価です。



### ➤工場・事業場騒音

1968 年に制定された騒音規制法では、著しい騒音を発生する施設を「特定施設」と定め、それを設置した工場または事業場（特定工場等と呼びます）に対して、その敷地境界線において騒音の発生量を規制しています。

対象となる施設は、金属加工機械、建設用資材製造機械、木材加工機械など多種多様ですが [☞“騒音規制法施行令”]、力を加えて何らかの製品を製造、加工する機械が大半を占めています。

例えば、鍛造機はかなづちと同じ仕組みで短時間に大きな力を加えて金属等を加工しますが、その際に著しい騒音が発生します。同じ仕事量になるまでゆっくり力を加えれば騒音は低減できますが、そのためには大掛かりな装置が必要になり、必ずしも効率的とは言えません。

幸いにも特定施設の多くは工場建物の中で稼動することが多く、空気圧縮機や送風機などを除けば、発生源そのものに対する対策よりも次項に述べる建物を利用した伝搬対策に重点を置いて騒音対策が行われてきました。

### ➤建設工事騒音

騒音規制法では、工場・事業場の特定施設と同様に、著しい騒音を発生する作業を「特定建設作業」と定め、その作業を伴う建設工事に対して騒音規制を行っています。

対象となる作業は、くい打ち機、削岩機、バックホウ、ブルドーザーなどの機械を使用する作業ですが [☞“騒音規制法施行令”]、これらの機械の多くは破壊・掘削・運搬がメインであり、作業性を損なわないで騒音だけを下げるとは極めて困難です。

このような騒音対策の難しさを抱える建設工事で採られた対策方法は、これまでより低騒音の機械や工法の開発です。たとえば、従来のくい打ち作業では、錘を落下させて杭を打ち込むために著しい衝撃音を発生していました。これに対して、近年では、杭を振動させて打ち込む

工法や事前に穴を掘削して現場で杭を造る工法などが生み出され[☞“杭基礎”]、都市部では昔のような「槌音」を耳にすることはほとんどなくなりました。

低騒音の新しい工法の開発が進む一方で、バックホウやブルドーザーのような代替の難しい機械については、エンジン音のような機械本体が出す音に対する低騒音化の要望が高まり、国交省は、従来の機械よりも一定範囲の低騒音化が実現できた機械に対しては「低騒音型建設機械」に認定して特定建設作業の対象から除外するとともに、機械の使用に際して財政的に優遇する政策を実施しています。図 2.4 は認定を受けた建設機械に添付するステッカーです。



## (2) 騒音の伝搬経路における対策

航空機を除く騒音源については、通常、騒音の伝搬経路において何らかの対策が実施されています。ここでは、騒音の種類を特に限定せずに、騒音源が屋内にある場合と屋外にある場合に分けて解説します。

### 1) 建物による騒音対策

#### ➤吸音対策

騒音源が工場建物などの屋内にある場合、壁や天井の遮音効果を利用して騒音低減を図ることができます。しかし、建物内に音を閉じ込めることによって室内の騒音レベルが上昇するという問題が生じます。

図 2.5 は、屋外や屋内で騒音が伝搬する際の伝搬特性の一例で、距離 1m 点での音圧レベルを 0 dB として示したものです。図中の青線は、屋外における点音源からの音の減衰特性で、距離が 2 倍になると 6 dB (10 倍の距離では 20 dB) の減衰になっています。

一方、赤線は屋内における伝搬特性の一例ですが、騒音レベルは青線のように距離とともに減少することなく一定値に収束する傾向が見られます。

屋内の任意の点の騒音レベルは、騒音源からの「直接音」と壁・床・天井などからの「反射音」の合成値として与えられます\*。反射音の強さは場所によらずにほぼ一定で、室内の吸音特性に大きく依存します。室内が反射性のときは

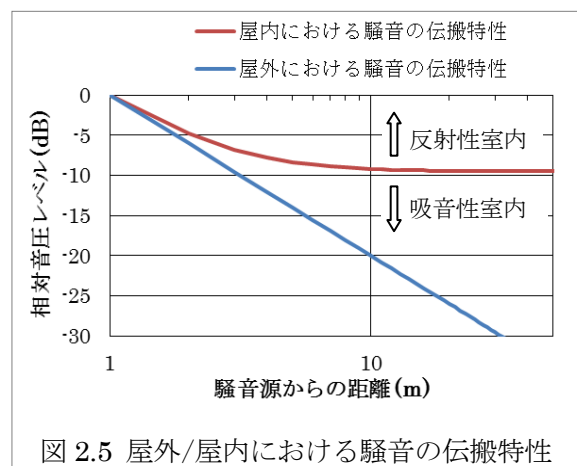


図 2.5 屋外/屋内における騒音の伝搬特性

\* 建物(室内表面積: $S(\text{m}^2)$ 、平均吸音率: $\bar{\alpha}$ )の内の地上にある騒音源(パワーレベル: $L_w$ )から  $r(\text{m})$ 離れた位置の音圧レベル  $L$ は次式で表されます。

$$L = L_w + 10 \log(1/(2\pi \cdot r^2) + 4(1 - \bar{\alpha})/S\bar{\alpha}) \quad [\text{dB}]$$

対数内の第 1 項は直接音、第 2 項は反射音を表しており、 $\bar{\alpha}$ によって第 2 項の値が変化します。

反射音が直接音を上回るようになり、図の赤線のように反射音が騒音レベルを決定します。壁や天井に吸音材料を取り付けて室内を吸音性とすることにより反射音が低下し、直接音だけで決定される図の青線の屋外での伝搬特性に近づきます。

吸音対策は、壁や天井に入射する騒音の中の反射音成分を減らすことであり、図の赤線の位置から下げることができた騒音レベルが吸音効果になります。

## ➤遮音対策

壁などに入射した騒音をできるだけ屋外に出さないようにすることが遮音対策です。音の伝搬の双方向性を考えれば、建物の内から外へ出る工場騒音の対策だけでなく、受音側対策としての外から内への騒音の侵入に対しても遮音対策は有効です。

本シリーズの#2 で材料の音を遮る能力を「透過損失」で表すことを述べました。均質な材料から構成される単一の板に、あらゆる方向から音が入射したときの透過損失  $TL$  は近似的に次式で表せます。

$$TL \cong 18 \log(f \cdot m) - 44 \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

ここに、 $f$ は周波数(Hz)、 $m$ は材料の重さを表す面密度( $\text{kg}/\text{m}^2$ )。

式(1)によれば、材料の重さと周波数が2倍になれば透過損失は5.4 dBほど増加します。

材料の重量を増せば透過損失も増えますが、単一壁では限界があります。例えば、10 cm 厚のコンクリート ( $225 \text{ kg}/\text{m}^2$ ) の 500 Hz の音の透過損失は 47.0 dB で、厚さを2倍の 20 cm にすれば 52.4 dB になります。しかし、マンションなどでは 40 cm の厚さにして更に 5 dB 増やすことは構造上不可能でしょう。

限られた重量でより大きな透過損失を得る方策として、壁を二重構造にする方法が従来から採られてきました。一重壁で得られる透過損失を2倍にしようという発想ですが、期待通りの効果が得られる反面、二重構造に伴う問題点が出てきます。

単一壁、2倍の重量の単一壁、及び2枚の単一壁の間に空気層を設けた二重壁の3種類の壁材料の透過損失の一般的な周波数特性を図 2.6 に示します。

まず、青線と赤線の単一壁の特性について眺めてみましょう。重さや周波数が2倍になれば、透過損失は 5.4 dB (周波数が10倍で 18 dB) 増加する傾向が示されています。ところが、いずれの単一壁にも高音域において「コインシデンス効果<sup>†</sup>」の影響による透過損失の低下が見られます。

二重壁とした場合の透過損失については、黒線に示されるように中高音域では単一壁の透過損失を足し合わせた効果も見られますが、コインシデンス効果による低下とともに、低音域でも特定の周波数で低下が見られます。後者は、材料間の空気層がバネとして作用することで起

---

<sup>†</sup>音が板に斜め方向から入射すると、波長と入射角に対応した間隔の圧力分布を板上に生じます。この間隔と波長が一致する板の曲げ波(屈曲波)は振動が増幅され、透過損失が低下します。この現象をコインシデンス効果といい、現象が起こる最も低い周波数がコインシデンス周波数( $f_c$ )です。

こる共鳴現象で、この周波数を低音域共鳴周波数( $f_{rmd}$ )といいます。

透過損失の低下を防ぐ方法も種々開発されていますが、二重壁構造をはじめとして多くの材料の透過損失は、実際に測定を行って初めて分かるというのが現状です。使われている材料、あるいはこれから使う予定の材料の遮音性能に関しては、材料自身の透過損失の測定データをもとに問題点の有無を検討することが必要です。

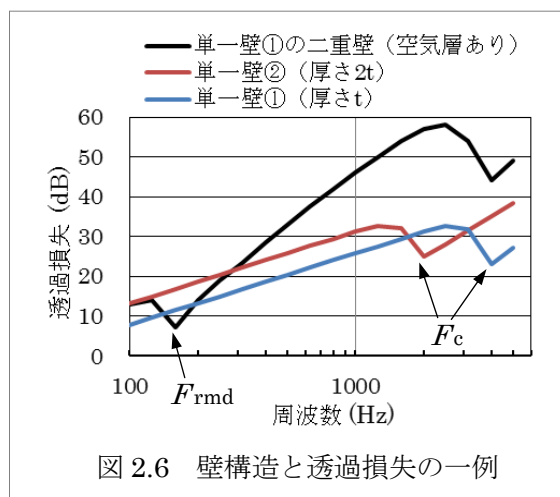


図 2.6 壁構造と透過損失の一例

## 2) 屋外における騒音対策

屋外にある騒音源から放射された騒音、あるいは工場建物の壁などを透過して屋外に出た騒音などに対しては、専ら遮音壁（防音塀）による対策が行われます。

照明器の前に衝立を置くとその背後が暗くなるのは、光が真っ直ぐに進もうとする直進性を有しているからです。光ほどではなくても、音も同じような直進性を有しており、波長が短く周波数の高い音ほどその傾向が強くなります。このような音の直進性を利用した騒音対策が防音塀による遮蔽対策です。

なお、音は直進性を有する一方で遮蔽物の背後に回り込む「回折」と呼ばれる性質があります。そのため、塀によって完全に音を遮ることはできません。直進性とは逆に回り込みの度合は、波長が長くて周波数の低い音ほど高くなります。

塀等による遮蔽効果は、図 2.7 に示すように経路差と周波数によって求めることができます [1]。経路差は、音源位置(S)から塀の先端を迂回して受音点位置(P)に至るまでの距離(A+B)と 2 点間の直線距離(d)の差です。図の直線部分に関しては、周波数や経路差が 2 倍になれば 3 dB 増加する傾向になっています。

塀を高くすることで遮蔽効果は高まりますが、逆に日照や耐風圧の問題が発生します。最近では、塀の高さを上げないでより大きな減衰効果を期待する「先端改良型防音塀」などが開発されています。

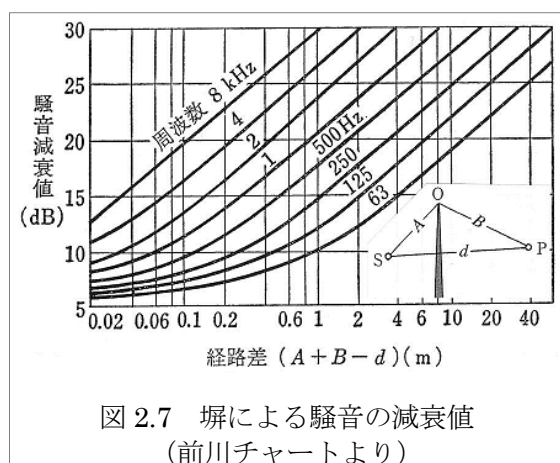


図 2.7 塀による騒音の減衰値 (前川チャートより)

## (3) 騒音の受信側における対策

受信側における最も一般的な対策方法は住宅の防音工事で、我が国では、伝搬過程での対策

が困難な航空機騒音を対象に、環境基準をクリアできていない地域で実施されてきました。

住宅の防音工事は、通常、窓などの建物の遮音性能の低い部位を対象に行われますが、窓が小さいときや住宅構造によっては壁から透過する騒音のほうが支配的になることもあります。壁や窓などの部位ごとの寸法と透過損失の両方を考慮して、総合的な遮音設計を行うことが望まれます。

また、対象とする音源の種別についての配慮も必要です。例えば、音の到来方向が一方に限定される場合は、ある程度対象とする壁面を絞ることも可能ですが、上空の飛行機に関しては屋根も含めた全方位的な遮音対策を考える必要があります。

近年では、個々の住宅の遮音性能の向上だけではなく、音をさえぎる建築物（バッファビル）の建設、バッファゾーンや植樹帯の設置など都市開発の段階から騒音に留意した「街づくり」が行われるようになってきています。

#### **(4) ソフト的対策**

これまでに述べてきた対策方法は、基本的に騒音レベルを下げるというハード的な手法です。これに対して、シリーズ#1でも触れましたが、騒音被害を生じる要因を考慮した運用面などでの対策（ソフト的対策）によっても大きな効果を発揮できることがあります。

例えば、建設工事の場合、不必要な音を出さないように作業員への指導を徹底する、突然の大きな音に周辺住民がびっくりすることのないように作業予定を事前に周知する、騒音以外の粉塵や臭気などについても必要な処置をとる、といったようなことが苦情の発生防止や問題の深刻化を防ぐために有効です。

特に、人間関係の絡むことの多い近隣生活騒音の問題においては、ハード的な騒音対策では限界があり、日ごろの住民同士の良好なコミュニケーションを構築する、市町村や自治会・管理組合などから適切なアドバイスを受けられるようにする、といったような活動を促進していくことが有効な対策方法といえそうです。

#### **【2章参考文献】**

[1] 騒音防止ガイドブック - 誰にもわかる音環境の話 - : 前川純一、岡本圭弘、共立出版(株).

#### **【番外編4：聴こえと我慢の狭間で】**

シリーズ#3で、人が聴くことのできる音の強さは、最小可聴音圧から最大可聴音圧の範囲にあることを解説しました。前者はかろうじて聴こえる音の強さ、後者は痛くて我慢できなくなる音の強さです。加齢による聴力の衰え、特に高音域の音の聴こえの低下は、多くの人に訪れる生理的現象の一つです。

聴こえが悪くなることは、騒音対策によって音が小さくなることと同じはずですが、私自身は、車のクラクションやドアの開閉音はもとより、食器のぶつかる音やハイヒールの靴音など

が以前にも増して耳障りに感じられます。歳とともに最小可聴音圧は上がっていますが、逆に、痛みを伴う最大可聴音圧は下がっているのかもしれない。それとも、心理的な音に対する我慢の許容度が低下しているからでしょうか。