

風荷重低減型防音板の提案

材料技術研究部 防振材料研究室
室長 半坂 征則

1. はじめに

近年、鉄道の高架橋では車両の高速化や沿線における高層建築物の増加などの理由から、防音壁を大幅に高くすることが求められている。防音壁を高くすると風荷重による負荷が増大し、施工対象とした構造物において強風時に設計限界値を上回る可能性がある。したがって、これまでは防音壁を大幅に高くするためには構造物本体の補強を行うなど、既設構造物に対して大規模な工事を行う必要があった。これに対し、通常時には高い騒音低減性能を持ち、強風時には構造物に対する負荷を大幅に低減する防音板（以下、風荷重低減型防音板とする）ができれば、構造物に対して大規模な工事を行うことなく防音壁の大幅な嵩上げが可能となると考えられる。既存の防音材料等で風荷重低減機能と防音機能を兼ね備えた材料について調査したところ、所定の性能を満足するような材料は見出されなかった。そこで、新たに風荷重低減型防音板の構造を検討し、樹脂板と永久磁石の磁力吸着力を利用した構造を考案した。この防音板は通常時には閉じていて必要な騒音低減性能を保持し、構造物の設計限界値を超えるような強風時（風荷重 1.5kPa ・風速約 35m/s 以上）には開いて風による負荷を大幅に低減する。

以下に、風荷重低減型防音板の概要を述べるとともに、その性能を検証するために行った各種実験結果について報告する。

2. 性能・構造上の条件と構造

2.1 性能・構造条件

風荷重低減型防音板に必要な性能および構造上の主な条件として、次の4点が挙げられる。

- ① 材料の遮音性能（音響透過損失）は 16dB 以上である。
- ② 防音板の風荷重低減性能は 50% 以上（ 3kPa の風荷重を 1.5kPa に低減）である。
- ③ 防音板の奥行は 200mm 以内である。
- ④ 設置後に多大なメンテナンスは不要である（労力の目安として構造物の定期検査に併せて安全を確認する程度）。

①は、これまでの実績等に基づき、防音壁の嵩上げ（既設防音壁の上に防音板を設置して高さを積み増すこと）による騒音低減効果として 5dB 以上の値が求められることを考慮したものである。文献(1)による新幹線騒音予測手法を用いて沿線騒音を計算した結果、 360km/h で走行した場合でも防音壁の嵩上げによる騒音低減効果が 5dB 以上となるために①が必要であることがわかった。

②は、構造物の強度照査を行い、防音壁嵩上げ後、平板受風面に対して 3kPa の風荷重が発生する強風（約 50m/s ）時でも構造物全体の安全が保証される条件を求めたものである。

③、④は鉄道事業者の要望等に基づくものである。

これらに加えて、鉄道事業者からの要望も考慮して、鉄道沿線への高層建築物にも効果がある対策として既存の高さ 2m の防音壁上に 3m の防音板を嵩上げすることを当面の目標とした。

2.2 構造

図1に、新たに考案した風荷重低減型防音板の構造を示す。防音板の上辺を回転軸で支持し、他の辺のすべて、あるいは一部の辺を永久磁石で固定する。防音板に 1.5kPa 以上の風荷重が作用すると防音板は回転軸周りに開き、防音板を介して構造物に伝えられる荷重を大幅に低減する。

ここで、風荷重とは一様な面分布を持つ風圧を意味し、風速と次式の関係を持つ。

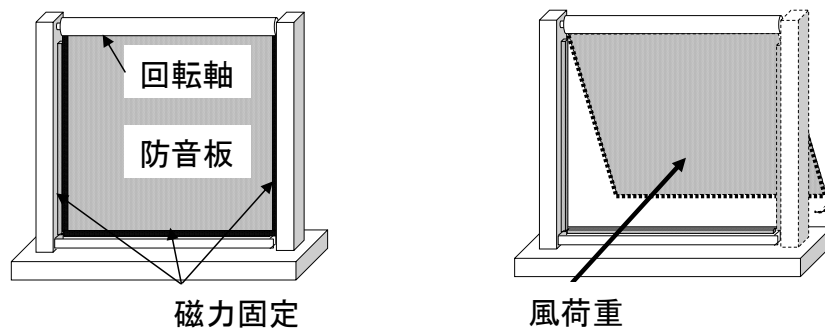
$$p_E = \frac{1}{2} \rho C_D v^2 \quad (1)$$

ここに、 p_E は一様な面分布な風荷重(Pa)、 C_D は抗力係数（一様平板に対しては 2.0）、 ρ は空気密度(約 1.23kg/m³)、 v は風速(m/s)である。

式(1)より、1.5kPa は約 35m/s、3kPa は約 50m/s のときの風圧に相当することがわかる。

考案した防音板は支持部材を含め奥行きを 200mm 未満とすることができる。また、煩雑なメンテナンスを要する部品は用いていない。

防音板が開く 35m/s 以上の条件下では強風のため車両は走行していない。一方、車両通過に伴う風荷重は将来的に速度向上した場合でも 1kPa 未満であると推定されており²⁾、車両走行時に防音板が開くことはないと考えられる。ただし、本防音板の実用化に当たっては、車両走行時の防音壁嵩上げ部に作用する風荷重のデータをさらに蓄積し、車両走行時に防音板が開かないよう信頼性の向上を図ることとする。



(a) 通常時（風荷重 1.5kPa 未満） (b) 強風時（風荷重 1.5kPa 以上）

図1 風荷重低減型防音板の基本構造*

*) 図では回転軸以外の3辺を磁力固定した状況を示すが、下辺等一部のみを磁力固定してもよい。

3. 検証実験

風荷重低減型防音板の性能に対して試験品寸法の与える影響は小さくないため、実用化を目指す段階では実用サイズの試験品での検証が必要である。その一方で開発の初期段階では材料と構造を試行錯誤的に検討する必要があるため、その段階で模型試験品（300mm×300mmの防音板を使用）の実験を行い、その結果を踏まえ実用サイズの試験品（以下、実用試験品とする）による実験を行った。ただし、本稿では実用試験品による実験の概要について述べる。

3.1 試験品の概要

図2に実用試験品の外観を示す。風荷重低減型防音板を用いて実際に既設防音壁を嵩上げする際には、2.96m（線路方向）×1m（高さ方向）の板を1単位として、それを3枚積み上げることを想定している。このうち、1単位を模擬する試験品を試作した。

実用試験品は、2枚の鋼製支柱の間に、周辺に鋼製内枠を取り付けた厚さ 8mm のポリカーボネート（PC）製防音板と鋼製外枠からなる防音パネルをはめ込んだ構造とした。防音板と内枠は上辺を回

転軸で支持し、防音板に取り付けた内枠と外枠の下辺の相対する箇所それぞれネオジム系永久磁石を設置した。実用試験品では防音板を回転可能な構造とする一方で防音壁嵩上げ用とするため、次の2点を工夫した。

- ① ネオジム系磁石は内枠と外枠の離れた箇所に取付け、防音板の開閉動作に支障しないようにする。
- ② ①に伴い防音板下辺では隙間が生じ、下辺以外の3辺も完全に接合されておらず、防音板周辺では微少な隙間があるため、音漏れ防止のために防音板の4辺に帯状のゴムを貼付する。

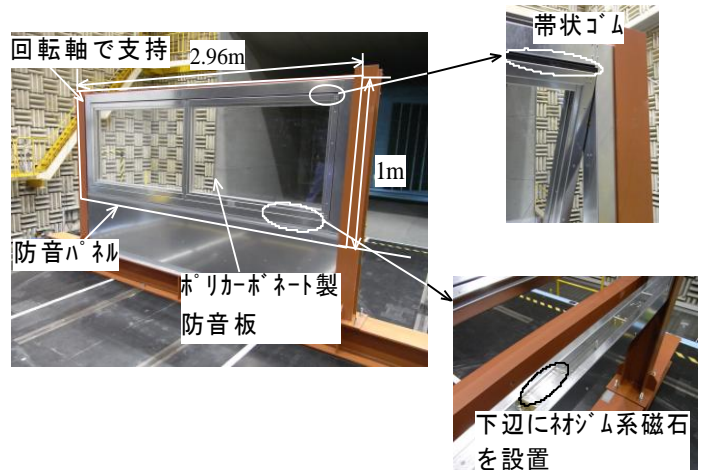


図2 実用試験品の外観

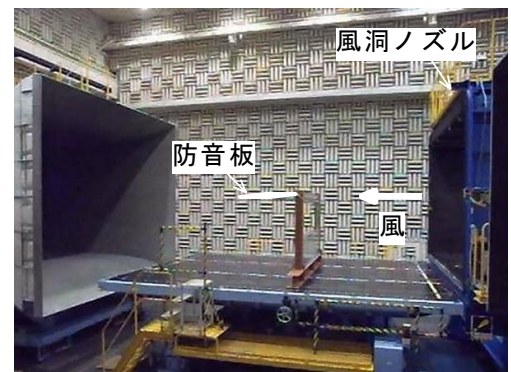
3.2 風洞実験

実用試験品で防音板に風荷重を作用させたときの挙動を検証するために、鉄道総研の大型低騒音風洞で風洞実験を行った。風洞実験の方法は以下のとおりである。

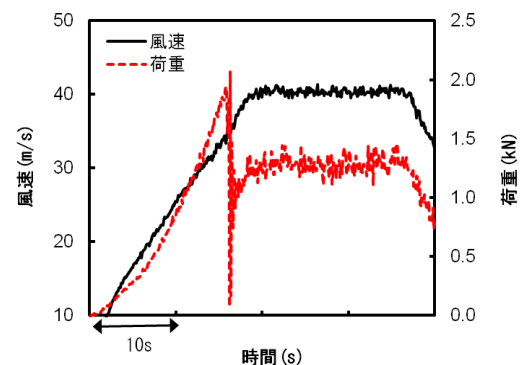
試験品を風洞ノズルより約3m離し、風が防音板を含む試験品全体に垂直に当たるよう固定した。試験品の内枠と外枠にそれぞれ設置した磁石間距離を変化させて実験を行い、防音板下辺に作用する磁力吸着力と防音板の開閉動作の関係を検証した。また、防音パネルとそれを支持する左右の鋼製支柱間に設置したひずみゲージ埋込式ボルトにより、防音パネルに対して垂直に作用する風荷重を測定した。

風洞実験の結果、いずれの磁力吸着条件でも風速が一定値以下のときは防音板は閉じており、一定値以上のときは開くことを確認した。また、防音板が開くときの風速は磁石間距離を小さくして磁力吸着力を高めると高くなり、防音板が概ね風速35m/s(防音板に対して約1.5kPaの風荷重が作用)で開くように調整できることも確認した。図3(a)に風洞実験状況の一例を示す。

図3(b)に、風速35m/sで防音板が開くように設定したときの、風速と防音パネルに作用する荷重の合計値の時間変動を示す。防音パネルに作用する荷重は35m/s未満のときでは風速の増加に伴って増加するが、風速約35m/s付近で大きく減少する。これは、風速35m/sのときに防音板が開き、防音パネルに作用する荷重が大幅に減少したことを示している。本実験では設備運用上の理由等から風速40m/s止まりとしたが、構造物に設計風荷重3kPaが作用する強風時(50m/s程度)に防音パネルに作用する全荷重値 F_L を式(2)により計算した。その結果、 F_L は約2.1kNと、構造物の荷重限界値4.5kN(1.5kPa×防音パネル全面積約3m²)以下になると見積もられた。



(a) 実験状況 (風速 35m/s 以上)



(b) 風速と防音パネルに対する水平荷重

図3 大型低騒音風洞での実験結果

$$F_L = p_L S_F + p_L S_R \sin \theta \quad (2)$$

ここで、 p_L は構造物の設計風荷重 (3kPa)、 S_F は固定部 (外枠や支柱) の部材面積 (m^2)、 S_R は回転部 (防音板と内枠) の部材面積 (m^2)、 θ は防音板と鉛直方向との間の角度で、回転部の自重と風荷重のつりあい等を考慮して 85° とする。

3.3 遮音性能の測定

風荷重低減型防音板では、防音板が閉じているときは高い防音性能を持つことが求められている。実用試験品で防音板が閉じているときの遮音性能 (音響透過損失) を JIS A 1441-1: 2007 (音響インテンシティ法による建築物及び建築部材の空気遮音性能の測定方法) に基づき測定した。その結果、実用試験品で防音板が閉じているときの遮音性能は、すべての周波数帯域で当初目標とした 16dB を十分に満たし、現用の防音壁嵩上げ材料 (厚さ 8mm の PC 板) 並みかそれ以上 (500Hz~1kHz で 29~32dB) の遮音性能を示すことを確認した。

4. まとめ

構造物を大規模に補強することなく防音壁の大幅な嵩上げを可能にするために、風荷重低減型防音板の検討を行い、以下の知見を得た。

- (1) 上辺を回転軸で支持し他の 3 辺の一部または全部を磁力固定した構造の防音板を考案した。これは防音板が通常時には閉じていて高い騒音低減性能を持つ一方で、防音壁を嵩上げた構造物において設計限界値を上回ることが懸念される強風時 (風荷重 1.5kPa、風速約 35m/s 以上) に開き、構造物への負荷を低減するものである。
- (2) 3m×1m の実用サイズの試験品 (以下、実用試験品) を試作し、大型低騒音風洞による風洞実験を行い、防音板は風荷重が小さいときには閉じていて、1.5kPa 相当の風荷重作用時に開くように設定できることを確認した。
- (3) 実用試験品に対して遮音性能の測定を行った結果、防音板が閉じているときの遮音性能は、現在防音壁の嵩上げに使われている材料並みかそれ以上であることがわかった。

風荷重低減型防音板の基本形は開発できた。今後、防音壁嵩上げ用として実用化するには、長期間屋外で使用するための耐久性・信頼性評価や、防音板が風で開いたときに発生する可能性があるフラッター現象の検討、などの課題があり、引き続き取り組んでいくこととしたい。

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) 齋藤聡, 秋山保行, 杉本一郎: 高速化に伴う防音壁アンカーの疲労に関する一考察, 第 60 回土木学会年次学術講演会, 2005