

高性能逆L型防音壁の開発



森 圭太郎* 黒崎 文雄** 高桑 靖匡* 野澤 伸一郎*

逆L型防音壁が設置された区間において低速走行する新幹線の速度向上を実施する際に、沿線騒音レベルを悪化させない対策を講じるため、既設逆L型防音壁の騒音低減効果を向上させる改良方法を開発した。低速走行する新幹線の騒音は、構造物音よりも転動音が主体であることを特定し、数値解析や模型実験により、転動音を主音源とする騒音に対する改良方法として、逆L型防音壁の側壁、天板上側に吸音材を取り付ける方法を考案した。考案した方法を現地に試験施工して騒音測定を行い、施工性と騒音低減効果を確認した。その結果、開発した改良方法は、騒音低減効果、施工性・工事費、既設防音壁への影響・耐久性等の点から、従来の嵩上げに代わって実用化の検討に付し得ると評価できた。

●キーワード：逆L型防音壁、吸音材、数値解析、模型実験、騒音測定

1 はじめに

新幹線の騒音対策の一つに防音壁がある。逆L型防音壁は、図1に示すように、天板部が直立型防音壁の頭頂部から線路側へ水平にコンクリート板を突き出した形状をしており、直立型防音壁では必要とされる沿線騒音レベルが達成できない区間に設置されている。

新幹線の速度向上は到達時間の短縮が図れる大変魅力ある施策であり、最高速度の向上だけでなく、低速で走行している区間の速度を向上させることも到達時間短縮には有効である。しかし、騒音は速度の向上と共に大きくなることから、速度向上実施に際しては沿線騒音レベルを悪化させない対策を講じることが重要な課題となっている。速度向上の際に必要なとされる沿線騒音レベルを達成する対策の一つとして、既設防音壁の騒音低減効果を速度向上前よりも大きくすることが挙げられる。

これまで新幹線の逆L型防音壁設置区間で騒音低減効果を向上させるためには、側壁への吸音材取り付けや側壁を高

くする（以下、嵩上げ）板の取り付けが実施されてきた。しかし嵩上げ板の取り付けは、施工性や耐久性に不安がある。

本開発は、新幹線が低速で走行する逆L型防音壁設置区間を対象として、既設防音壁に吸音材の取り付けや形状の改良を施すことで騒音低減効果を向上させる改良方法の構築に取り組んだものである。

2 開発の対象とする騒音源の特定

2.1 低速走行する新幹線の騒音源

新幹線の騒音は発生部位別に、車両下部音、車両上部空力音、集電系音、及び構造物音から構成される¹⁾が、110km/h程度で低速走行する新幹線の騒音は、在来線の騒音に類似していると推測できる。在来線騒音に関しては、車両下部音の一部である転動音と構造物音の低減が課題であり²⁾、低速走行する新幹線の騒音源も転動音や構造物音が主体であると考えられる。

騒音対策では、最も大きな騒音源を特定して、その騒音源からの騒音を効果的に低減する対策を講じることが重要である。そこで、騒音低減効果を向上させる改良方法を検討する前段に、新幹線が低速走行する区間における沿線騒音の主音源を特定することとした。

なお、沿線騒音の主音源を特定する対象区間はRCラーメン高架橋構造で、図1に示すような逆L型防音壁が設置されている。軌道構造は弾性マクラギ直結軌道で軌道面上には消音用の碎石を散布している。

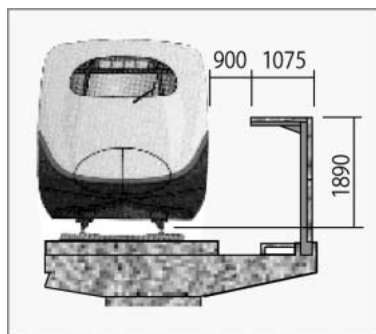


図1：逆L型防音壁の概要図

2.2 騒音測定による騒音源の確認

新幹線が低速で走行する場合の沿線騒音の主音源を特定するために、低速走行する区間において騒音測定を実施した。測定点は、近接軌道中心から25m離れた高さ1.2m点をはじめとし、線路近傍、防音壁天板上、防音壁外壁近傍、高架橋スラブ直下等8箇所で騒音を、防音壁や高架橋スラブ等7箇所で振動を測定した。

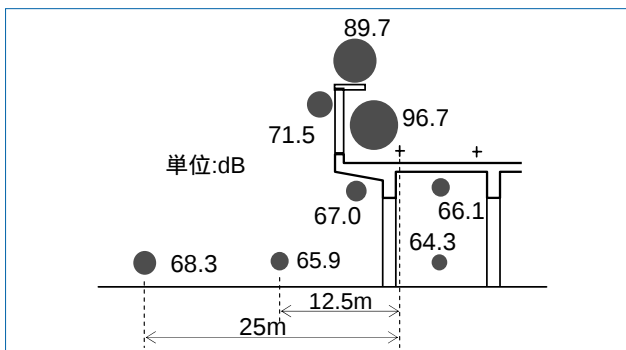


図2：各測点の最大騒音レベル

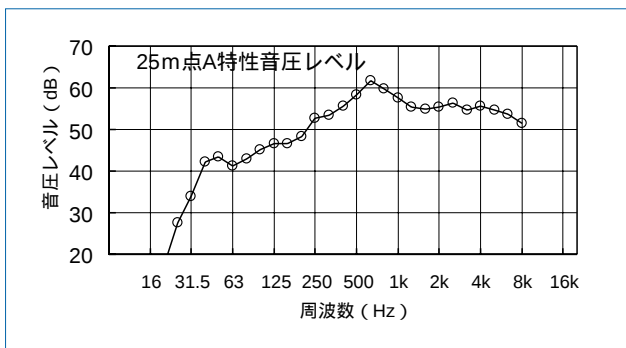


図3：25m点騒音の周波数分析結果

図2は、測定した列車59本の各測点における最大騒音レベル(時定数1秒)の平均値を、円の大きさに変換して示したものである。図3は、25m離れた高さ1.2m点における1/3オクターブバンド周波数分析結果である。

測定の結果、次の事項が確認できた。

- (1) 線路近傍点や防音壁天板上点の騒音レベルが大きく、防音壁外壁近傍点や高架橋スラブ直下点の騒音レベルは小さい(図2)。
- (2) 25m点騒音で卓越する周波数帯域が250Hz以上であり、構造物の振動周波数とは一致しない(図3)。

以上から、対象区間を110km/h程度の低速で走行する新幹線の騒音源は、防音壁の天板上を回り込んで地上へ伝播する転動音が主体であると判断した。

なお構造物の振動周波数については、文献⁹⁾に在来線軌道道床付近での振動加速度レベル波形の一例が示されているが、RC高架橋スラブ固体音が卓越する周波数は250Hzよりも低い周波数帯域であることが一般的である。

3 高性能逆L型防音壁の考案

3.1 既存の防音壁改良方法

新幹線の騒音対策として、これまでに実施されている防音壁の一般的な改良方法には、壁面への吸音材の取り付けや嵩上げ板の取り付けがある。

東北新幹線建設当時、実物の車両と軌道(小山実験線)を用いて騒音対策に関する様々な実験が行われた。その報告書⁹⁾によると、新幹線が低速(110km/h)走行するバラスト軌道の場合、逆L型防音壁の側壁と天井内側に吸音材(グラスウールパネル)を取り付けたときと直立型防音壁の側壁に吸音材を取り付けたときの騒音低減効果は、逆L型防音壁で2dB、直立型防音壁で1dBと示されている。また、逆L型防音壁の側壁に吸音材がある場合には天井内側の吸音材の効果は小さいとも報告されている。このことから逆L型防音壁の側壁に吸音材を取り付ける対策は、直立型防音壁に吸音材を取り付ける対策よりも騒音低減効果が大きいと予想される。

一方、嵩上げ対策に関しては、低速走行する区間の逆L型防音壁に嵩上げを実施した場合の騒音低減効果を評価したデータは得られていない。また、①逆L型防音壁への嵩上げ板の取り付けは高所作業を伴うため安全上の対策に費用がかかる、②風圧による繰り返し荷重を受けて嵩上げ板が変状し耐久性が損なわれる恐れがある、という問題がある。文献⁹⁾には直立型防音壁に嵩上げ板を取り付けたときの嵩上げ板の変状例が示されている。

3.2 防音壁改良方法考案の前提

騒音測定の結果を踏まえ、本開発では転動音を主音源とする騒音に対して低減効果の高い逆L型防音壁の改良方法を開発することにした。

また、既存の防音壁改良方法に関する検討から、側壁への吸音材取り付けや嵩上げ板取り付け以外の方法で逆L型防

音壁の騒音低減効果を向上させる改良方法を考案することにした。具体的には、側壁以外の箇所への吸音材取り付けや天板部の形状変更である。

さらに開発過程で、低速走行する新幹線に対し、逆L型防音壁の側壁に吸音材を取り付けた場合の騒音低減効果を検証することにした。

本開発において検討の対象にした逆L型防音壁の主なモデルを図4に示す。

ケース1は改良を施さない基本モデル、ケース2は既存の改良方法である側面へ吸音材を取り付けたモデルである。

ケース3、4、5、7、8は側壁以外にも吸音材を取り付けたモデルで、ケース5と8は天板の先端にも吸音材が巻いてあること、ケース7と8は天板の側壁付け根上側の吸音材が山型に加工してあることが特徴である。

ケース6は天板先端から鉛直下向きの面に吸音材を取り付けたモデル、ケース9は嵩上げ板を取り付けたモデルである。

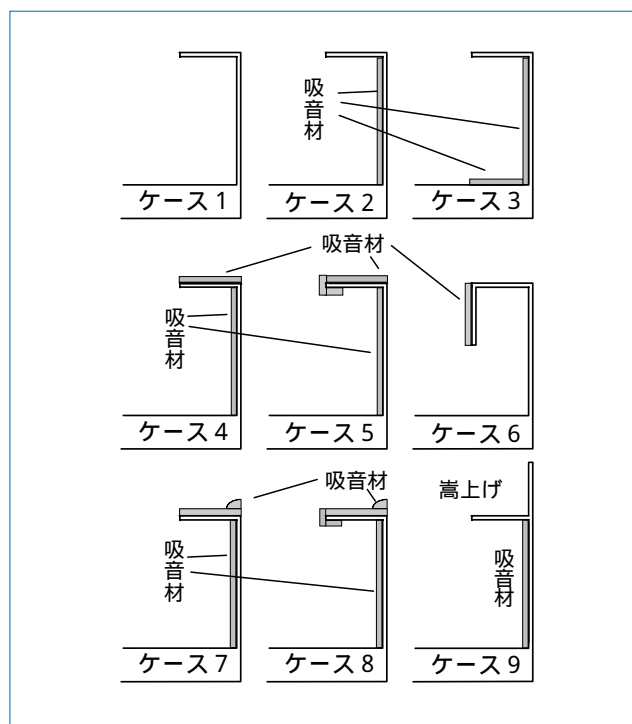


図4：逆L型防音壁のモデル

3.3 数値解析による考案例の評価

数値解析は、ケース1～5、7、9の7種類と図4に示した以外の4種類の計11種類について、境界要素法を用いて行った。ケース9の嵩上げの高さは数値解析では50cmとした。

数値解析では、ケース1及び2と比較して、ケース3～5、7、9

は改良内容に見合う騒音低減効果があったが、それ以外の4種類は改良内容に相応する騒音低減効果が見られなかった。

特徴的な評価が得られたモデルは、ケース2と7である。軌道中心から25m離れた点の地上付近において、ケース2はケース1に比べて9dB程度の騒音低減効果が得られ、ケース7はケース2よりもさらに5dB程度の低減効果が得られた。

3.4 模型実験による考案例の評価

3.4.1 2次元模型実験結果

数値解析による評価の妥当性を確認するため、数値解析を行ったモデルのうちケース1、2、7、9の4種類について2次元模型実験を行った。ケース9の嵩上げの高さは2次元模型実験では50cmとした。

数値解析の結果と2次元模型実験の結果を軌道中心から25m離れた点の地上付近で比較すると、両者の騒音レベルの絶対値には10dB以上の違いがみられた。しかしながら、ケース9はケース2よりも高架橋に近接した地表面付近では騒音低減効果が低下するといった騒音伝播分布の傾向は、数値解析と2次元模型実験とで4種類とも概ね一致した。

3.4.2 3次元模型実験結果

数値解析で改良内容に見合う騒音低減効果があったモデル（ケース3～5、7、9）と、それらを参考に新たに考案したモデル（ケース6、8）について、ケース1、2と共に3次元模型実験を行い、その騒音伝播状況を測定した。

ケース9の嵩上げの高さは3次元模型実験では1mとした。3次元模型の縮尺は1/25、周波数範囲は実物換算で100Hz～2kHzである。音源にはジェットノイズを利用した有限長線音源を模型の台車位置に設置した。

実験結果から特徴的な評価が得られたケース1、2、7、9について、3次元模型実験による場合の騒音伝播状況を図示すると図5の通りである。また各モデルにおける騒音レベルを測定範囲全体の平均騒音レベルで示すと表1のようになる。

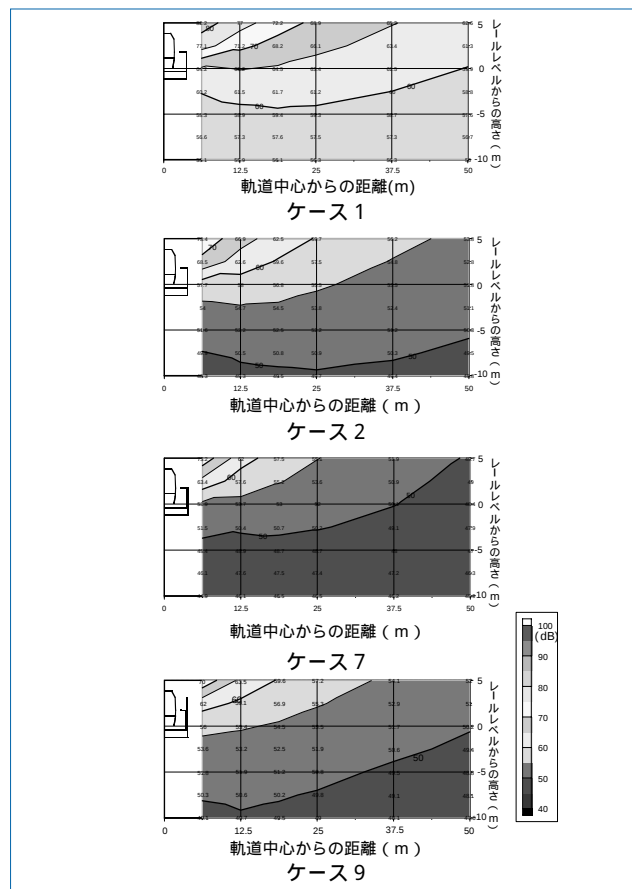


図5：3次元模型実験結果（騒音伝播状況）

表1：3次元模型実験結果（平均騒音レベル）

モデル	ケース1	ケース2	ケース3
平均騒音レベル	621(dB)	545(dB)	541(dB)
モデル	ケース4	ケース5	ケース6
平均騒音レベル	522(dB)	515(dB)	553(dB)
モデル	ケース7	ケース8	ケース9
平均騒音レベル	509(dB)	504(dB)	530(dB)

表1からは次のことが言える。

- (1) 側壁の吸音材は効果が大きい（ケース1、2）。
- (2) 通路上の吸音材は効果が小さい（ケース2、3）。
- (3) 天板上側の吸音材は効果が大きい（ケース2、4）。
- (4) 天板先端を巻いた吸音材は効果が小さい（ケース4、5 及び ケース7、8）。
- (5) 天板の側壁付け根上側の山型吸音材は効果が大きい（ケース4、7 及び ケース5、8）。
- (6) 天板先端から鉛直下向き面の吸音材は効果が小さい（ケース2、6）。
- (7) 嵩上げ(1m)は効果が大きい（ケース2、9）。

図5の3次元模型実験結果において、ケース1との比較から、逆L型防音壁の側壁に吸音材を取り付けたケース2は、軌道中心から25m離れた点で6～7dB程度の低減効果が得られた。側壁に吸音材を取り付けた逆L型防音壁の天板上に、側壁付け根上側を山型に加丁した吸音材を取り付けたケース7では、さらに3dB程度の低減効果が得られた。また、側壁に吸音材を取り付けた逆L型防音壁に、1mの嵩上げをしたケース9は、嵩上げをしない場合に比べて、25m離れた点では低減効果は大きくなるが、12.5m離れた点までの高架橋に近接した地表面付近では、騒音値が逆に上昇する現象が観測された。この現象は2次元模型実験、数値解析（嵩上げは50cm）においても同様の傾向を示した。

3.5 数値解析結果及び模型実験結果の考察

数値解析や模型実験では、地表面反射の条件及び吸音率や音源の条件等が現地における実際と異なることから、解析や実験結果の各ケースの騒音レベルを現地における騒音レベルとして評価することはできないが、各ケースの騒音レベルの差は現地における差と同等であるとして評価した。

側壁に吸音材を取り付けた場合の騒音低減効果は、逆L型防音壁の方が直立型防音壁よりも1dB程度大きいと言われていた。これは、直立型防音壁に比べて逆L型防音壁では防音壁側面と車体側面及び防音壁天板天井面の間で転動音がより多く多重反射して逆L型防音壁内部の音圧は上昇するが、側壁吸音材は転動音が多重反射する過程で吸音効果を発揮するために逆L型防音壁の転動音に対する騒音低減効果は大きくなると考えられる。しかし、この現象の正確な解明には数値解析等による詳細な検討が必要である。

天板に取り付けた側壁付け根上側を山型に加丁した吸音材が騒音低減効果を発揮する理由は、車体と逆L型防音壁天板先端との隙間から放出され天板上面に沿って伝播した転動音が、山型部分を乗り越えようとする過程で吸音効果が発揮されたためであると考えられる。山型部分で転動音が多く吸音されれば、結果的に防音壁背後へ放出する転動音が小さくなり騒音低減効果は大きくなる。

数値解析と模型実験の結果をまとめると、以下のようなものである。

- (1) 転動音が主体の騒音に対して、逆L型防音壁の騒音低減

効果を向上させるには、防音壁の側壁に吸音材を取り付けることが有効である(ケース2)。

(2) 嵩上げ板による対策は、防音壁設置位置より上部及び軌道中心から25m以上離れた点では騒音低減効果が認められるが、高架橋に近接した地表面付近では騒音低減効果が小さくなるので、有効な対策とは言えない(ケース9)。

(3) 防音壁の側壁に加え、天板上側にも吸音材を取り付けると、非常に効果がある(ケース7)。

これらの結果から、側壁に取り付ける吸音材の効果を適正に把握し、さらに側壁に加え天板上側にも吸音材を取り付けるタイプ(ケース7)の逆L型防音壁を開発することにした。

4 高性能逆L型防音壁の評価

4.1 試験施工

4.1.1 試作品の製作

逆L型防音壁の側壁に取り付ける吸音材(以下、側壁吸音材)と天板上側に取り付ける吸音材(以下、天板吸音材)を試作した。側壁吸音材及び天板吸音材の材料は、新幹線の直立型防音壁用吸音材として実績があるポリエステル系短繊維成形体(以下、吸音材)を使用した。吸音特性は文献⁹⁾に記載されている。

図6に吸音材の概要を示す。

吸音材自体は、耐水性・耐火性・耐凍結融解性等に関しての耐久性は持ち合わせているが、軽量のため列車風圧に対処する目的で、防音壁への取り付けは、吸音材の周りを鋼製枠と枠で留めて、その鋼製枠を防音壁の鋼製部材に固定する方法とした。また、カラスが吸音材をつつく事象が予想されたため、カラス対策として天板吸音材の上面にはアルミのパンチングメタルを施工した。天板吸音材は天板の側壁付け根部分を台

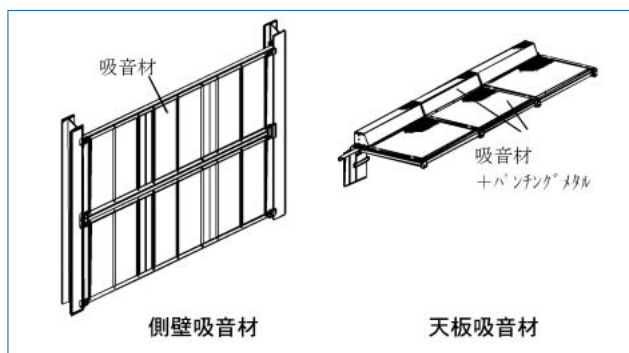


図6：吸音材の概要

形状に盛り上げ、その高さは約30cmとした。

4.1.2 施工性の確認

試作した側壁吸音材と天板吸音材を、現地で約100mにわたり試験施工した。図7に側壁吸音材及び天板吸音材の設置状況を示す。

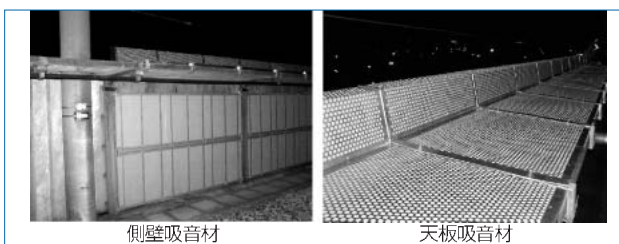


図7：吸音材の設置状況

現地の逆L型防音壁の側壁はH形鋼支柱に空胴プレストレストコンクリートパネル(以下、PC板)を挟み込んだ構造であり、天板は片持ち梁の鋼材にPC板が載せられた構造となっているが、PC板には吸音材固定用のアンカーが打ち込めない。

そこで、逆L型防音壁のPC板を損傷させることなく吸音材が取り付けられるよう、側壁吸音材は鋼製枠をH形鋼支柱の前フランジに専用の取付け金具を用いて固定する方法を採用した。また、天板吸音材は、H形鋼支柱天端に取り付けて天板上側に出した専用金具と、天板先端で吸音材と天板を挟みつける専用金具を用いて固定する方法とした。

施工は、①吸音材の仮組み、②仮組みした吸音材の現地への運搬、③吸音材の防音壁への取り付け、からなる。吸音材の仮組みは、新幹線の営業に支障のない場所で行い、仮組みした吸音材の現地への運搬は、距離が短い場合は人力で可能である。吸音材の防音壁への取り付けは、夜間補修作業により人力で施工する。天板上側の施工においても、高所作業車使用等高架橋外側からの作業は必要ない。

また側壁吸音材の鋼製枠をH形鋼支柱の前フランジに固定する方法で施工した場合、側壁吸音材と逆L型防音壁壁面との間に40mm程度の隙間が生じるが、この隙間は吸音材裏の空気層として騒音低減効果に寄与することになる。既設の直立型防音壁に吸音材を施工する場合は、吸音材裏に空気層を設けるために吸音材を波型に加工しているが、側壁吸音材の鋼製枠をH形鋼支柱の前フランジに固定する方法とした場合には、吸音材を波型に加工する必要がなく平板型で利用できる。

4.2 騒音測定による騒音低減効果確認

試作品の試験施工の前後に騒音測定を実施し、試作品の騒音低減効果を確認した。騒音測定は、近接軌道中心から25m離れた点等9箇所に精密騒音計を設置して、①吸音材を取り付けていない状態(以下、対策なし)、③側壁吸音材を取り付けた状態(以下、側壁吸音材)、④側壁吸音材と天板吸音材を取り付けた状態(以下、側壁+天板吸音材)、の3回実施した。測定は概ね午前8時～午後6時に行い、各回共約60本(①:67本、②:75本、③:62本)の列車の騒音を測定することができた。

図8に軌道中心から25m離れた点におけるE1系とE2系の測定結果、表2に25m点騒音レベルの車種別の平均値を示す。車種の違いにより騒音低減効果が大きく異なることが分かる。この原因は、車種によって騒音の主音源が異なり、側壁吸音材や天板吸音材は車両下部からの騒音は低減可能であるが、パンタグラフの摺動音等の車両上部から来る騒音に対しては効果がほとんど得られないためであると考えられる。表2中で効果が大きかった車種は転動音が大きく、効果が小さかった車種は転動音が小さいか摺動音が相対的に大きかったと想定される。

図9は25m離れた高さ1.2m点における騒音を測定できた列車の全測定結果であり、表3はその平均値を示している。表3中の補正は、午前8時～午後6時の運行列車本数と3回毎の測定列車本数の違いを考慮したものである。表3から吸音材の騒音低減効果は、側壁吸音材で約1.5dB、側壁吸音材+天板吸音材で約2.0dBという結果が得られた。

試験施工で取り付けした吸音材の延長は約100mであり、これは列車長の半分以下の長さである。そのため騒音低減効果の測定値は、吸音材の取り付け区間外から伝わる騒音による効果減少の悪影響を含んでいる。したがって、実用化の際に、列車長よりも長い区間に吸音材を取り付ければ、試験施工での測定値を上回る騒音低減効果の発揮されることが十分に期

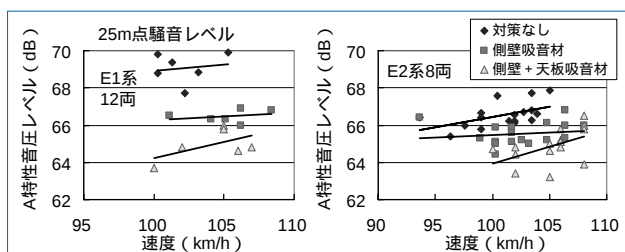


図8：E1系及びE2系の騒音測定結果（散布図）

待できる。

また、試験施工では電柱付近に吸音材を取り付けなかったため、電柱付近にも可能な限り吸音材を取り付ければ、一層高い騒音低減効果が期待できる。

表2：車種別の25m点騒音レベル測定結果一覧（dB）

車種	対策なし ①	側壁吸音材 ②		側壁+天板吸音材 ③	
	平均値	平均値	効果 ①-②	平均値	効果 ①-③
200系10両	67.6	65.5	2.0	65.4	2.2
E1系	69.1	66.5	2.7	65.0	4.1
E2系8両	66.6	65.6	1.0	64.9	1.8
E2+E3系	67.6	66.4	1.2	66.0	1.6
E4系	66.7	64.0	2.7	62.7	4.0
E4+400系	68.3	67.5	0.8	66.9	1.4

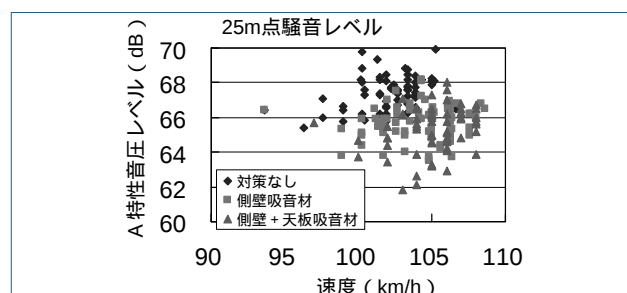


図9：騒音測定結果（散布図）

表3：25m点騒音レベル測定結果の平均値（dB）

	対策なし	側壁吸音材	側壁+天板吸音材
全平均	67.5	65.8	65.5
効果		1.7	2.0
補正全平均	67.5	66.0	65.4
効果		1.6	2.1

4.3 工事費の見通し

これまで側壁への吸音材取り付けによる騒音低減効果は1dB程度で、1dB以上の騒音対策を講じるためには嵩上げが必要であると考えられていた。しかし、実験結果より逆L型防音壁で低速走行する区間では、側壁への吸音材取り付けで約1.5dBの騒音低減効果が得られたことから、1dB以上の騒音対策が必要な箇所に関しても側壁への吸音材取り付けが有効な対策となる。すなわち、側壁吸音材の施工区間が大きく広がり、嵩上げ施工区間が短くなることから工事費は大きく低減

できる。

また、側壁に加え天板にも吸音材を取り付ける必要がある場合は、工事単価は嵩上げより高くなるが、側壁吸音材の騒音低減効果を最大限に利用して天板へも吸音材を取り付ける区間を適切に設定することにより、従来の嵩上げより工事費総額を低減させることが可能である。

4.4 既設防音壁への影響及び耐久性

4.4.1 既設逆L型防音壁への影響

既設逆L型防音壁への吸音材の取り付けに伴い、側面に関しては、H形鋼支柱の吸音材取付け金具を固定する箇所に330N/m程度の吸音材重量が作用し、支柱にかかる軸力を増大させる。また、天板上側に関しては、現行の天板PC板重量（約1400N/m）やLCX重量（約20N/m）等に加え、新たに300N/m程度の吸音材重量が増大するが、検討の結果、片持ち梁及び片持ち梁と支柱の継手、支柱の耐力に問題はない。

支柱埋込み部の耐力に関しても、追加荷重による曲げモーメントの増大は15%程度、軸力の増大は16%程度で、嵩上げに伴う場合より小さく、問題はない。

4.4.2 吸音材の耐久性

試験施工で使用した吸音材は、酸やアルカリに対する抵抗性を有するポリエステル系短繊維成形体を撥水処理したもので、耐久性に優れる。

また、吸音材の製造メーカーによる評価試験で、以下の性能が確認されている。

- (1)耐候性:2000時間の促進暴露試験後の吸音性能に変化なし。
- (2)防水性:表面撥水処理により雨後の性能回復に優れ、散水試験での重量増加1%未満。
- (3)耐燃性:不燃性、燃焼時間0秒。
- (4)耐凍結融解性:凍結融解300回繰り返した後異状なし。

なお、カラスによる被害を防ぐために、網目板による保護を施す。

音低減効果を評価した後、試作品での試験施工を実施し、以下の事項を確認した。

- (1)新幹線が低速走行する場合、逆L型防音壁に側壁吸音材を取り付けると、近接軌道中心から25m離れた高さ12m点では約15dBの騒音低減効果が得られる。
- (2)同様に、逆L型防音壁に側壁吸音材と天板吸音材を取り付けると約2dBの騒音低減効果が得られ、嵩上げによる騒音対策の代替となり得る。
- (3)既設逆L型防音壁のPC板を損傷させることなく側壁吸音材と天板吸音材の取り付けが可能である。

側壁吸音材と天板吸音材を永久構造物として施工する場合、一つの課題は吸音材に作用する列車風による荷重や構造物の振動への対策である。既設の逆L型防音壁に取り付けるための固定金具や固定方法の検討等、本施工の詳細設計と保守方法の提示が必要である。

工事費の面では、側壁吸音材と天板吸音材を取り付ける場合は嵩上げに比べて割高になることが問題であるが、沿線の開発状況や騒音の大きさ等に合わせて側壁吸音材のみの取り付け区間と天板吸音材も取り付けの区間を適切に設定すれば、工事費を削減することが可能であると考える。

参考文献

- 1) 小方幸恵,安部由布子,善田康雄;音響インテンシティ法による台車部の音源分離,鉄道総研報告,Vol.16,No12,p.5~10,2002.12.
- 2) 前田達夫;沿線環境の保全に取り組む,RRR,pp.2~3,2003.11.
- 3) 川久保政茂,林田敏弘,三輪晋也;列車走行に伴う環境振動の特性と振動低減対策,基礎工,Vol.30,No1,pp.74~76,2002.1.
- 4) 委員会資料編、,新幹線騒音振動防止技術委員会,pp.166~185,1987.1.
- 5) 佐藤清一,伊藤昭夫;列車風圧とアルミニウム枠防音工の強度特性,SED,pp.64~73,1999.5.
- 6) 中崎邦夫,長船寿一;斜入射吸音率を用いた試験による各種吸音材料評価,第21回日本道路会議論文集,pp.64~65,1995.10.

5 おわりに

数値解析と模型実験から側壁吸音材及び天板吸音材の騒