

# 鉄道沿線騒音に対する線路上空構造物の影響評価手法

小方 幸恵\* 北川 敏樹\* 齋藤 英俊\*\*

Study on a Prediction Model of Railway Noise in Consideration of Reflection on Bridge

Yukie OGATA Toshiki KITAGAWA Hidetoshi SAITO

This paper gives a prediction model for the wayside noise close to the overpass on the Shinkansen line. In order to develop the model, sound reflection on the bottom surface of the bridge should be taken into consideration. The effect of the sound reflection was examined by acoustic experiments with scale-models. Then, an image source and a correction value due to the reflection on the finite surface were introduced in the model. The prediction model was validated by comparing the measured results with the results simulated with the model. It was also found out by using the model that the image sources corresponding to the noise generated from the lower part of cars have a large influence on the wayside noise.

キーワード：騒音，騒音予測手法，跨線橋

## 1. はじめに

鉄道車両が走行すると、音源から発生した音は様々な伝搬経路を経て沿線の受音点に到達する。新幹線の車両が走行する場合、その主な音源は発生部位別に、車両下部音、集電系音、車両上部空力音および構造物音に分類され、受音点においてはこれらの音源から放射された音の総和が観測される。各受音点における音源別寄与は、鉄道構造物や鉄道車両の条件、および受音点の位置により異なる。さらに、音の伝搬過程における反射、遮蔽、回折等によって、受音点における騒音の大きさや周波数特性は変化する。鉄道構造物を跨ぐ道路橋等の線路上空構造物、すなわち跨線橋がある場合もこれに該当する。文献1)～3)では、跨線橋と鉄道の交差部周辺における沿線騒音は、跨線橋裏面での騒音の反射により大きくなること示されている。

これまで、反射、遮蔽等の影響がない場合の新幹線沿線騒音は、文献4)に示される手法（以下、「従来手法」とする）を用いて予測されてきた。そこで本報告では、跨線橋がある場合として、従来手法の結果に跨線橋裏面での反射音を加算する手法を提案する。跨線橋裏面における反射音を音響模型実験結果から求め、それを再現できる沿線騒音予測手法を構築する。また、予測結果と音響模型実験結果および現車試験結果との比較により、騒音予測手法の妥当性を確認するとともに、跨線橋周辺における沿線騒音の特徴について述べる。

## 2. 跨線橋裏面反射音の評価

跨線橋裏面での反射音による沿線騒音への影響を音響模型実験の結果により評価し、それを基に予測モデルを提案する。

### 2.1 音響模型実験の概要と結果

鉄道総研内無響室での音響模型実験により、跨線橋による沿線騒音への影響を評価した<sup>1)</sup>。図1に模型配置、表1に音響模型実験の概要を示す。表示寸法は現車換算値である（以下同様）。音源は車両下部音および車両上部音（車両上部空力音+集電系音）とし、それぞれレール高さ、R.L.+5mの高さ（水平方向の位置はいずれも車両中心）で車両模型の全長に設置した。車両位置は近接側または遠隔側である。各測定結果は、次の手順で整理した。

- ①周波数を縮尺倍する。
- ②各音源近傍で測定した音圧レベルと現車試験での音源パワーレベルの差を考慮することにより、各測定点における音源別の現車対応の相対騒音レベルを求める。
- ③②より、跨線橋ありとなしの条件での騒音レベル差を求める。
- ④従来手法により跨線橋なしでの音源別寄与およびその総和を求める。
- ⑤④の結果に③の結果を加え、跨線橋ありでの音源別寄与およびその総和を求める。全体音は、模型実験による2つの音源と構造物音の和である。
- ⑥⑤における跨線橋ありとなしでの結果の差を跨線橋による騒音増加量とする。

\* 環境工学研究部 騒音解析研究室

\*\* 西日本旅客鉄道株式会社

表示寸法：現車換算値

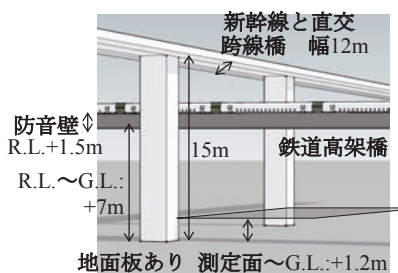


図1 模型配置

表1 音響模型実験の概要

模型の縮尺	1/25
音源の種類	エアジェット一様有限長線音源
車両条件	100m相当, 速度300km/h
音源の位置	車両下部, 車両上部
鉄道高架橋の条件	複線, バラスト軌道, バラストマットあり, 地面からR.L.まで7m相当, R.L.から防音壁上端まで1.5m相当
測定位置	線路長手方向に跨線橋中心から片側50m相当 高架橋から離れ方向に12.5m~50m相当, 高さは地面から1.2m相当

図2に実験結果の一例を示す。遠隔列車の場合に近接列車の場合より騒音増加量が大きいことがわかる。また2.4節にも述べる通り、車両上部音に比べて車両下部音の寄与が大きいため、全体音の騒音増加量の分布は車両下部音の分布に近く、コンタラインは跨線橋に沿う形状となる。車両上部音の場合は、鉄道と跨線橋の交点付近で増加量が最大となり、コンタラインはそこを中心に楕円の形状を描く。これは、車両下部音の場合と異なり、跨線橋による影響が鉄道と跨線橋の交点近くに限定されることを示している。

## 2.2 跨線橋裏面反射音の予測手法

### 2.2.1 基本的な考え方

ここでは、2.1節の音響模型実験結果を再現する騒音予測手法を検討する。予測手法について、基本は従来手法とし、跨線橋裏面での反射音の評価としてASJ RTN-Model 2013<sup>5)</sup>に示される帯状反射面での反射補正量を求める手法(スリット法)を適用する。橋脚による騒音の反射による影響は小さいと想定し、ここでは検討しない。検討を行う音源は、音響模型実験を実施した車両下部音および車両上部音(車両上部空力音+集電系音)である。

跨線橋裏面反射音の予測モデルの概略を図3に示す。これは、跨線橋裏面での反射音を、鏡像音源から発生した音が反射面と同じ幅を持つスリットを通過する場合と等価であるとした音源モデルである。図3(a)に示すように、跨線橋がある場合の受音点Pにおける騒音レベル $L_p$ [dB]は、式(1)から求める。すなわち跨線橋がない場合の従来手法の計算結果( $L_D$ [dB]、受音点Pにおける直達音の音源Sによる騒音レベル)に跨線橋裏面反射音( $L_M$ [dB]、受音点Pにおける鏡像音源S'による騒音レベル)を加算する。直達音の成分は車両下部音、車両上部音および構造物音、跨線橋裏面反射音の成分は、車両下部音および車両上部空力音である。

$$L_p = 10 \log_{10} \left( 10^{L_D/10} + 10^{L_M/10} \right) \quad (1)$$

跨線橋裏面反射音 $L_M$ を求めるためには、図3(b)に示すように、音源Sと予測点Pおよ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(c)

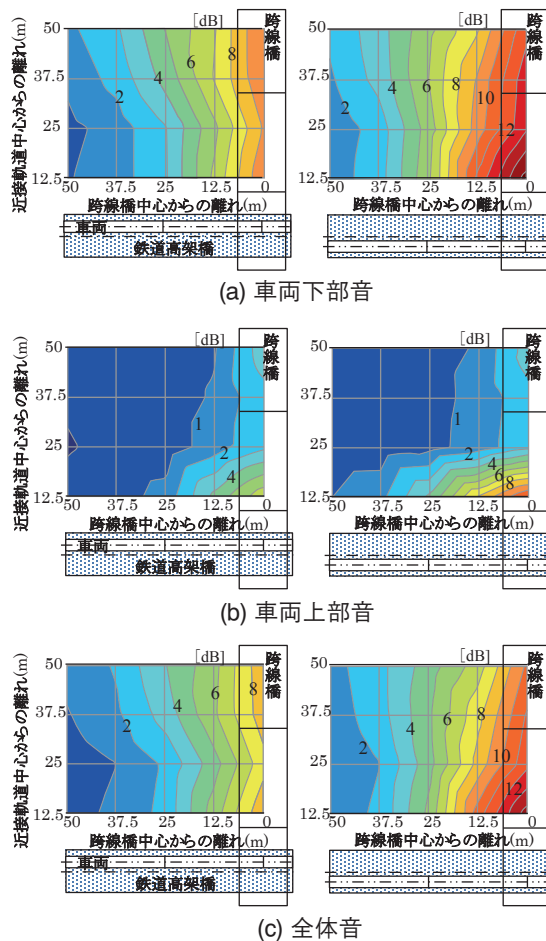


図2 音響模型実験での跨線橋による騒音増加量  
左：近接列車, 右：遠隔列車

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) $O_1 \sim O_2$ を通過して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(c)に示す二つのエッジから双方とも右あるいは左へ広がる半無限の仮想障壁によって回折する音のエネルギー差として求められる。跨線橋裏面反射音 $L_M$ は、受音点Pにおける鏡像音源S'による騒音レベル( $L_S$  [dB]、完全開口の場合)に、跨線橋裏面による反射補正量 $\Delta L_{refl,slit}$  [dB] (<0)を足すことにより求める(式(2))。この手法による反射補正量は、式(3)で与えられる。

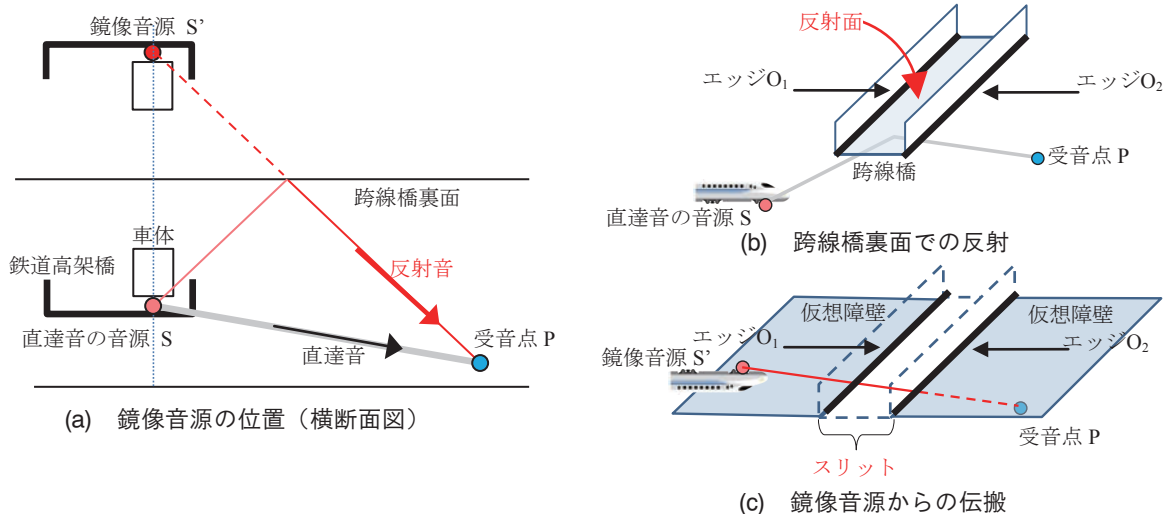


図3 跨線橋裏面反射音の予測モデル（スリット法）の概略

$$L_M = L_S + \Delta L_{ref,slit} \quad (2)$$

$$\Delta L_{ref,slit} = 10 \log_{10} \left| 10^{\frac{\Delta L_{ref,1}}{10}} - 10^{\frac{\Delta L_{ref,2}}{10}} \right| \quad (3)$$

ここで、 $\Delta L_{ref,1}$  または  $\Delta L_{ref,2}$  は、 $O_1$  または  $O_2$  をエッジと考えたときの反射補正量  $\Delta L_{ref}$  [dB] であり、式 (4)、式 (5) で計算する。

仮想障壁想定時に P から S' が見えないとき

$$\Delta L_{ref} = \Delta L_r \quad (4)$$

仮想障壁想定時に P から S' が見えるとき

$$\Delta L_{ref} = 10 \log_{10} \left( 1 - 10^{\frac{\Delta L_r}{10}} \right) \quad (5)$$

$\Delta L_r$  は、鏡像音源 S'、回折点  $O_1$  または  $O_2$ 、受信点 P での回折補正量である。

車両下部音の線路直交断面内の指向特性  $D$  [dB] は文献 (6) に則り、水平方向と音の放射方向がなす角  $\phi$  [rad] の関数として式 (6) で与える。音源と受信点の間が防音壁で遮蔽される場合は、防音壁上端を音の放射方向と見なす。車両上部音の音源は無指向性である。

$$D(\phi) = 10 \log_{10} (0.1 + 0.9 \cos \phi) \quad (6)$$

### 2.2.2 音源モデル

車両下部音および車両上部音の鏡像音源モデルの概要を図4に示す。

#### (1) 近接列車の車両下部音

近接列車の車両下部音の音源モデルを図4(a)に示す。近接列車の場合、車両下部音の鏡像音源から放射された音は、車体と防音壁の間で反射を繰り返し、防音壁上端から沿線に放射される。そこで仮想的な跨線橋裏面反射音の音源を、防音壁上端と車体の中間に置く。また、仮想鏡像音源による騒音  $L_S$  について、鏡像の防音壁による挿入損失はないものとする。

#### (2) 遠隔列車の車両下部音

遠隔列車の車両下部音の音源モデルを図4(b)に示す。遠隔列車の場合、評価点側の防音壁と車両下部音源との距離が近接列車の場合より長いことから、車体と防音壁間の多重反射の影響は小さいと考えられる。そこで跨線橋裏面反射音の音源の位置は、直達音源の鏡像位置とす

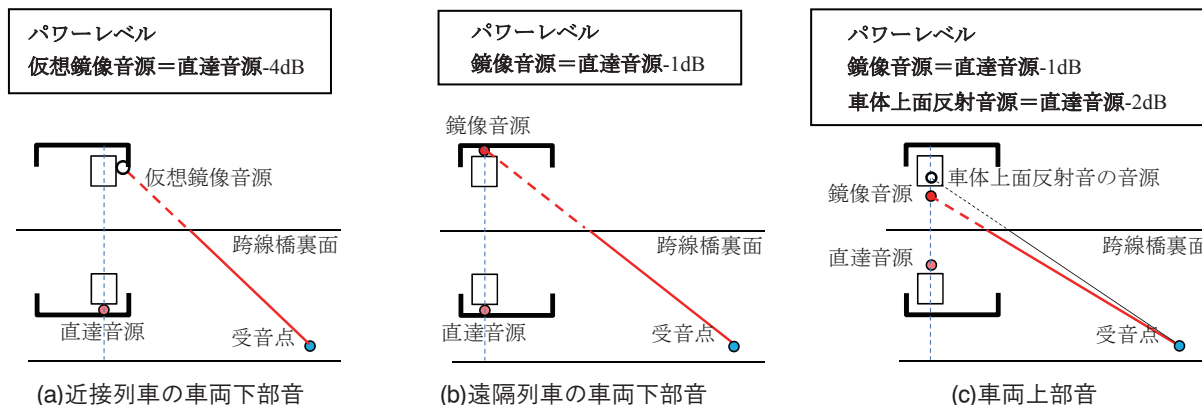


図4 鏡像音源モデルの概要

特集：環境工学

る。鏡像の防音壁による挿入損失を考慮する。

(3) 車両上部音

車両上部音の音源モデルを図4(c)に示す。車両上部音の直達音の音源は、音響模型実験と同じ位置(車両上部、レールレベルから5m高さ、横方向位置は車両中心)、すなわち従来手法の集電系音の音源位置とする。従来手法による直達音の場合は、音が全空間に放射されるとしている。車両上部音の跨線橋裏面反射音の場合は車体上面の影響を無視できないことから、車体上面での反射音も加味する。車体上面での反射音は、車体上面を反射面として跨線橋裏面反射音と同様のスリット法による反射補正を行う。

(4) パワーレベル

跨線橋裏面による鏡像音源のパワーレベル(遠隔列車の車両下部音、車両上部音)は直達音-1dB、車両上部音の車体上面反射音源のパワーレベルは直達音-2dBとする。近接列車の車両下部音の仮想鏡像音源については、直達音-4dBとする。これらの値は、音響模型試験結果を基に、反射を繰り返すごとに音のエネルギーが失われる効果や鏡像防音壁の遮蔽などを考慮して決定したものである。

2.3 予測手法の妥当性の評価

2.3.1 予測における設定条件

音響模型実験の結果と比較する場合の予測における設定条件を図5に示す。音源は音響模型実験と同じく、跨線橋直下を中心に長手方向に±50m計100mに分布させる。音源の指向特性は、点音源列と垂直方向からの角度を $\theta$ として $\cos^2\theta$ とする。これは模型実験で用いた音源装置の指向特性である。受音点は2.1節の模型実験と同じ位置とする。なお、後述3章の現車試験結果との比較においては、音源の長さを400mとし、従来手法に則り、図5に示す模型実験の音源の指向特性は加味しないものとする。

2.3.2 音響模型試験結果と予測計算結果の比較

2.2節の手法を用いた跨線橋設置による騒音増加量の計算結果を図6に示す。騒音増加量は、跨線橋がある場合の受音点Pにおける騒音 $L_p$ と跨線橋がない場合の騒音(直達音) $L_D$ の差( $L_p - L_D$ )である。予測条件は2.1節図2と同じであり、直達音の全体音には構造物音の直達音を含む。予測計算の結果は、音響模型実験の結果(図2)をほぼ再現できている。

図2、図6ともに、車両上部音に比べて車両下部音の寄与が大きいため、全体音の騒音増加量の分布は、車両下部音の分布に近い。また、跨線橋に沿ったコンタラインは、跨線橋裏面を反射面としたスリット法によって適切に表現されている。これは、跨線橋裏面における音の反射点(図4における鏡像音源と受音点を結ぶ直線と跨

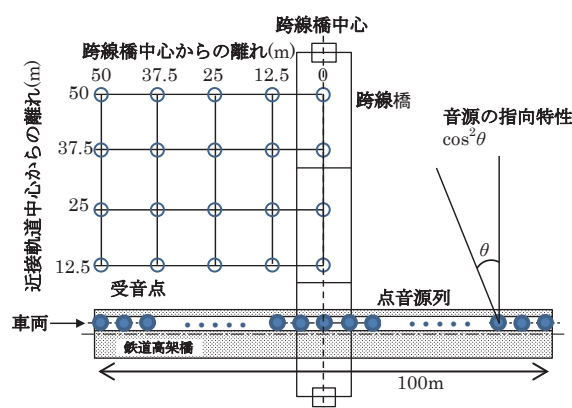
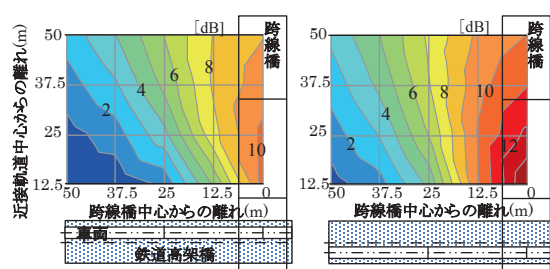
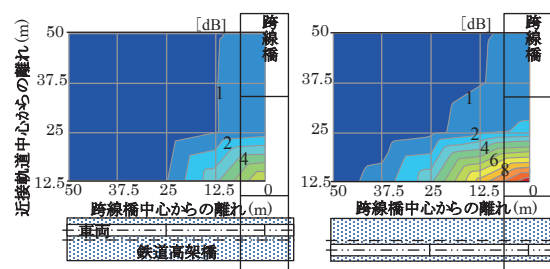


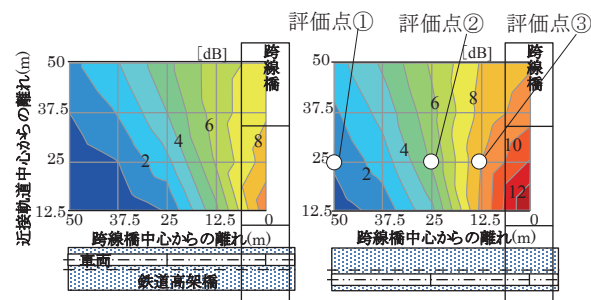
図5 予測における設定条件  
(音響模型実験対応用)



(a) 車両下部音



(b) 車両上部音



(c) 全体音

図6 予測計算での跨線橋による騒音増加量  
左：近接列車、右：遠隔列車

線橋裏面の交点)が、鉄道構造物から遠方に及ぶことを示すものである。一方で車両上部音は、鉄道と跨線橋の交点付近で増加量が最大となり、跨線橋による影響は鉄道と跨線橋の交点近くに限定される。これは、跨線橋裏面を反射面としたスリット法に加え、直達音は防音壁に

よる遮蔽効果を受けるが反射音は鏡像防音壁による遮蔽効果を受けないことにより、生じるものである。

予測計算結果は、遠隔列車の場合に近接列車の場合より騒音増加量が大きいことも再現できている。騒音増加量は、車両下部音、車両上部音ともに遠隔列車の方が近接列車より大きい。全体音における車両位置による騒音増加量の差は、模型試験結果、予測計算結果とも、跨線橋中心からの離れが12.5m以上の範囲では最大で4～5dB程度であり、跨線橋から離れるにしたがって差が小さくなる。騒音増加量は、車両上部音より車両下部音の方が広い範囲にわたって大きい。車両下部音について、遠隔列車の場合に近接列車の場合より騒音増加量が大きいことは、跨線橋裏面反射音と直達音と差( $L_M - L_D$ )が遠隔列車の場合に近接列車の場合より大きいことに起因し、更にそれは $L_S$ における鏡像防音壁による回折補正量が遠隔列車の場合に近接列車より小さいことによるものである。

#### 2.4 鉄道と跨線橋が直交する場合の沿線騒音の特徴

図6と同じ条件で、近接軌道中心からの離れが25mの地点での跨線橋がある場合の騒音の音源別寄与率(音源別の直達音、および跨線橋裏面反射音)の計算結果を図7に示す。対象点は、近接列車、遠隔列車とも図6に示す評価点①、②、③である。近接列車(図7(a)(b)(c))、遠隔列車(図7(d)(e)(f))とも、それぞれの直達音は等しい。近接列車の場合、車両下部音の直達音を $L_A$ [dB]とすると、車両上部空力音の直達音は $L_A - 2.5$ [dB]、構造物音の直達音は $L_A - 12.5$ [dB]である。同様に、遠隔列車の場合、車両下部音の直達音を $L_B$ [dB]とすると、車両上部空力音の直達音は $L_B - 5.9$ [dB]、構造物音の直達音は $L_B - 10.3$ [dB]である。跨線橋がない場合、車両位置に関わらず車両下部音の寄与が大きく、次いで車両上部音の寄与が大きい。また近接車両の場合より遠隔車両の場合に車両下部音の寄与度が大きい。

次に、跨線橋がある場合の各評価点における騒音の音源別寄与率と騒音増加量について考察する。図6および図7から、跨線橋中心に近いほど騒音増加量が大きく、騒音増加量が大きい場所では特に車両下部音の跨線橋裏面反射音の寄与が大きいことがわかる。また、近接列車に比べて遠隔列車の場合に、跨線橋裏面反射音の寄与度が大きい。受音点の位置、あるいは車両位置により音源別寄与度の大きい音源の順位は異なり、図7(b)(c)(e)(f)(近接列車および遠隔列車、跨線橋中心からの離れが12.5mおよび25m)の場合に第一が車両下部音(反射音)、第二が車両下部音(直達音)である。(a)(d)(跨線橋中心からの離れが50m)では、第一は近接車両、遠隔車両とも車両下部音(直達音)で、第二は近接車両の場合に車両上部音(直達音)、遠隔車両の場合に車両

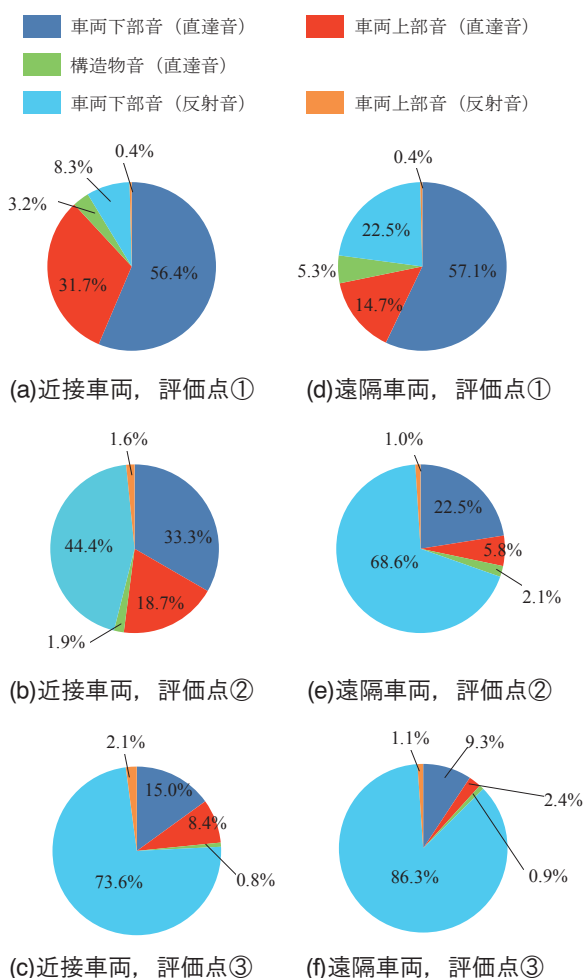


図7 跨線橋ありの場合の各評価点における騒音の音源別寄与率(エネルギー比)

下部音(反射音)である。

以上のことから、跨線橋と鉄道が直交する場合の跨線橋周辺部における沿線騒音の特徴として、主として次のことが言える。

- ①跨線橋がない場合と比較すると、跨線橋がある場合には局所的に騒音が増大する領域が現れる。
- ②少なくとも鉄道の近接軌道中心から50m離れまでの領域では、騒音増加量は跨線橋長手方向にほぼ一定で、跨線橋から離れるに従って小さくなる。
- ③鉄道構造物が防音壁ありで複線である場合、騒音増加量は近接列車より遠隔列車の場合に大きい。
- ④跨線橋による騒音増加量が3dB以上の場合には、車両下部音の跨線橋裏面における反射音の寄与度が大きい。
- ⑤跨線橋裏面における音の反射は、交差部から離れた位置の跨線橋裏面でも生じる。

これらのことから、鉄道沿線に跨線橋を建設する際には、跨線橋裏面反射音を低減させる対策が有効であると考えられる。

### 3. 現車試験における沿線騒音の評価

鉄道と跨線橋が斜めに交差する場合について、跨線橋による騒音増加量の予測計算結果および現車試験結果を図8に示す。予測計算および現車試験の条件は表2の通りである。予測計算結果は、現車試験による騒音増加量の分布を概ね再現できている。図8から、主に次のことがわかる。

- ① 跨線橋と新幹線が鋭角に挟まれた領域（図中跨線橋の左側）より、鈍角に挟まれた領域（図中跨線橋の右側）で騒音増加量が大きい。
- ② 跨線橋直下ではなく、それより跨線橋からやや右に離れた位置で騒音増加量が最も大きく5dB以上となり、その位置と値が、予測計算結果と現車試験結果で同等である。

表2 予測および実測の条件

項目	条件
新幹線構造物	RC ラーメン高架橋＋一部盛土、高架橋高さ14m(G.L.～R.L.、跨線橋との交差部)、バラスト軌道
跨線橋構造物	直型防音壁 (R.L.+1.6m)＋一部かさ上げ (0.5m)
騒音測定点	新幹線と跨線橋の交差角30°幅12m桁下高さ27.3m (G.L.～下端)
騒音評価	下り方沿線22点 (新幹線と跨線橋の交点から線路長手方向に約150mずつ、近接側軌道中心からまくらぎ方向に約150mまで) 地上1.2m高さ
騒音評価	1列車ごとの騒音レベルの最大値 周波数重み付け特性A 時間重み付け特性S
列車	長さ400m, 16両編成, 300km/h, 遠隔走行

### 4. まとめ

跨線橋がない場合の騒音に跨線橋裏面反射音を加えることにより、跨線橋がある場合の騒音を予測する手法を構築した。ここでは、跨線橋裏面での反射音を、鏡像音

源から発生した音が反射面と同じ幅を持つスリットを通過する場合と等価であるとした音源モデルを用いた。この予測モデルによる結果は、音響模型試験結果および現車試験結果を再現し、予測手法の妥当性を確認した。また試算により、全体音において跨線橋による騒音増加量が大きい場合には車両下部音の跨線橋裏面反射音の寄与が大きいこと、跨線橋裏面における車両下部音の反射は鉄道構造物の直上付近に限定されないことなどがわかった。そのため、跨線橋を建設する場合には、あらかじめ跨線橋裏面反射音の影響を小さくする対策を検討する必要がある。

### 文献

- 1) 西村昌也, 斎藤英俊, 小方幸恵, 長倉清, “線路上空構造物が鉄道沿線騒音に与える影響評価”, 日本騒音制御工学会平成24年秋季研究発表会講演論文集, pp.289-292, 2012
- 2) 小方幸恵, 西村昌也, 北川敏樹, 長倉清, “上空構造物による反射音を含めた鉄道沿線の騒音予測手法の検討”, 日本騒音制御工学会平成25年秋季研究発表会講演論文集, pp.159-162, 2013
- 3) 小方幸恵, 北川敏樹, 長倉清, “鉄道の沿線騒音に対する線路上空構造物の影響評価”, 日本騒音制御工学会平成26年秋季研究発表会講演論文集, pp.71-74, 2014
- 4) 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
- 5) 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”－日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会報告－”, 日本音響学会誌, 70巻, 4号, pp.172-230, 2014
- 6) 長倉清, 安部由布子, 北川敏樹, 小方幸恵, “鉄道沿線における高所空間に適用可能な騒音予測手法”, 鉄道総研報告, Vol.23, No.7, pp.23-28, 2009

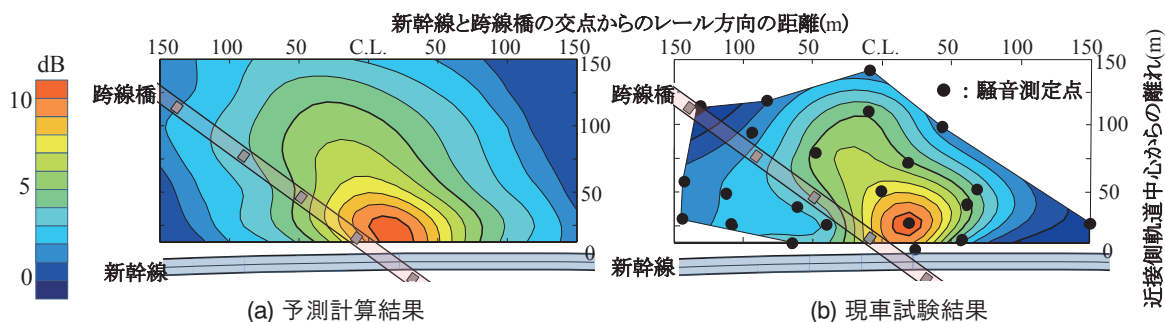


図8 跨線橋による騒音の増加量（16両編成，遠隔列車，300km/h，単位：dB）