

パンタグラフ 遮音板の開発



若林 雄介*



栗田 健*



堀内 雅彦*

新幹線専用高速試験車「FASTECH360S」では、パンタグラフ周辺から発生する騒音の低減を目的にパンタグラフ遮音板を設置している。本研究では遮音性能が高く、遮音板自身が騒音源とならない遮音板の開発を行った。はじめに、音響シミュレーション及び縮尺模型による風洞試験を実施して遮音板の形状を開発した。そして、開発した形状の遮音板を試験車両に搭載し騒音低減効果の確認を行った。開発当初のZ形遮音板では、高い遮音性能があるものの、遮音板端部から大きな空力騒音が発生し、十分な性能を得られなかった。そこで、遮音板形状の開発に再度取り組んだ結果、パンタグラフ周辺からの騒音を4dB程度低減できる遮音板形状を得た。

●キーワード：新幹線、高速化、パンタグラフ遮音板、騒音低減、空力騒音

1. はじめに

新幹線車両の集電系騒音を低減するために、従来はパンタグラフの周りを囲う大型のパンタグラフカバーを取り付けていた。しかし、高速化に伴い、パンタグラフカバー自体の空力騒音も問題となるため、近年では低騒音タイプのパンタグラフや低騒音得子¹⁾が開発され、パンタグラフカバーを省略している。

360km/hを技術目標として開発を進めてきた新幹線専用高速試験車「FASTECH360S」では、さらなる集電系騒音の低減が必要で、パンタグラフの低騒音化とともに、パンタグラフ遮音板（パンタグラフの両側に設置した遮音壁で、以下「遮音板」という。）を採用した。

本論文では、「FASTECH360S」の遮音板について、開発の経緯とその効果について述べる。

2. 遮音板形状の開発

2.1 遮音板の断面形状

車両限界及びパンタグラフからの絶縁離隔を考慮した上で、高い回折減衰効果が得られる断面形状を選定するために、音響シミュレーションを行った。図1に検討した断面形状の一例を示す。

音響シミュレーションでは、パンタグラフの音源を得子部、ヒンジ部、舟体部の3個の点音源に置き換え、2次

元の境界要素法による解析を行った。シミュレーションでは図2に示すように標準的な高架区間（高架の高さ7m、直壁防音壁の高さ2m）を想定し、軌道の中心から25m離れた地上1.2mの点を評価点として、各遮音板断面形状の騒音低減効果を解析した。

図3に各断面形状の評価点における周波数分布を示す。どの断面形状も、case [00]（遮音板なし）に対して500Hz以上の周波数域で大きく騒音が低減している。しかし、case [01]（平板形）では左右遮音板間の定在波と考えられる影響によって315Hz付近で十分な遮音性能が得られていない。

最終結果として、左右遮音板間での定在波を考慮しつつ、遮音板上端部の回折点が高く外側に張り出したcase

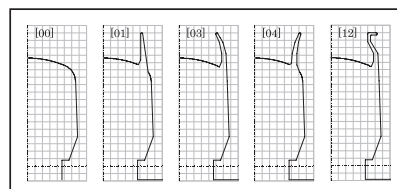


図1 遮音板断面形状案

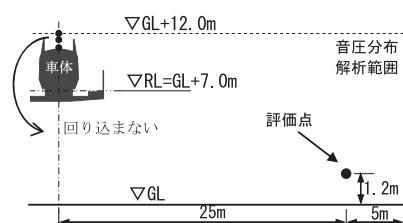


図2 音響シミュレーションの解析範囲と評価点

〔12〕が最も高い騒音低減性能を示し、case〔01〕に対して4dB程度の低減効果となった。以降では、このcase〔12〕の断面形状をもつ遮音板をZ形遮音板という。

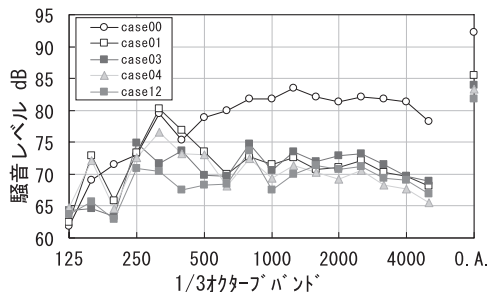


図3 評価点における周波数分布

2.2 遮音板の取付け長さ

遮音板の取付け長さと騒音低減効果の関係を調べるために、縮尺1/5の模型を用いて音響実験を行った。

実験ではパンタグラフの音源位置からノイズを発生させ、測定点を図4に示すように、軌道中心から枕木方向に実車換算で25m離れた点をP1点とし、P1点からレール方向に実車換算で150m離れたP9点まで移動させた場合の騒音を測定した。なお、測定室内では十分な距離が確保できないため、P5点からP9点まではP5'点からP9'点で測定し、測定点までの距離を補正した。

遮音板はZ形遮音板を用い、取付け長さは実車換算で3m、6m、9m、12mの4種類について行った。各測定点における騒音レベルを図5に示す。

遮音板長さ3mの場合、P1点において騒音レベルが他の

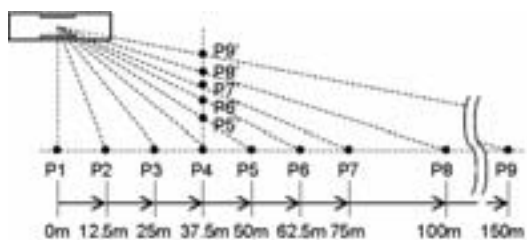


図4 騒音測定位置（実車換算）

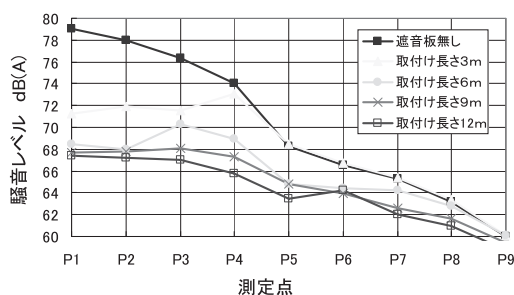


図5 遮音板取付け長さの違いによるレール長手方向の位置と騒音レベルの関係

長さの遮音板に対して高く、遮音板前後端部からの回折音が影響している。一方、遮音板長さ6m以上の場合、9mと12mの騒音レベルの差はどの測定点においても僅かであり、遮音板長さの延長による騒音低減効果は10m程度までである。

2.3 「FASTECH360S」の遮音板形状

Z形遮音板による集電系騒音の低減効果を確認するために、「FASTECH360S」では2号車と7号車にZ形遮音板を搭載し、高速走行試験を行った。遮音板の取付け長さは搭載可能な最大長である7mとした。図6に搭載したZ形遮音板を示す。



図6 「FASTECH360S」に搭載したZ形遮音板

3. 高速走行試験結果(2005年6月～2005年11月)

3.1 Z形遮音板

3.1.1 騒音測定結果

Z形遮音板の騒音低減性能を確認するために、スパイラルレイマイクロホン²⁾による音源分布測定を実施した。2号車遮音板付近の音源分布測定結果を図7に示す。

図より、中央のパンタグラフ舟体付近の音源の他、遮音板の前後端部に大きな音源があることがわかった。音源分布の1/1オクターブバンド周波数分析結果から、遮音板端部の音源は主に500Hzであることや、遮音板前後端部からのみ発生していることから、音源は遮音板端部における剥離渦が原因と考えられる。



図7 遮音板付近の音源分布測定結果（2号車付近 O.A.値）

「FASTECH360S」開発前のZ形遮音板開発時点では、過去の走行試験の結果から、集電系騒音に占める遮音板自身の空力騒音が相対的に小さいと推定し、遮音性能を

重視して開発を行った。しかし、新型低騒音パンタグラフを搭載している「FASTECH360S」では、パンタグラフからの騒音が大幅に低減し、遮音板自身の空力騒音が相対的に大きくなったと考えられる。そこで、集電系騒音を低減するために、遮音板自身の低騒音化として、Z形遮音板の端部の改良することとした。

3.1.2 端部形状の改良

Z形遮音板では遮音板前後端部に傾斜角がないため、剥離渦の位相が揃いやすく特定の周波数の騒音が発生しやすい。そこで、剥離渦の位相を制御するための小さな突起（ボルテックスジェネレーター）の適用について検討した。

ボルテックスジェネレーターは図8のように、断面の上部が半円で直径と同じ高さがある突起とし、その高さや長さ、流れに対する角度を検討した。

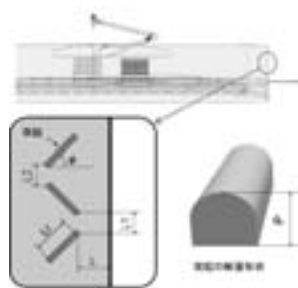


図8 ボルテックスジェネレーターの形状

縮尺1/5模型による風洞試験を実施した結果、突起は遮音板端部近傍になるように、取り付け位置（L）を短くする必要がある。また、突起の高さ（P）は0.6mm（模型寸法）のとき630～800Hz帯域にあったピーク騒音を大きく低減し、最も低騒音であることが分かった。

突起の取付け角度（ ϕ ）を変えた場合、図9に示すように、45° の場合が最も効果的であることが分かった。また、突起の長さ（Lt）については、5mmの場合と2.5mmの場合で比較した結果、騒音低減効果は同程度であった。

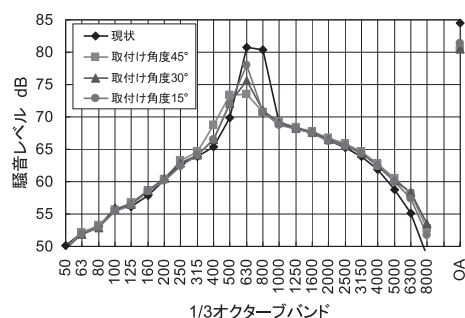


図9 突起の高さと騒音レベルの関係

以上の結果をもとにボルテックスジェネレーターの形状や位置を決め、Z形遮音板に取り付けた場合、遮音板からの騒音を4.1dB程度低減できることが分かった。

3.1.3 端部改良後の騒音測定結果

風洞実験で効果を確認できたことから、Z形遮音板にボルテックスジェネレーターを取り付ける改良を行った。突起の長さ（Lt）は25mm、角度は45°、取り付け間隔は遮音板端部側（L1）が5mm、離れた側（L2）が9.8mm、端部から突起までの距離（L）は26mmである。突起の高さは実車での境界層厚さを基準に導出し6mmとした。図10に改良したZ形遮音板の端部部分を示す。



図10 改良したZ形遮音板の端部形状

改良したZ形遮音板を搭載して高速走行試験を行った際の音源分布測定結果を図11、図12に示す。対策前後の走行速度の違いによる騒音レベルの差は、空力騒音が支配的であると仮定し、騒音のエネルギーが速度の6乗に比例するものとして補正した。

遮音板後端部の音源は図11の7号車の場合、対策前後の差は車間部からの騒音と重なるため確認できないが、図12の2号車の場合、大きく低減している。一方、遮音板前端部については、7号車の場合若干の低減が見られるが、2号車については悪化している。

Z形遮音板の端部改良によって、遮音板後端部での空力騒音については効果が確認できたものの、前端部では悪化する場合もあり、端部の改良だけでは十分な効果が得られなかった。

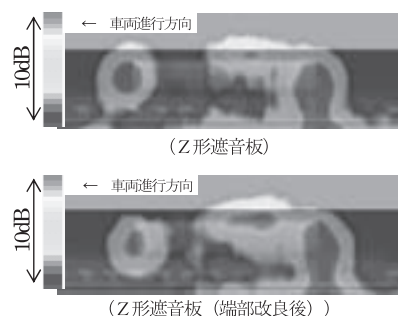


図11 音源分布測定結果（O.A値 7号車）

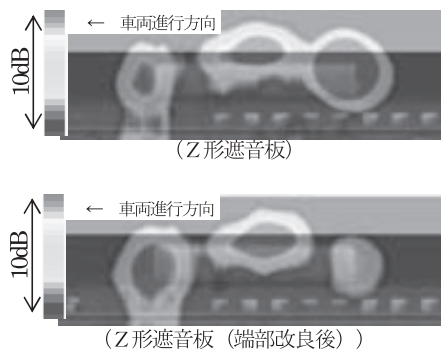


図12 音源分布測定結果（O.A.値 2号車）

3.2 従来形遮音板

Z形遮音板の端部を改良しても十分な効果が得られなかったことから、E2系1000番代による高速走行試験で搭載した遮音板³⁾と同様の遮音板（以下「従来形遮音板」という）を「FASTECH360S」に搭載して試験を行った。図13に搭載した従来形遮音板を示す。



図13 「FASTECH360S」に搭載したZ形遮音板

従来形遮音板搭載後の音源分布測定結果を図14に示す。図14は先に示した図11、図12と比較するために、速度による騒音レベルの差を補正したものである。

2号車、7号車ともに遮音板前後の騒音は大きく低減していることがわかる。7号車の場合、パンタグラフを下げているため、遮音板中央の音源はパンタグラフによる騒音の回折音である。従来形遮音板はZ形遮音板に比べ回折減衰効果が低いため騒音が若干増加している。2号車については、パンタグラフを上げて走行しているた

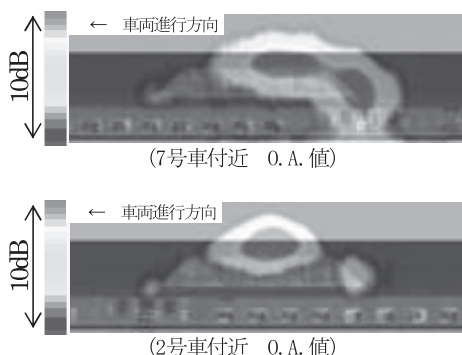


図14 音源分布測定結果（従来形遮音板）

め、舟体付近の騒音は直接マイクに到達し、遮音板中央の音源に差は見られなかった。

4. 新たな遮音板形状の開発(2006年2月～)

4.1 遮音板形状の検討

3.2で述べたように、Z形遮音板と従来形遮音板を比較すると、従来形遮音板はZ形遮音板に比べ回折減衰効果が低いものの、遮音板自身の空力騒音は大幅に改善し、集電系騒音を低減できた。そこで、遮音性能と遮音板自身の低空力音性のトータル性能が従来形遮音板の性能を上回る新しい形状の遮音板の開発を行った。

新たな遮音板形状は、縮尺1/10模型による風洞試験を行い、遮音板の断面形状、前後の傾斜角度、先端部の断面形状の3つの形状について検討した。

4.2 遮音板の形状案

先端部の断面形状は、図15に示すように、ディフューザの角度を 15° とし、先端を $\phi 30$ mmの円とした断面（以下「 $\phi 30 + 15^\circ$ タイプ」という）と従来形遮音板と同様に角を半径25mm（実車換算）で丸めた形状（以下「R25タイプ」という）を比較した。

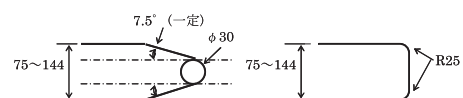


図15 遮音板先端部の断面形状案

前後の傾斜角度は、傾斜角度を小さくすることで剥離渦の位相を揃いにくくでき空力騒音の低減が図れる。しかし、傾斜角が小さくなると遮音板の面積が減るため遮音性能は低下する。そこで、遮音板の取付け長さを一定として、水平からの角度が従来形遮音板と同じ 45° と空力騒音の低減が見込める 30° 、 25° を比較した。

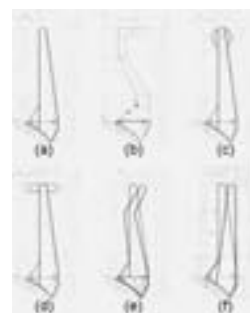


図16 遮音板の投影断面形状案

遮音板の断面形状は、図16に示す6タイプを比較した。(a)、(b)は「FASTECH360S」に搭載した従来形遮音板とZ形遮音板、(c)と(d)は上端部での回折減衰効果の向上が期待できる形状、(e)と(f)は左右の遮音板間での音響共鳴の低減を狙った形状である。(e)では折れ点の高さの異なる3種類を比較した。(f)は従来形遮音板と同じ平板形であるが、上部の回折点の位置がZ形と同じになるように、遮音板を外側に傾けた形状である。

4.3 試験方法

遮音性能と低空力騒音のトータル性能を評価するために、車両屋根部、パンタグラフ、遮音板からなる模型を製作し、風洞試験を行った。騒音測定位置は図17に示すように、パンタグラフ舟体の側方750mm（模型寸法）で、パンタグラフ舟体から見下ろす角度が、約7mの高架を新幹線が走行した場合と同じ角度になるようにマイクを設置した。（以下この測定点を「25m点模擬位置」という。）また、パンタグラフが測定点の正面を通過する前後（測定点の正面からずれた位置）での騒音も確認するために、一部の試験ではマイクをレール方向に移動させ測定した。

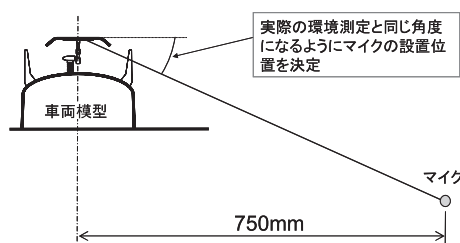


図17 遮音板の投影断面形状案

4.4 風洞試験結果

先端部の断面形状については、 $\phi 30+15^\circ$ タイプの場合R25タイプに比べて高周波数帯域で騒音を低減したが、80～630Hz帯域で騒音が大きく増加するため、R25タイプの方が低騒音であった。

前後の傾斜角度は、取付け長さを一定にしているため傾斜角が小さくなると遮音面積が減少する。そこで、マイクをパンタグラフの舟体中心位置だけでなく、レール方向に移動した位置での測定も行った。その結果、図18に示すように、舟体真横では遮音板無しに対して45°タイプは1.5dB程度、30°タイプ、25°タイプは更に2dB程度騒音が低減している。騒音測定点を前後に移動させた場合も、傾斜角度による差は同様の傾向を示した。25°

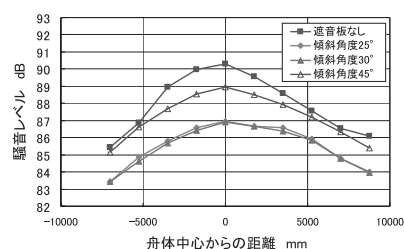


図18 端部傾斜角の違いによる騒音レベルの比較

タイプと30°タイプの差はいずれの測定点でも僅かに30°タイプの方が低くなった。

遮音板の断面形状については、始めに45°タイプの遮音板を用いて(a)タイプ～(d)タイプの比較を行った結果、断面形状の違いによる差は僅かであった。次に30°タイプの遮音板を用いて、(a)タイプ及び(e)タイプ、(f)タイプの比較を行った。その結果、図19に示すように、(f)タイプの遮音板の騒音レベルが最も低く、従来形遮音板である(a)タイプに比べO.A.値で2.0dB低減した。

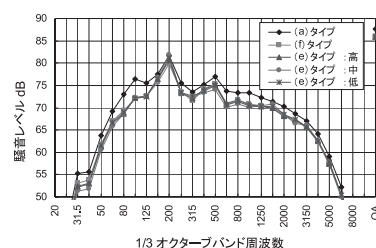


図19 断面形状の違いによる騒音レベルの比較

以上の結果から、最適な遮音板形状は、先端部の断面形状は角をR25とした形状、前後の傾斜角度は30°で、断面形状は従来形である(a)タイプを外側に傾けた形状である(f)タイプであることが分かった。以下、この形状を「30°改良形遮音板」という。

5. 30°改良形遮音板による騒音低減効果

30°改良形遮音板を「FASTECH360S」の2号車及び7号車に搭載し騒音低減効果の確認を行った。図20に搭載した最終形状の遮音板を示す。

従来形遮音板と30°改良形遮音板の音源分布測定結果を図21及び図22に示す。図21より、パンタグラフを下げて走行している7号車では、遮音板中央の音源は舟体付近からの直達音はなく回折音となるため、回折減効果の向上によって騒音が低減している。しかし、遮音面積が減少したため、遮音板後端部の上方に回折音が確認出来る。



図20 「FASTECH360S」に搭載した30°改良形遮音板

図22より、2号車でも遮音板後端部での騒音減少が確認できる。しかし、遮音面積の減少による前後端部からの回折音は確認出来なかった。

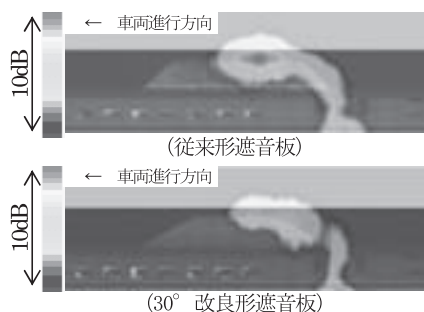


図21 音源分布測定結果 (O.A.値 7号車)

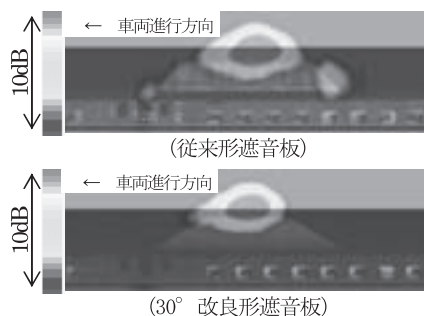


図22 音源分布測定結果 (O.A.値 2号車)

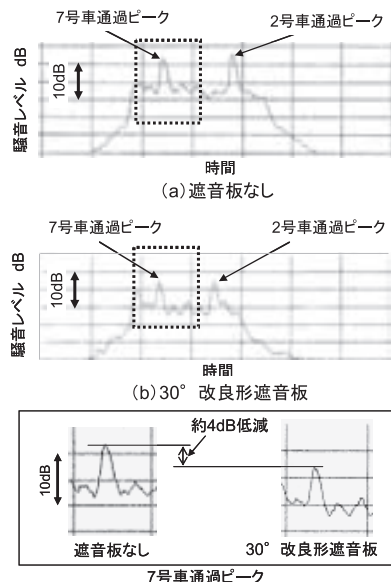


図23 超指向性マイクロホンによる騒音測定結果

次に、近接軌道中心から25m離れた点における超指向性マイクロホン⁴⁾による騒音測定結果を図23に示す。図中(a)は遮音板無しの場合、(b)は30°改良形遮音板を設置した場合である。同一タイプのパンタグラフを搭載している7号車通過時のピークレベルを比較すると、遮音板設置によって、ピークレベルは4dB程度低減した。

6. おわりに

「FASTECH360S」の集電系騒音低減のために、遮音板の開発及び改良を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 当初開発したZ形遮音板は、高い遮音性能を持つものの、遮音板自身の空力騒音が大きく、集電系騒音に対する十分な低減効果が得られない。
- 2) 新型低騒音パンタグラフを採用した「FASTECH360S」では、集電系騒音を低減するためには、遮音板自身が発生する空力騒音の低減が重要である。
- 3) 遮音性能と低空力騒音のトータル性能で騒音低減効果の高い遮音板を検討した結果、断面形状は従来形遮音板を外側に傾けた形状で、前後傾斜角度を30°とした遮音板である。
- 4) 30°改良形遮音板を設置した場合、パンタグラフのピークレベルを4dB程度低減することができる。

参考文献

- 1) 大泉正一, 平野禎雄, 小濱泰昭; 低騒音碍子の開発, 日本機械学会第5回交通・物流部門大会講演論文集, N0.96-51, pp.381~384, 1996.12.
- 2) Y.Takano, K.Sasaki, T.Satoh, K.Murata, H.Mae, J.Gotoh, Development of Visualization System for High-Speed Noise Sources with a Microphone Array and a Visual Sensor, Proceedings of Inter-Noise2003, N930, 2003.8
- 3) 佐藤寿一, 村田 香, 佐々木浩一, E2系1000番代走行試験時の沿線騒音低減対策について, 第9回鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail2002) 講演論文集, pp.469~472, 2002.12
- 4) 荒井ほか, 広帯域狭角度指向性マイクロホン, 日本音響学会講演論文集, pp.501~502, 1978