

遮音板配列型騒音制御システムの開発

1. はじめに

高速化が進む鉄道車両において、車内の快適性向上の要求はますます高くなってきている。車内騒音の低減手法として、内装透過音に対し能動制御の適用を考えると、鉄道車両の内装板の振動状態や客室内の騒音特性が走行速度や区間によって逐次変化するという条件を考慮する必要がある。これまでの主な壁面透過音制御法は、対象壁面（以下、対象板）の振動状態あるいは透過音の特性を同定することを前提としているため、そのまま鉄道車両システムに適用することは極めて難しい。

そこで、筆者らは軽量でかつ対象板の振動や透過音の特性の同定を必要としない壁面透過音制御システムの開発を行っている。

2. 騒音制御システムの概要

騒音制御システムの断面図を図1に示す。圧電材料を貼付した小型平板（以下、遮音板）を平面状に配列し、パネル（以下、騒音制御パネル）を構成する。この騒音制御パネルを対象板の入射音側に密閉した空気層を設けて取り付けられる。

音響エネルギーが騒音制御パネルに入射すると、遮音板に振動が発生する。遮音板の振動を制御回路で一律に制御し、騒音制御パネルの透過音を抑制する。その結果、空気層内の騒音が小さくなり、対象板の透過音が低減する。

制御帯域は数百 Hz 以下の低周波域が有効と考えられる。これは鉄道車両では 200~400Hz 帯がピークであることが多いことと、また、一般的に高周波域は遮音材や吸音材などの質量則を用いた対策で十分効果が得られるためである。鉄道車両以外にも、低周波域の騒音対策は困難であることが多く、幅広い分野への適用が可能である。

3. 主な特徴

この騒音制御システムについて、三つのポイントについて紹介する。

(1) 本騒音制御システムの制御対象を、これまでの壁面透過音制御では前提条件として扱っていた入射音としたことである。ここでは、騒音制御パネルの透過音を制御することで、空気層の音響エネルギーが低減し、壁面への入射音を小さくしている。その結果、対象板が高次モードで振動している状

態や、あるいは厚い部材でも、入射するエネルギーが小さくなることにより出力である透過音が低減する。よって、対象板の振動状態等の同定を行う必要がなく、騒音制御パネルを空気層を設けて対象板に取り付けることで騒音を低減することができる。

(2) 遮音板の大きさである。遮音板を、対象周波数域において、最も単純な振動状態である (1,1) モード（中心部が振動の腹である振動状態）で振動するように設定する。圧電材料を中心部に貼付し、制御力を印加することで、(1,1) モードの振動を低減する。これまでの圧電材料を用いた騒音・振動低減法は、対象板に直接圧電材料を貼付し、対象板の振動状態に応じて貼付位置と制御力の最適化を行い、対象板の振動を抑制するものであった。本騒音制御システムでは、圧電材料を貼付した遮音板を配列するだけの、単純な構造である。

(3) 圧電材料の制御法についてである。制御装置が複雑で高価では、実用性が損なわれる。そこで、アナログ回路による簡単な制御で広帯域の騒音低減を図る。ここで、圧電材料にインダクタンス回路を接続すると、圧電材料が持つ静電容量との間で共振回路が構成される。この時、圧電材料が貼付されている対象の構造物（主系）には、機械式動吸振器が取り付けられたのと等価な状態となる。一般に機械式動吸振器では、主系に対し小さな付加質量を取り付けることを前提とするために、主系の固有振動数を中心とした狭帯域に振動低減効果が制約される。しかし、本騒音制御システムでは電気回路で付加質量を等価的に構成するため、付加質量やばね等各要素の大きさに依存して実際のシステムの形状や重量が変化することがない。また、主系質量に対する質量比や共振周波数を電気回路で簡単に調整することができる。

そこで、等価付加質量を極力大きく設定し、さらに遮音板の固有振動数と電気回路の共振周波数を変えて設定すると、広周波域の透過音を低減できることがわかった。図2に、騒音制御パネルをアルミ板に適用したときの騒音低減効果を示す。遮音板の振動低減効

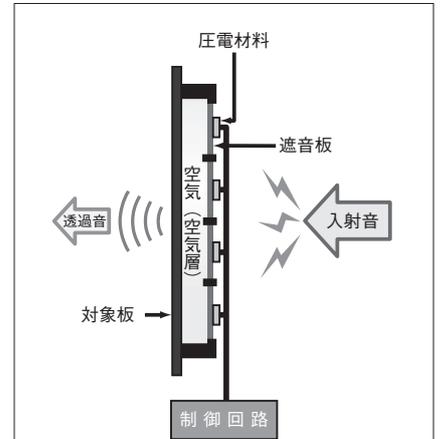


図1 騒音制御システム断面図

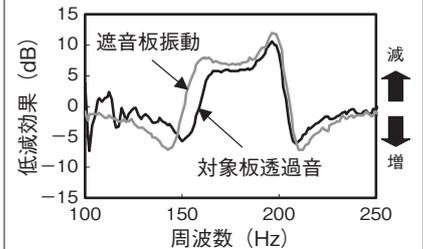


図2 騒音制御パネル制御特性

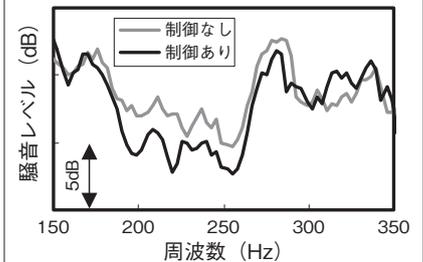


図3 新幹線デッキ部騒音低減試験結果

果および壁面透過音が、150~200Hzにおいて低減することを確認した。

3. おわりに

騒音制御システムを試験的に鉄道車両のデッキ部の内装板に取り付けたところ、図3のとおり、走行中の車内騒音が180~300Hzにおいて最大4dB低減した。すなわち、鉄道車両という騒音制御にとって困難な条件においても効果的であるという結果を得た。今後、遮音板形状や制御特性の最適化を行い、さらなる制御帯域の拡大と騒音低減効果の向上を進める予定である。

(原稿受付 2008年10月6日)

[山本克也 (財)鉄道総合技術研究所]