

鉄道沿線における高所空間に適用可能な騒音予測手法

環境工学研究部 騒音解析

研究室長 長倉 清

1. 研究の目的

近年、鉄道沿線に高層住宅が増え、これらの場所を含めた高所空間における騒音予測手法の確立が求められている。これまでに公表されている鉄道騒音予測手法¹⁻³⁾は、主に地上付近で測定されたデータをもとに構築されており、高所空間における精度が十分に検証されているとはいえない。一方、高所空間においては、これらの予測手法では考慮されていない線路直交断面内の音源の指向特性(以下、単に指向特性)や車両、防音壁による音の反射の影響があると考えられる。そこで、本研究では高所空間における予測精度向上のため、音源パワーが大きく高所空間において問題となると考えられる転動音等の車両下部から発生する音を対象に、現地試験、模型試験により音源の指向特性および車両、防音壁による音の反射の影響を調査し、これらの結果を反映させた騒音予測モデルを提案した。

2. 線路直交断面内の音源の指向特性に関する検討

2.1 現車試験による検討

転動音の指向特性を把握するため、鉄道総研内の試験線(ループ線)において、車両(気動車1両、惰行時、速度32~33km/h)が走行する際の騒音レベルを線路直交断面内の複数の測定点(軌道中心から半径6mおよび10mの円弧上、水平方向からの仰角 ϕ が0~75°までの15°間隔の点)において同時に測定した。各測定点での時間重み付け特性Fでの騒音レベル変動から、車両の前台車、後台車に対応するレベルピークを読みとった値を角度 ϕ に対してプロットした結果を図1に示す。図1より、転動音は鉛直方向に弱く、水平方向に強い指向特性を持つことがわかる。また、 $\phi=0^\circ$ の測定点では $\phi=15^\circ$ の測定点に比べて騒音レベルが2.5dB程度大きい、これは地面反射音の影響と考えられる。

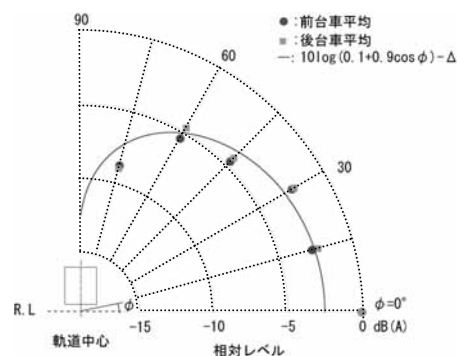


図1 現車試験で得られた転動音の指向特性(現車試験・気動車惰行時、10m 離れ点、 $\phi=0^\circ$ での値を0dB)

この指向特性を表す数式表現を検討した結果、式(1)により、よい近似が得られた。

$$D(\phi) = 0.1 + 0.9 \cos \phi \quad (1)$$

2.2 模型実験による検討

式(1)で近似される転動音の指向特性の原因としては、音源であるレールや車輪の上部に車両があることにより上方への騒音伝搬が抑えられることが考えられる。この原因を確認するため、無響室において1/20縮尺模型実験を実施した。音源として直径20mmで周方向には無指向性となる圧縮空気を利用した線音源を測定点側のレール位置に設置し、車両模型を線音源の上部に設置した場合と設置しない場合の騒音レベル分布を測定した。測定点は現車試験と同じ位置に加え、現車試験では測定困難な $\phi=90^\circ$ の点を追加した。得られた結果は、模型の縮尺および模型実験と現

車の音源の周波数スペクトルの差を考慮することにより，現車対応の騒音レベルに換算した。

得られた指向特性と式(1)で示される指向特性の比較を図2に示す。車両模型がある場合には上方で大きく騒音レベルが減衰していること，地面反射の影響が大きいと考えられる $\phi = 0^\circ, 15^\circ$ の地点を除き，指向特性は式(1)により近似されることがわかる。

以上の結果から，転動音の指向特性は，車両が音源の上部に存在することが騒音伝搬に影響して生じると考えられる。また，車両が指向特性に影響を与えていることから，車両の下に位置する他の音源（主電動機ファン騒音等）についても転動音と同様の指向特性を持つことが推察される。さらに，模型実験により得られた指向特性と現車試験で得られた指向特性がほぼ同等であることから，模型実験によって線路直交断面内の騒音伝搬特性をほぼ模擬できると考えてよい。

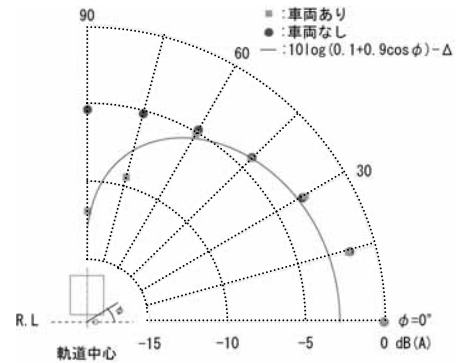


図2 縮尺模型実験による指向特性
(10m 離れ相当点)

3. 車両・防音壁の影響に関する検討

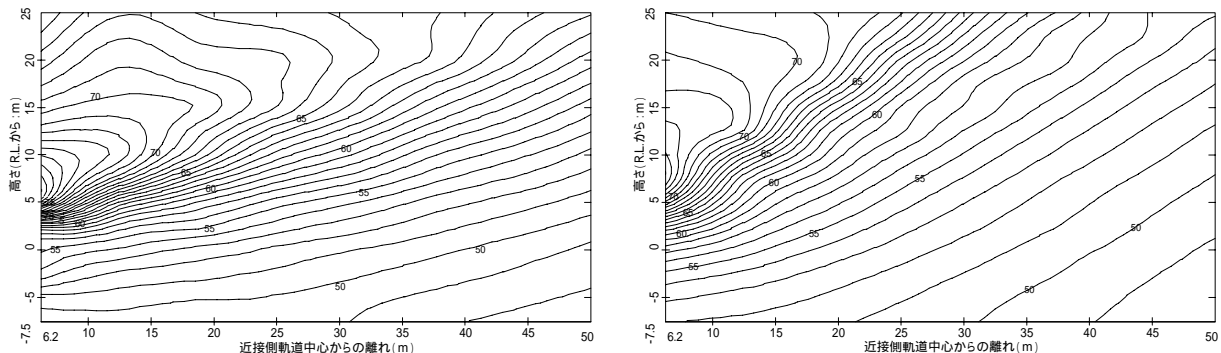
3.1 模型実験の概要

防音壁がある条件では，音源の指向特性に加え，車両と防音壁における音の反射が沿線の騒音レベル分布に影響することが推測される。そこで，模型実験により防音壁および車両を設置した条件での沿線騒音レベル分布を把握するとともに，従来の予測手法による騒音レベル分布（新幹線騒音予測手法³⁾での車両下部騒音に対する計算値）との比較を行った。

模型実験では，1/25 縮尺の新幹線車両模型（実車換算で4両分，2章で用いた音源を車両下部に配置）と高架橋模型を用いた。測定点は，高さは R.L.+25m ~ -7.5m，近接側軌道中心からの離れは 6.25m ~ 50m の範囲の格子点上に設置した。防音壁高さは 2m，3m の2条件，車両模型位置は近接側軌道と遠隔側軌道の2条件（計4条件）で実験を行った。なお，防音壁高さが 2m の場合と 3m の場合ではほぼ同様の傾向が得られたため，以下では 3m の場合の結果を示す。

3.2 実験結果と予測結果の比較

防音壁高さが 3m，車両位置が近接側軌道の条件における模型実験および予測計算による騒音レベル分布を図3に示す。軌道に近接した高所空間に着目すると，模型実験で観測される音源の指向特性の影響（側方へ大きく上方へ小さい）が従来の予測手法では反映されていない。また，防音壁に近く，防音壁上端よりも高い位置においては，防音壁による遮蔽が期待できないため騒



(a) 模型実験による実測値

(b) 従来の予測手法による計算値

図3 防音壁高さが 3m，車両位置が近接側軌道の条件での騒音レベル分布

音レベルが高くなっているが、模型実験の方がより低い位置まで騒音レベルが高い領域が広がっている。この領域は車両側面から防音壁上端を通過して斜め上方に向かう方向にあり、車両側面と防音壁との間を多重反射した音がこの方向に放射される影響と考えられる。

図4に防音壁高さが3m、車両位置が近接側軌道の条件での計算値と実測値のレベル差の分布を示す。軌道に近接した高所空間では計算値が実測値を最大で5dB程度上回っている一方で、車両側面から防音壁上端を通過して斜め上方に向かう領域においては、実験値が計算値を最大で8dB程度上回っている。これらの領域において予測精度を向上させるためには、音源の指向特性や車両、防音壁での音の反射の影響を考慮する必要があると考えられる。なお、車両位置が遠隔側軌道の条件においては、多重反射音の影響が小さく、水平面からの仰角も最大でも70°程度に収まるため、近接側軌道の条件に比べると、実験値と計算値との乖離は小さい。

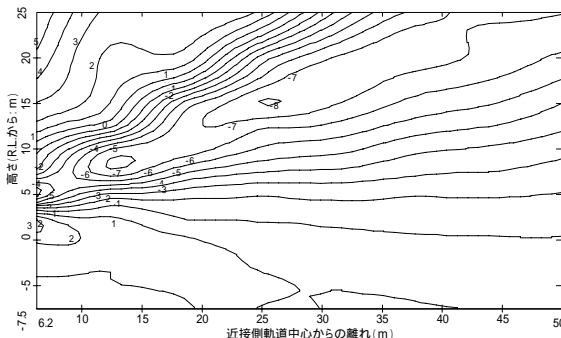


図4 従来予測手法による計算値と模型実験による実測値の騒音レベル差の分布（防音壁高さ：3m、車両位置：近接側軌道）

4. 予測手法の改良

本章では、音源の指向特性や車両、防音壁での反射の影響を考慮して従来の予測手法を改良することを検討する。ここで検討する対象は車両下部騒音のみであり、その他の音源については、従来の予測手法をそのまま用いる。なお、以下の検討では、新幹線騒音予測手法³⁾を例に挙げるが、同様の考え方を行えば、在来鉄道騒音の予測手法にも適用が可能である。

4.1 音源モデル

防音壁や車両による反射を考慮するため、図5に示す3つの音源を考える。

実音源：実際の騒音発生源に相当する音源

鏡像音源1：観測点側の防音壁と車両に1回ずつ反射して側防音壁と車両の間から漏れてくる音

鏡像音源2：観測点と逆側の防音壁で反射して車両を乗り越えて伝搬してくる音

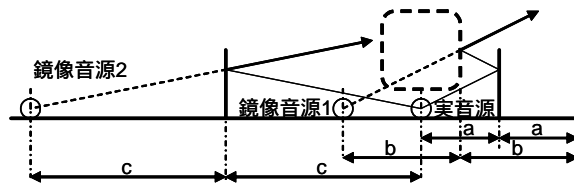


図5 実音源、鏡像音源1,2の位置

また、車両下部騒音の鉛直方向の指向特性として式(1)を採用する。なお、観測点から音源を見通すことができる場合は、 ϕ を観測点と音源を結ぶ直線と水平面のなす角とするが、音源が防音壁によって遮蔽される場合には、 ϕ は防音壁上端と音源を結ぶ直線と水平面のなす角とする。音源パワーレベルは、実音源については従来の予測手法で示されているパワーレベルと同等とする。鏡像音源1,2については、完全反射を仮定すれば実音源と同等となるが、この音源モデルにおいて鏡像音源1,2を実音源と同じパワーレベルとすると、第3章で実施した模型実験結果との比較において、反射音を過大に評価することがわかった。そこで、ここでは模型実験結果と合うように、実音源のパワーレベルから2dBを減じた値を鏡像音源1,2のパワーレベルとする。

4.2 伝搬モデル

各音源からの騒音の伝搬式は、従来の予測手法の式（点音源あるいは線音源からの伝搬式に防音壁による回折補正項 ΔL_{dif} を加えたもの）に、線路直交断面内の指向特性を表す補正項 $\Delta L_D =$

$10\log[D(\phi)]$ [dB]を加えた式を用いる。ただし、鏡像音源 1, 2 については、反射面である防音壁あるいは車両の大きさが有限であることから、防音壁高さあるいは車両高さに等しい幅のスリットを設けて、スリット回折による補正項 $\Delta L_{dif,slit}$ を加える⁴⁾。また、鏡像音源 2 については車両による回折減衰を考慮する。防音壁による回折補正項 ΔL_{dif} は従来予測手法と同様の方法で求める。ただし、従来予測手法では、車両が近接側軌道を通り、かつ防音壁に吸音材が貼り付けていない場合に多重反射音の影響により防音壁の効果を 2dB 減じるとしているが、改良した予測手法では多重反射音等の影響は鏡像音源 1 を設置することで考慮されているので、この補正は行わない。

5. 改良した予測手法の検証

図 6 に防音壁高さが 3m、車両位置が近接側軌道の条件での改良した予測手法による騒音レベル分布を示す。騒音レベル分布の傾向は、図 3(a)に示した模型実験結果の傾向と良く一致している。図 7 に同条件での計算値と実測値のレベル差の分布を示す。軌道近接高所空間では最大で 5dB 程度あった差がほぼ 1dB 以内に、多重反射音の影響が大きい領域においては最大 8dB 程度あった差が 3dB 程度に収まっている（図 4 との比較）。また、従来の方法において実験値と予測値がほぼ一致していた地上高さ 1.2m 点に対応する領域においては、改良後の予測手法においても計算値と実測値はよく一致している。以上の検討結果から、改良した予測手法により、従来手法で精度が検証されている地上高さ 1.2m 点に対応する領域での精度を悪化させることなく、高所空間においてはより高精度に騒音レベルを予測すること可能になったといえる。

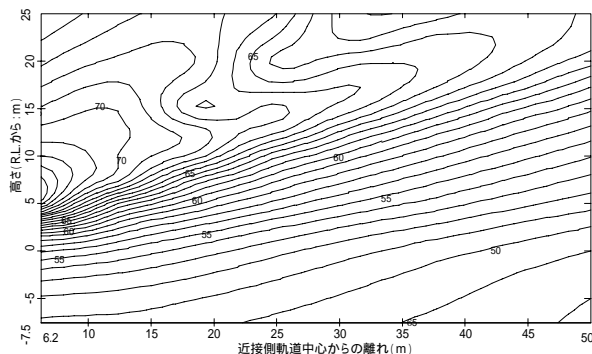


図 6 改良した予測手法による騒音レベル分布
計算値（防音壁高さ：3m、車両：近接側軌道）

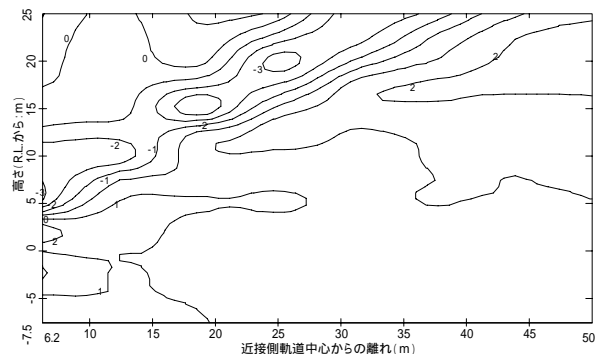


図 7 改良後の予測手法による計算値と模型実験による実測値の騒音レベル差の分布（防音壁高さ：3m、車両：近接側軌道）

6. まとめ

高所空間における騒音予測精度の向上を目的に、音源の指向特性や車両、防音壁での音の反射を考慮した騒音予測手法を提案した。提案した予測手法による騒音レベル分布は、高所空間を含めた広い領域において模型実験値とよく一致しており、手法の妥当性が確認された。

参考文献

- 1) 石井聖光ほか：在来線高架鉄道からの騒音予測手法案について，騒音制御，Vol.4，No.2，1980
- 2) 森藤良夫ほか：在来鉄道騒音の予測評価手法について，騒音制御，Vol.20，No.3，1996
- 3) 長倉清，善田康雄：新幹線沿線騒音予測手法，鉄道総研報告，Vol.14，No.9（2000.9）
- 4) 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”，日本音響学会誌，Vol.55，No.4