

## 多孔質材貼付による集電部空力騒音の低減

環境工学研究部 騒音解析  
研究員 末木健之

### 1. はじめに

高速鉄道車両の空力騒音低減のためには、部材の簡素化や形状の平滑化等の方法が主に用いられているが、機能上の問題や空力特性等の制約から大きな形状変更が困難な場合がある。そこで、多孔質材を物体表面に貼付することにより、形状変更を必要としない空力騒音低減手法を提案した。円柱による基礎試験を経て集電部への適用を試み、これらの空力騒音の低減が可能であることを風洞試験により明らかにしたので、その内容について紹介する。

### 2. 多孔質材

多孔質材には多様な種類があり、それぞれの特性に応じた使用がなされている。多孔質材は大きく分類すると、気孔同士が独立であり連通していないクローズドセルタイプと気孔同士が連通しているオープンセルタイプに分けられる。本手法では、図1に示すような三次元骨格網状構造を持ち、90%以上の高い空隙率を有するオープンセルタイプの多孔質材を用いる。図1に示す多孔質材は金属製であるが、同じ構造、空隙率を有するウレタン製も使用する。3.1節で後述するが、金属製多孔質材とウレタン製多孔質材は同等の空力騒音低減効果を有している。鉄道車両用途では金属製多孔質材の使用が可能であるが、ウレタン製は耐久性等の面から使用が困難である。しかしながら、安価で取り扱いが容易であることから、金属製多孔質材の代わりにウレタン製多孔質材を使用して評価を行うことが可能である。

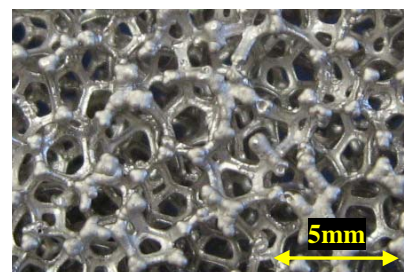


図1 金属製多孔質材

### 3. 円柱を用いた基礎検討

#### 3.1 円柱から発生する空力騒音の低減

パンタグラフへの適用に先立ち、図2に示す円柱を用いて風洞試験を行い、空力騒音低減効果を確認した。試験は①直径25mmの円柱(以下、 $\phi 25$ 円柱と表記)のみ、②直径45mmの円柱(以下、 $\phi 45$ 円柱と表記)のみ、③ $\phi 25$ 円柱に厚さ10mmのウレタン製多孔質材を貼付、④ $\phi 25$ 円柱に厚さ10mmの金属製多孔質材を貼付、の4種類で行った。風洞試験は鉄道総研が所有する大型低騒音風洞の開放型測定部にて行い、円柱から5m離れた位置に無指向性マイクロホンを設置し、風速300km/hにおける空力騒音を測定した。



図2 円柱供試体

図3に1/3オクターブバンド分析を行い、周波数重み付け特性Aを施した無指向性マイクロホンの測定結果を示す。図3より、 $\phi 25$ 円柱へ多孔質材を貼付することにより大幅に空力騒音が低

減されることがわかる。また、 $\phi 45$ 円柱と比較してもその違いは明らかであり、空力騒音低減効果が外形状の影響によるものではないことがわかる。さらには、ウレタン製多孔質材と金属製多孔質材ではほぼ同一の結果であり、空力騒音低減効果は材質に依存しないことが判明した。

### 3.2 空力騒音の低減理由

空力騒音は気流中に生じる非定常な渦によって引き起こされることが知られており<sup>(1)</sup>、渦の強さや渦の時間変動を抑制することにより低減される。そこで、円柱背面の流れ場を測定し、多孔質材の貼付により空力騒音が抑制される理由を検証した。

図4は円柱の後流を粒子画像計測法（PIV）によって流れ場を測定した結果のうち、(i)主流速度とx方向の平均流速の比 ( $u_{mean}/U$ )、(ii)y方向の乱れ度 ( $v_{rms}/U$ )、を示したものである<sup>(2)</sup>。図4(a)に示す $\phi 25$ 円柱では、円柱の背後に逆流領域が存在し、y方向の乱れ度が大きいことがわかる（この乱れは渦に起因している）。一方、図4(b)に示す $\phi 25$ 円柱に多孔質材を貼付した条件では、流れが大きく変化しており、円柱の背後に流速がほとんど零で乱れ度も小さい領域が広がっていることが大きな特徴である。また、後流領域と主流との間に形成されるせん断層では、渦そのものは存在するものの、渦の時間変動が極めて小さいということがわかっている。前述の通り空力騒音の発生源は非定常な渦であるが、多孔質材を貼付した場合、渦の時間変動が小さくなるために空力騒音が低減することが明らかとなった。

## 4. 実機パンタグラフへの適用

### 4.1 適用パンタグラフ

基礎検討により、多孔質材の貼付が空力騒音低減に対して有効であることが明らかとなったため、実機パンタグラフへ適用を試みた。供試体として2種類の新幹線用パンタグラフ（Type1、Type2）を用意し、鉄道総研の所有する大型低騒音風洞を使用してそれぞれの多孔質材貼付による空力騒音低減効果を調べた。

### 4.2 多孔質材の貼付位置

図5の黄色矢印に示すFRPカバーの表面へ多孔質材を貼付した。Type1についてはFRPカバー

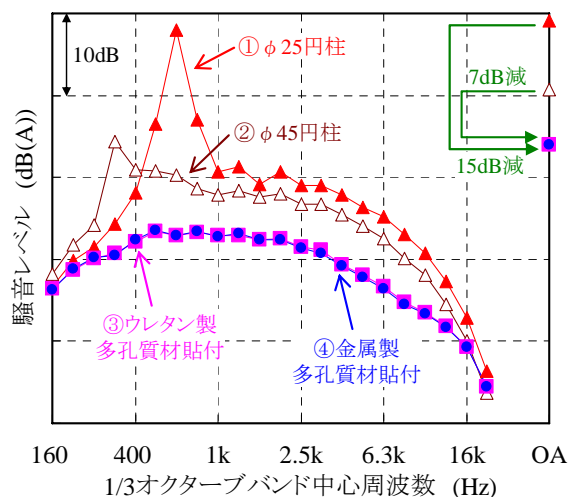
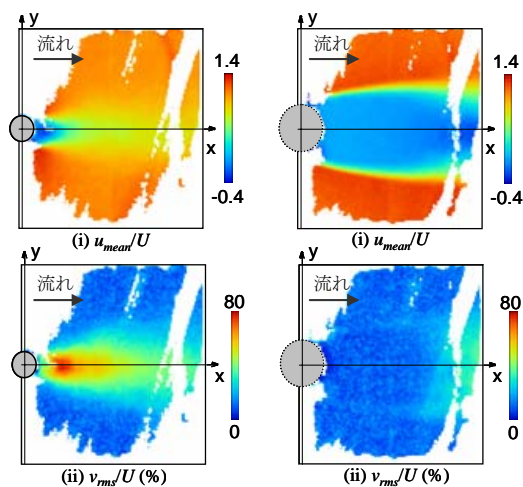
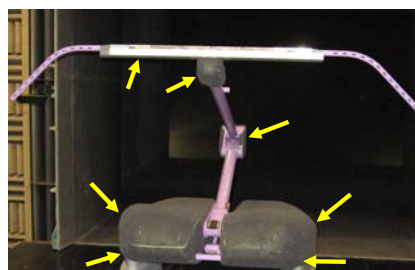


図3 円柱から発生する空力騒音の測定結果

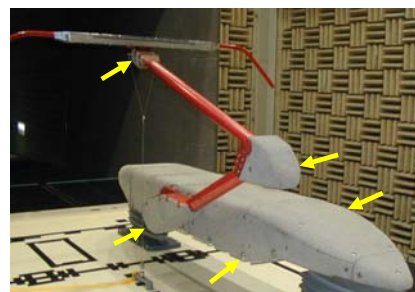


(a)  $\phi 25$  円柱 (b)  $\phi 25$  円柱に多孔質材貼付

図4 円柱後流の速度分布



(a) Type1



(b) Type2

図5 多孔質材を貼付したパンタグラフ

以外に舟体の底面へも多孔質材を貼付している。なお、製作上の都合により、Type1 にはウレタン製多孔質材を、Type2 には金属製多孔質材をそれぞれ貼付しているが、3.1 節で述べたように材質の違いによる空力騒音低減効果の違いはほとんど無いと考えられる。

#### 4.3 風洞試験による空力騒音低減効果の確認

Type1 については風速 300km/h、Type2 については風速 360km/h で風洞試験を行い、パンタグラフすり板上面と同じ高さで、パンタグラフ中心からまくらぎ方向へ 5m 離れた位置へ無指向性マイクロホンを設置して空力騒音の測定を行った。また、多孔質材貼付による音源分布の変化を調べるため、直径 4m のホイール配列型マイクロホンアレイ<sup>(3)</sup>を使用した (Type2 のみ測定を実施)。

図 6 に 1/3 オクターブバンド分析を行い、周波数重み付け特性 A を施した無指向性マイクロホンの測定結果を示す。この結果、多孔質材の貼付により Type1 で約 3dB、Type2 で約 1dB の空力騒音低減効果が得られた。また、図 7 に示す音源分布図より、多孔質材を貼付した部分の音圧レベルが小さくなることが確認できた。なお、パンタグラフの種類により空力騒音低減効果が異なるのは、全体の空力騒音に対する台枠付近の空力騒音の寄与が Type1 と Type2 で異なるためであり、台枠付近の空力騒音の寄与が小さい Type2 では多孔質材貼付の効果が小さくなるためである。

さらに、金属製多孔質材を貼付したパンタグラフを使用して高速走行試験を行い、条件により差があるものの、パンタグラフから発生する騒音の低減が可能であることを確認している<sup>(4)</sup>。

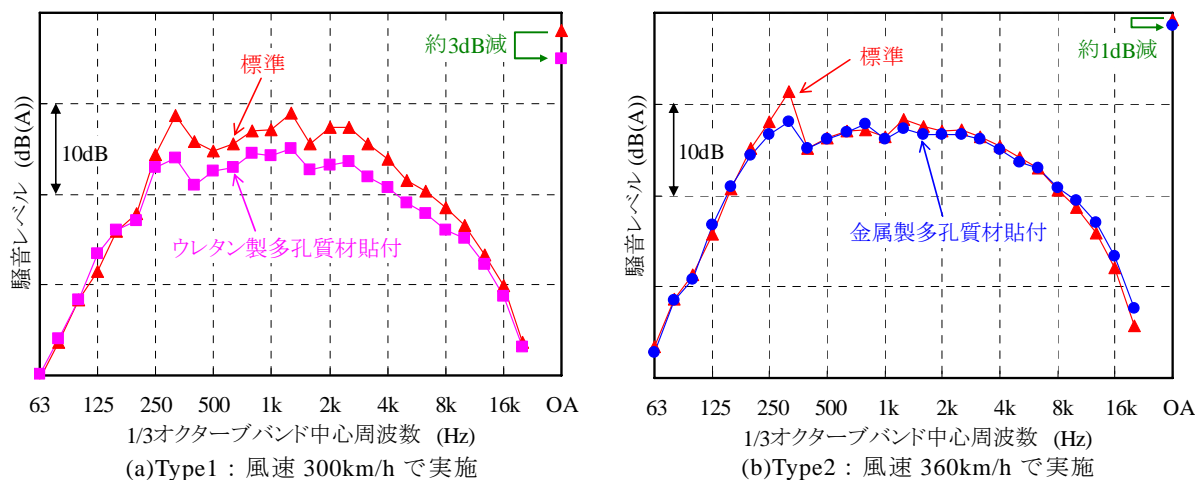


図 6 多孔質材貼付によるパンタグラフ空力騒音の変化

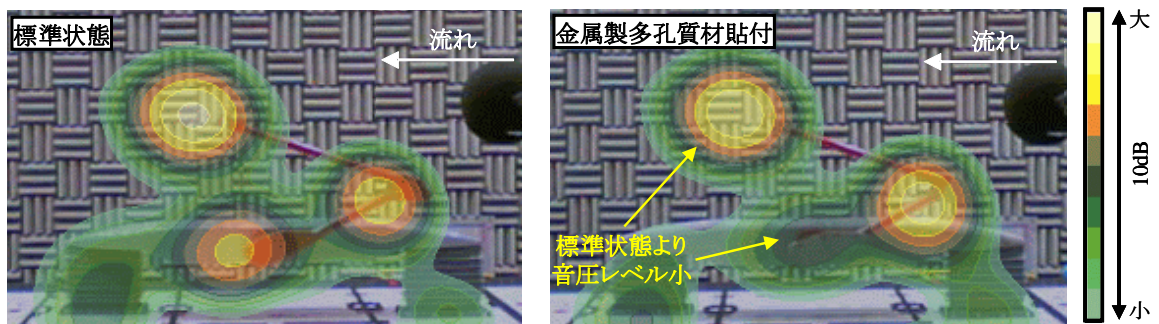


図 7 多孔質材貼付による音源分布の比較 (Type2、360km/h、1kHz～1.25kHz バンド)

### 5. パンタグラフ碍子オオイへの適用

#### 5.1 碍子オオイと多孔質材貼付位置

パンタグラフから発生する空力騒音を低減するために、パンタグラフの台枠やパンタグラフの碍子周辺を覆う碍子オオイが設置される場合があるが、この碍子オオイ自体が集電部騒音の 1 つ

の騒音源となる場合がある。現在の碍子オオイの多くはキャビティと呼ばれる形状をしており、上流側からの流れが下流側の縁に衝突することや、流れがキャビティ内部へ入り込み圧力変動のフィードバックループが構成されることにより空力騒音が発生するためである。そこで、多孔質材の貼付により碍子オオイの空力騒音が低減されるか検証を行った。なお、風洞試験により検証を行うため、碍子オオイ模型（実車の 1/3 程度の寸法）を使用し、パンタグラフ模型等は設置せずに碍子オオイ模型のみを評価対象とした。

図 8 は碍子オオイ模型へウレタン製多孔質材を貼付した状態を示したものである。多孔質材貼付位置はスロープ部ならびに外側の側壁全面、キャビティ内部の側壁全面とした。

## 5.2 風洞試験による空力騒音低減効果の確認

風速 300km/h で風洞試験を行い、碍子オオイ模型中心からまくらぎ方向へ 5m 離れた位置へ無指向性マイクロホンを設置して空力騒音の測定を行った。

図 9 に空力騒音測定結果を示す。この結果は、実車相当の測定結果とするために無指向性マイクロホンより得られたデータに縮尺換算を行い、周波数重み付け特性 A を施したものである。図 9 より、多孔質材の貼付により広い周波数帯にわたり騒音レベルが低減することが確認でき、オーバーオール値で約 3dB 低減することを確認した。

このように、多孔質材貼付による空力騒音の低減は、円柱やパンタグラフ以外にも有効であり、空力騒音対策として幅広く適用できる可能性が示された。

## 6. まとめ

多孔質材を物体表面に貼付することにより、形状変更を必要としない空力騒音低減手法を提案した。円柱ならびに実機パンタグラフ、碍子オオイ模型を用いて風洞試験により空力騒音低減効果を検証した結果、いずれも空力騒音が低減され、多孔質材貼付により集電部空力騒音の低減が可能であることを明らかにした。

この方法は空力騒音対策として幅広く活用できるものと考えており、空力騒音のさらなる低減や幅広い分野での実用化を目指し、より詳細な空力騒音低減メカニズムの解明や金属製多孔質材の貼付方法改良等について研究を進めていく予定である。

## 参考文献

- (1) Alan Powell: Theory of vortex sound, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 36, No. 1, pp. 177-195, 1964
- (2) 高石武久、末木健之、池田充：物体表面への多孔質材適用による空力音低減手法（第 2 報：後流と吸音特性の測定結果）、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集、No. 104、2007
- (3) 宇田東樹、高石武久、末木健之：多孔質材を用いた車外および車室内騒音の低減、2007 年自動車技術会秋季大会学術講演会前刷集、No. 125-07、pp. 17-20、2007
- (4) 末木健之、池田充、高石武久、栗田健、山田晴夫：金属製多孔質材付き高速用パンタグラフの空力音低減効果、第 18 回環境工学総合シンポジウム 2008 講演論文集、No. 108、2008

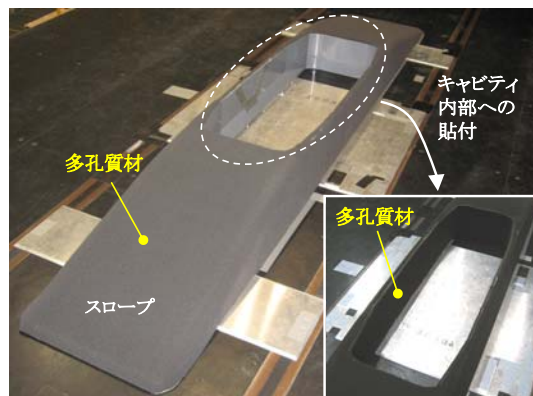


図 8 多孔質材を貼付した碍子オオイ模型

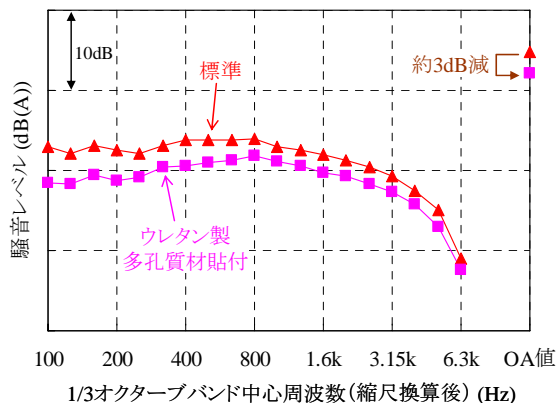


図 9 碍子オオイ模型の空力騒音測定結果