

レール近接位置の低防音壁による騒音低減効果

小方 幸恵* 長倉 清*

Noise Reduction Effect of Low Barriers Installed Close to Rail

Yukie OGATA Kiyoshi NAGAKURA

Recently, complaints about railway noise have increased from residents living in high-rise buildings facing railway tracks. However noise reduction at high places with conventional noise barrier is difficult, because the noise sources are visible directly from high-rise buildings. In this paper, the effect of low barriers installed close to rail on the noise is investigated. It is found through acoustic tests by using scale models and a test by actual railway that the noise at high places can be reduced by these types of the noise barriers. Finally, a prediction model of the effect of these noise barriers is proposed based on the results of the tests.

キーワード：防音壁，鉄道騒音，高所空間

1. はじめに

鉄道車両が走行することによって、沿線には鉄道の各音源から発生した音が伝播する。新幹線、在来線いずれの場合でも、転動音に代表される車両下部音は特に音源のパワーが大きく、さらに音源の数も多いことから、沿線騒音に対する影響が大きい。そのため、沿線の騒音対策は車両下部音に対して効果を持つことが重要である。これまで鉄道騒音の沿線における評価は、新幹線鉄道騒音の環境基準や在来鉄道の騒音対策指針に則り、主として地上1.2m高さの地点について行われてきた。そのため沿線の騒音対策もこの点における効果に重点が置かれ、車両下部音に対して効果を持つ対策として、高架橋端や敷地端等に従来から防音壁が多く敷設された。しかし、鉄道沿線に存在する高層建物等の高所空間においては、車両下部の音源位置を直接見通すことができ、従来の防音壁では遮蔽することが難しいことから、従来防音壁による大きな騒音低減効果は期待できない。

本報告では、車両下部音が沿線の高所空間に伝播することを防ぐ対策法のひとつとして、レールの近接位置に設置した低い防音壁（以下、レール近接防音壁）を考え、高さ、形状、吸音材の有無等種々の条件におけるその騒音低減効果を、音響模型試験および実車試験の結果¹⁾から検証する。また、試験結果をもとに、レール近接防音壁が設置された場合の車両下部音の予測手法を提案する。

2. 音響模型試験におけるレール近接防音壁の効果

2.1 音響模型試験実施概要

本試験では、無響室内に軌道・構造物と車両の模型、音源およびマイクロホンを設置して、在来鉄道の電車の走行状況を模擬し、レール近接防音壁を設置した際の沿線騒音の変化を防音壁条件ごとに検証する。試験に使用したレール近接防音壁の条件は、レールからの離れ、高さ、吸音材の有無を変更した。吸音材料は、実車でガラスウールに近い吸音特性を持つものを選択した。また直壁のほか、防音壁上端に水平な板をつけて形状も変更した。騒音測定は、軌道に垂直な面内にて実施した。軌道は複線で、以下では音源（車両）が測定点に近い場合を近接車両、遠い場合を遠隔車両とする。試験の実施概要は以下の通りである。

- (1) 試験場所：鉄道総研音響実験室内無響室
- (2) 縮尺模型：1/20縮尺、在来鉄道複線高架橋、従来防音壁ありまたはなし（直型、吸音材なし、高さR.L.+2m）、スラブ軌道（反射性の軌道面）、車両3両60m分
- (3) 音源装置：エアジェット一様有限長線音源²⁾、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
- (4) レール近接防音壁条件（図1）：形状：逆L+T型、直型Ⅰ、直型Ⅱ、高さ：R.L.+0.5m、R.L.+0.9m、吸音材：モルトプレーン実寸5mm厚²⁾（あり、なし）、貼付位置は直立部の内側
- (5) 測定：水平方向は近接軌道中心からの離れが25mまで、高さ方向はR.L.+20mから-5mまで（図2）、1/4

* 環境工学研究部 騒音解析研究室

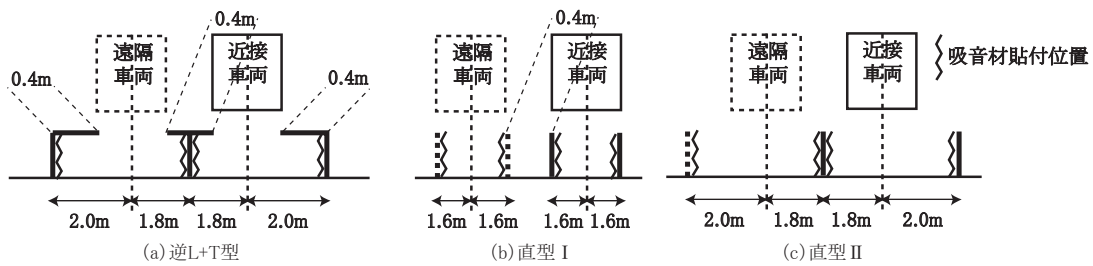


図1 代表的なレール近接防音壁モデル条件

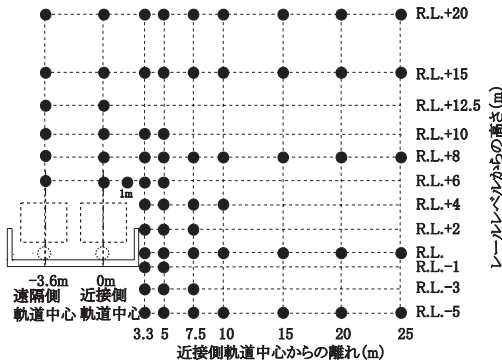


図2 モデル試験の騒音測定点（実物スケール）

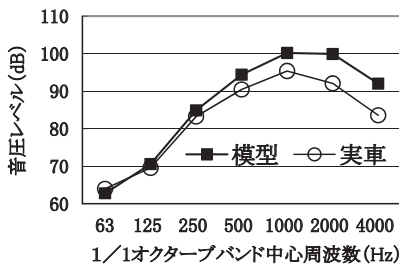


図3 モデル試験の音源と実車（在来鉄道の電車，列車速度 80km/h）のレール近傍音の周波数スペクトル

インチマイクロホン UC-29 にて測定

- (6) データ解析方法：モデル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1/20倍した後，モデル試験に用いた音源の周波数スペクトル（dB）と実車（在来鉄道の電車，V=80km/h）の周波数スペクトル（dB(A)）（図3）の差を考慮することによって実車対応の1/3オクターブバンドレベルを求め，さらにそれらのパワー和を求めることによってオーバーオールレベルを算出する。

2.2 音響モデル試験の結果

本節では，従来防音壁ありの条件での結果について述べる。図4に，レール近接防音壁なし，従来防音壁あり（吸音材なし）の条件での測定結果を示す。図4では，音源と防音壁上端を結ぶ直線付近を境に，それより下の領域では音圧レベルが急激に小さくなっており，レールレベルより低い空間では，従来防音壁により十分な騒音低

減効果が得られている。またこの空間では，遠隔車両の騒音は近接車両の騒音より小さい。しかし測定した空間全体を見ると，車両下部から発生した音は斜め上方へ強く放射され，高所空間の騒音はレールレベルより低い空間よりはるかに大きいことがわかる。このことから，高所空間における騒音を従来防音壁のみで低減することは難しいと言える。図5に，図4の条件に吸音材ありのレール近接防音壁を付加した場合の沿線騒音の変化量を示す。図5から，レール近接防音壁を付加することにより全領域で騒音が小さくなるのがわかる。特にレール近接防音壁なしの場合に音が強く放射されていた斜め上方の空間で，低減量が大きくなった。

高所空間の代表点（12.5m離れ，R.L.+10mおよび20m）におけるレール近接防音壁の条件ごとの騒音レベルの推定値を表1に示す。図4，図5および表1から得られる高所空間での騒音に対する主な結果は次の通りである。

- (1) レール近接防音壁なしの条件では，近接車両より遠隔車両の場合に騒音が大きい，レール近接防音壁ありの条件では逆に近接車両より遠隔車両の場合に騒音が小さい。
- (2) 吸音材なしの条件で直型Iと直型IIの場合を比較すると，後者より前者の場合に騒音が小さく，レール近接防音壁が音源に近いほど騒音低減効果大きい。
- (3) 吸音材なしの条件では，レール近接防音壁高さが同じであれば，騒音が最も小さい条件は逆L+Tである。（但し近接車両，評価点10m高さ，防音壁0.9m高さの場合を除く。）
- (4) 吸音材ありの条件で，逆L+T型の場合の測定結果は，先端位置が同じ条件（直型I）の場合と比較して0.5m高さでやや小さく，0.9m高さで大きい。防音壁高さにより効果の高い形状の順位が異なる理由は，直型Iの方が音源により近い位置に壁があり，車体と近接防音壁の間でより多く反射を繰り返し，吸音材による吸音効果がより強く現れたためと考えられる。12.5m離れ，20m高さの位置でのレール近接防音壁設置による騒音低減効果は，近接車両，0.9m高さの条件で，直型の場合に6.5dB，同逆L+T型の場合に5.5dBである。高所代表点における吸音材の効果は，1~4dB程度である。

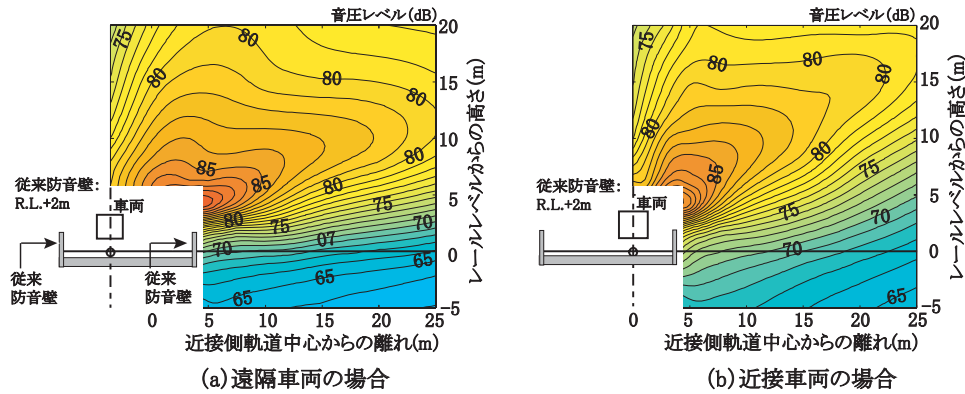


図4 従来防音壁（吸音材なし）のみでの沿線騒音分布

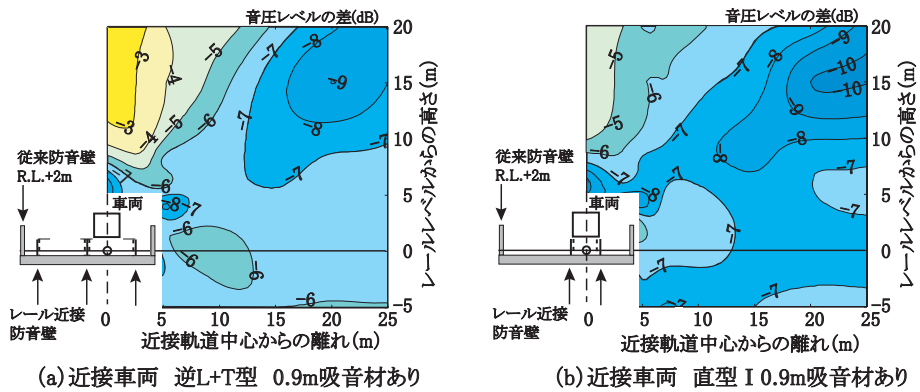


図5 レール近接防音壁の付加による沿線騒音の変化（基準：従来防音壁あり）

表1 高所代表点における騒音レベルの推定値
(模型試験結果 従来防音壁あり 12.5m 離れ) dB

近接防音壁条件		車両位置：近接		車両位置：遠隔	
		評価点高さ		評価点高さ	
		R.L.+10m	R.L.+20m	R.L.+10m	R.L.+20m
吸音材なし	直型I 0.5m 高さ	81.8	77.7	81.0	76.9
	直型II 0.5m 高さ	82.6	78.5	81.0	77.1
	逆L+T 0.5m 高さ	81.3	77.6	80.4	75.9
	直型I 0.9m 高さ	77.4	75.9	77.1	75.2
	直型II 0.9m 高さ	81.0	79.0	77.3	75.9
	逆L+T 0.9m 高さ	77.9	75.4	76.0	74.2
吸音材あり	直型I 0.5m 高さ	80.0	75.9		
	逆L+T 0.5m 高さ	80.0	75.2	78.5	74.5
	直型I 0.9m 高さ	74.5	72.2		
	逆L+T 0.9m 高さ	75.5	73.2	71.7	70.2
近接防音壁なし		82.6	78.7	83.2	79.0

3. 実車試験におけるレール近接防音壁の効果

3.1 実車試験実施概要

本試験は、レール近接防音壁の設置による沿線騒音の変化を鉄道総研内の試験線において実車により検証するものである。なお、従来防音壁はない。騒音は、主として軌道に垂直な面内に設置したマイクロホン群にて測定した。試験を実施したレール近接防音壁の条件は、模型試験の直型IIに相当するものである。試験の概要は以下の通りである。

- (1) 試験場所：鉄道総研内試験線，従来防音壁なし，直線箇所，バラスト軌道
- (2) 試験車両：気動車1両 約30km/hの惰行走行
- (3) レール近接防音壁条件(表2)：測線を中心に15mずつ全長30m設置，防音壁設置位置は，軌道中心より約2m離れ(模型試験直型IIと同等)，防音壁材料：鉛付ベニヤ板(シナベニヤ5.5mm厚+鉛0.5mm厚)，吸音材：ポリエステル繊維50mm厚(吸音特性はグラスウールとほぼ同等)
- (4) 騒音測定点(図6)：軌道中心からの離れが9.3mまで，高さR.L.+5mまでの範囲で13点
- (5) データの読み取り：時間重み付け特性Fでの騒音レベルの時間変動からレール継ぎ目音のない部分のピーク値を読み取った。

表2 レール近接防音壁の条件

条件1	高さR.L.+0.9m, 吸音材あり
条件2	高さR.L.+0.9m, 吸音材なし
条件3	高さR.L.+0.5m, 吸音材なし
条件4	近接防音壁なし

特集：環境技術

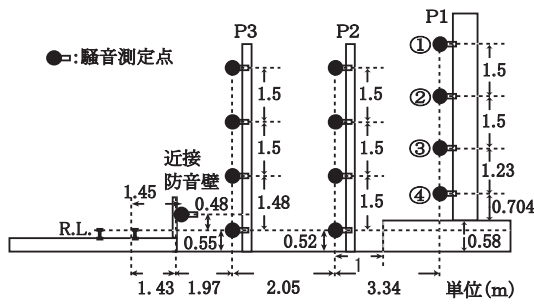


図6 実車試験の騒音測定点

3.2 実車試験の結果

3.2.1 実車試験の結果概要

実車試験における沿線騒音分布の測定結果を図7に示す。図7から、レール近接防音壁なしの条件(条件4)では高さ方向、離れ方向ともに音源から遠いほど騒音が小さいが、レール近接防音壁設置の条件では、遮蔽効果によりその背面の領域で騒音が小さくなり、遮蔽効果は高い位置ほど小さいことがわかる。また、防音壁が低いほど低減効果は小さく、吸音材貼付の効果は全領域でほぼ一定で、およそ1.5dBとなった。

表3に、従来防音壁なしの条件での音響模型試験結果と実車試験結果におけるレール近接防音壁の騒音低減効果(条件4と各条件の差)の比較を示す。評価点は図6に示したP1①点(9.3m離れ, 5m高さ)である。表3では、レール近接防音壁による騒音低減効果は音響模型試験より実車試験で小さい結果となった。これは、模型では音源の幾何学的大きさがレールと車輪の下半分程度に集中しているが、実車では台車部全体に広がっており、レール近接防音壁による音の遮蔽効果が模型試験より実車試験で小さいことが理由であると考えられる。特に、車体とレール近接防音壁との隙間から斜め上方に向かう

表3 音響模型試験と実車試験におけるレール近接防音壁の騒音低減効果の比較
(従来防音壁なし, P1①点:9.3m離れ, 5m高さ)

近接防音壁条件	音響模型試験 (直型Ⅱ)	実車試験
条件1	8.2dB	4.3dB
条件2	6.6dB	3.2dB
条件3	2.7dB	1.5dB

領域においては、レール近接防音壁による回折減衰量が大きく変化するため、その領域の騒音分布は音源の幾何学的大きさや位置に強く依存すると言える。

3.2.2 レール近接防音壁による遮蔽効果の周波数特性

実車試験(9.3m離れ)におけるレール近接防音壁の騒音低減効果の周波数特性を図8(a)(b)に示す。これらの結果では、地面に近い図6のP1④点(9.3m離れ, 0.7m高さ)において、315Hzバンドで騒音低減効果が極端に大きく、500Hzバンド付近でその効果が小さい。このような局所的な周波数特性は、直接音と地面反射音による干渉の影響と考えられる。一方で全周波数域を見ると、防音壁が0.9mの高さ(防音壁条件2)で、測定点高さが2m以下の場合には、周波数が高いほど騒音低減量が大きい傾向にある。測定点高さが3.5m以上では周波数による騒音低減量の変化が小さく、騒音低減量は0~3dB程度の範囲にある。同様に防音壁が0.5m高さの場合(防音壁条件3)、100Hzバンド付近の周波数域以外では周波数による騒音低減量の変化が小さく、いずれの測定点でも2dBを中心に1~3dB程度の範囲にある。

実測結果と併せて、道路交通騒音の予測にて使用される手法による低層遮音壁の回折減衰量³⁾(音源位置:近接車両, 車軸高さ, 受音点位置:9.3m離れ)の結果を、図8(c)(d)に示す。ここでは直接音と地面反射音によ

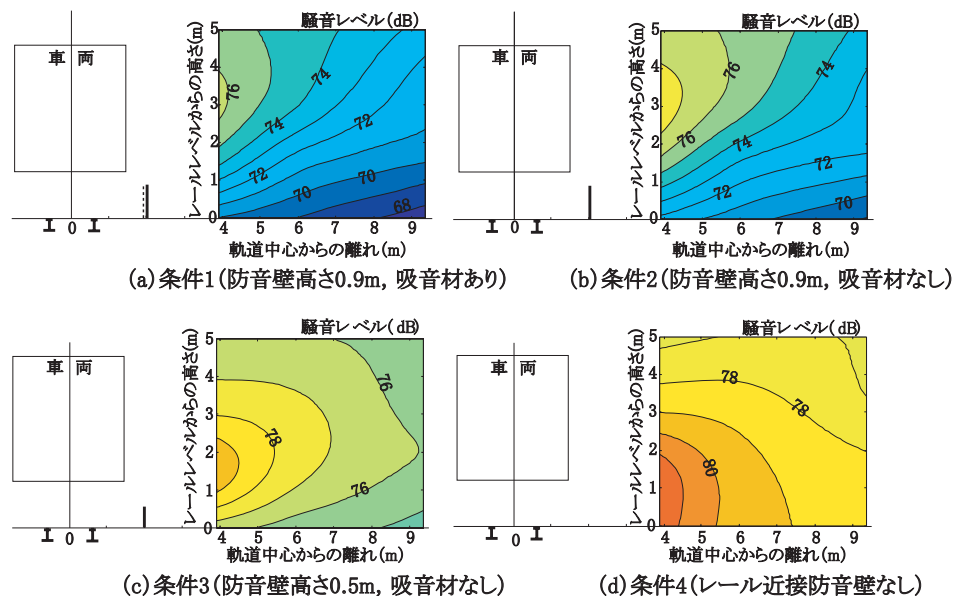


図7 実車試験における沿線騒音分布

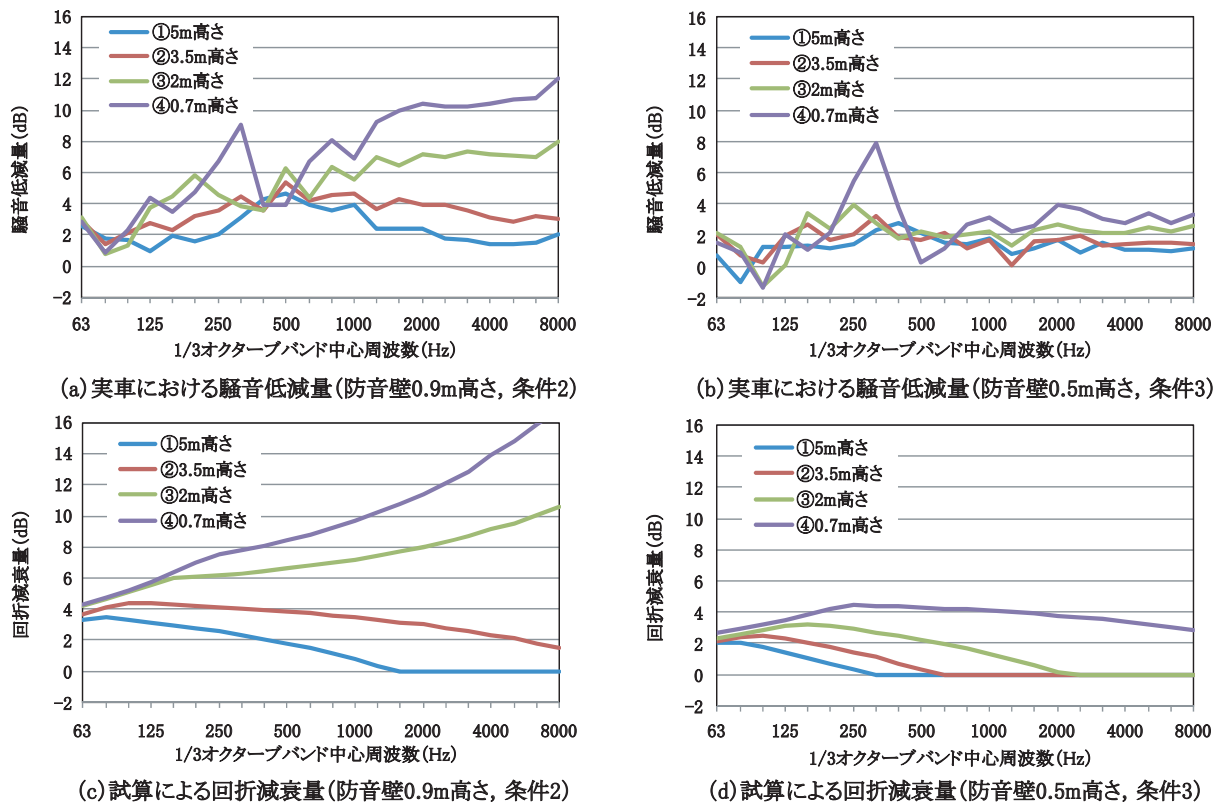


図8 実車における防音壁の騒音低減量と試算による回折減衰量の比較

る干渉の影響は考慮されていない。これらの図から、受音点から音源を直接見通せない場合と見通せる場合、すなわち行路差が正である場合と負である場合で回折減衰量の周波数特性が異なることがわかる。ここでは、防音壁高さが0.9mで受音点高さが2mおよび0.7mの場合が正の行路差、それ以外が負の行路差である。行路差が正の場合、周波数が高いほど回折減衰量が多い。一方行路差が負の場合、回折減衰量は周波数による大きな変化がなく0～4dB程度の範囲にあり、周波数が高いと0に収束する。

回折減衰量の試算結果(図8(c)(d))を実測値の結果(図8(a)(b))と比較すると、行路差が正の場合、両者とも周波数が高いほど回折減衰量が多い傾向にある。また行路差が負の場合、試算結果で現れた周波数特性が実測結果でも共通の傾向として現れていることがわかる。これらのことから、定量的には両者は一致しないが、レール近接防音壁による遮蔽効果の周波数特性は、防音壁による挿入損失として定性的には説明されると推察される。定量的に騒音低減効果が両者で一致しない理由としては、実車では音源の幾何学的な大きさが台車部全体に拡がっているが試算では音源を点としていること、実測の状況では地面には大きな凹凸があったこと、複数の台車が長手方向に分布していること等が挙げられる。また、レール近接防音壁による遮蔽効果の詳細な周波数特性は、車両下部音の音源別寄与や指向特性により

異なると予測され、さらに車両下部音の音源特性は軌道や車両の条件により異なることから、定量的にはこれらに依存すると考えられる。

4. レール近接防音壁による騒音低減効果の予測手法

本章では、第3章で実施した実車試験の結果をもとに、レール近接防音壁を設置した場合の高所空間における騒音低減効果を予測する手法を提案する。これまでに著者らは、高所空間に対応した車両下部音の予測手法として、音源に式(1)で与えられる指向特性を持たせ、さらに車両と防音壁での音の多重反射を表わす鏡像音源を設ける方法を提案した⁴⁾(図9)。

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

ここで、 ϕ は車両下部音の音源位置(軌道中心、レールレベル高さ)における水平方向からの仰角である。一般的に防音壁による騒音低減効果は、騒音の伝播経路行路差から回折減衰量を求める前川チャートなどの計算チャートを用いて計算されるが、3.2.2項から、レール近接防音壁による騒音低減効果は、この手法に基づいて計算される値と定量的には一致しないことがわかった。更にレール近接防音壁を従来防音壁と組み合わせて設置した場合、これらの防音壁による騒音低減効果を二重回折

特集：環境技術

による回折減衰量として計算することは非常に複雑となる。そこで、ここでは、レール近接防音壁を設置した際の車両下部音の予測手法として、レール近接防音壁の騒音低減効果を実験式から求め、それを車両下部音の指向特性の変化量として評価する方法について検討する。

図10に実車試験の条件2（防音壁高さ0.9m，吸音材なし）でのレール近接防音壁の騒音低減効果（防音壁ありの実測値－防音壁なしの実測値）を示す。図10から、地面での反射音の影響を受けない高所空間（レールレベルから約2m以上の領域）では、レール近接防音壁による騒音低減効果は、防音壁上端から0.5mの高さの点を中心として伸びた放射線上にほぼ等しい値を持つことがわかる。そのため、レール近接防音壁の騒音低減効果を、この点を中心として水平方向からの仰角 θ の関数として近似することができる。図10の防音壁の例では、防音壁上端から0.5mの高さの点を中心とし、そこからの仰角 θ の関数として騒音低減効果 ΔL (dB)を

$$\Delta L = 0.0011\theta^2 - 0.1745\theta + 6.6705 \quad (2)$$

と近似することができる（但し $0^\circ < \theta < 60^\circ$ ）。式(2)の計算結果を図11に示す。レール近接防音壁がある場合、車両下部音は、音源の指向特性に式(2)の値を加えることにより求めることができると考えられる。評価点の範囲が図10より広い場合や従来防音壁を併設した場合の検証、および他条件での実験式の導出は今後の課題である。

5. まとめ

車両下部音が沿線の高所空間に伝播することを防ぐ対策法のひとつとしてレール近接防音壁を考え、高さ、形状、吸音材の有無等種々の条件における騒音低減効果を音響模型試験および実車試験の結果から検証した。音響模型試験の結果から、その騒音低減効果は、近接防音壁が高いほどまた音源に近いほど大きいこと、吸音材なしで防音壁高さが同じであれば逆L+T型が最も大きいことがわかった。実車試験の結果から、レール近接防音壁による騒音低減効果は、模型試験の結果より小さいこと、その周波数特性は一般的な低層遮音壁の回折減衰量として計算される結果と定性的には一致するが、絶対値は一致しないことがわかった。また試験結果から、レール近接防音壁による騒音の遮蔽効果を表わす実験式を導入し、それを用いてレール近接防音壁が設置された場合の車両下部音の予測手法を提案した。

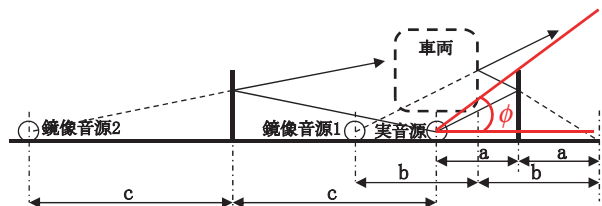


図9 車両下部音の音源モデル

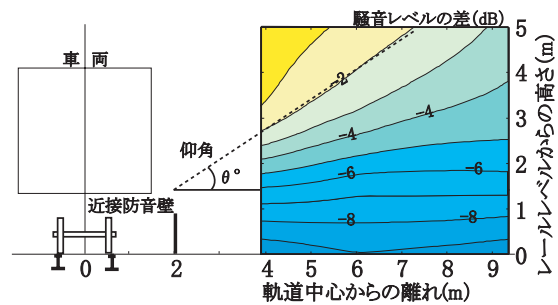


図10 レール近接防音壁の騒音低減効果
(実車試験，条件2)

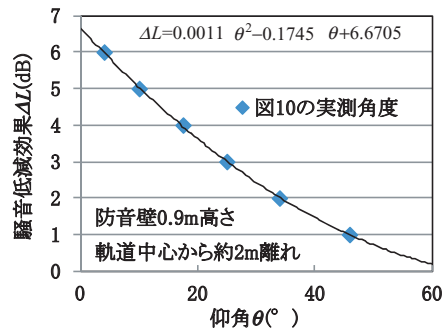


図11 仰角 θ を用いたレール近接防音壁による騒音低減効果の予測例

文献

- 1) 小方幸恵，長倉清：鉄道沿線騒音に対するレール近接防音壁の効果の検証，日本騒音制御工学会2010年秋季研究発表会論文集，pp.131-134，2010
- 2) 時田保夫他：音の環境と制御技術，第Ⅱ巻，株式会社フジ・テクノシステム，p.411，1999
- 3) 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”，日本音響学会誌，Vol.65，No.4，pp.179-232，2009
- 4) 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，総研報告，Vol.23，No.7，pp.23-28，2009