

論文 開床式高架橋の沿線騒音を低減する効果的な 対策工の形状の検討

北川 敏樹¹・村田 香¹・宇田 東樹²・小方 幸恵²・青柳 広樹³

¹正会員 鉄道総合技術研究所 環境工学研究部騒音解析研究室 (〒185-8540 東京都国分寺市2-8-38)
E-mail:kitagawa.toshiki.37@rtri.or.jp

²鉄道総合技術研究所 環境工学研究部騒音解析研究室

³鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北海道新幹線建設局 (〒060-0002札幌市中央区北2条西1-1)
E-mail:hir.aoyagi@jrtr.or.jp

北海道新幹線では新函館北斗・札幌間の一部区間に、降積雪対策として床版に開口部を設け、開口部から雪を地面に落とすことができるラーメン構造の高架橋（開床式高架橋）の採用が検討されている。しかし、開床式高架橋では、車両下部から発生する騒音が高架橋の開口部から放射されるため、通常のラーメン高架橋（閉床式高架橋）に比べて新幹線沿線における騒音が大きくなることが予想される。そこで、音響模型試験を用いて、様々な構造を有する対策工による沿線騒音に対する低減効果を評価した。また、音響模型試験による測定結果から、新幹線沿線での騒音を低減するための対策工の構造について検討した。

Key Words : *Shinkansen railway noise, viaduct with snow-removing openings, devices to reduce pass-by noise*

1. はじめに

北海道新幹線新函館北斗・札幌間の一部区間では、開床式高架橋の採用が検討されている。開床式高架橋は、降積雪対策として高架橋の開口部から雪を地面に落とすことができる構造である。しかし、新幹線車両下部から発生する騒音（車両下部音）が高架橋開口部から放射されるため、新幹線沿線環境に影響を与えることが考えられる。この開口部からの放射音（開口部放射音）を低減するため、開口部まわりに吸遮音板で構成された対策工を設置する手法を提案し、開床式高架橋の線路長手方向50mにわたって対策工を設置した区間と、対策工を設置していない開床式高架橋区間における新幹線走行時の沿線騒音について比較・評価を行い、対策工による騒音低減効果が10dB程度であることを確認した¹⁾。また、現車試験と同じ条件で模型試験を実施し、模型試験と現車試験における結果の整合性を確認した¹⁾。本報告では、様々な構造を持つ対策工の沿線騒音に対する低減効果を音響模型試験から評価し、開口部放射音を効果的に低減する対策工の構造等について検討を行う。

2. 新幹線騒音の概要

新幹線がコンクリート高架橋を走行するときの騒音を発生部位別に①車両下部音、②上部空力音、③集電系音、④構造物音に分類する。新幹線沿線騒音予測法では、新幹線の走行騒音を、これら4つに分類し、離散点音源列でモデル化する²⁾。音源位置とパワーレベルを、音源要素、軌道・構造物条件、車両種別および列車速度ごとに定めることにより、各音源からの寄与をエネルギーベースで別々に計算し、最大騒音レベルおよび単発騒音暴露レベルを予測する。

新幹線沿線騒音予測法を用いて、高速新幹線車両が260km/hで閉床式高架橋を通過した場合の地上25m点（近接側軌道中心から25m離れ、地上1.2m高さの測定点）における各音源の寄与を求めた結果を表-1に示す。なお、本報告では、表-1に示すように集電系音と車両上部音を合わせて上部空力音として取り扱う。表-1より、地上25m点における全体音に対する車両下部音の寄与率は75%程度（ $75\% \doteq 10^{(68.5/10)}/10^{(69.7/10)}$ ）であり、上部空力音と構造物音の寄与はほぼ同程度である。これは、高架橋と防音壁条件から、地上25m点からは集電装置等の車両上部を直接見通すことができないためである。

開床式高架橋における開口部放射音は、主に車両下部

音で構成されると考えられる。これは、車両下部音が開口部に対して最も近い音源であること、レール近傍点での騒音は車両下部音で主に構成されること、車両上部に位置する音源は主に防音壁上側から沿線に伝播することが考えられるためである。そこで、本報告では、車両下部音を主な対象とした縮尺模型を用いた音響模型試験を行い、この試験結果から対策工による沿線騒音に対する低減効果について評価を行う。

表-1 地上 25m 点における音源別寄与 (260km/h 走行時, 時間重み付け特性 S での最大騒音レベル, 評価点位置: 近接側軌道中心から 25m 離れ, G.L~R.L=10m, 直型防音壁 RL+3.5m, 防振スラブ, 単位: dB)

	上部空力音	車両下部音	構造物音	全体音
音源別寄与	60.2	68.5	61.0	69.7

3. 音響模型試験

(1) 測定概要

音響模型試験では、1/25 縮尺の模型 (車両, 鉄道構造物, 対策工) とマイクロホンが無響室内に設置し、音源から発生した音をマイクロホンによって測定する。以下、表示寸法は特に明示しない限り現車換算値とする。

図-1 に測定概要を示す。高架橋高さは G.L~R.L=10m とし、高架橋端部には直型防音壁 (高さ: R.L+3.5m) を設置した。また、模型試験時には、地面に対応する地面板を敷設した。測定点は、高さ R.L+10m~-8.8m, 近接側軌道中心からの離れ 8m~55m の範囲内において 56 点設置した。

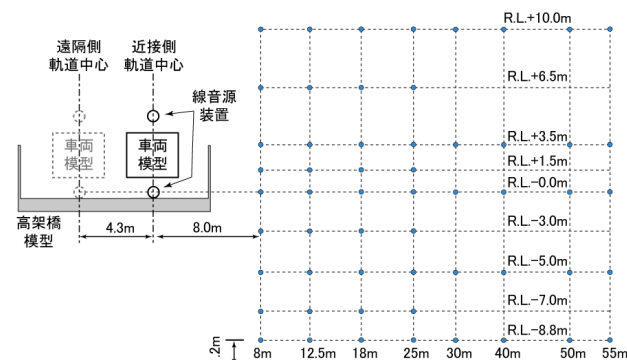


図-1 音響模型試験の測定概要 (測定断面図)

車両下部音は車輪やレールなど車両台車部付近から発生する。この車両下部音の移動平均を考える場合には列車長手方向に連続して分布する線音源と考えられる。また、車両上部に設置された集電系装置、車両間隙部や屋根上の機器類から発生する騒音 (上部空力音) は点音源列に近いと考えられるが、この音源の移動平均を考え

る場合には線音源とみなすことができる。そこで、これらの音源を模擬するために、線音源装置を車両模型下部 (近接側または遠隔側軌道中心に対応する位置) または車両模型上部 (架線高さに対応する位置) に配置した。なお、上部空力音を模擬する線音源に対しては、閉床式高架橋に限定して模型試験を行った。これは、車両上部に位置する上部空力音が開口部まわりからの放射音に与える影響は小さく、対策工条件では閉床式高架橋での結果と同等と考えて良いためである。

音響模型試験での車両下部音と上部空力音に対応する測定結果は、次の手順で実車換算する。①模型実験と実車との相似則³⁵⁾から、模型実験の結果における 1/1 オクターブバンド周波数を 1/25 倍する。②模型実験において、音源近傍点での音と、各対策工条件における測定点の音のレベル差を周波数バンドごとに求める。③実車の場合に音源近傍点で測定される音は、新幹線沿線騒音予測法に示された各音源の周波数特性を持つと仮定する。新幹線沿線騒音予測法を用いて、表-1 のタイトル文に示した構造物条件における地上 25m 点 (y, z)=(25, 8.8) での 2 つの音源に対応する車両下部音と上部空力音を周波数別に予測し、このオーバーオール値 (O.A 値) が表-1 に示した 2 つの音源の寄与と等しくなるように音源近傍での音を調整する。④②で求めたレベル差を、③で求めた音源近傍における音の周波数スペクトルに加算し、実車の場合に対応する結果を求める。

構造物音に関しては、新幹線沿線騒音予測手法を用いて高架橋まわりに設定された測定点での騒音を求める。

なお、4 節以降で示す音響模型試験による評価結果は、時間重み付け特性 S での最大騒音レベルの結果に対応する。

(2) 対策工の概要

開床式高架橋の平面図を図-2 に示す。また、音響模型試験を行った対策工の断面外形を表-2 に示す。対策工は、開口部まわりのレール、まくらぎ方向に遮音板を設置した筒型形状である。対策工 1~3 の鉛直方向の長さは 4m または 6m である。対策工 1~3 は、開口部まわりや橋脚などに設置された遮音板で構成され、対策工内にスロープ形状を有する場合もある。対策工 4 の鉛直方向の長さは 1m または 3m である。まくらぎ方向に吸遮音板を対策工内に挿入することによって、対策工を 1 室または 2 室に分ける。また、対策工 1~4 の内側部分のうち、遮音板が鉛直下向きになっている部分には、吸音材を貼付した条件の試験も実施した。なお、表-2 中の破線部が吸音材を貼付した位置である。また、鉄道用防音壁に貼付する吸音材としてグラスウールが広く用いられていることから、音響模型試験に使用した吸音材にはグラスウールと同等の吸音率を有するフェルト (模型寸法で 3mm 厚) を用いた⁹⁾。

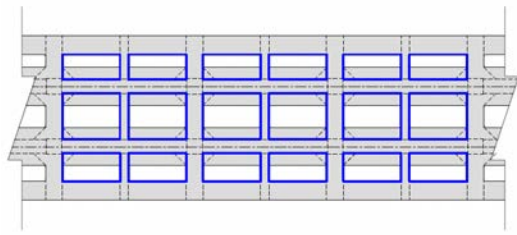


図-2 開床式高架橋の平面図（青線位置が対策工）

表-2 対策工 1～4（吸音材有条件では、波線部に吸音材を貼付）

対策工	1-1	1-2
鉛直方向長さ	4m	6m
室数	---	---
概形		
対策工	2-1	2-2
鉛直方向長さ	4m	6m
室数	---	---
概形		
対策工	3-1	3-2
鉛直方向長さ	4m	6m
室数	---	---
概形		
対策工	4-1	4-2
鉛直方向長さ	1m	3m
室数	1または2	1または2
概形		

4. 実験結果

(1) 地上測定点における騒音特性

表-3に、各対策工における地上測定点での近接側車両に対応する最大騒音レベルを整理した。表-3では、代表的な地上測定点として、 $(y,z)=(12.5,-8.8)$ 、 $(25.0,-8.8)$ を選定した（図-1参照）。本報告書では、前者を「地上12.5m点」、後者を「地上25m点」とする。また、表-3には、閉床式高架橋と開床式高架橋に対応する結果も併記した。

閉床式高架橋の場合の地上12.5m点、地上25m点における騒音レベルは70dB程度である。しかし、開床式高架橋での地上測定点における騒音レベルの場合、地上12.5m点で85dB程度、地上25m点でも80dB程度である。これは、開床式高架橋の開口部放射音による影響である。

対策工1～3・吸音材貼付無条件の場合、地上12.5m点、地上25m点における騒音レベルはそれぞれ79～84dB、74～77dB程度である。これらの結果は、閉床式高架橋よりも5dB程度大きい。これらは、対策工内を伝播して沿線に放射される音による影響と考えられる。

対策工1～3・吸音材有条件の場合では、地上25m点での騒音レベルは70dB以下であり、閉床式高架橋に対応する結果とのレベル差も概ね1dB以内である。これは、対策工内を伝播する音が吸音材によって低減されたことを示している。したがって、吸音材有条件の対策工1～3を設置した開床式高架橋は、閉床式高架橋とほぼ同等の防音特性を有する可能性があると考えられる。また、対策工1～3・吸音材有条件の場合、その構造によって1dB程度のレベル差が生じている。対策工1～3では、対策工3の吸音材有条件に対応する結果が他2つの対策工よりもやや小さい傾向である。対策工内を伝播する音は、その壁面で多重に反射して開口部まで到達する。対策工に吸音材が貼付されている場合、対策工内面で音が多重反射することによって吸音材は音のパワーを小さくする。したがって、対策工1～3における騒音低減効果の違いを生じた原因には、対策工の構造によって音の多重反射の状況や吸音材貼付面積が異なることなどが考えられる。また、対策工3は、他2つの対策工より対策工断面積が小さいことから、その内面に貼付された吸音材による低減効果を高めることができたと考えられる。

対策工4-1に関しては、対策工内の室数に依らず、地上25m点での騒音レベルは70dB以上である。これは、対策工4-1は遮音板長さが1mと短いため、対策工内側における音の反射回数が少なく吸音材による低減効果が小さいこと、開口部放射音が高架橋まわりに直接伝播する影響も大きいことなどが考えられる。一方、対策工4-2の場合、地上25m点騒音は70dB以下である。これは、対策工4-1に比べて対策工内における音の反射回数が多くなり、これに伴って吸音材による低減効果が大きくな

ったと考えられる。また、各対策工 1～3 における結果と比較すると、対策工 4・2 室条件と対策工 3・2・吸音材有条件に対応する結果がほぼ同等である。これは、対策工の鉛直方向長さが短い場合においても、対策工内の構造によっては、閉床式高架橋と同等程度の防音特性を有する可能性があることを示している。

表-3 地上測定点における最大騒音レベル（車両位置：近接側，単位：dB）

対策工	吸音材	室数	地上 12.5m 点		地上 25m 点	
			近接側 車両	遠隔側 車両	近接側 車両	遠隔側 車両
1-1	有	—	71.1	71.1	69.5	68.3
	無	—	84.1	83.0	77.1	76.4
1-2	有	—	69.6	68.5	68.7	67.0
	無	—	81.0	79.9	74.6	73.7
2-1	有	—	71.4	71.4	69.6	68.6
	無	—	81.2	80.7	75.4	75.2
2-2	有	—	70.7	69.2	69.3	67.3
	無	—	79.3	77.9	74.2	72.7
3-1	有	—	70.4	69.0	69.1	67.4
	無	—	83.1	80.5	76.3	75.0
3-2	有	—	69.4	68.3	68.5	67.0
	無	—	80.8	79.3	74.9	73.7
4-1	有	1	76.1	75.4	71.6	70.8
	有	2	74.7	74.6	70.7	70.2
4-2	有	1	70.9	70.2	69.1	67.2
	有	2	69.8	69.1	68.8	67.0
閉床式	—	—	70.4	69.0	69.7	67.8
開床式	—	—	85.4	83.9	80.6	78.8

図-3 は、対策工 3-2 における地上 25m 点での車両下部音と上部空力音の周波数特性である。また、図-3 には、閉床式高架橋と開床式高架橋の結果も併記した。

開床式高架橋・車両下部音に対応する結果が、他の音源に比べて 10dB 程度大きい。これも、開床式高架橋の場合、地上測定点の騒音の大部分は車両下部音で占められることを示している。また、閉床式高架橋の場合、250～2000Hz の周波数域において、車両下部音は上部空力音よりも 5dB 以上大きい。これは、閉床式高架橋においても、地上測定点における騒音全体に対する車両下部音の寄与が大きいことを示している。

対策工 3-2・吸音材無条件に対応する車両下部音は、開床式高架橋の結果より 5dB 程度は小さいが、閉床式高架橋よりは 5dB 程度大きい。これは、対策工内に吸音材が貼付されていない場合、車両下部音は対策工内をほとんど減衰することなく伝播し、対策工の開口部から放射されるためである。また、対策工 3-2・吸音材有条件における車両下部音は、ほぼ全周波数域において、閉床式高架橋の結果とほぼ同等である。これは、対策工内を伝

播する車両下部音が吸音材によって低減されたことを示している。

図-4 は、対策工 4・2 室条件における地上 25m 点での車両下部音と上部空力音の周波数特性である。また、図-4 にも、閉床式高架橋と開床式高架橋の結果も併記した。ほぼすべての周波数域において、対策工 4-2 と閉床式高架橋の結果はほぼ同等であり、開床式高架橋の結果より 10dB 程度小さい傾向である。これは、車両下部音に対して対策工内の吸音材が有効的に作用したことを示している。対策工 4-1 に対応する車両下部音は、すべての周波数域で対策工 4-2 を上回る。これは、対策工 4-1 の構造では、対策工内を伝播する音を低減するためには鉛直方向長さが短いことを示している。

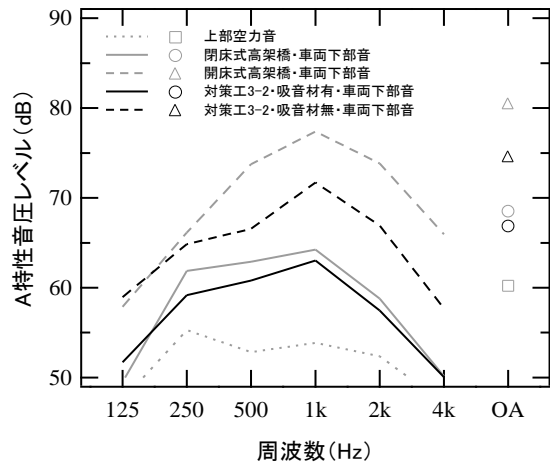


図-3 地上 25m 点における各音源の周波数特性（車両位置：近接側，対策工 3-2）

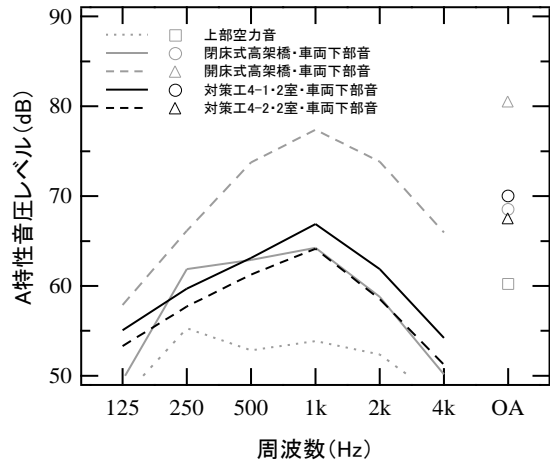


図-4 地上 25m 点における各音源の周波数特性（車両位置：近接側，対策工 4）

(2) 高架橋まわりの音圧レベル分布

図-5、図-6 は、閉床式高架橋と開床式高架橋における車両下部音と全体音の騒音レベル分布である。

閉床式高架橋の場合、車両下部音は高架橋に設置された防音壁上側から回り込んで沿線へ伝播する。この傾向は、全体音においても同様である。一方、開床式高架橋

における車両下部音に対応する音圧レベル分布では、防音壁上側だけでなく、高架橋下側の開口部から音が放射されている。これは、開床式高架橋における地上測定点での騒音レベルが 80dB 以上になる原因が、開口部放射音であることを示している。

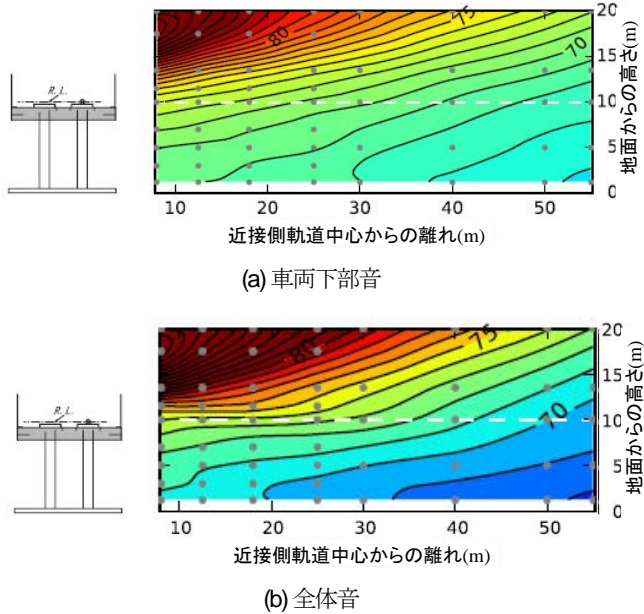


図-5 高架橋まわりの騒音レベルの分布 (車両位置：近接側，閉床式高架橋)

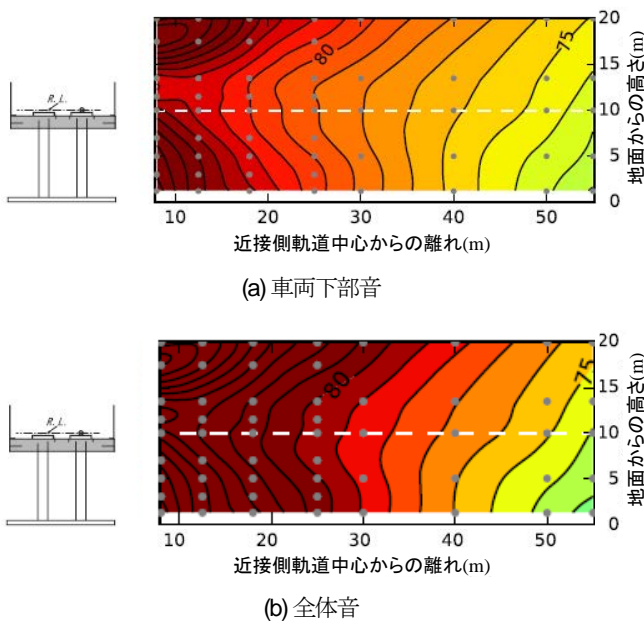


図-6 高架橋まわりの騒音レベルの分布 (車両位置：近接側，開床式高架橋)

図-7、図-8 は、対策工 3-2 の場合における車両下部音と全体音の騒音レベル分布である。

対策工 3-2・吸音材無条件に対応する車両下部音は、高架橋上側と下側から音が放射されている。全体音でも同様の傾向が現れていることから、沿線騒音全体における車両下部音の寄与が大きい。また、RL以下の範囲で

は、開床式高架橋の結果より 5dB 程度小さい傾向である。これは、閉床式高架橋と対策工における開口部位置が異なることによる影響である。

対策工 3-2・吸音材有条件における車両下部音に対応する音圧分布は、高架橋下側からの放射音による影響が小さくなり、閉床式高架橋の結果とほぼ同等である。また、全体音についても、閉床式高架橋の結果とほぼ同じである。これらは、対策工内を伝播する車両下部音に対して吸音材が有効に作用したことを示している。また、防音壁上側の領域に着目すると、対策工 3-2・吸音材有条件に対応する結果は、閉床式高架橋よりもやや小さい傾向である。閉床式高架橋の場合、車両下部音はすべて

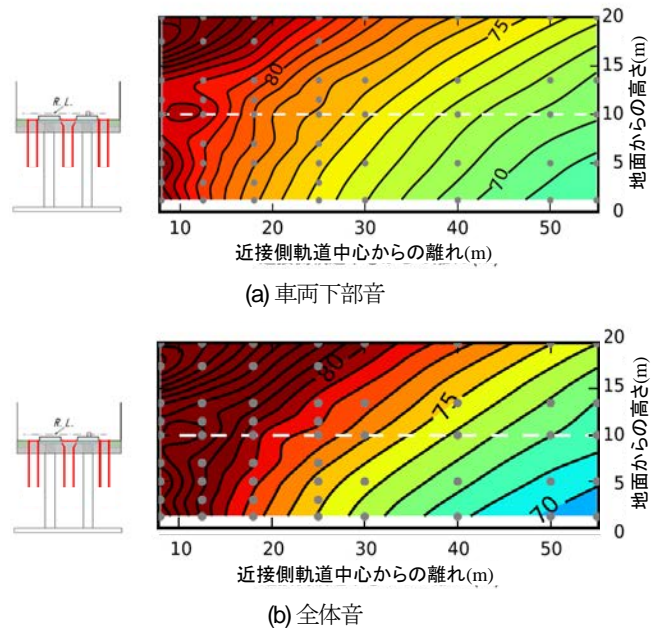


図-7 高架橋まわりの騒音レベルの分布 (車両位置：近接側，対策工 3-2，吸音材無条件)

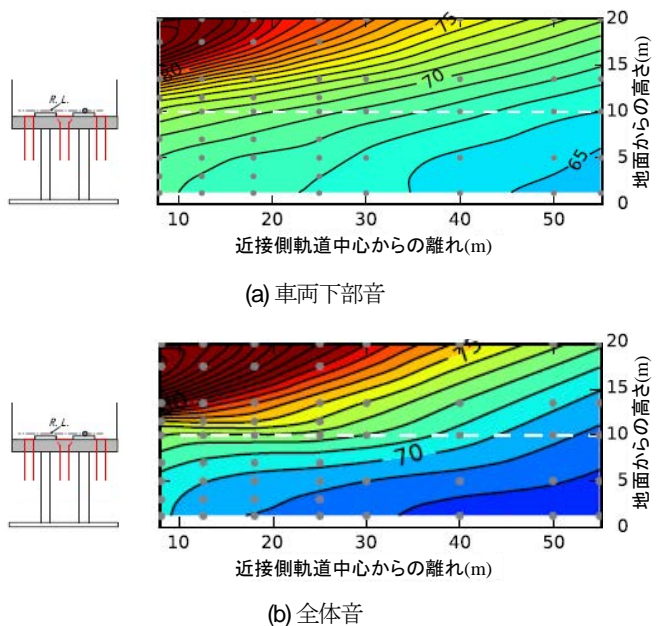


図-8 高架橋まわりの騒音レベルの分布 (車両位置：近接側，対策工 3-2，吸音材有条件)

高架橋上側から沿線に伝播する。しかし、開床式高架橋の場合では、車両下部音は高架橋上側と下側（開口部）から放射されるため、閉床式高架橋に比べて高架橋上側からの車両下部音のパワーが小さくなったと考えられる。

図-9、図-10は、対策工4-1と対策工4-2における2室条件に対応する車両下部音と全体音の騒音レベル分布である。

対策工4-1の場合、車両下部音、全体音に対応する音圧レベル分布はともに、高架橋下側部分において音圧レベルが大きく、高架橋に近い領域では等音圧線の傾きが切り立つ傾向である。これは、高架橋近くでは開口部放射音による寄与が大きいことを示している。したがって、

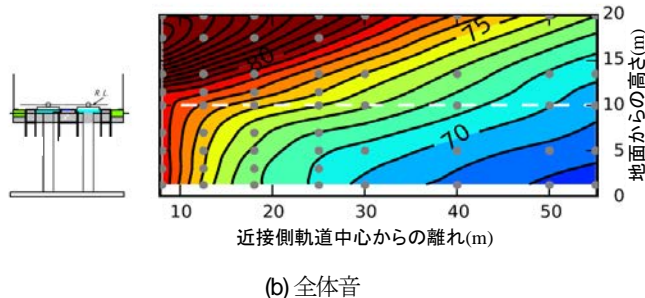
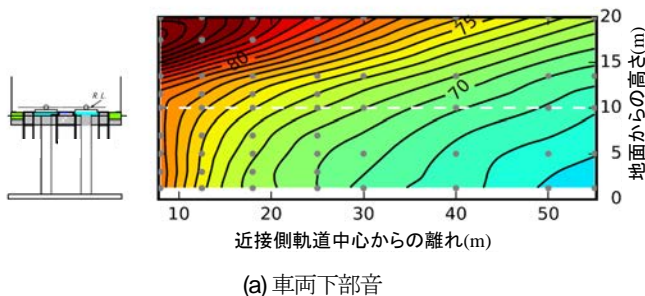


図-9 高架橋まわりの騒音レベルの分布（車両位置：近接側，対策工4-1，2室条件）

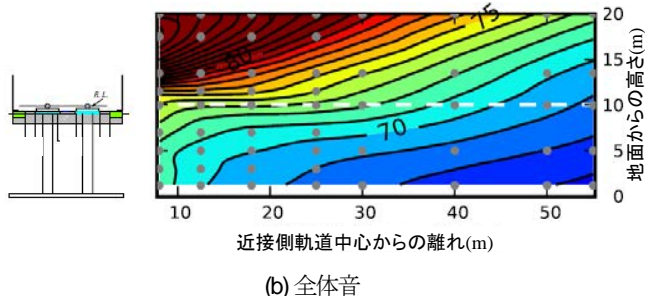
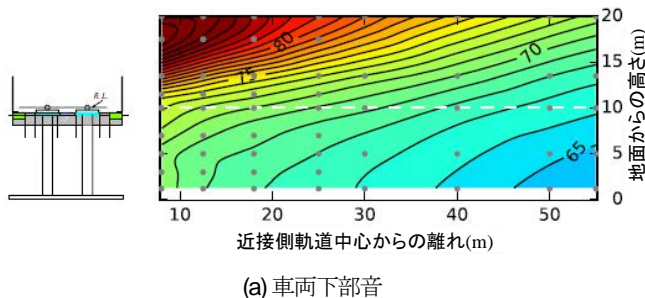


図-10 高架橋まわりの騒音レベルの分布（車両位置：近接側，対策工4-2，2室条件）

開口部に近い領域では、対策工4-1による開口部放射音に対する低減効果が十分ではないと考えられる。

対策工4-2の場合、近接側軌道から10m程度離れた測定点では、等音圧線の傾きがやや切り立つ傾向にあるが、近接側軌道から20m以上離れた測定点では、対策工4-2と閉床式高架橋の結果はほぼ同等である。また、対策工4-1と対策工4-2に対応する車両下部音の音圧分布を比較すると、対策工4-2の結果が全体的に小さい傾向である。この傾向は、全体音でも同じである。これは、2つの対策工における鉛直方向長さや吸音材の貼付面積の違いによる影響である。したがって、閉床式高架橋と同等の防音性能を有するためには、対策工における遮音板の長さが少なくとも3m程度は必要であると考えられる。

5. 対策工の構造等に関する検討

本報告で示した対策工条件から、開床式高架橋に設置する対策工において必要な構造や考慮すべき点を以下に整理する。

- 吸音材貼付

対策工内に吸音材を貼付していない場合の結果は、閉床式高架橋の結果よりも地上12.5m点で10dB程度、地上25m点で5dB程度大きい。また、対策工・吸音材有条件の結果では、閉床式高架橋における騒音性能に近づく傾向にあった。したがって、対策工内を伝播する音を効果的に低減するためには、吸音材を貼付することが必要である。

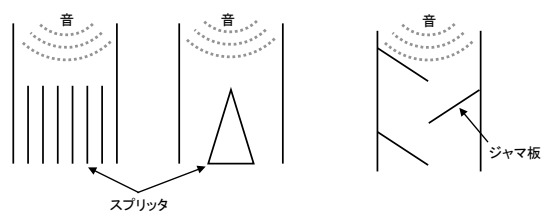
- 対策工の鉛直方向長さ

対策工の鉛直方向長さが短い場合、対策工内側における音の反射回数が少なく吸音材による低減効果が小さくなること、開口部放射音が高架橋まわりに直接伝播することが考えられる。したがって、閉床式高架橋と同等の防音性能を有するためには、対策工における遮音板の長さが少なくとも3m程度は必要である。

- 音の多重反射

対策工に吸音材が貼付されている場合には、対策工内において音の多重反射を生じる構造が有すれば、吸音材による低減効果を高めることができることがわかった。

したがって、対策工内部において、室数を増加するような仕切り板（対策工4）、対策工断面を分割するスプリッタ（図-11(a)）や対策工内で音の反射などを生じるジャマ板などの設置（図-11(b)）が有効であると考えられる。また、この音の多重反射を生じている領域に吸音材を設置することにより、吸音材による効果を効率的に高めることができる。これらの構造により、吸音材による効果を効率的に高めることができ、対策工長さを短くすることが可能であると考えられる。



(a)スプリッタの例 (b)ジャマ板の例

図-11 対策工内で音の多重反射を生じる構造

6. まとめ

音響模型試験により開床式高架橋に設置する対策工による沿線騒音に対する低減効果を評価し、実際に設置した場合に予想される新幹線沿線における騒音分布について試算した。その結果から得られた知見を以下にまとめる。

- 吸音材を貼付していない条件の対策工の場合、地上測定点での騒音レベルは、開床式高架橋よりも大きい。また、対策工内に吸音材を貼付した条件では、地上12.5m点および地上25m点で10dB程度の低減効果があることを確認した。
- 開床式高架橋の開口部からの放射音を効率的に低減するためには、対策工内において吸音材を貼付するとともに、対策工が音の多重反射を生じる構造などを持つことが必要である。

今回の沿線騒音評価では、対策工を含めた高架橋から発生する構造物音を閉床式高架橋と同等としている。対策工が大規模な場合には、対策工の振動から発生する放射音についても考慮が必要になる。この点に関して、対策工の概形等が決定した場合には、構造物全体の振動・音響特性等についても検討を行う必要がある。また、対策工内における着雪等の影響についても考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 村田香, 北川敏樹, 宇田東樹, 小方幸恵, 青柳広樹: 開床式高架橋において沿線騒音を低減する対策工の提案, 第23回鉄道工学シンポジウム, 土木学会, 2019.7.
- 2) 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, 2009.9
- 3) 北川敏樹: 防音壁に関する模型実験と数値シミュレーション, 鉄道総研報告, Vol.14, No.9, 2009.9
- 4) 橋秀樹, 日高新人, 今西由利, 石井聖光: 建築音響における模型実験法に関する研究, 東京大学生産技術研報告, Vol.35, No.4, 1990.3.
- 5) 白木万博, 騒音防止設計とシミュレーション, 応用技術出版, 1987
- 6) 長谷勝幸, 小西一生, 騒音対策のための模型実験について, 騒音制御, Vol.6, No.5, 1982

(2019.4.5 受付)

STUDY ON CONFIGURATION OF DEVICES TO REDUCE PASS-BY NOISE ALONG VIADUCTS WITH SNOW-REMOVING OPENINGS

Toshiki KITAGAWA, Kaoru MURATA, Toki Uda, Yukie OGATA and Hiroki AOYAGI

In some sections of Hokkaido Shinkansen railway line, the construction of viaducts with snow-removing openings is planned. The viaducts have the openings on the floor slab, through which snow on the slab is fallen to the ground. However, noise generated from the lower part of Shinkansen cars is mainly radiated from the openings, and pass-by noise along the viaduct will be greater than that along the viaduct without the openings. In this paper, by using scale models experiments, pass-by noise is simulated for the viaducts with the devices to reduce the noise radiated from the openings, when Shinkansen cars run at the speed of 260 km/h. On the basis of the measured results, the study on the configuration of the devices is developed.