

# 切土区間における新幹線の騒音予測手法

小方 幸恵\* 村田 香\* 長倉 清\*\*

Study on a Prediction Model for Wayside Noise of Shinkansen in Cut Sections

Yukie OGATA Kaoru MURATA Kiyoshi NAGAKURA

This paper introduces a prediction model for wayside noise of Shinkansen in cut sections. In order to develop the model, sound reflection between the cutting surface of the section and the car surface should be taken into consideration. The effect of the sound reflection was examined by acoustic experiments with scale-models and it could be simulated by using an image sources model. The validity of the prediction model using the image sources model was confirmed by comparing the measured results with the calculation results from an acoustic point of view.

キーワード：鉄道騒音，予測法

## 1. はじめに

鉄道の沿線騒音を予測する手法については、これまでに、在来鉄道、新幹線鉄道ともに複数ものが提案されている<sup>1)~4)</sup>。新幹線の場合には、音源を発生部位別に、車両下部音、集電系音、車両上部空力音および構造物音の4種に分類し、それぞれについて離散点音源モデルを用いてエネルギーベースの計算を行う手法<sup>4)</sup>が用いられている。この手法が適用可能な鉄道構造物の条件は、高架橋あるいは盛土で、評価点の範囲は防音壁上端より低い位置である。また、防音壁上端より高い位置（高所空間）の評価点における騒音の予測手法としては、高架橋区間を対象としたものが提案されている<sup>5)</sup>。この文献<sup>5)</sup>の中では新幹線で一般的な防音壁の高さ（レールレベル+3m）の場合、すなわち車体屋根高さより低い場合でその整合性が確かめられた。本報告では、文献<sup>5)</sup>をもとに、切土区間等に対応した伝搬モデルを導入することにより新たな予測手法を検討し、従来の予測手法の適用範囲を拡張する。

新幹線の切土区間の沿線で観測される騒音分布は、通常の高架橋区間とは異なる。これは、騒音の評価点が切土区間では切土壁面上端より高い位置であること、切土区間では切土壁面における音の反射による影響を受けること、高架橋区間の高所空間と比較して切土区間では評価点が地面に近いことなどが理由である。そこで本報告では、切土壁上端の高さが車体屋根高さより高い場合を含め、切土区間を対象とした音響模型試験により得ら

れた騒音分布の評価検討を行い、この結果を用いて構築した切土区間における新幹線の騒音予測手法を検討し、音響模型試験結果と予測結果の整合性について述べる。

なおここでは、新幹線の車両下部音を対象として検証を行うが、本手法は在来鉄道騒音についても適用可能である。

## 2. 切土区間を対象とした音響模型試験

### 2.1 音響模型試験の実施概要

切土区間の沿線における騒音分布を把握するため、鉄道総研内の音響実験室（無響室）にて新幹線を対象とした音響模型試験を実施した。ここでは、新幹線の騒音源として音源パワーが大きく音源の数も多いことから、車両下部音を対象とする。音響模型試験は、車両および構造物の模型、音源、およびマイクロホンが無響室に設置して行った。主な音響模型試験の条件を表1に示す。また、試験を実施した模型の設置条件を図1に示す。切土ののり面（壁面）は、まくらぎ方向に対して鉛直で一様な面とする。以下では、寸法を示す値は実車換算したものを表す。

車両および軌道等の構造物の模型寸法は、代表的な新幹線を基準とした。軌道は複線のスラブ軌道とした。音源はエアジェットを用いた無指向性有限長線音源装置を使用し、車両下部の中央（図1参照）に設置した。以下では、車両が騒音の測定点（あるいは評価点）に近い側にある場合を近接車両、遠い側にある場合を遠隔車両とする。反射性を模擬する場合はアルミ板あるいはアクリル板を使用し、車両および軌道の模型はアルミ板製とした。また地面の表面は、地面反射音の影響を最も大きく

\* 環境工学研究部 騒音解析研究室

\*\* 環境工学研究部

特集：沿線環境

捉えることができる反射条件を想定し、アクリル板とした。切土壁の模型表面は、反射条件の場合はアルミ板、吸音条件の場合は切土壁面が草木で覆われている条件を想定し、文献6) に倣ってアルミ板に帆布を貼付した(帆布の吸音率は文献6) 参照)。騒音の測定は、車両長手方向に対して鉛直の断面内にて行った。音響模型試験での測定結果は、レール近傍点における騒音のO.A. 値を105.3dBとして現車換算する。換算は、模型試験で得られた測定データ(1/3オクターブバンドで1k~100kHz)から、1/3オクターブバンド中心周波数を1/25倍した後に隣接する3バンドの和を取ることにより1/1オクターブバンドの値を求め、模型試験に用いた音源の周波数スペクトルと実車(新幹線電車、V=300km/h)の周波数スペクトル(図2)の差を考慮することによって

表1 主な音響模型試験の条件

試験場所	鉄道総研音響実験室(無響室)
縮尺模型	1/25縮尺, 新幹線鉄道複線切土区間, スラブ軌道(反射性の軌道面), 車両4両100m相当
音源装置	エアジェット一様有限長線音源, 車両下部音の音源として使用, 車両模型の下(軌道中心, レールレベル高さ)に設置
のり面条件(図1)	軌道面から切土壁上端までの高さ(2.5m, 5m, 7.5m), 吸音材(帆布あり, なし)
測定	水平方向は近接軌道中心からの離れが5.4mから37.5mまで, 高さ方向はG.L.+1.2mから+20mまでの範囲で, 1/4インチマイクロホンUC-29にて測定

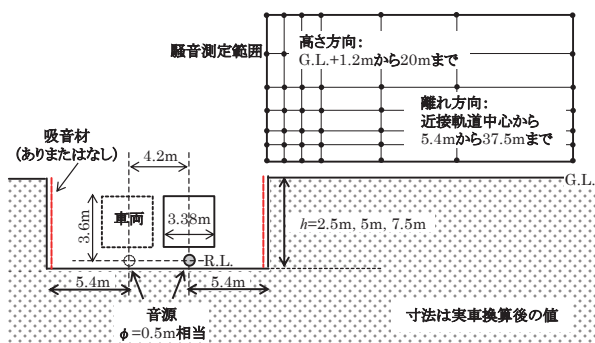


図1 模型設置条件

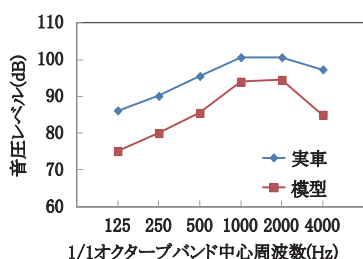


図2 レール近傍点における騒音の周波数スペクトル(新幹線 300km/h 相当)

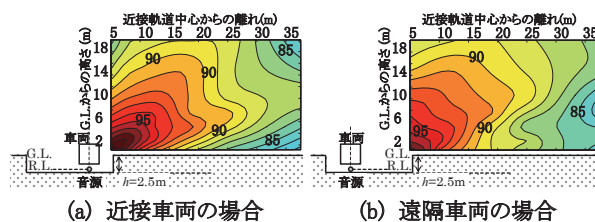
実車対応のレベルを求め, さらにそれらのパワー和(オーバーオール値)を求めることによって行う。

2.2 音響模型試験の結果概要

代表的な模型試験による音圧分布を図3~図5に示す。これらの図から, 切土区間における騒音分布の特徴として, 次のことがわかる。

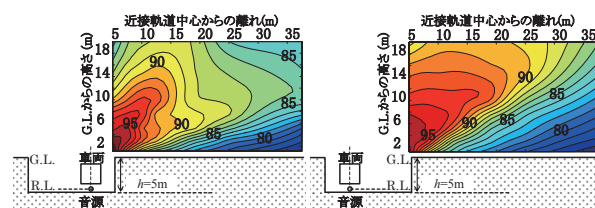
- (1) 切土壁の高さ, 車両の位置に依らず, 斜め上方へ音が強く放射される。音の放射方向を切土壁の高さによって比較すると, 切土壁が高いほど音が強く放射される方向はより上方へ向く。
- (2) 切土壁の高さが5mあるいは7.5mの場合には, 遠隔車両の場合と比較して近接車両の場合により上方へ放射される。また, 近接車両の場合より遠隔車両の場合に沿線騒音が大きい。
- (3) 切土壁高さが2.5mで遠隔車両の場合を除いて, 地表面に近い領域では, コンタラインの間隔が非常に狭くなり, 騒音が小さくなる傾向にある。

図3~図5の結果をもとに, 各種条件ごとの比較を行う。図6に遠隔車両の場合と近接車両の場合の騒音のレベル差(遠隔車両の場合-近接車両の場合)を示す。切



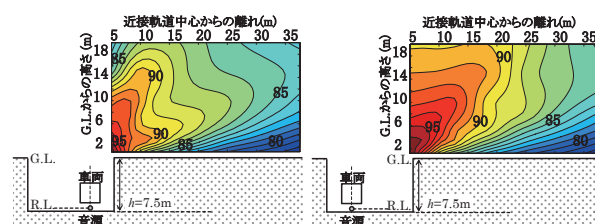
(a) 近接車両の場合 (b) 遠隔車両の場合

図3 音響模型試験による音圧分布(切土壁高さ2.5mの場合, 音圧レベル(dB))



(a) 近接車両の場合 (b) 遠隔車両の場合

図4 音響模型試験による音圧分布(切土壁高さ5mの場合, 音圧レベル(dB))



(a) 近接車両の場合 (b) 遠隔車両の場合

図5 音響模型試験による音圧分布(切土壁高さ7.5mの場合, 音圧レベル(dB))

土壁高さが2.5mの場合（図6（a））では、遠隔車両の場合の方が大きい領域（正の領域）がやや狭い傾向にある。切土壁高さが5mの場合（図6（b））には、図中A線より低い領域では近接車両の場合の方が大きく、これより上方では逆転して遠隔車両の場合の方が大きく、全体としてはやや正の領域が大きい。切土壁高さが7.5mの場合（図6（c））には、ほぼ全ての領域で正となり、近接車両の場合より遠隔車両の場合の騒音が大きい。これらのことから、模型試験を実施した条件内で、測定した範囲では、切土壁が高くなるほど近接車両の場合より遠隔車両の場合に騒音が大きい領域が広がると言える。

次に切土壁高さと騒音の大きさの関係について検討する。図7および図8に切土壁高さによる騒音のレベル差を示す。近接車両の場合（図7），切土壁高さが2.5mから5mに変化した場合（図7（a））では、ほぼ全領域（特に地面に近い領域）で騒音が小さくなる（図中で負になる）が、切土壁高さが5mから7.5mに変化した場合（図7（b））では、地面に近い領域で騒音がわずかに大きくなり、それ以外の領域で騒音が小さくなる。遠隔車両の場合（図8）で地面に近い領域では、切土壁高さが2.5mから5mに変化した場合（図8（a））には騒音が小さくなるが、切土壁高さが5mから7.5mに変化した場合（図8（b））には騒音が大きくなる。地面から遠い領域では、切土壁高さが2.5mから5mに変化した場合（図8（a））には騒音がやや大きくなるが、切土壁高さが5mから7.5mに変化した場合（図8（b））には騒音が小さくなり、領域により騒音の大小が逆転する。これらのことから、近接車両の場合には地面に近い領域を除いて切土壁が高いほど騒音は小さくなるが、遠隔車両の場合には切土壁の高さと沿線騒音の大きさは複雑な関係にあることがわかる。高架橋区間で防音壁の上端より低い位置を評価点とした場合の騒音は、防音壁が高いほど小さいことから、切土区間の沿線騒音の分布はそれとは異なると言える。

### 2.3 切土壁に貼付した吸音材の騒音低減効果

図9および図10に、音響模型試験における吸音材の騒音低減効果（吸音材なしの場合－吸音材ありの場合）を示す。図9および図10から、以下のことがわかる。

- (1) 騒音低減効果は測定範囲内で一様ではない。また、音源を見通すことができない領域では、騒音低減効果が大きい。
- (2) 吸音材を貼付する位置が近接側切土壁より遠隔側切土壁である方が、騒音低減効果は大きい。
- (3) 全領域において、近接車両の場合と遠隔車両の場合で、騒音低減効果に大きな違いはない。

吸音材は入射音に対して反射音を小さくする効果を持ち、その効果は反射の回数の増加とともに大きくなる。

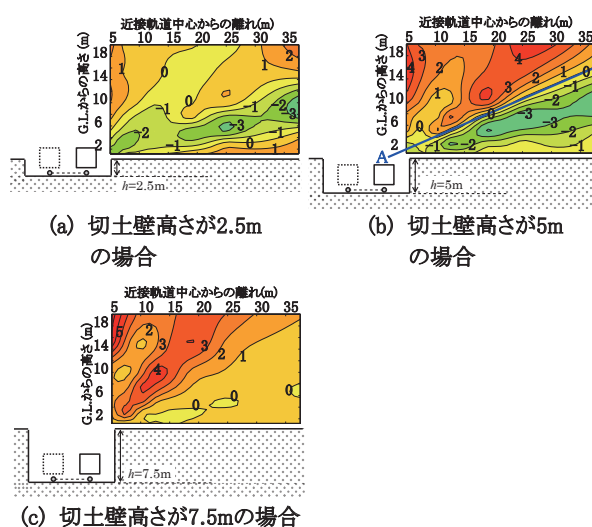


図6 車両位置による騒音のレベル差 (dB)  
(遠隔車両の場合－近接車両の場合)

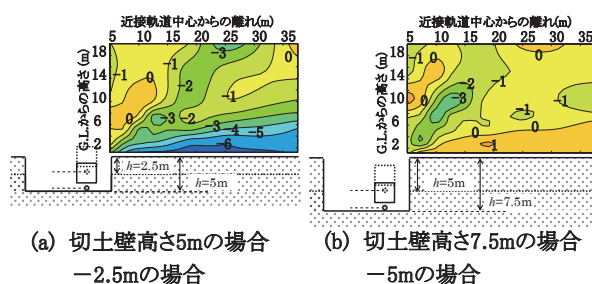


図7 切土壁高さによる騒音のレベル差 (dB)  
(近接車両の場合)

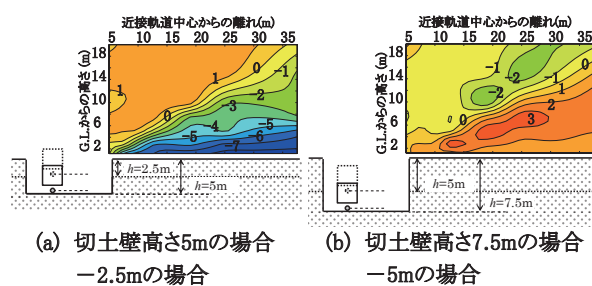


図8 切土壁高さによる騒音のレベル差 (dB)  
(遠隔車両の場合)

したがって、吸音材の騒音低減効果が大きい領域は切土壁に反射した音の影響が大きいことを示す。また、音源を見通すことができない領域で、遠隔側の切土壁に吸音材を貼付した場合の騒音低減効果が大きい理由は、この領域においては遠隔側の切土壁面に反射した音の影響が大きいと推定される。このことから、切土区間において吸音材によって騒音対策を実施する際には、騒音の評価点に近接側の切土壁のみでなく、遠隔側の切土壁にも吸音材を貼付する必要があることがわかる。音源から壁までの距離が短いと多重反射の回数も増えることから、吸音材を貼付した切土壁までの距離が異なる近接車

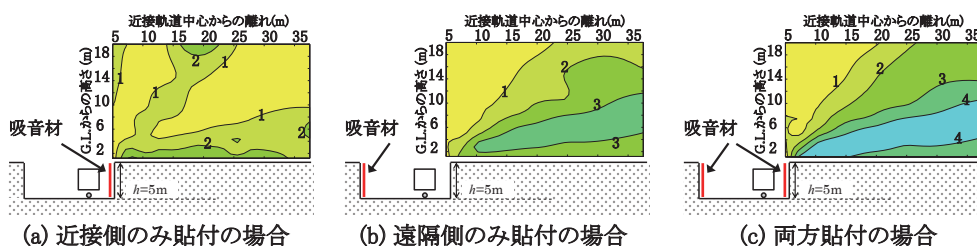


図9 近接車両の場合の吸音材の効果（吸音材なしの場合－吸音材ありの場合，（dB））

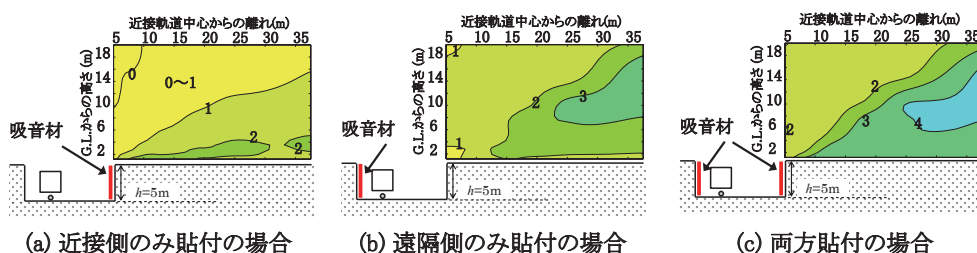


図10 遠隔車両の場合の吸音材の効果（吸音材なしの場合－吸音材ありの場合，（dB））

両と遠隔車両では、吸音材の効果が異なることも想定されるが、ここでは近接車両と遠隔車両の場合で騒音低減効果に大きな違いは現れなかった。

### 3. 切土区間における騒音予測手法の検討

2章の検討の結果から、切土区間における沿線の騒音は、切土壁での反射音の影響が大きいことがわかった。そのため、切土区間の沿線騒音の予測手法としては、車両の傍らの壁面における音の反射を考慮し、かつ壁の上端より高い位置での評価が必要である。そこで、ここでは同様の反射を考慮した文献5)の手法を参照し、切土区間における沿線騒音の予測手法を検討する。高架橋区間の高所空間と比較して切土区間では評価点が地面に近いので、文献4)に則り、地面反射による影響を考慮する。伝搬モデルについては新たな手法を導入する。ここで検討する対象は車両下部音である。

#### 3.1 音源モデル

車両下部音の音源種別、音源の指向特性の式、音源のパワーレベルは文献5)の手法と同様とする。

##### (1) 音源種別

図11に、本予測手法における音源種別と各音源の位置を示す。切土壁面および車体側面による反射音を考慮するため、次に示す3つの音源（実音源、鏡像音源1、鏡像音源2）を置く。3つの音源が表す意味は次の通りである。

- ①実音源：実際の騒音発生源に相当する音源
- ②鏡像音源1：評価点に近接側の切土壁面と車体側面に1回ずつ反射して近接側切土壁と車体の間から漏れて

くる音の音源

- ③鏡像音源2：評価点と遠隔側の切土壁面で反射して車体乗り越えて伝搬してくる音の音源
- 評価点における騒音は、これら3つの音源による騒音の和とする。

##### (2) 指向特性

車両下部音の鉛直方向の指向特性は、音源から評価点への方向と水平方向の成す角を $\theta$ の関数として次式で与える。

$$D(\theta) = 10 \log(0.1 + 0.9 \cos \theta)$$

##### (3) パワーレベル

鏡像音源1および鏡像音源2のパワーレベルは実音源から2dB減じた値とする。

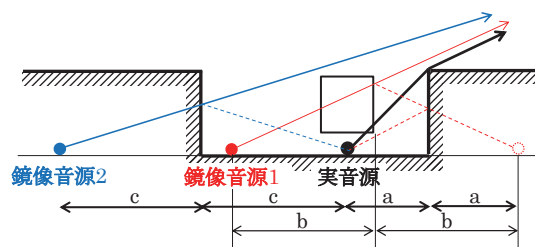


図11 予測手法の音源種別と各音源の位置

#### 3.2 伝搬モデル

実音源、鏡像音源1、および鏡像音源2から放射される伝搬モデルを図12に示す。ここで、鏡像音源1および鏡像音源2については、文献5)とは異なる新たな伝搬モデルを採用する。各音源から評価点までの伝搬経路は次の通りである。

- (1) 実音源：近接側の切土壁上端を回折点とした一重回折
- (2) 鏡像音源1：近接側の切土壁の車体側面に対する鏡

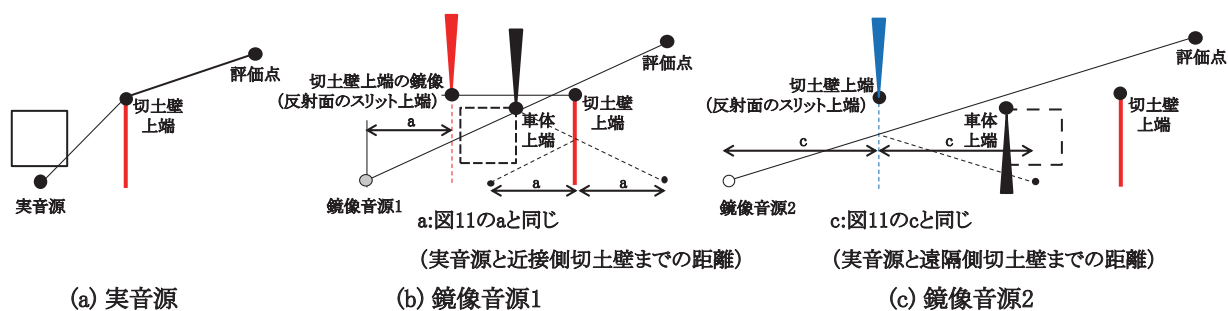


図 12 予測手法の各音源の伝搬モデル

像（スリット），車体（スリット）および近接側の切土壁上端を回折点とする三重回折  
 (3) 鏡像音源 2: 遠隔側の切土壁（スリット），車体上端，近接側の切土壁上端を回折点とする三重回折  
 一重回折および三重回折による回折減衰量の計算方法は，ASJ-RTN モデル<sup>7)</sup>の手法を適用する。ただし，有限の大きさを持つ反射面での反射を表すスリットが三重壁に含まれる場合は，スリット下端の剛壁の影響が小さいことから，スリット上端部の半無限の大きさを持つ障壁として計算する。

#### 4. 切土区間における騒音予測手法の検証

3章の手法により，切土区間における沿線騒音を予測する。条件は，模型試験結果を現車換算した条件と同じく新幹線電車が速度 300km/h で走行した場合の車両下部音，切土壁高さ 5m（図 4 と同じ）とする。計算結果を図 13 および図 14 に示す。図 13 (d) および図 14 (d) を同条件の模型試験結果（図 4）と比較すると，音が強く放射される方向や騒音の分布を示すコンタラインの形状は，予測計算によって模型試験での結果の特徴を模擬

できていることがわかる。図 13 および図 14 から，各音源から音が強く放射される領域は非常に限定的で，帯状に斜め上方へ車両位置により異なる方向に放射されることがわかる。近接車両の場合（図 13）には実音源の場合に最も上方に放射され，鏡像音源 1 と鏡像音源 2 の場合はほぼ同じ方向で実音源の場合より下方に，遠隔車両の場合（図 14）には実音源と鏡像音源 2 の場合にほぼ同じ方向で，鏡像音源 1 の場合はそれより下方に音が強く放射される。また，広い領域で実音源の寄与が最も大きく，次いで鏡像音源 2 の寄与が大きいことが読み取れる。すなわち，切土区間の沿線騒音に対しては，評価点から近接側より遠隔側の切土壁による反射音の影響が大きいことが推定される。

予測手法による計算値と音響模型試験による実測値のレベル差（予測計算結果－音響模型試験結果）の分布を，図 15 に示す。切土壁が 2.5m あるいは 5m の場合（図 15 (a) (b) (c) (d)）には，広い領域で，予測計算結果と音響模型試験結果の差（絶対値）は 2dB 以内である。一方，切土壁が 7.5m の場合（図 15 (e) (f)）には予測精度がやや悪い領域があり，近接車両，遠隔車両ともに特に音源を見通すことができない領域で，予測計算結果が 4dB

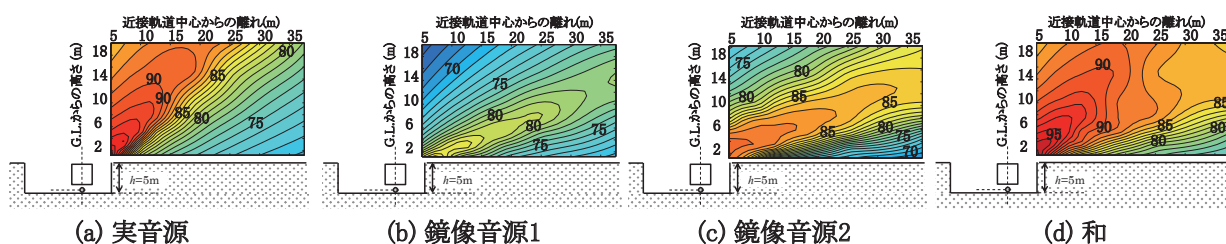


図 13 予測手法による騒音の計算値（切土壁 5m，近接車両の場合，(dB)）

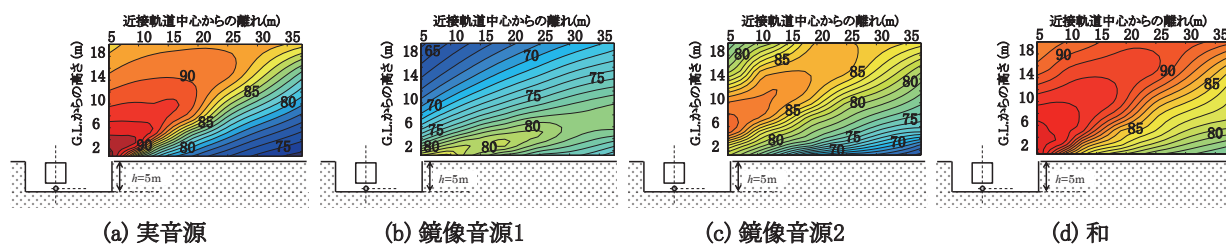


図 14 予測手法による騒音の計算値（切土壁 5m，遠隔車両の場合，(dB)）

特集：沿線環境

以上過小評価である。この領域は2.3節、図13および図14の結果から鏡像音源からの寄与が大きいことが明らかとなっており、予測モデルより高次の反射音が影響して、鏡像音源からの寄与が予測計算結果より実際には更に大きいと推定される。また、切土壁が車体高さよりはるかに高い場合は、車体高さより上部の切土壁面内の反響など、切土壁が車体高さより低い場合とは沿線への騒音伝搬の様子が異なることも予測される。以上のことから、切土壁高さが5mまでの条件であれば、3章の手法によって、切土区間において沿線騒音を精度よく予測することが可能になったと言える。

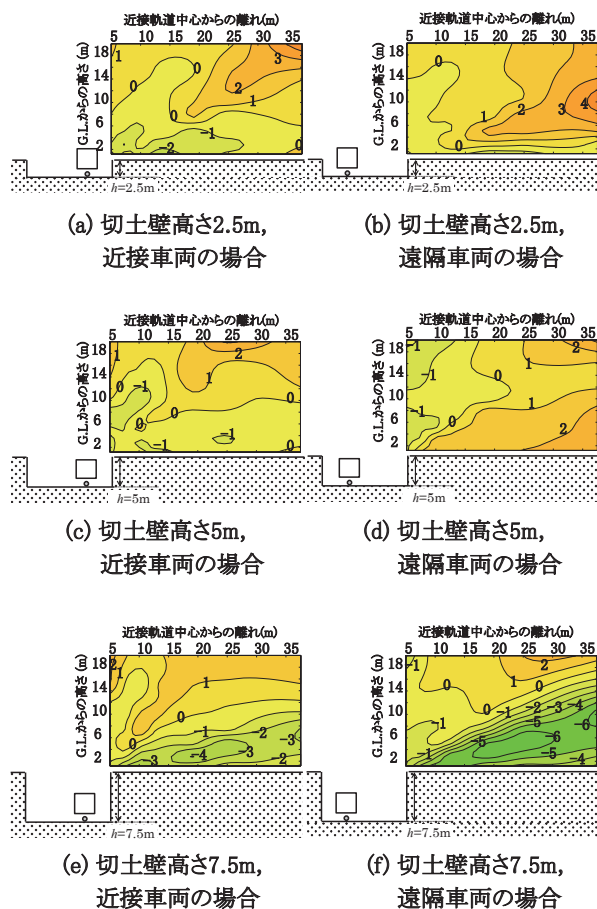


図15 予測手法による計算値と模型試験による実測値の騒音レベル差の分布  
(予測計算結果－音響模型試験結果 (dB))

騒音の伝搬行路差から回折減衰量を求める手法では、音の入射角が障壁に対して60°以内とする適用範囲があり、切土壁が非常に高い場合、また切土壁上端が音源からまくらぎ方向へ非常に遠い場合にはこの適用範囲から逸脱する。そのため、これらの条件については別途検討が必要である。

5. おわりに

切土区間における騒音予測手法の構築を目的として音響模型試験を実施し、その結果を基に、また高所空間での騒音予測手法を参照して、騒音予測手法を検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 音響模型試験結果から、切土区間の沿線における騒音分布は、高所空間での騒音分布と似た性質を示し、切土壁面における音の反射の影響を強く受ける。
- (2) 切土壁面における反射音を考慮した騒音の予測手法によって切土区間における騒音を予測した結果、音響模型試験結果との比較から、切土壁が5m以下である場合については精度良く予測できることが示され、本手法の妥当性が確認された。

切土壁が高い場合の予測手法としては、道路交通騒音を対象として、より高次の多重反射を加味する方法、切土壁上端部を開口部として指向性を持った点音源あるいは面音源を置く方法等が提案されている<sup>7)</sup>。これらの手法の鉄道騒音への適用は今後の課題である。

文献

- 1) 石井聖光, 子安勝, 長祐二, 木庭紀之: 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, 長倉清, 立川裕隆, 緒方正剛: 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) 安部由布子, 長倉清, 北川敏樹: 在来鉄道騒音の予測手法に関する検討, 日本音響学会騒音・振動研究会資料, N-2005-01, 2005
- 4) 長倉清, 善田康雄, 橘秀樹: 新幹線騒音の予測評価手法について, 日本音響学会騒音・振動研究会資料, N-2000-01, 2000
- 5) 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
- 6) 時田保夫: 音の環境と制御技術 第Ⅱ巻, フジ・テクノシステム, p.413, 1999
- 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 2008” 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, Vol.65, No.4, pp.179-232, 2009