

鉄道騒音の沿線への伝播を再現する

小方 幸恵

環境工学研究部(騒音解析研究室 主任研究員)



おがた ゆきえ

はじめに

鉄道車両が走行することによって、沿線にはその走行音が伝播します。新幹線電車の場合、沿線に伝播する音の音源は発生部位別に、車両下部音、集電系音、上部空力音および構造物音に分類されます(図1)。一方、在来鉄道の場合には新幹線ほど列車速度が高くないため、車体が風を切って発生する空力音が小さく、構造物音以外では車両下部に音源が集中します。これらの音源から発生した音は、沿線に伝播し、それが観測されます。観測される音は、大きさとそれを構成する周波数特性が重要なポイントとなります。

各音源から発生する音は、車両種別、構造物種別、走行条件等によって大きさや周波数が異なります。たとえば、異なる形式の車両の音を聴き比べれば、聞こえる音が違うことに気づくかもしれません。また、鉄道構造物がコンクリートの高架橋の場合と鉄橋の場合で走行音を聴き比べれば、やはりその違いに気づくでしょう。このように、発生源である音源の特性が異なれば、当然、沿線に伝播して観測される音もそれに伴って異なってきます。さらに、音源が同じでも、沿線に伝播する過程によっては、観測される騒音の大きさや周波数特性が変わってきます。たとえば、鉄道に近いところで走行音を聞けばその音は大きく聞こえ、鉄道から遠いところで聞けば小さく聞こえます。これは、主に音の距離減衰によるものですが、音源から発生し

た音が沿線に伝播して受信点に達するとき、受信点での騒音レベルを決定する要因には、この距離減衰の他にも、反射、遮蔽、回折(音が遮蔽物端で回り込むこと)などが挙げられます。

音響模型試験の位置付け

鉄道の各音源から発生した走行音は、音源から受信点までの経路を進む間に反射、遮蔽、回折などの過程を経て受信点に到達します(図2)。したがって、音源と伝播過程の様子(条件)が、受信点における騒音の大きさを決定します。そのような受信点における鉄道騒音の大きさを知る方法としては、主として実車での測定、予測計算、および音響模型試験の3つが挙げられます(図3)が、それらにはそれぞれの長所と短所があります。

沿線騒音の大きさを知る方法の1つ目は、実際に鉄道沿線において騒音を測定する方法です。これは最も明快な方法で、音源や伝播過程の条件が定量的にわからなくても、評価点における騒音を測定することにより、直接騒音の大きさを知ることができます。しかし、音源や伝播過程の条件が実測した条件と異なる場合の答えを得ることはできないことが欠点です。音源や伝播過程の条件を自由に選択し、評価点における騒音の大きさを知るためには、2つ目の予測計算による方法が便利です。予測計算では、音源や伝播過程を単純な形でモデル化します。条件の変更は、モデル

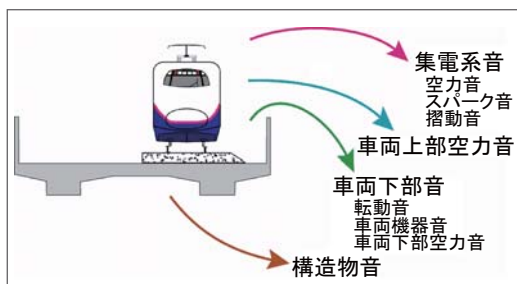


図1 新幹線鉄道騒音の主要な音源要素

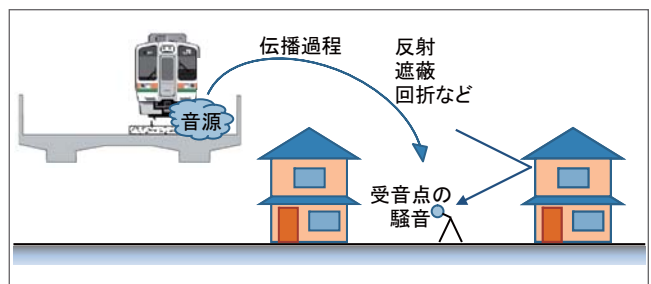


図2 走行音の伝播の様子

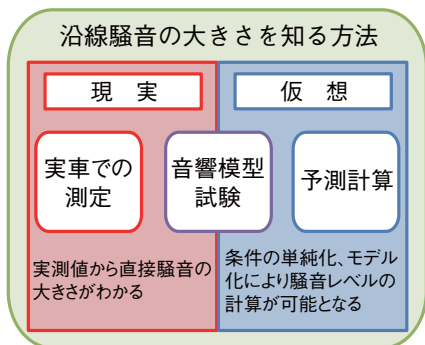


図3 沿線騒音の大きさを知る方法

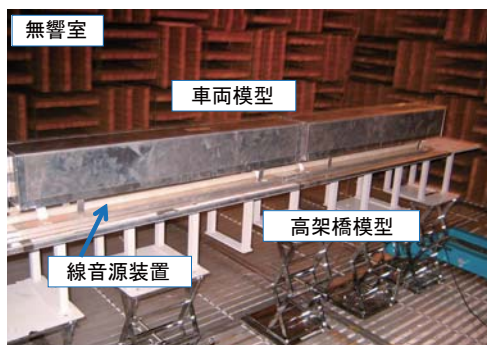


図4 無響室における音響模型試験の様子

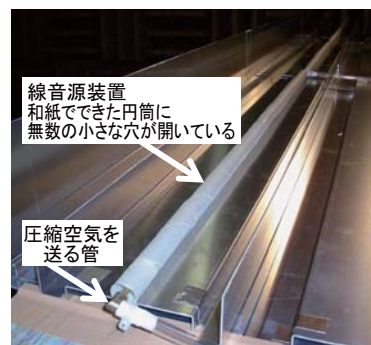


図5 有限長線音源装置

のパラメータの変更によって行うことができるため、短時間で多くの条件の結果を得ることができます。しかし複雑な条件の場合には、単純なモデルでその状況を表わすことができないため、計算が困難です。これら実車での測定と予測計算の双方の長所を保ちながら、欠点を補うことができる方法が、音響模型試験の結果を用いて沿線騒音の大きさを評価する方法です。

音響模型試験では、車両や軌道構造物、沿線状況を模型で再現し、音源装置から発生する音を、沿線の受音点に相当する位置に設置したマイクロホンによって測定します。音響模型試験の特徴は、実車での測定の場合と同様に、実際に音を測定することによって評価点における騒音の大きさを知ることができるという点と、一方で予測計算と同様に、模型の形状などを変更することにより、伝播に関わる設定の選択が容易であるという点です。この2つの特徴を持つため、模型の条件を次々に変更して測定することにより、系統的な試験を行うことができます。更に音響模型試験の結果は、反射、遮蔽および回折などの影響を定量的に把握することにより、沿線騒音の予測計算手法を作り上げる一助にもなります。沿線騒音の予測手法を作り上げるためには、沿線騒音の分布を把握し、それを表現できるモデルを見つけることが必要となりますが、音響模型試験の結果から、この騒音分布と適切なモデルを導くヒントを得ることができます。模型などを用いて単純化した仮想的な状態にありながらも、実際の鉄道沿線における走行音の伝播を再現でき、音を測定できるところが、音響模型試験のメリットと言えます。

以下では、これまでに鉄道総研で実施した音響模型試験の手法の概要と実施例を紹介します。

音響模型試験手法の概要

無響室

音響模型試験は、「無響室」と呼ばれる特殊な実験室で行います。音響模型試験では、この部屋に車両や構造物の模型、音源装置およびマイクロホンを設置します。無響室

とは、文字通り、音が響かない部屋、音の反射がない部屋のことです。音が反射しない状況を自由音場と呼び、無響室はこのような空間を作ることができる音響実験室です。床、壁および天井の各面に吸音材がついていて、地面や反射物がなく無限に広がっている空間を再現できるようになっています。図4は、鉄道総研の無響室で行った音響模型試験の様子を示しています。無響室の大きさは、縦、横、高さがそれぞれ4.9m、5.2m、2.45～2.6mです。

縮尺模型と相似則

残念ながら無響室は実寸大の車両や軌道構造物が入るほど大きくないので、音響模型試験では、実寸から縮尺した模型を使用します。鉄道総研の無響室で行う音響模型試験の縮尺比は大抵、1/20または1/25で、車両、軌道構造物、および周辺の建物などをこの縮尺で作ります。音響模型試験において縮尺模型を用いることができるのは、物の大きさと波長の比が一定であれば騒音の伝播に関わる現象は同じであるという相似則が成り立つからです。音の周波数は波長に反比例するため、実際の走行音の周波数を f_r Hz、縮尺比を $1/n$ とすると、模型試験で使用する音の周波数 f_m Hzは、 $f_m = f_r \times n$ となります¹⁾。例えば、実車の1kHzの音について考えれば、縮尺比1/20での模型試験用の音の周波数は20kHzとなります。したがって、縮尺比が1/20の模型を用いる場合は、実際の走行音より20倍高い周波数の音を発生する装置を使用して、音響模型試験を行います。

音源装置とマイクロホン

鉄道の走行音を沿線で観測すると、列車の移動に伴って騒音の大きさは時間的に変動します。しかし音響模型試験では、音の大きさが時間的に定常な音源装置を、実際の音源に相当する位置に固定します。鉄道総研の音響模型試験で使用する音源装置は、圧縮空気を利用した線音源で、広い周波数域の音を長時間一定して出し続けることができます(図5)。この音源は円筒の形をしていて、円筒の周りに等しく音を放射する性質を持ちます。線音源の他に点音源を模擬できるものもあります。またこれらは、相似則に適

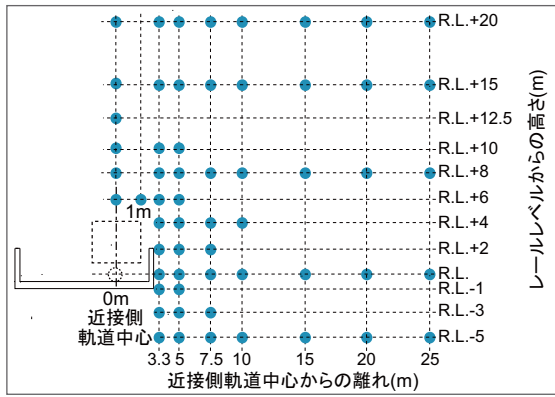


図6 鉛直断面内騒音分布調査のための測定点の例

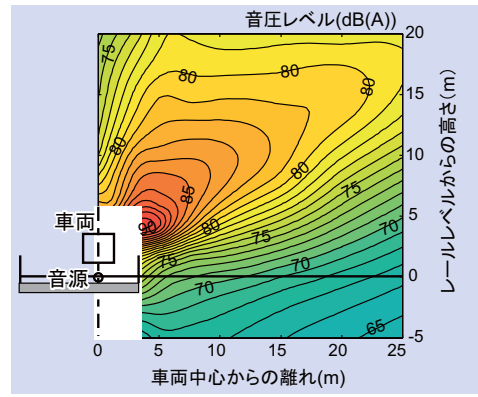


図7 音響模型試験から求めた鉛直断面内の騒音分布の例 (防音壁2m, 在来鉄道の電車, V=80km/h)

う高い周波数の音を出すことができます。音源から発生して沿線に伝播した音を測定するマイクロホンも、高い周波数の音に対応できるもの(1/4インチマイクロホン)を使用します。音源装置から出る音と実際の鉄道の走行音の周波数特性は異なるため、基準となる点の実車での測定値と音響模型試験での測定値を用いて実車換算を行い、最終的に音響模型試験から得られる結果が実際の鉄道車両の走行音と等価となるように補正します。

音響模型試験実施時の留意点

音響模型試験は、鉄道沿線の騒音の大きさを知る上で非常に役立つ方法ですが、実車での測定と音響模型試験では試験装置の特性に違いがあるため、音響模型試験において実際の沿線騒音と同等の結果を得るためには工夫が必要です。例えば、音の入射角に対するマイクロホンの感度、吸音材料の吸音率、音源の置き方、空気による音の吸収などです。音響模型試験の結果を完全に実車による測定値と一致させることはできませんが、実際により近い結果を得るためには、これらの事柄に留意して試験を行う必要があります。

音響模型試験の実施例

鉛直断面内の騒音伝播特性

鉄道沿線の鉛直断面内での騒音分布を調べるためには、図6に示すように多くの点での測定データが必要になります。これを実測しようとする、列車が1回走行するときに測定点数だけ騒音計が必要になり、マイクロホンを設置するだけでも大変な作業量となります。ところが音響模型試験では、音源の状態が一定であるため、音源から音を発生し続けながら、ある測定点で音を測定し、それが終わると次の測定点へマ

イクロホンを移動し、また測定、移動、という具合に測定と移動を繰り返し、同一条件での多点測定が可能となります。図7に断面内での騒音分布を調べた結果の一例を示します²⁾。この結果から、レールが防音壁によって見えない領域では、防音壁による遮蔽の効果が大きく、沿線騒音が小さくなるのがわかります。

各種防音壁の騒音低減効果

軌道に沿って敷設される防音壁は、主たる騒音対策の一つで、車両下部から発生する音に対して大きな低減効果を持ちます。新幹線の場合には、車両下部だけでなく、パンタグラフなど車両上部にも音源があるため、これらに対する効果も必要となります。そうしたことから、新幹線の場合にも高い騒音低減効果を持つ防音壁の形状を探る音響模型試験が行われました³⁾。この試験による結果は、車両下部音の騒音分布と集電系音の騒音分布を別々に測定し、それらを実際の新幹線電車から発生する音と等価になるように補正して得られました。表1にその試験結果を示します。この結果から、Y型防音壁が新幹線用防音壁として優れていることがわかりました。また、この試験の後に、Y型形状をベースに吸音材の貼付など更に対策を施した音響模型試験を実施し、それらの対策によって騒音低減効果が更に

表1 高さ2mの各防音壁の騒音低減効果の推定値

(基準：直立防音壁、高さレールレベル+2m)

新幹線電車 V=275km/h 評価点：25m離れ、レールレベル-6m高さ

防音壁の形状	基準 直立型	逆L型	内側 傾斜型	外側 傾斜型	Y型	T型
	低減効果					
車両下部音	0dB	3.4dB	0.9dB	1.6dB	6.3dB	4.5dB
集電系音	0dB	-0.5dB	-2.3dB	2.7dB	3.5dB	2.5dB
全体音	0dB	1.8dB	-0.3dB	1.9dB	5.2dB	3.8dB

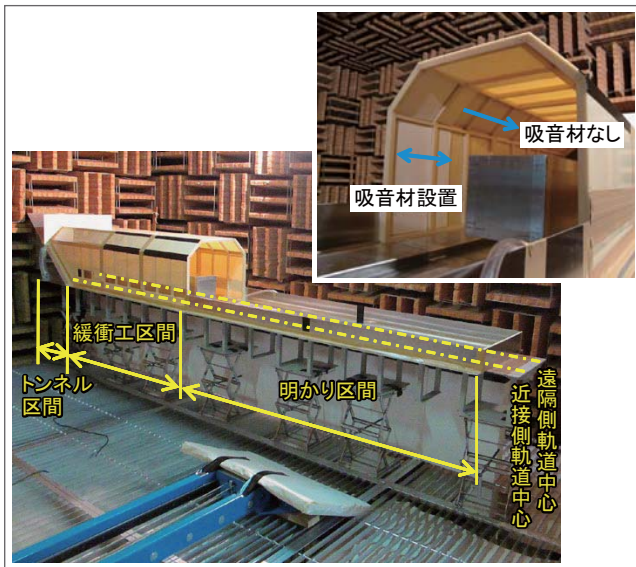


図8 音響模型試験によるトンネル坑口付近の騒音伝播特性確認の様子

増すことが分かりました。このように、実際の鉄道では敷設が大がかりになりコストがかかる場合でも、音響模型試験であれば模型を変更して各種条件での沿線騒音を知ることができます。

トンネル坑口付近の騒音伝播特性

トンネル坑口付近では、通常の走行音だけでなく、トンネル内を走行している部分から発生する音がトンネル内を反響して坑口から放射される音加わるため、一般に騒音レベルが高くなります。トンネル坑口付近での騒音対策としては、トンネル微気圧波対策の緩衝工が設置されている場合には、その内側に吸音材を貼り付けることが考えられます。しかし、トンネル内での反響を含めた騒音の伝播特性は非常に複雑であり、その対策効果を予測計算により評価することは困難です。このような場合、実際に対策を行う際の事前検討の手段として、音響模型試験が非常に有用です。そこで、トンネル緩衝工内の吸音材の効果を模型試験によって確認しました(図8)。この結果により、吸音材の設置位置および設置延長と騒音低減効果の関係が求められました。

住宅地の騒音伝播特性

鉄道沿線には、住宅などの建物が多く存在する場所が少なくありません。そのような場所では、音源から発生した走行音は、建物があるために、反射、遮蔽および回折など、複雑な伝播経路を経て受音点に到達します。反射、遮蔽および回折などの現象をそれぞれ定量的に把握するのは難しく、更に理論的な式で表現することはなかなかできません。建物などによって沿線騒音を受ける影響は、建物がある場合とない場合での沿線騒音の大きさの差

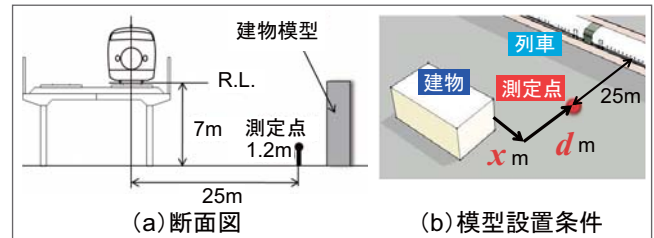


図9 背後建物の影響調査例(数値:実寸表示)

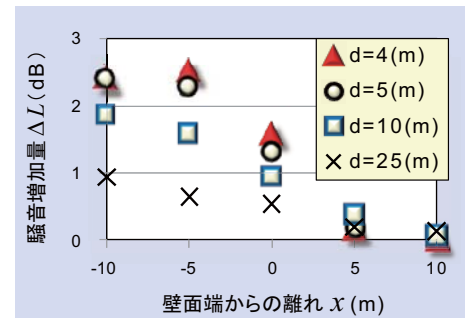


図10 背後建物の影響調査結果例

によって評価されます。実車による測定では、現地の建物を簡単に取り除くことができないため、建物の有無による影響を評価することは困難です。そこで、音響模型試験によりこれを系統的に調べました。住宅地における騒音伝播特性を求めた一例を図9および図10に示します。この例は、測定点の背後にある建物の影響を検討したものです。この結果から、測定点が建物の前面にない場合(x が正の場合)には建物からの反射の影響は小さいことがわかります。

おわりに

鉄道の走行音の伝播に関しては、未だに定量的には明確になっていない事象も多くあります。沿線騒音の伝播を把握し、沿線騒音の対策を進めるためには、実車での測定、予測計算および音響模型試験それぞれの利点を生かし、それらの理解を進展させなければなりません。列車の走行音の伝播を理論的に理解するためには、音響模型試験による結果の解析は、とても役に立つ手法です。音響模型試験は、目的に合わせて適切な方法で実施する必要があります。新しい内容の試験を行うたびに手探りでより良い方法を探している現状がありますが、鉄道沿線環境の向上に資するため、今後も鋭意音響模型試験を進めて参ります。[RRR]

文献

- 1) 道路交通騒音の予測モデル“ASJ RTN-Model 2008”
- 2) 小方幸恵, 長倉清: 鉄道沿線騒音に対するレール近接防音壁の効果の検証, 騒音制御工学会秋季研究発表会, 2010
- 3) 長倉清, 北川敏樹: 新幹線用防音壁の形状に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.16, No.12, 2002