

切取区間における新幹線沿線騒音の予測手法

阿久津 真理子* 小方 幸恵* 北川 敏樹*
木村 宣幸** 栗林 健一*** 松沼 政明***

Prediction Models of Wayside Noise Level of Shinkansen at Railway Cuttings

Mariko AKUTSU Yukie OGATA Toshiki KITAGAWA

Nobuyuki KIMURA Kenichi KURIBAYASHI Masaaki MATSUNUMA

This paper introduces a prediction model for the wayside noise of Shinkansen in the cut sections in which the cut shape is oblique. The distinctive characteristic of the cutting section is that the ground below the measuring points tends to be raised above the vehicle. In order to develop the model, sound reflections at the slope and the noise barrier located adjacent to the track should be taken into consideration. The effect of the sound reflection was examined by the field tests and the acoustic experiments with scale-models. The results of the prediction model were validated by comparing the measured results with them. It was found through the parametric study by the calculations that the noise reduction due to the sound barrier installed at the top of the slope was greater than that due to the barrier located adjacent to the track.

キーワード：新幹線，沿線騒音，切取区間，騒音予測，騒音分布

1. はじめに

列車の走行に伴う沿線騒音は、車両および鉄道構造物の各部で発生し、防音壁、周辺構造物および地形等の影響を受けて伝搬する。従って、沿線騒音の予測モデルを構築するためには、音源から受音点までの音の伝搬経路上にあるものを考慮する必要がある。現在主に用いられている新幹線沿線騒音予測手法¹⁾では、新幹線騒音が車両下部音、集電系音、車両上部空力音および構造物音の4種類の点音源列から構成され、それらの和として沿線騒音を予測する。適用可能な鉄道構造物は高架橋あるいは盛土で、評価範囲は防音壁上端より低い位置である。また、高架橋区間でこれより上方（高所空間）に受音点が位置する場合に適用可能な予測手法も提案された²⁾。

本稿では、新幹線沿線における土構造物の一つである、切取区間における騒音伝搬に着目する。切取とは元の地面を切り取ったところに線路を敷設したものであり、受音点がレールレベルより高所となる点で高所空間における騒音の伝搬と類似性がある。一方で、高所空間の場合と比較して受音点が地面に近いことや、音の反射面を考えると時の高架橋区間の防音壁と比較して切取り面の高さが車両高さより高い場合があることなどの相違点がある。これらに対応するため、切取り面が垂直な場合における騒音予測手法が提案された³⁾。そこで本稿では、

現車試験および音響模型試験の結果を基に、切取り面が斜面である場合の切取区間に対応する騒音予測モデルを提案する^{4) 5)}。ちなみに、本稿では新幹線の車両下部音を対象として評価を行うが、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。本稿で扱う切取区間における各部位を図1に整理する。評価の対象とする範囲は切取部より外側にあたる図中の評価範囲である。

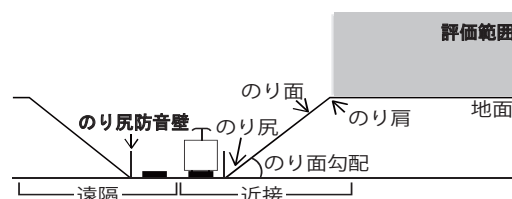


図1 切取区間における各部位の名称

2. 切取区間における騒音伝搬測定

2.1 現車試験概要

切取区間における騒音分布を調べるため、新幹線沿線における騒音測定を行った。試験区間の条件を図2に示す。地上測定点として15本のマイクロホンを設置した。当該区間はスラブ軌道であり、のり面下端（のり尻）付近に半雪覆型防音壁（上り：R.L.+2m，下り：R.L.+4m，上部1.4mが内側に30度傾斜）が設置されている。また、切取り面の勾配は1:1.5（33度）であり、切取り面はのり枠（枠内植生）、測定点の下の地面は未舗装の道および畑である。

* 環境工学研究部 騒音解析研究室

** 東日本旅客鉄道株式会社（現 東鉄工業株式会社）

*** 東日本旅客鉄道株式会社 研究開発センター

特集：空気力学・騒音

2.2 現車試験結果

現車試験による切取区間での騒音分布(200km/h, 320km/h 走行時)を図3に示す。ここで騒音レベルは、時間重み付け特性Sでの測定結果の最大値であり、近接側200km/h走行時の測定点M1(図2中の測定点)のレベルを基準(0dB)として相対値で記す。以降に掲載のコンターマップは、得られた測定値を満足する曲線群のうち最も滑らかな曲線を条件付き最適化問題として求めたものである。図3より測定範囲内について、次のことが分かる。

- ①新幹線車両から発生した音は斜め上方向(のり面勾配よりやや上向き)に大きく放射される。また、軌道に近く、高い位置の測定点で音が大きい。
- ②遠隔側走行の方が近接側走行よりも騒音レベルがやや大きい。騒音レベル分布の形状はほぼ同じである。
- ③列車速度が高い方が低い場合より騒音レベルが大きい。これは、沿線騒音の音源別寄与率が同等であることを示している。

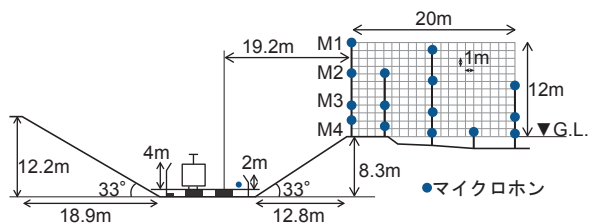


図2 現車試験区間の条件

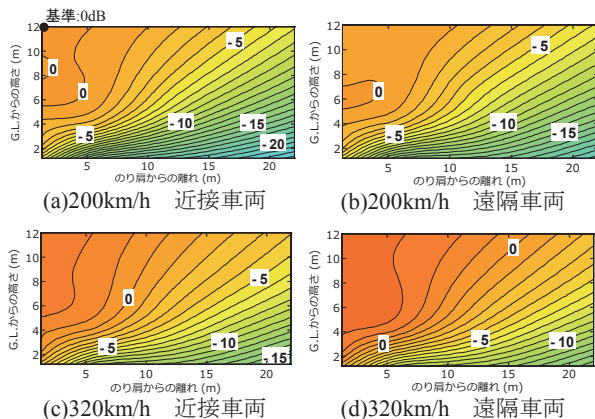


図3 現車試験による切取区間での騒音分布 (単位 [dB])

2.3 測定点における音源別寄与度

切取区間通過時に発生する新幹線騒音の音源別寄与度を評価する。ここでは、現車試験の各測定点における騒音の車両下部音と、車両上部空力音+集電系音(以下、車両上部音)の寄与を算出する。切取区間であるため、構造物音は含まれない。低速走行時(200km/h)には車両上部音は無視できると仮定し、以下の操作を行う。

- ①高速走行時(320km/h)と低速走行時(200km/h)のレール近傍音 $L_{SUM,h}(f)$, $L_{SUM,l}(f)$ のレベル差を周波数バンド(中心周波数 f) ごとに求め、これを低速走行時における各測定点の騒音レベル $L_{Mn,l}(f)$ ($n = 1 \sim 15$, マイクロホン番号)に足し、各測定点における高速走行時の車両下部音の寄与 $L_{R,h,Mn}(f)$ とする(式(1))。

$$L_{R,h,Mn}(f) = L_{Mn,l}(f) + L_{SUM,h}(f) - L_{SUM,l}(f) \quad (1)$$

- ②高速走行時の各測定点の騒音レベル $L_{Mn,h}(f)$ と①で求めた高速走行時の車両下部音 $L_{R,h,Mn}(f)$ のパワー差(⊖と表す)を、各測定点における高速走行時の車両上部音の寄与 $L_{U,h,Mn}(f)$ とする(式(2))。

$$L_{U,h,Mn}(f) = L_{Mn,h}(f) \ominus L_{R,h,Mn}(f) \quad (2)$$

ただし、 $L_{Mn,h}(f) \leq L_{R,h,Mn}(f)$ の場合は $L_{R,h,Mn}(f) = L_{Mn,h}(f)$

上記手順により求めた、全体音に対する車両下部音と車両上部音のパワー比(代表地点, OA 値)を図4に示す。全ての測定点で車両下部音の寄与が全体音の大部分を占

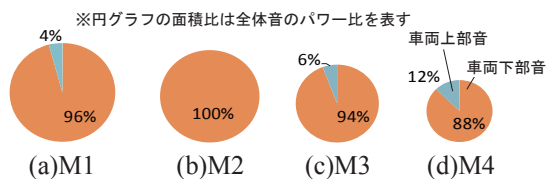


図4 全体音に対する車両下部音と車両上部空力音のパワー比(320km/h)

める。地面に近い測定点では車両上部音の寄与率が他の測定点よりもやや大きい箇所がある。これは近接側ののり肩部での車両下部音の遮蔽の影響が大きいためと考えられる。以上のことから、以降では200km/h走行時の車両下部音についてのみ検討を行う。

3. 音響模型試験によるパラメータスタディ

3.1 測定概要

切取区間の沿線騒音における切取り面や防音壁の影響を調査するために、1/25縮尺の模型を用いた音響模型試験を行った。模型等の配置(断面図)を図5に示す。以降、寸法と周波数は実車換算後の値で記す。車両は100m長さを模擬した。音源は車両下部音のみとし、車両下部中央に設置した。音源にはエアジェット無指向性一様有限長線音源装置を使用した。なお、事前に現車試験結果を再現可能な模型条件の検討を行い、地表面による影響を模擬するために測定範囲下の地面部分にはア

ルミ蒸着発泡ポリエチレン（アルミ面を上）を貼付することとした。のり面および構造物と車体の表面はアルミ板である。測定範囲はのり肩を原点としてまくらぎ方向の離れ0～27m、高さは1.2～18mである。試験を行ったパラメータは防音壁条件（防音壁なし、直型防音壁：R.L.+1m, +2m, 半雪覆型防音壁：R.L.+2m, +4m）、のり面勾配 θ （0, 33, 70, 90度）、切取高さ h_c （5m, 8.3m, 12.2m）である。以降では、騒音評価位置から見て、近接側、遠隔側と記す。

3.2 主な測定結果

図6(a)に基本条件(図5参照)の結果を示す。また、図6(b)～(d)に基本条件から防音壁あるいは切取の有無を変化させた結果を示す。音圧レベルの基準(0dB)は、現車試験条件の再現時(200km/h, 近接車両)における左上の測定点(図2のM1)における値である(以下同様)。基本条件(図6(a))と近接側のり尻防音壁なしの条件(図6(b))を比較すると、近接側走行時(上段)にはほぼ測定範囲全体で、近接側のり尻防音壁なしの条件の方が基本条件よりも騒音レベルが大きく、最大で4dB程度の差がある(図6中○印付近)。一方で、遠

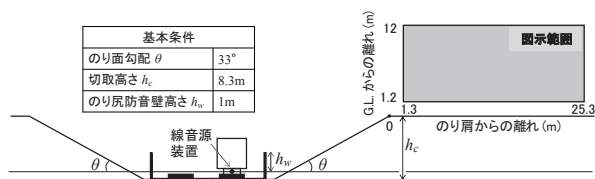


図5 模型等の配置(断面図)

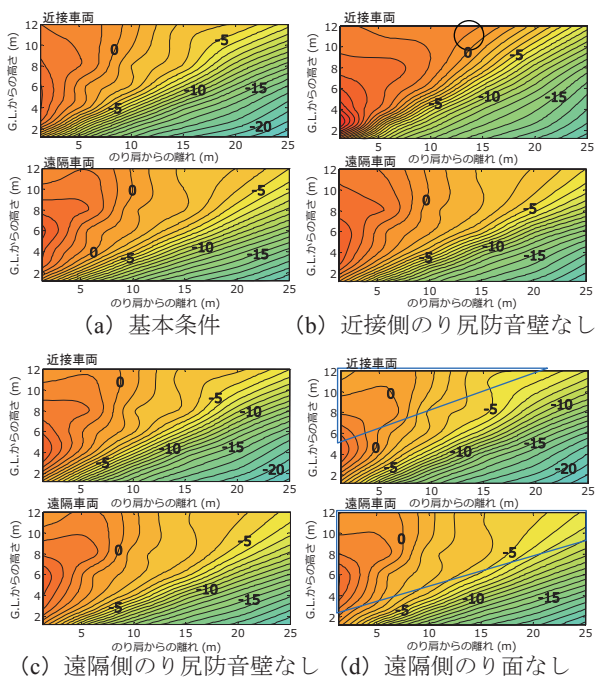


図6 模型試験結果

(上段：近接車両，下段：遠隔車両，単位[dB])

隔側走行時(下段)ではのり尻防音壁の有無による騒音レベルの差は±1dB程度以内で小さい。また基本条件と遠隔側のり尻防音壁なしの条件(図6(c))を比較すると、のり尻防音壁の有無による騒音レベルの差は±1dB程度以内である。このことから、これらの条件においては1m高さののり尻防音壁の影響は、防音壁が近接側で近接車両の場合に生じると考えられる。また、基本条件(図6(a))と遠隔側のり面なしの条件(図6(d))を比較すると、近接、遠隔車両ともに、図中青線枠内の広い範囲で遠隔側切取なしの条件の方が基本条件よりも1dB以上小さく、この範囲では、遠隔側のり面での反射音の影響があることが分かる。

4. 切取区間における騒音予測モデル

4.1 モデル概要

2章と3章の試験結果から、切取のり面やのり尻防音壁による影響を受けて騒音が伝搬していることが確認された。これらの事項を参照し、切取区間における騒音予測モデルを検討する。なお、ここでの検討対象は2.3節の結果から、車両下部音のみとする。

(1) 音源種別

本予測モデルでは次に示す5種類の音源(図7)を用いる。評価点における騒音レベルは、この5つの音源による騒音レベルのパワー和とする。

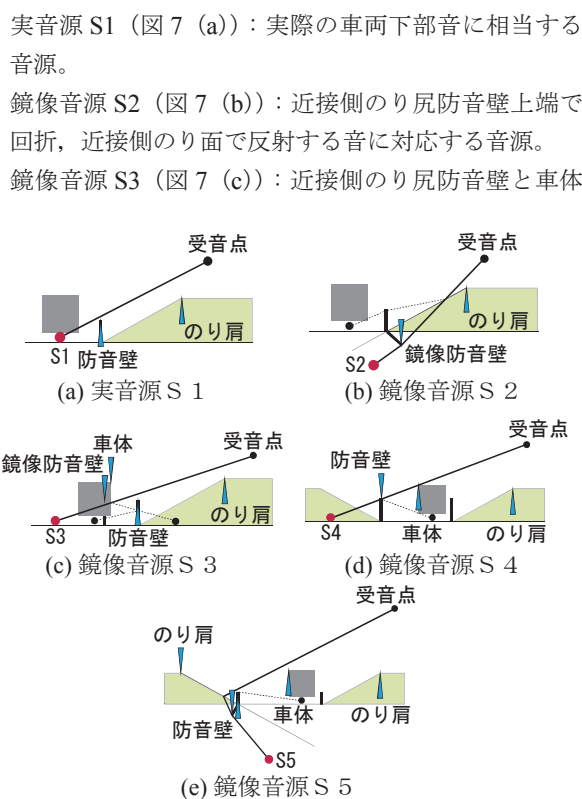


図7 音源モデルにおける音源位置および伝搬経路の概要

特集：空気力学・騒音

で1回ずつ反射し、のり尻防音壁と車体の間から伝搬する音に対応する音源。

鏡像音源 S4 (図7 (d))：遠隔側のり尻防音壁で1回反射し、車体上端で回折して伝搬する音に対応する音源。

鏡像音源 S5 (図7 (e))：遠隔側のり尻防音壁上端で回折し、遠隔側のり面です1回反射する音に対応する音源。

S1, S3 と S4 については既存の予測モデル^{2) 3)}でも用いられている音源であり、本稿では、これらの音源の伝搬経路に近接側切取のり肩における遮蔽効果を加えた。また、切取のり面での音の反射の影響を加味するため、S2 と S5 を新たに採用した。

(2) 指向特性

車両下部音の指向特性はレールに対して垂直な断面内において、水平方向と音の放射方向とでなす角 φ [rad] の関数として式 (3) で与える²⁾。

$$D(\varphi) = 10 \log_{10}(0.1 + 0.9 \cos \varphi) \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

(3) パワーレベル

各音源のパワーレベルを表1に示す。表中の網掛けでない部分は既存の予測モデル²⁾を参照した値である。S1 のパワーレベルを L_{WA} とする。S2 は車体と防音壁間の音の多重反射の影響を受けないことから S1 と同じとする。網掛けの値は3.2節の結果に基づき、音の多重反射や路盤での音の反射を考慮して設定した。防音壁が高い場合には、防音壁と車体間での音の多重反射に対応するため、S3 と S4 のパワーレベルを $L_{WA} + 2$ dB とする。ただし、半雪覆型防音壁の場合は防音壁上端の傾斜部による影響を考慮するため、S3 と S4 のパワーレベルを表1の値より2dB減じることとする。S5 のパワーレベルは近接側走行時に $L_{WA} - 4$ dB、遠隔側走行時に $L_{WA} - 2$ dB とする。

表1 音源の音響パワーレベル (単位 [dB])

のり尻防音壁	車両位置	S1, S2	S3	S4	S5
1m以下	近接	L_{WA}	$L_{WA} - 2$	$L_{WA} - 2$	$L_{WA} - 4$
	遠隔	L_{WA}	$L_{WA} - 2$	$L_{WA} - 2$	$L_{WA} - 2$
1~2m	近接	L_{WA}	※1	$L_{WA} - 2$	$L_{WA} - 4$
	遠隔	L_{WA}	$L_{WA} - 2$	※1	$L_{WA} - 2$
2m以上	近接	L_{WA}	$L_{WA} + 2$	$L_{WA} - 2$	$L_{WA} - 4$
	遠隔	L_{WA}	$L_{WA} - 2$	$L_{WA} + 2$	$L_{WA} - 2$

※1 1~2m は線形補間する。

4.2 騒音予測モデルの妥当性検討

予測モデルでの計算結果と現車試験結果、音響模型試験結果を比較し、予測モデルの妥当性を検討する。図8

に予測モデル結果と現車試験結果のレベルの差 (予測モデル結果 - 現車試験結果) の分布を示す。図8中、○印内では予測モデル結果から現車試験結果を引いた値が他の領域より大きい。その要因として、現車試験時ののり肩のガードレールによる音の遮蔽など、地表面付近の条件の違いが考えられる。図9に基本条件における予測モデル結果と模型試験結果の音圧レベルの差 (予測モデル結果 - 模型試験結果) の分布を示す。近接側、遠隔側走行時ともに、予測結果と模型試験結果の差は概ね ±2dB 以内に収まっている。以上のことから、予測結果は現車試験結果および模型試験結果とほぼ同等であり、予測モデルの妥当性が確認された。

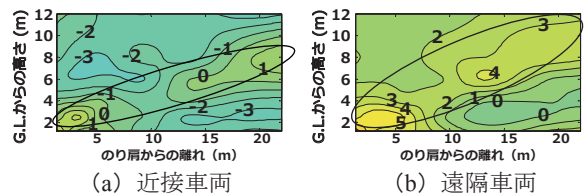


図8 現車試験と予測モデルの結果のレベル差 (予測モデル結果 - 現車試験結果, 単位 [dB])

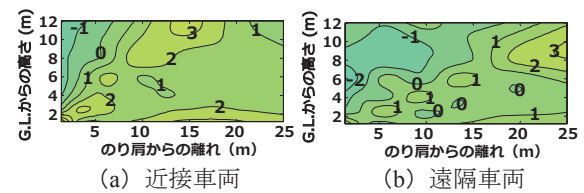


図9 模型試験と予測モデルの結果の比較 (基本条件、予測モデル結果 - 模型試験結果, 単位 [dB])

5. 予測モデルを用いたパラメータスタディ

本章ではのり面勾配と防音壁高さを変化させた場合について、騒音分布に与える影響を調査する。

5.1 のり面勾配による影響

前章で示した騒音予測モデルを用いて、のり面勾配による影響評価を行う。予測条件を図10に、予測モデルを用いた騒音分布ののり面勾配による比較結果を図11に示す。騒音(全体音)は、いずれの勾配角度であっても、のり面勾配よりやや上向きに強く放射されている。また、音源からの距離が同じ位置でのレベルは、のり面勾配が急である方が小さい。これは、のり肩を回折点とした切土壁による音の遮蔽は、勾配が急な場合により大きいためである。

全体音に対する寄与の大きい音源は、勾配が70°の場合は、第1にS1、次いで予測範囲の広い領域に対してS5である。勾配が33°の場合は、70°の場合と同様に第1にS1、次いで軌道に近い高所に対してS2である。音源

ごとに音源からの距離が同じ位置でのレベルを比較すると、S1, S2, および S3 は勾配が小さい場合にレベルが大きく、S4 および S5 は勾配が大きい場合にレベルが大きい。以上から、のり面勾配が大きいほど近接側ののり肩における音の遮蔽の効果によって沿線騒音はより小さくなり、一方で遠隔側ののり面での反射音の寄与は増大する。

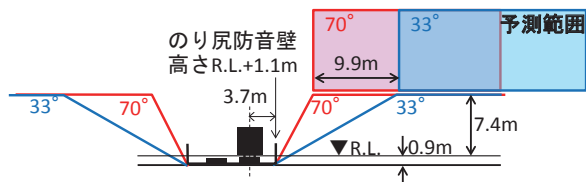


図10 のり面勾配と予測条件

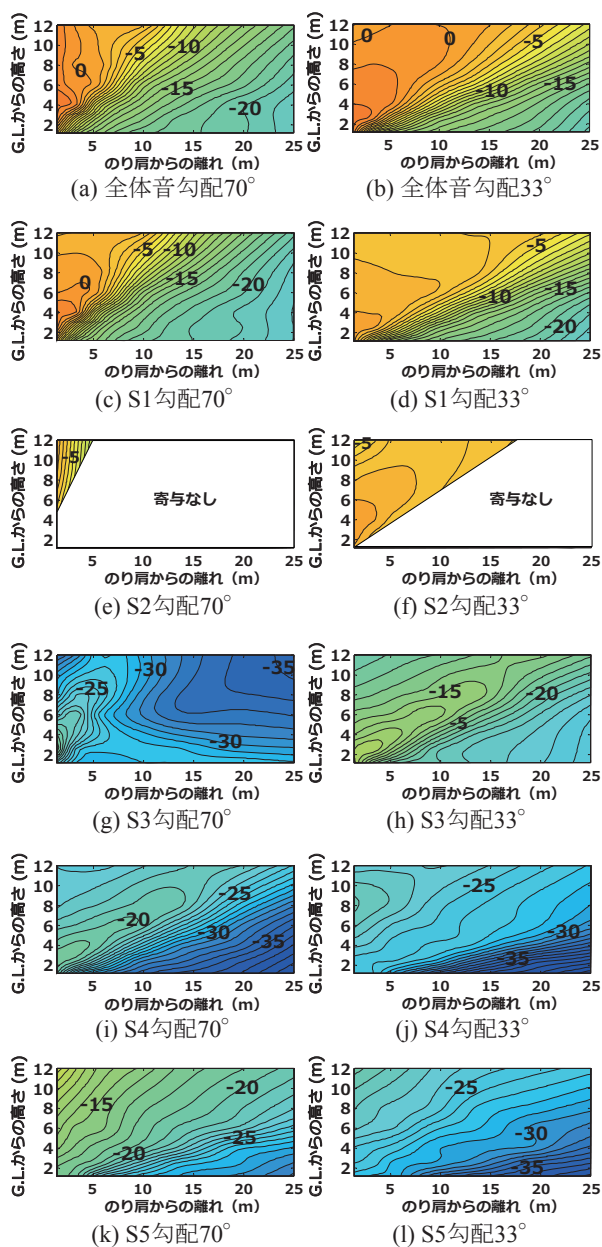


図11 のり面勾配ごとの予測結果
(近接列車, 単位 [dB])

5.2 防音壁による影響

のり尻やのり肩に設置した防音壁が沿線騒音に与える影響について、予測モデルを用いた検討を行う。図12に防音壁等の予測条件を示す。また、表2に予測モデルの防音壁条件を示す。防音壁は全て直型防音壁である。防音壁の有無による騒音レベルの差の分布を図13に示す。

のり尻防音壁設置時の試算結果(図13(a)~(c))より、近接車両ではのり尻防音壁が高くなるにつれて、軌道近くの低所から軌道より遠方の高所に向かう広い範囲で騒音レベルが大きくなる。のり尻防音壁なしとのり尻防音壁3mでの差は最大で11dB程度である。遠隔車両では、のり尻防音壁による影響は近接車両よりも小さく、のり尻防音壁の有無による差は、のり尻防音壁1mと2mではほぼ1dB以内、のり尻防音壁3mで最大3dB程度となった。

のり尻防音壁高さの上昇に伴う音圧レベルの増加は、のり尻防音壁が高くなるにつれて鏡像音源 S3 および S4 の寄与が増大したことに起因する。これは、切取高さが8mでのり尻防音壁3mの場合、反射面が上側に広がることにより、評価点から S3 あるいは S4 の音源を見通すことができる伝搬経路が存在するためである。したがって、のり尻防音壁が高い場合には、切取高さとの関係から、騒音レベルが大きくなる結果になったと考えられる。

のり肩防音壁設置時の計算は、のり肩での回折点の位置をのり肩防音壁上端に設置することで行った。その他の計算方法は、のり肩防音壁がない場合と同じである。のり肩防音壁時の試算結果(図13(d)(e))では、のり肩防音壁を設置することで近接車両、遠隔車両ともに、

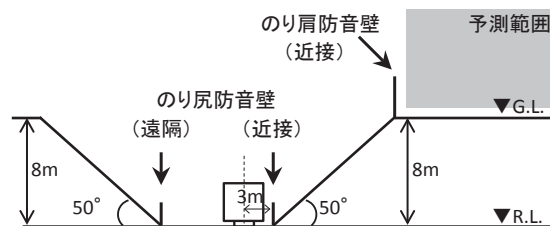


図12 防音壁の設置条件

表2 予測モデルの防音壁条件

試番名	のり尻防音壁 (R.L.からの高さ)		のり肩防音壁 (G.L.からの高さ)	
	近接	遠隔	近接	遠隔
防音壁なし	-	-	-	-
のり尻防音壁 1m	1m	1m	-	-
のり尻防音壁 2m	2m	2m	-	-
のり尻防音壁 3m	3m	3m	-	-
のり肩防音壁 1m	-	-	1m	-
のり肩防音壁 2m	-	-	2m	-
のり尻防音壁 1m + のり肩防音壁 1m	1m	1m	1m	-

特集：空気力学・騒音

広い範囲で騒音レベルが減少した。特に、軌道近くの低所から軌道より遠方の高所にかけての領域（図中領域A）で騒音低減効果が大きい。これは、のり肩防音壁により音が遮蔽されたためである。

のり尻とのり肩へ防音壁を設置した条件（のり尻+肩防音壁1m）では、のり肩防音壁1mの結果に比べると、その低減効果はやや小さい。これは、のり尻防音壁による騒音増加の影響を受けたためである。遠隔車両では、のり尻防音壁の影響はほぼなく、のり肩防音壁1mとほぼ同様の結果となった。

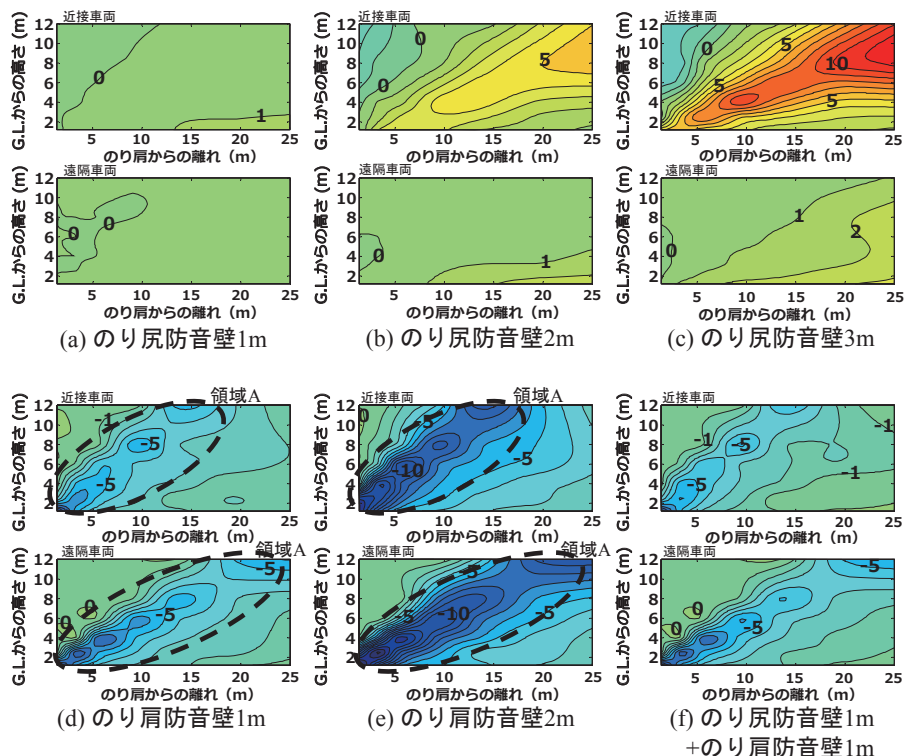


図13 防音壁の有無による騒音レベル差の分布（防音壁ありーなし）
（上段：近接列車，下段：遠隔列車，単位 [dB]）

6. おわりに

新幹線沿線の切取区間で防音壁が設置されている条件を対象として、現地試験を実施し、騒音分布を評価した。また、現地試験結果を模擬する音響モデル試験方法を用いてパラメータスタディを行った。次いでそれらの結果を基に防音壁および切取壁での音の反射を考慮した音源モデルを提案した。主な結果は以下の通りである。

- (1) 切取区間沿線において、新幹線車両からの騒音はのり面勾配よりやや上向きに強く放射される。
- (2) 切取区間における騒音予測モデルを提案した。モデル試験結果と予測結果はほぼ等しく、予測モデルの妥当性が示された。
- (3) 騒音予測モデルを用いてのり面勾配に関する計算を行った結果、音の放射方向はのり面勾配に依存すること、のり面勾配が小さい場合は近接側ののり面による反射音、大きい場合には遠隔側ののり面による反射音の影響が大きいことがわかった。
- (4) のり肩の高さがR.L.+8mでのり肩とのり尻の防音壁が複合する場合について、予測モデルを用いた検討を行った。のり尻にのり肩高さより低い防音壁を設置した条件では、近接車両の場合の沿線騒音はのり尻の防音壁が高いほど増加し、遠隔車両の場合

の影響は近接車両に比べて小さいことがわかった。また、のり肩に設置した防音壁は、沿線騒音に対する低減効果がのり尻防音壁より大きいことがわかった。

文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 小方幸恵, 村田香, 長倉清: 切取区間における新幹線の騒音予測手法, 鉄道総研報告, Vol.28, No.3, pp.5-10, 2014
- 4) 阿久津真理子, 小方幸恵, 北川敏樹, 木村宣幸, 松沼政明: 切土区間における新幹線の騒音分布に関する検討, 日本機械学会第26回環境工学総合シンポジウム講演論文集, pp.123-126, 2016
- 5) 阿久津真理子, 小方幸恵, 北川敏樹, 松沼政明, 木村宣幸: 切取区間における新幹線騒音予測モデルの構築, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, pp.67-70, 2016