

強風時に風のを 構造物に伝えない防音工の開発

半坂 征則

材料技術研究部
(防振材料研究室 室長)

谷口 望

構造物技術研究部
(鋼複合構造研究室 主任研究員)

佐藤 大悟

同
(同 研究員)

間々田 祥吾

材料技術研究部
(防振材料研究室 副主任研究員)



はんさか まさのり



さとう だいご



たにぐち のぞみ



ままだ しょうご

はじめに

鉄道ではコンクリート高架橋や鉄橋において、沿線騒音を小さくするために、多くの区間で防音壁が設置されています。しかし、最近、車両が高速で走行する区間が増えていることなどから、既設の防音壁に対して、より高い防音性能が求められています。その対策として、現状では、防音壁を高くすることが有力と考えられています。防音壁を高くすることにより、最近増加した沿線の高い建物での騒音も低減できると考えられます。

これまで一部区間で、既設の防音壁の上に防音板を取り付けて全体の高さを積み増す(これをかさ上げといいます)工事が行われてきました。かさ上げにより防音壁を大幅に高くする場合は、風に関わる課題も考えなければいけません。風が吹くと防音壁に対して荷重とモーメント(物体を回転させる負荷)が加わり、その負荷はそのまま構造物の本体に伝わります(図1)。現在構築されている構造物は少なくとも3kPaの風荷重(風速では約49m/sに相当します)に耐えられるように設計されていますが、それは防音壁の高さがこれまでの構築例から大幅に超えないことを前提にしています。防音壁を高くすると風による荷重とモーメントは大きくなり、既設の防音壁と構造物を補強

することなく防音壁を大幅に高くした場合、例えば、レールの頭の高さから3.5m以上とした場合には、一般的な構造物に対して試算した結果において強風の時に防音壁や構造物本体の一部が壊れることが懸念されます。したがって、構造物の安全性を保つためには防音壁の高さを制限するか、さもなければ、既設の防音壁と構造物本体を大幅に補強して強風の時でも防音壁や構造物本体が壊れないようにする必要があります。

これに対して、無風あるいは風が弱い時には高い騒音低減性能を持ち、強風の時には受ける風荷重を小さくして防音壁と構造物本体にかかる負荷を小さくできるような防音工事ができれば、既設の防音壁や構造物に対して大規模な補強工事をすることなく防音壁全体の高さを大幅に高くすることができると考えられます。そこで、このような機能を持つ防音工(風荷重低減型防音工と名付けます)を検討したので、その結果を紹介します。

風荷重低減型防音工に求められる条件

風荷重低減型防音工に求められる性能と寸法の条件として、次のことが挙げられます。

- ① 普段は沿線騒音を小さくできる防音性能がある。
- ② 強風時には風荷重による構造物への負荷を小さくできる性能を持っている。
- ③ 防音工の奥行は既設の防音壁の厚さを大幅に超えない(目安として200mm以内)。
- ④ 防音工の線路方向の長さは、3m程度を施工単位とする。
- ⑤ 防音工の高さは、既設の防音壁を含めて5m程度(レールの頭の高さから防音工の上端まで)を当面の目標とする。
- ⑥ 防音工を設置した後に特別な保守作業は発生しない。(保守の労力の目安として、構造物の定期検査に合わせて防音工の状態を目視点検する程度)。

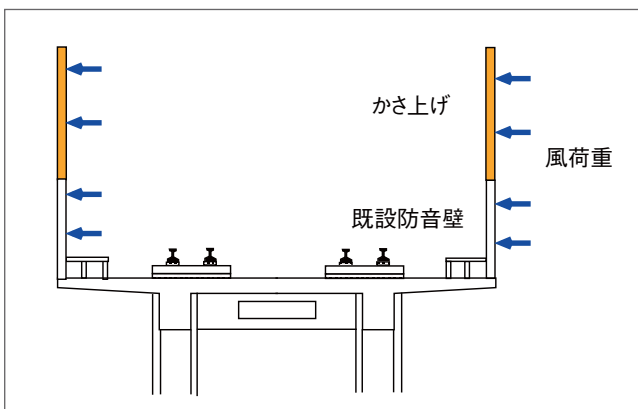


図1 防音壁をかさ上げた構造物

①, ②は, この防音工に求められる基本的な性能ですが, それぞれの具体的な目標値は後で示します。③~⑥は, 鉄道事業者の要望などに基き定めた条件です。このうち, ④は, 現在実施されているかさ上げ防音工では, 約3m間隔で支柱を設置しその間にユニットパネルをはめ込んでいることが多いことを参考にしています。⑤の防音工の高さは, 高いほど沿線騒音を小さくするうえで有利ですが, あまり高いと施工が難しくなります。当面は既存の構造物での実績を参考に目標を定めるべきですが, 構造物上に既にある高さが高いものとしては鉄道車両があります。したがって, 防音壁かさ上げ高さに関する当面の目標値として, 鉄道車両の最大高さを目安にレールの頭の高さから5mの高さと決めました。

騒音を小さくする性能の目標値

風荷重低減型防音工が沿線騒音を小さくする性能に対する考え方の基本は, 現在実施されているかさ上げ防音工と同様です。図2に示すように, 車両走行に伴って発生する騒音が沿線に伝わる際に防音壁があると音の進行はさえぎられ, 音は回り道をして伝わります。その間に音のエネルギーの一部が失われ, 沿線の騒音は音が直接伝わる時より小さくなります。防音壁が高くなるのに伴い音の回り道の道りが長くなり, それに伴って途中で音が失うエネルギー量が大きくなり, 沿線騒音はより小さくなります。鉄道総研では既に防音壁が騒音を小さくする効果も含めて沿線騒音を予測する方法を提案¹⁾しており, これを用いれば様々な高さの防音壁の時の沿線騒音を計算することができます。既設の防音壁高さ(例えばレールの頭頂面から2m)の時の沿線の騒音測定点での騒音レベルを L_{pa} (図2の行路Aを伝わる騒音), 防音壁をかさ上げた(レールの頭頂面から5mの高さ)時の同じ点での騒音レベルを L_p (図2

の行路Bを伝わる騒音)とすると, 防音壁かさ上げにより沿線騒音が小さくなった量 ΔL は次のようになります。

$$\Delta L = L_{pa} - L_p \dots\dots\dots(1)$$

ただし, 風荷重低減型防音工では次のことも考える必要があります。風荷重低減型防音工の構造として, もともと隙間が設けられていて, 風が通り抜けることによって荷重が小さくなるようなルーバー(よろい戸のような)構造の防音工の場合には, 音も通り抜けてしまうため, 隙間のない普通のかさ上げ用材料より音の進行をさえぎる性能(遮音性能といい, TL で表します)が小さくなり, 沿線騒音もその分大きくなります。したがって, 風荷重低減型防音工の場合には, 防音工の材料の遮音性能 TL も考慮に入れたうえで沿線騒音を計算する必要があります。上述の騒音予測手法を用いるとそれが可能²⁾で, 材料の遮音性能 TL について様々な値を仮定したうえで沿線測定点での騒音レベル L_p を計算して, 防音壁かさ上げにより沿線騒音が小さくなった量 ΔL を式(1)により求めます。計算した結果を図3に示します。ここでは沿線測定点の位置は構造物中心から25m離れ, 地上高さ1.2mとしました。また, 高速区間における将来的な速度向上も考慮して, 車両の走行速度360km/hの時の騒音を計算しました。

一方, これまでのかさ上げ防音工の実績や新幹線の沿線騒音の状況などを考えると, かさ上げ防音工が明確な効果を持った対策とみなされるには, 沿線測定点の騒音を小さくする性能 ΔL が5dB以上であることが必要と考えられます。図3より, ΔL が5dB以上となるのは TL が15~16dB以上の時であることがわかります。この結果より, 風荷重低減型防音工の沿線騒音を小さくする効果に関わる性能の目標値としては, 「防音板の遮音性能が16dB以上であること」となります。

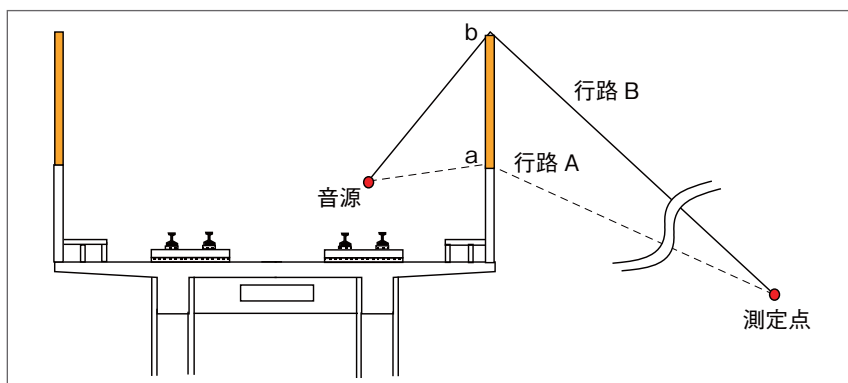


図2 構造物における騒音モデル

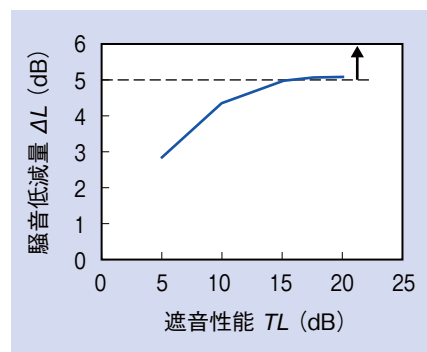


図3 かさ上げ材料の遮音性能 TL と騒音低減量 ΔL の関係

風荷重を小さくする性能の目標値

既設の防音壁の高さを2m（レールの頭の高さから）とし、その上に3mかさ上げするとした時に防音壁に吹き付けられる風荷重によって防音壁や構造物本体にかかる荷重やモーメントを計算し、構造物本体の強度と比較しました。その結果、既設の防音壁と構造物本体では3kPaの風荷重を生じる強風（風速約49m/s）の時でも防音壁かさ上げ部に加わる風荷重を1.5kPa以下におさえれば、防音壁と構造物本体の安全性には問題がないことがわかりました。このことから、風荷重低減型防音工の風荷重に関する性能目標値は、「防音工が受ける風荷重を3kPaから1.5kPaに小さく（風荷重を50%低減）すること」としました。

風荷重低減型防音工の構造

以上のような性能を満たすような風荷重低減型防音工は、どうすれば実現できるでしょうか。これまでも風による荷重を小さくしながら騒音も小さくすることを目的とした材料の研究³⁾は行われてきました。ルーバーのように、あらかじめ隙間を持っていてそこから風を通り抜けさせる防音材がひとつの候補と考えられます。しかし、この方式の材料では、同時に騒音も沿線側に通り返れることになります。また、風荷重を小さくする性能を高めるためには隙間を増やす必要がありますが、そうすると材料の遮音性能は低下します。逆に、材料の遮音性能を高めるには隙間はできるだけなくす必要がありますが、風荷重は小さくなりません。この方式では、遮音性能を高めることと風荷重を小さくできることは矛盾した課題となり、遮音性能を16dB以上とすることと風荷重を50%小さくすることを同時に満たすこと

は困難に思えます。

その他、防音板が普段は閉じていて、強風が吹いた時だけに板を機械的に開け、板が受ける風荷重を小さくする機能を持った装置の開発も進められていますが、現状では大がかりで複雑な構造となり、上述の条件③の奥行きを200mm以内にすることや、⑥の保守を簡単にするという条件は満たせません。

そこで、図4のような新たな構造を考案しました。この風荷重低減型防音工は防音板と支柱からなり、防音板の上辺は回転軸により支持されています。防音板の残りの3辺、すなわち、下辺および左右辺は磁石の磁力で固定されています。そのため、無風の時あるいは風荷重が所定の値（1.5kPa）以下の時には防音板は固定されていて、普通の防音板なみの、目標とした16dBを十分に上回る遮音性能（例えば500Hzで34dB）が得られます。一方、風荷重が1.5kPa（風速約35m/s）を超えると、風荷重は防音板周辺の磁力による固定力より強くなり、防音板が開きます。これによって、防音板は風荷重をほとんど受けなくなり、風速約49m/sの強風時でも防音板と支柱にかかる風荷重を1.5kPa×（防音板と支柱における全面積）以下におさえられます。

ところで、風速35m/sの風とは車両が走行できない強風です。すなわち、風荷重低減型防音工の防音板は車両走行時には開かず、車両が走行できないような強風の時に開くということになります。

風が止むと防音板はもとの位置に戻り、再び磁力で固定され、遮音性能を発揮します。

現在実施されているかさ上げ用防音板の材料には、車両

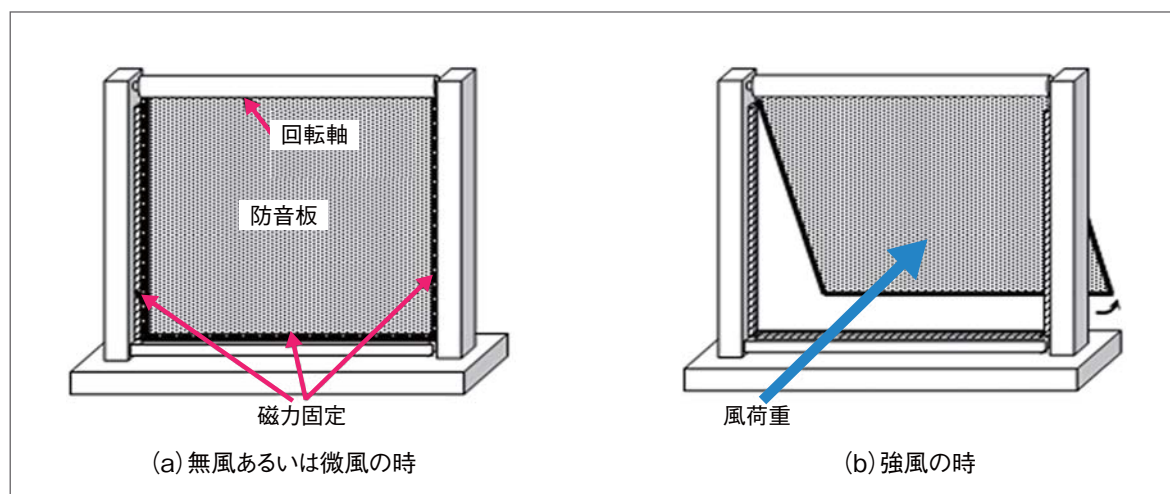


図4 風荷重低減型防音工の構造

の窓から景色が見えるようにするなどのために、透明な樹脂（ポリカーボネート）が用いられています。風荷重低減型防音工でも実用化を考えた場合には透明樹脂板を用いることとしていますが、次に述べる試作品では当面の検討用として、フェノール樹脂板（縦300mm×横300mm×厚さ4mm）を用いています。

風洞試験による確認

考案した風荷重低減型防音工について、実際に、無風や風が弱い時には防音板が閉じていて、所定の強さ（1.5kPa）以上の風が吹いた時に防音板が開くかを確認するため、小型風洞（開放型）で試験を行いました。試験品では防音板の下辺および左右辺の固定用の磁石としてネオジウム製の磁石を用いました。1辺につき最大10個まで配置できる大きさ（縦17mm×横12mm×厚さ5mm）の磁石を用い、その個数を変えることにより防音板を固定する力の大きさを調整しました。

風洞試験の方法は以下のとおりです。試験品を風の吹出口より約1m離し、風が防音板を含む試験品全体に垂直に当たるように試験品を固定します。風速を0m/sから36m/sまで徐々に変化させ、防音板が開くかどうか、および開いた時の風速などを記録します。図5に風洞試験の状況を示します。

試験の結果、試験品は磁石の個数にかかわらず、風が弱い時には防音板が閉じたままで、風荷重が一定以上になると防音板が開くことを確認しました。磁石を底辺に6個および左右辺に4個ずつ配置するなど、防音板が所定の強さ（1.5kPa）の風で開くようにできる磁石の設置の仕方が複

数あることもわかりました。

おわりに

今回紹介した風荷重低減型防音工については、現在、実用化に向けて、次のような検討を行っています。

- ①防音板が開いた後、風が弱まると防音板が速やかに戻るための機構を加える。
- ②鉄道軌道では車両走行に伴って鉄粉の汚れが多く分布していることが考えられるが、磁石固定部がそれらの汚れで早期に劣化しないようにカバーを付ける。
- ③回転部の耐久性を疲労試験により評価する。
- ④米原にある大型低騒音風洞で実物大サイズの試験品の動作確認を行う。
- ⑤本防音工は過去の測定例などを参考に車両の通過時に防音板が開かないように設計しているが、車両通過時の列車風のデータをさらに集めるなどして、使用時の安全性を高める工夫を行う。

今後も、新たな機能を持つ材料を開発したり、材料がもっている機能を高めたりするなどの検討を通じて、鉄道沿線騒音の低減に役立つ材料の開発を目指します。RRR

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, p.5-10, 2000
- 2) 佐藤大悟, 半坂征則, 間々田祥吾, 鈴木実: 風圧緩和防音工の基礎的検討, 鉄道総研報告, Vol.25, No.11 (2011発行予定)
- 3) 渡辺義則, 吉田勇, 久保喜延, 加藤九州男: 風の抵抗の低減を考慮した防音壁の基礎的研究, 土木学会論文集, No.530/IV-30, p.117-122, 1996

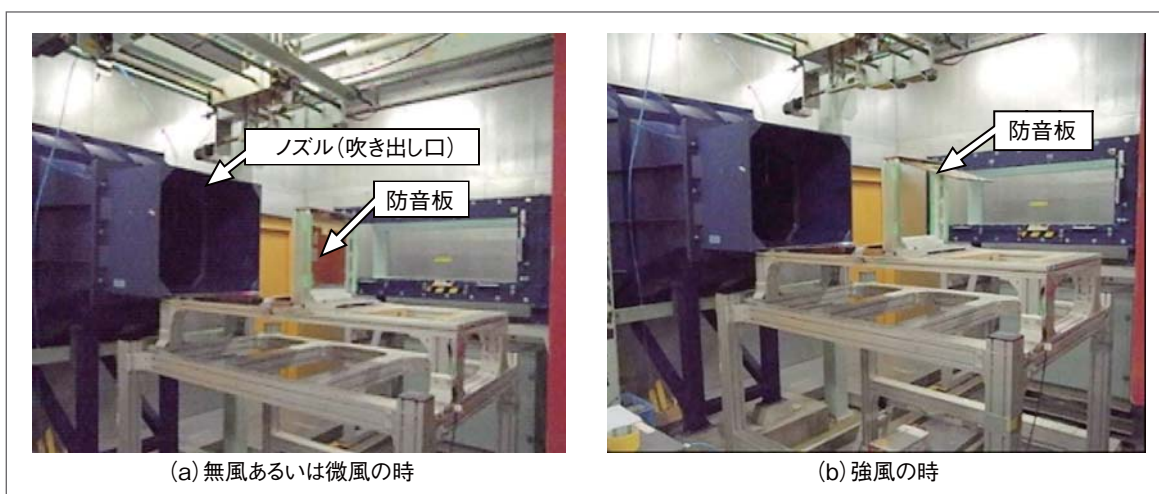


図5 風洞実験の状況