

鉄道沿線の建物と跨線橋の影響を考慮した騒音予測手法

小方 幸恵* 北川 敏樹*

Study on Prediction Model of Wayside Noise Incorporating the Effect of Building and Overbridge
around the Railway Line

Yukie OGATA Toshiki KITAGAWA

The wayside noise along the railway line is affected by the situations surrounding the line e.g. existence of buildings, overbridges, etc. This is because the wayside noise is affected by the reflection and screening due to the structures on the path from the noise source to the noise receiving point. In this paper, scale model experiments are carried out in order to examine the effects of both a building and an overbridge on the wayside noise. Then, a prediction model has been developed in order to evaluate the effects due to the building and the overbridge on the wayside noise, and the effect is estimated in parametric study using the prediction model.

キーワード：沿線騒音，騒音予測手法，建物，跨線橋

1. はじめに

鉄道車両が走行すると、沿線にはその走行に起因した音が伝搬する。音源から放射された音は、受音点に到達するまでの伝搬過程において、沿線の構造物による音の反射や遮蔽等の影響を受ける。そのため、沿線騒音を予測する際には、この伝搬過程における音の反射や遮蔽の影響を考慮する必要がある。ここでは、鉄道沿線に建物がある場合、鉄道構造物を跨ぐ道路橋等の構造物（跨線橋）がある場合、およびこれらが複合する場合を取り上げる。

これまでに、鉄道の沿線騒音に対する建物の影響は文献 1)、跨線橋の影響と予測方法は文献 2) で示した。しかし、建物の影響の予測手法、および建物と跨線橋が複合する場合の予測手法は示されていない。そこで、それらの予測手法を構築することを目的として、まず建物あるいは跨線橋が単独である場合と複合する場合における音響模型試験を実施し、それらによる音の反射および遮蔽の影響を評価した³⁾。次いで、その音響模型試験結果を模擬する予測手法を提案し、予測結果と音響模型試験の結果の比較から、予測手法の妥当性を確認した⁴⁾。最後に、その予測手法を用いて防音壁高さや建物高さに関するパラメータスタディを実施し、それらが沿線騒音に与える影響の評価を行う。

なお本稿では、新幹線の車両下部音を対象として鉄道沿線における騒音の評価を行うが、この予測手法は在来鉄道騒音についても適用可能である。

2. 音響模型試験の概要と主な結果

2.1 音響模型試験の手法の概要

鉄道総研内音響実験室（無響室）での音響模型試験により、建物および跨線橋が沿線騒音に与える影響を評価する。評価対象とする音源は、車両下部音とした。これは、鉄道の沿線騒音に対するこの音の寄与が大きいためである⁵⁾。本試験では、1/25 縮尺の模型（車両、鉄道構造物、建物、跨線橋）およびマイクロホンが無響室内に設置し、音源から発生した音をマイクロホンによって測定する。測定は、建物および跨線橋がない場合、建物および跨線橋が単独あるいは複合して存在する場合について行う。以下、表示寸法は特に明示しない限り現車換算値とする。図 1 および表 1 に音響模型試験の条件を示す。

音響模型試験での測定結果は、次の手順で実車換算する。①測定されたデータの 1/3 オクターブバンド周波数を縮尺倍する。②試験に用いた音源と実車（新幹線電車）のレール近傍点での騒音の周波数スペクトルの差を考慮することによって、各測定点における実車に対応した 1/3 オクターブバンドごとのレベルを求める。③②のパワー和により O.A. 値を求める。以下で示す音響模型試験結果は、全て実車換算した後の値である。

2.2 音響模型試験の主な結果

建物および跨線橋が沿線騒音に与える影響について、2.1 節の音響模型試験により得られた主な結果を、図 2 に示す。測定条件は、図 1(b) に示すとおりである。表記する騒音の基準値 (0dB) は、③は跨線橋のみがある場合の各測定点における音圧レベル、その他は建物・跨

* 環境工学研究部 騒音解析研究室

特集：空気力学・騒音

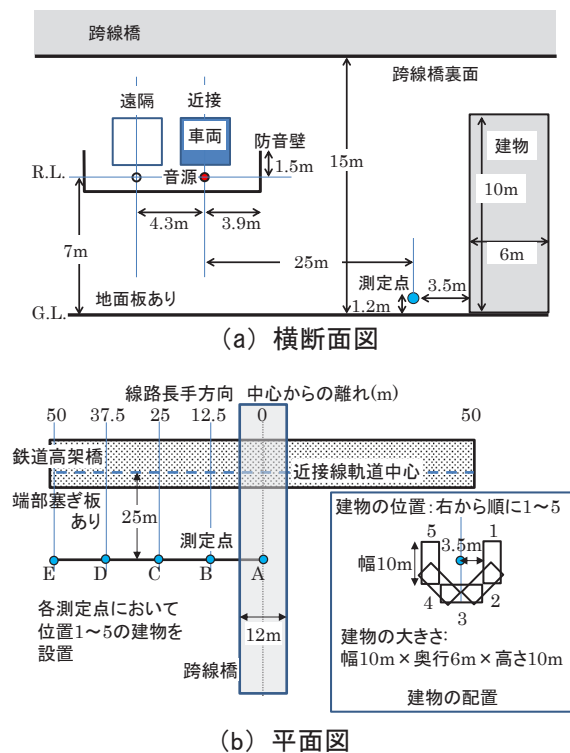


図1 音響模型試験条件

表1 音響模型試験の条件

縮尺	1/25 縮尺
音源	エアジェット様有限線音源、車両下部音の位置（レールレベル、軌道中心）に設置
車両条件	新幹線電車 100m 相当
鉄道構造物条件	複線高架橋区間、スラブ軌道（反射性の軌道面）、R.L. = G.L.+7m 相当、防音壁高さ = R.L.+1.5m 相当
跨線橋構造物条件	鉄道と直角に交差、幅 12m、跨線橋裏面高さ G.L.+15m
住宅	幅 10m、奥行き 6m、高さ 10m 各測定点において位置 1～5 の 5ヶ所に設置
測定	センサ：1/4 インチマイクロホン UC-29 騒音計：音圧レベル計測アンプ NA-42 マイクロホンを鉛直上向きに向けて測定

線橋ともない場合の各測定点における音圧レベルとする。図2の音響模型試験における各条件での騒音変化量の比較から、次のことがわかる。

- (1) 跨線橋による騒音変化量（跨線橋ありーなし）②は、近接列車より遠隔列車の結果がやや大きい。
- (2) 建物による騒音変化量（建物ありーなし、跨線橋なし）①は、近接列車と遠隔列車がほぼ等しい。
- (3) 建物位置 1 では、建物による騒音変化量（建物ありーなし）①③は負の値となり、跨線橋なし①よりあり③の方が値は小さい。建物位置 5 では、建物による騒音変化量（建物ありーなし）①③は正の値となり、跨線橋なし①よりあり③の方が大きい。
- (4) 近接列車、遠隔列車ともに複合条件での騒音変化量④と単独条件の和⑤の差が、他の測定条件の場合と比較して測定位置 C の建物位置 1 で特に大きい。

これらの結果から、建物による騒音変化量は、近接列車と遠隔列車の場合など騒音の伝搬経路がほぼ同じ場合では違いがないことがわかる。一方で、騒音の伝搬経路が異なる場合、すなわち跨線橋がないときの直達音と跨線橋があるときの跨線橋裏面反射音の場合には、建物による騒音変化量が異なることがわかる。また、建物と跨線橋が複合する場合の騒音変化量が、単独での影響量の和として表すことができないことから、複合条件に対応する予測手法が別途必要であると言える。

3. 沿線騒音の予測手法の提案

前章の結果を踏まえ、建物と跨線橋が単独である場合に加え、複合する場合について、沿線騒音を予測する手

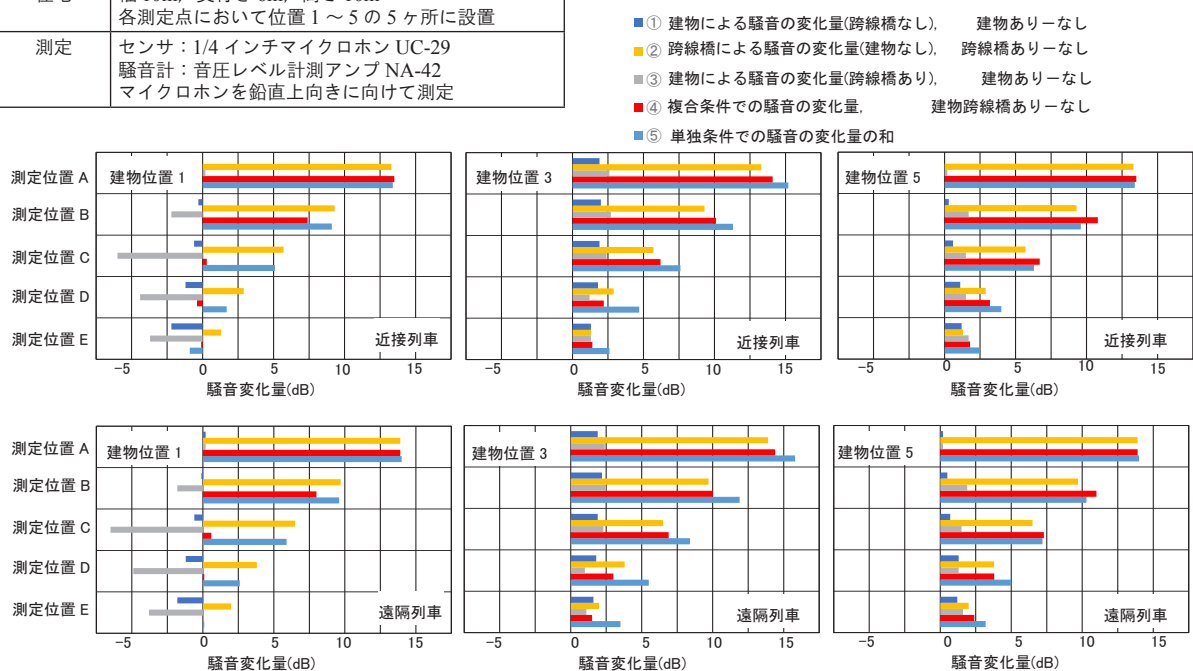


図2 音響模型試験における建物および跨線橋による騒音の変化量 (O.A. 値 [dB])

法を提案する。ここで提案する手法は、有限の大きさを持つ障壁による遮蔽補正量を、半無限障壁による遮蔽補正量の組み合わせとして算出する方法である。

3.1 建物あるいは跨線橋が単独である場合

本節では、音の反射および遮蔽の影響を加味する予測手法を提案する。建物および跨線橋がない場合は、従来の新幹線沿線騒音予測手法⁶⁾に則るものとする。跨線橋のみがある場合は、文献2)に則るものとする。

3.1.1 建物がある場合

沿線に建物がある場合、建物による音の反射および遮蔽が沿線騒音に影響する。2章の音響模型試験では騒音の測定点を建物の側部あるいは前面に設定した。しかし文献7)では単独建物の背後における騒音の評価手法が示されており、ここではその手法を応用する。図3に、1つの建物がある場合による音の側面反射と遮蔽の考え方を示す。受音点は建物の側部にある。音源と受音点が同じ側にある場合は、建物壁面の鏡像音源を考えて反射音を計算する(図3(a))。音源と受音点が同じ側でない場合は、反射音を考慮せずに音の遮蔽を計算する(図3(b))。受音点が建物の前面にある場合は、音の遮蔽はなく、鏡像音源を配置して反射音を考慮する(図4)。

(1) 建物壁面反射音の計算方法

建物壁面反射音の計算方法は、矩形反射面での反射補正量を用いた鏡面反射法に則る。騒音の予測モデルを図5に示す。反射音を考慮する場合の受音点での騒音レベル L_p [dB]は、直達音(L_D [dB]、受音点での直達音源による騒音レベル)と建物壁面反射音(L_{HM} [dB]、受音点における鏡像音源による騒音レベル)のパワー和として式(1)から求められる。

$$L_p = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_D}{10}} + 10^{\frac{L_{HM}}{10}} \right) \quad (1)$$

建物壁面反射音の騒音レベル L_{HM} は、建物壁面の鏡像音源 S' による騒音レベル($L_{HS'}$ [dB]、建物なしとして算出)に、壁面の大きさに依存する量である建物壁面反射音の補正量 ΔL_{b-refl} [dB](<0)を足すことにより求める(式(2))。壁面反射音の補正量 ΔL_{b-refl} は、図5(b)の開口部0を考えたときの反射補正量 $\Delta L_{refl,rect}$ [dB](<0)と、地面部を仮想障壁とした場合の補正量 ΔL_{0-5} [dB]から求める(式(3))。図5(b)に示すように、仮想した無限大障壁を9分割し、領域 ijk からの音の寄与を D_{ijk} と表すとき、反射補正量 $\Delta L_{refl,rect}$ は、式(4)で計算される。

$$L_{HM} = L_{HS'} + \Delta L_{b-refl} \quad (2)$$

$$\Delta L_{b-refl} = \Delta L_{refl,rect} - \Delta L_{0-5} \quad (3)$$

$$\Delta L_{refl,rect} = 10 \log_{10} D_0 = 10 \log_{10} (1 - D_{1-8}) \quad (4)$$

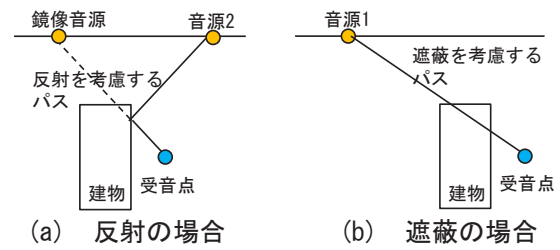


図3 音の側面反射と遮蔽の考え方

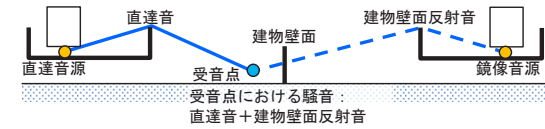


図4 建物が背後にある場合の音源モデル

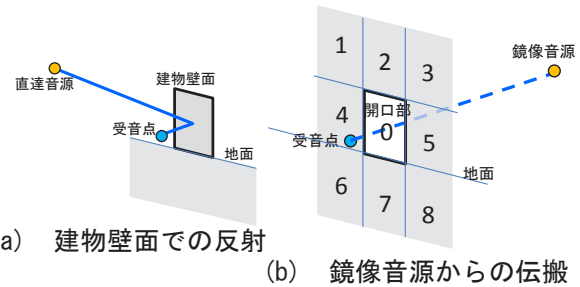


図5 建物の壁面反射がある場合の予測モデル

ここで、 D_0 は領域0を透過する音の寄与、 D_{1-8} は領域1から8(0以外)を透過する音の寄与である。 D_{1-8} は式(5)~(8)により計算する。

$$D_{1-8} = D_{123} + D_{678} + D_4 + D_5 \quad (5)$$

$$D_4 = (1 - D_{123} - D_{678}) \times D_{146} \quad (6)$$

$$D_5 = (1 - D_{123} - D_{678}) \times D_{358} \quad (7)$$

$$D_{ijk} = 10^{\frac{\Delta L_{refl,ijk}}{10}} \quad (8)$$

$\Delta L_{refl,ijk}$ は領域 ijk が「開」で他の領域が「閉」の場合の ΔL_{refl} で、仮想障壁想定時に受音点から鏡像音源が見えないときは式(9)、見えるときは式(10)によって計算する。 ΔL_r は、半無限障壁による遮蔽の補正量である。

$$\Delta L_{refl} = \Delta L_r \quad (9)$$

$$\Delta L_{refl} = 10 \log_{10} \left(1 - 10^{\frac{\Delta L_r}{10}} \right) \quad (10)$$

(2) 建物による遮蔽の計算方法

建物による遮蔽については、上方と側方の回折を考慮する方法により、図5(b)で領域12345が開、領域0678が閉の有限長障壁の挿入損失として与える。遮蔽による計算も、反射の場合と同様の計算方法を用いる。音の遮蔽の影響は、式(1)の直達音 L_D に作用し、自由空間に

特集：空気力学・騒音

おける騒音 L_S [dB] を用いて式 (11) で与えられる。回折補正量 $\Delta L_{\text{dif,fb}}$ [dB] (< 0) は、式 (12) および式 (13) により求められる。

$$L_D = L_S + \Delta L_{\text{dif,fb}} \quad (11)$$

$$\Delta L_{\text{dif,fb}} = \Delta L_{1-5} - \Delta L_{0-5} \quad (12)$$

$$\Delta L_{1-5} = 10 \log_{10} \left\{ 10^{\frac{\Delta L_{123}}{10}} + A \right\} \quad (13)$$

ここで、

$$A = \left(10^{\frac{\Delta L_{0-5}}{10}} - 10^{\frac{\Delta L_{123}}{10}} \right) \times \left(10^{\frac{\Delta L_{146}}{10}} + 10^{\frac{\Delta L_{358}}{10}} \right)$$

3.1.2 跨線橋がある場合

単独で跨線橋がある場合の騒音は、跨線橋がない場合の直達音 L_D に跨線橋裏面反射音 L_{BM} [dB] を加えることにより求められる²⁾ (式 (14))。跨線橋がある場合の騒音予測モデルを図 6 に示す。跨線橋裏面反射音の場合、反射音の騒音レベル L_{BM} は、跨線橋裏面を反射面とした鏡像音源による騒音レベル (L_{BS} [dB], 跨線橋なしの場合) に、スリット $O_1 \sim O_2$ を考えたときの反射補正量 $\Delta L_{\text{refl,slit}}$ [dB] (< 0) を加えることにより求められる (式 (15))。この手法による反射補正量は、式 (16) で与えられる。

$$L_p = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_D}{10}} + 10^{\frac{L_{\text{BM}}}{10}} \right) \quad (14)$$

$$L_{\text{BM}} = L_{\text{BS}} + \Delta L_{\text{refl,slit}} \quad (15)$$

$$\Delta L_{\text{refl,slit}} = 10 \log_{10} \left| 10^{\frac{\Delta L_{\text{refl,1}}}{10}} - 10^{\frac{\Delta L_{\text{refl,2}}}{10}} \right| \quad (16)$$

ここで、 $\Delta L_{\text{refl,1}}$ または $\Delta L_{\text{refl,2}}$ は、 O_1 または O_2 をエッジと考えたときの反射補正量 ΔL_{refl} [dB] であり、式 (9)、式 (10) で計算する。

3.2 建物と跨線橋が複合する場合

建物と跨線橋が複合する場合には、跨線橋裏面反射音の音源 (直達音の跨線橋裏面に対する鏡像音源) に対

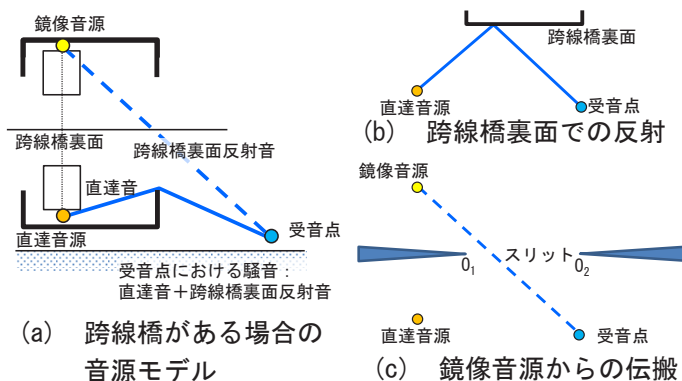


図6 跨線橋がある場合の予測モデル

して3.1.1項の建物壁面反射音の補正量あるいは遮蔽を表す回折補正量を別途適用する。すなわち、建物と跨線橋が複合する場合の跨線橋裏面反射音 L_{HBM} [dB] は、建物壁面で反射する跨線橋裏面反射音源による騒音レベル $L_{\text{BM,HM}}$ [dB] を用いて、建物がない場合の跨線橋裏面反射音 L_{BM} から式 (17) に書き換えられる。式 (17) の L_{BM} は式 (1) の L_D に、 $L_{\text{BM,HM}}$ は L_{HM} に相当し、以下、それぞれ式 (2) ～式 (13) を適用する。

$$L_{\text{HBM}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{\text{BM}}}{10}} + 10^{\frac{L_{\text{BM,HM}}}{10}} \right) \quad (17)$$

3.3 試算結果

3.1節および3.2節の手法を用いて沿線騒音を試算する。試算条件は、図1(b)による。鉄道、建物および跨線橋に関する試算条件は2章の音響模型試験と同じである。また、音響模型試験結果と比較をするため、音響模型試験の条件に合わせて以下の設定をする。

- ・音源は測定点Aを中心に長手方向に50mずつ計100mに1mピッチで車両下部の軌道中心に配置した点音源列とする。
- ・音源の指向特性は、事前の音源特性の試験結果に基づき、点音源列と垂直の方向からの角度を θ として $\cos^2 \theta$ とする。
- ・音の入射角に対するマイクロホンの指向特性は、周波数バンドごとに使用したマイクロホンの値を適用する。

また、有限の大きさの反射面における反射音については、1回反射するごとに1dBを減ずる。跨線橋裏面反射音については文献2)と同様に、近接車両の場合は防音壁と車体の間隔が狭いことから、多重反射を2回分として考慮する。

試算結果を2章の音響模型試験結果と合わせて図7に示す。予測値と実測値の差は、建物が単独である場合に1dB以内、跨線橋が単独である場合に1.6dB以内である。建物と跨線橋が複合する場合では、遠隔列車・測定位置B・建物位置3の場合にやや差が大きいが、それ以外では2.2dB以内である。建物と跨線橋が単独の場合、複合する場合も含め、全体の騒音変化量の実測値－予測値の平均 (図2の各条件) は、近接列車で0.1dBである。遠隔列車では、差の絶対値はやや大きいが平均は-0.3dBである。予測結果は音響模型試験結果をほぼ再現でき、予測手法の妥当性が確認できた。図2から、建物と跨線橋が複合する場合の沿線騒音における影響量が単独で存在する場合の影響量の和とならない条件があることが示されており、本予測手法は、そのような条件においても沿線騒音の評価が可能ながことが明らかとなった。

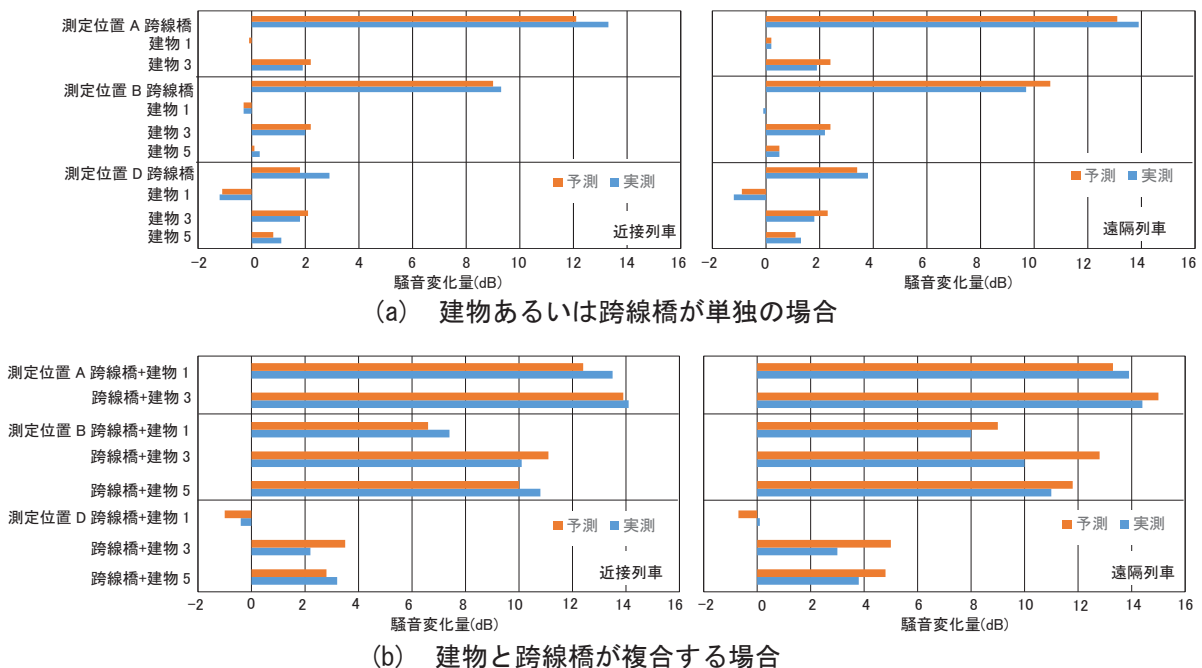


図7 予測計算における建物および跨線橋による騒音変化量の試算例 (O.A. 値 [dB])

4. 提案する予測手法を用いた騒音評価

4.1 防音壁かさ上げの効果

3章の手法を用いて、建物と跨線橋がある場合とない場合における、防音壁のかさ上げ効果を評価する。計算条件は3.3節と同じで防音壁高さが1.5mの場合と、それに1mかさ上げた2.5mとする。試算による騒音変化量を図8に示す。この基準値 (0dB) は、各測定点で防音壁が1.5m、建物および跨線橋がない場合の騒音レベルである。列車位置は近接側である。

各測定点における防音壁かさ上げの騒音低減効果は、3.0dBである。跨線橋が単体である場合 (図8(a)), 跨線橋による騒音変化量は、跨線橋に近い測定点 (測定点AおよびB) では防音壁高さが1.5mの場合と2.5mの場合でほぼ同じである。すなわち、防音壁かさ上げによる騒音低減効果はない。一方でその他の条件では、防音壁のかさ上げをした場合はかさ上げしない場合より沿線騒音が小さく、防音壁による騒音低減効果が認められる。建物と跨線橋が複合する場合 (図8(b)) では、跨線橋に近い測定点では建物条件によらず防音壁によるかさ上げ効果はない。一方で跨線橋から離れていて跨線橋裏面反射音の影響が小さい測定点 (測定点D) では、いずれの建物位置においても防音壁のかさ上げによる騒音低減効果は認められる。

この結果から、跨線橋裏面反射音の影響が強い受音点においては、防音壁かさ上げの騒音低減効果が期待できないことがわかる。建物と跨線橋が複合する場合、①直達音、②建物反射音、③跨線橋裏面反射音および④建物

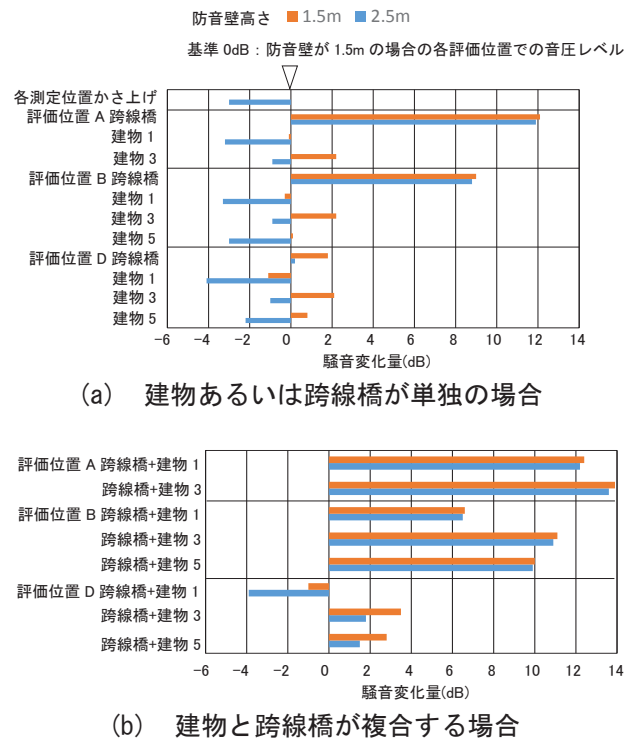


図8 防音壁高さ別の建物および跨線橋による騒音変化量の試算結果 (近接列車, O.A. 値 [dB])

反射を加味した跨線橋裏面反射音の和として沿線騒音が計算される。騒音の評価位置によって防音壁のかさ上げ効果が異なる理由としては、①および②に対しては防音壁のかさ上げによる遮蔽効果が大きくなるが、③および④に対してはその効果が小さいことが挙げられる。

特集：空気力学・騒音

この試算のように、3章の手法を用いることにより、防音壁のかさ上げなどの対策による騒音低減効果を予め検討することができる。

4.2 建物高さによる周辺構造物の影響量の違い

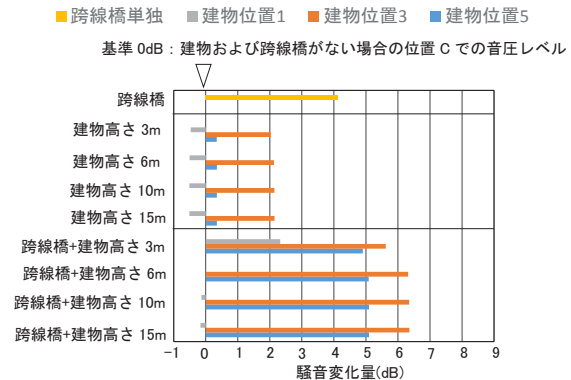
3章の手法を用いて、建物高さによる周辺構造物の影響量の違いを評価する。建物高さ以外の計算条件は3.3節と同じである。建物高さは3m, 6m, 10m, および15mである。騒音の評価位置は測定位置Cに相当する点とする。試算による騒音変化量を図9に示す。建物高さによる沿線騒音の違いは、建物による音の反射と遮蔽の補正量の違いとして現れる。

近接列車、遠隔列車ともに、跨線橋と位置1の建物が複合する場合のみ、建物高さ3mの場合とそれ以外で騒音変化量の違いがある。これは、遮蔽による影響が建物高さ3mの場合とそれ以外で大きくなるためである。前述の通り、跨線橋と建物が複合する場合、①直達音、②建物反射音、③跨線橋裏面反射音および④建物反射を加味した跨線橋裏面反射音の和として沿線騒音が計算される。図9の条件では③と④の寄与が大きく、建物による音の遮蔽は①と③に影響する。跨線橋と位置1の建物が複合する場合は、③の音源と受音点の間に建物があり、高さが3mの場合には受音点から音源を見通すことができるため建物による遮蔽の影響が小さいが、6m以上の場合は見通すことができないため建物による遮蔽の影響が大きいことがわかる。一方で、跨線橋と位置1の建物が複合する場合以外の条件では、騒音変化量は建物高さによる違いが小さい。ここで計算した条件では、音の遮蔽と反射の補正量が建物高さを変えてもほぼ等しいためである。

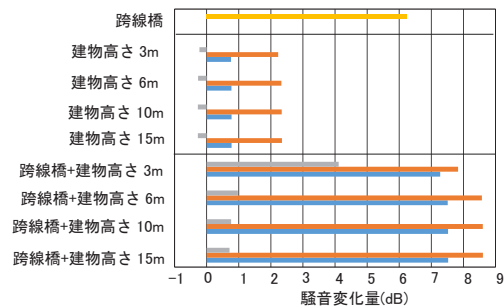
このように、3章の手法により、建物高さが異なる場合でも周辺構造物による影響量を加味して沿線騒音を予測することができる。

5. まとめ

音響模型試験結果をもとに、建物が単独で存在する場合と跨線橋と複合して存在する場合について、沿線騒音の予測手法を提案した。その手法を用いた予測結果と音響模型試験結果との比較から、予測手法の妥当性を確認した。また、その手法を用いたパラメータスタディにより、跨線橋裏面反射音の影響が大きい場合には防音壁のかさ上げによる騒音低減効果は認められないこと、跨線橋裏面反射音と建物が複合する場合には建物高さによって遮蔽による影響が変化する場合があることがわかった。ここで提案した手法により、建物あるいは跨線橋がある場合の沿線騒音を予測し、対策の検討や沿線騒音を評価することができる。



(a) 近接列車の場合



(b) 遠隔列車の場合

図9 建物高さ別の建物および跨線橋による騒音変化量の試算結果（評価位置C, O.A.値[dB]）

文 献

- 1) 斎藤英俊, 小方幸恵, 長倉清: 建物の立地条件が騒音レベルに与える影響の定量評価, 鉄道総研報告, Vol.25, No.11, pp.5-10, 2011
- 2) 小方幸恵, 北川敏樹, 斎藤英俊: 鉄道沿線騒音に対する線路上空構造物の影響評価手法, 鉄道総研報告, Vol.30, No.7, pp.17-22, 2016
- 3) 小方幸恵, 北川敏樹, 阿久津真理子: 鉄道の沿線条件が鉄道沿線騒音に与える影響, 日本騒音制御工学会平成29年度講演論文集, 2017
- 4) 小方幸恵, 北川敏樹: 鉄道沿線騒音に対する周辺条件の影響評価手法の検討, 講演論文集 CD-ROM, 第27回環境工学総合シンポジウム 2017, 2017
- 5) 長倉清: 沿線環境に関する研究開発の動向, 鉄道総研報告, Vol.30, No.7, pp.1-4, 2016
- 6) 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, pp.5-10, 2000
- 7) 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”, 日本音響学会誌, Vol.70, No.4, pp.172-230, 2014