

正 [機] ○谷口 武揚 正 [機] 菊池 善基 正 [機] 栗田 健 (JR 東日本)
 正 [機] 山崎 展博 正 [機] 末木 健之 (鉄道総研)

Fundamental Study on Aerodynamic Noise from Bogie Sections Using 1/20 Detailed Model

Takeaki TANIGUCHI, Yoshiki KIKUCHI, Takeshi KURITA, (East Japan Railway Company)

Nobuhiro YAMAZAKI, Takeshi SUEKI (Railway Technical Research Institute)

Aerodynamic noise from bogie sections is one of the main noise sources of Shinkansen. In order to identify noise sources, we carried out wind tunnel tests using 1/20-scale detailed model of a bogie section. We investigated noise sources by removing each of parts. And we investigated the means to reduce aerodynamic noise by smoothing parts and attaching bumps. It was found that noise is generated mainly around wheels and axle boxes, and the noise reduction effect of the bump is greater than that of smooth parts.

Keywords : Aerodynamic Noise, Velocity Distribution, Laser Doppler Velocimeter, Wind Tunnel Test, Bogie, Shinkansen

1. はじめに

新幹線走行時の沿線騒音は、発生源別にみると先頭部空力音、集電系音 (架線・パンタグラフ系から発生する音)、車両下部音 (転動音、台車周りの空力音など)、車両上部空力音 (車間部などの空力音)、構造物音 (高架構造物からの振動放射音) の5種類に分けて考えることができる。新幹線の高速化に伴い、特に主要な騒音源の一つであった集電系騒音がさまざまな対策により低減され、車両下部音の寄与度は相対的に大きくなりつつある¹⁾。今後の更なる騒音低減のためには、車両下部音の低減が必要である。車両下部音の中でも、特に高速域では空力音の寄与率が大きく、台車周り (キャビティ内部) から発生する空力音の低減は必要不可欠である²⁾。

台車部空力騒音の低減に向けて、本研究では1/20 精密台車模型を使用し、車両床下流速分布を模擬して風洞試験を行い、音源の特定および騒音低減対策に関する基礎検討を行った。

2. 風洞試験方法

2.1. 風洞試験概要

使用した風洞は (公財) 鉄道総合技術研究所の小型風洞 (ノズル口径 0.48m (幅) × 0.4m (高さ), 最大風速 300km/h) である。風洞試験に使用した模型、機器の配置を図 1~3 に示す。ノズルとコレクタとの間に車体模型、台車模型および地面板とレールを設置し、支持脚から発生する騒音の増大を抑制するため、上下を反転して地面を上側、車両を下側となるよう配置している。騒音測定用マイクは台車中心から 930mm の位置にあり、地面板と車体模型の隙間 H の流れが台車模型にあたって生じる騒音を、側面から測定する。隙間 H=20mm であり、図 3 に示すように車輪はレールに接している。このとき台車カバーは閉じて試験を行っている。座標系については、主流方向を x 軸正方向、鉛直上方を z 軸正方向、右手系でこれらと直行する方向を y 軸正方向と定義する。x 軸, y 軸の原点は台車中心部、z 軸原点に

ついては車両床面とし、風洞主流速は 50m/s とした。

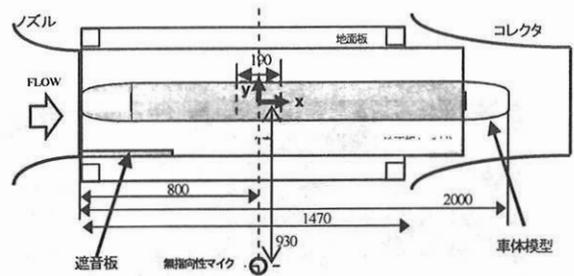


Fig.1 Layout of wind tunnel test (top view)

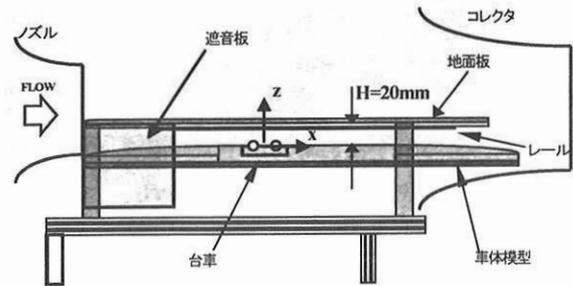


Fig.2 Layout of wind tunnel test (side view)



Fig.3 1/20-scale model of bogie section

2.2. 流速測定方法

模型の車向床下流速を測定するために日本カノマックス製 I 型熱線流速計により、主流方向の平均流速を測定した。流速測定箇所は図 4 に示すように (1) 台車流入箇所を基準に y 軸の方向に 4 点測定した。流速測定風景を図 5 に示す。流速測定に際しては、地面板に直径 6mm 程度の孔を設け、z 軸方向に測定用プローブをトラバースさせることで流速分布を取得した。

- (1) 台車流入箇所 ($x=-237\text{mm}, y=0\text{mm}$)
- (2) 25mm 地点 ($x=-237\text{mm}, y=-25\text{mm}$)
- (3) 50mm 地点 ($x=-237\text{mm}, y=-50\text{mm}$)
- (4) 100mm 地点 ($x=-237\text{mm}, y=-100\text{mm}$)

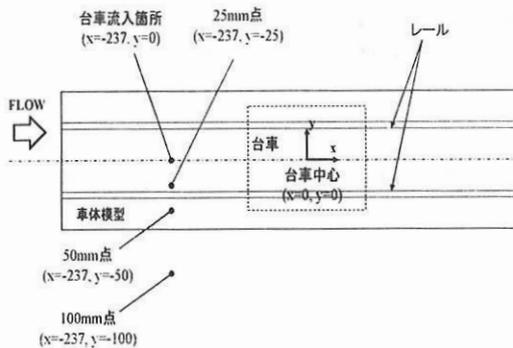


Fig.4 Points for measuring velocity (top view)

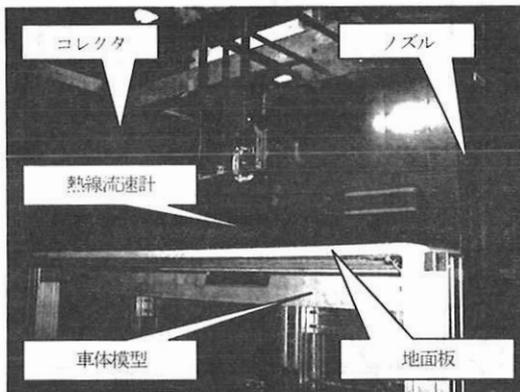


Fig.5 Setup for measuring velocity

2.3. 騒音測定方法

騒音の測定には無指向性マイクロホン (1/4 インチマイクロホン・リオン製 UC-29; 20Hz-100kHz) を用い、設置位置を模型に対して y 軸方向の側方とし、 $(x,y,z)=(0,-930,0)$ となるようにした。サンプリング周波数は 256kHz、FFT 時データ点数は 2048 点、平均化回数 128 回とし、窓関数としてハンギングウィンドウを用いた。

分析結果については、1/3 オクターブバンド周波数とし、1/20 模型と実車の周波数を合わせるため、模型の測定周波数を 1/20 にして換算した。FFT アナライザとして小野測器製 DS-2000-100kHz ユニットを使用し、A 特性音圧レベル(dB)に補正した。

2.4. 精密台車模型について

風洞試験においては、台車模型の模擬精度により騒音レベルが大きく異なるため³⁾、本研究では 1/20 精密台車模型を使用した。この模型の特徴は台車の主要部品 (車輪、ギアケース等) を着脱できるようになっていることで、図 6 のように現車同様に分解することが可能であり、後述の凹凸を減らした平滑化部品と交換できる。台車模型の仕様を表 1 に示す。この着脱可能な構造を利用して風洞試験を行い、①台車部品の着脱による空力騒音源の特定、②平滑化部品に交換した台車の騒音測定による騒音変化量を観察し、騒音低減手法の基礎検討を行った。

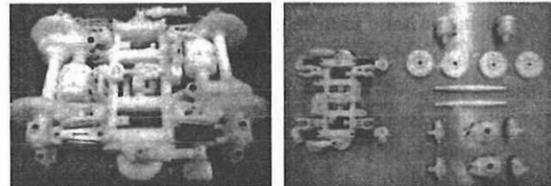


Fig.6 Specification of bogie model

Table 1 Details of the model

縮尺	1/20
加工法	粉末焼結造形
材質	ナイロン
着脱可能部品	(1) 車輪 (2) 駆動装置(ギアケース) (3) 主電動機 (4) 軸箱体 (5) ヨーダンパ (6) L型ガイド
その他	アンチローリング装置、配管、配線、LV 調整棒は模擬せず

3. 床下流速分布の模擬

3.1. 床下流速分布の模擬方法

風洞試験にあたって現車の床下流速分布⁴⁾を模擬する際、車両模型上流部 (床下への流入部) に調整部材を設置して調整する必要がある³⁾。今回の試験では流れ場調整部材から発生する騒音の増大を抑制するために、長さ 200mm、幅 200mm、厚さ 10mm のムートンを貼り付けて調整した。ムートン貼付状況を図 7 に示す。

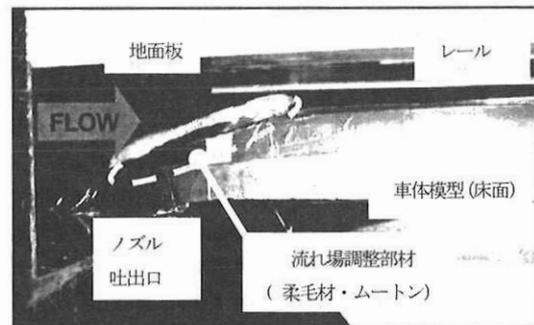


Fig.7 Control of mean velocity profile

3.2. 床下流速分布の模擬結果

地面板の有無・ムートンの有無による流速分布の違いを図 8 に示す。比較対象となる現車の床下流速分布については高速試

験電車 (E954 形式) にて測定したデータ⁴⁾ を用い、横軸に列車速度を 1 とした無次元速度をとり、縦軸に無次元化した車両床面からの距離を表した床下平均流速分布である。縦軸は車両下面と地面との間隔 $H=20\text{mm}$ で無次元化しており、 $z/H=0$ が車両床面、 $z/H=0.5$ がレールレベルとなる。ムートンの貼付により、現車の床下流速分布と概ね一致させるよう床下流速をコントロールした。

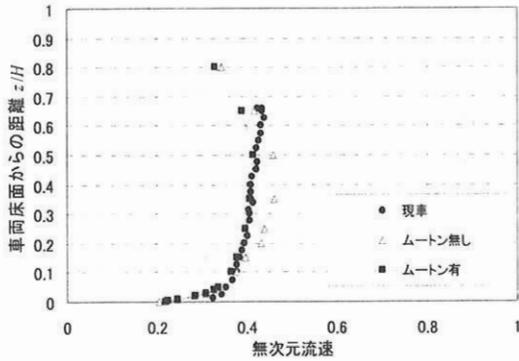


Fig.8 Mean velocity distribution between carbody and track

4. 台車部品着脱による騒音源の特定

騒音測定結果を図9のグラフに示す。横軸は周波数、縦軸は騒音の変化量であり、0の値を現状の基準(標準条件)として値が正であれば騒音悪化、負であれば騒音低減となる。標準条件と比較すると、車輪なし条件ではほぼすべての周波数帯で騒音低減効果があり、315Hz帯で1dB、1.6kHz帯で1.2dB低減されている。ギアケースなし、軸箱なしは250Hz~800Hz帯で0.2~0.7dB程度の騒音低減効果が確認できた。主電動機のように、逆に騒音が悪化したケースもあるが、これははく離した流れが軸箱など他の部品に当たり、別の騒音を発生させているためと考えられる。部品の着脱により流れが変わってしまい、それまで見えていなかった別の音源や、新たに音源として騒音を発生させていることも考えられる。以上をまとめて表2に示す。車輪、軸箱の順に大きな騒音源になっていることがわかった。これらの部品は軌道面に最も近く、速い流れやはく離した流れが当たりやすい傾向にあると推測できる。特定の部位から突出して大きな騒音が発生するといった傾向はみられなかった。

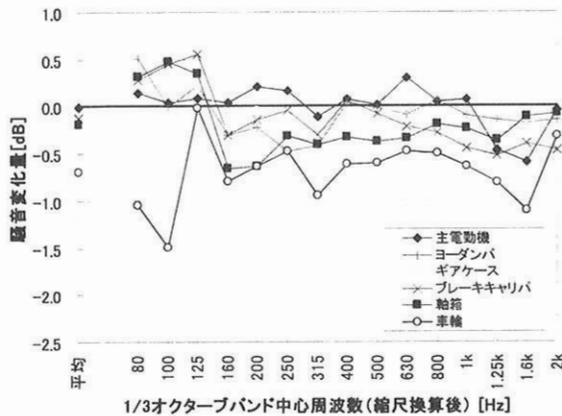


Fig.9 Noise change level by removing each of parts

Table2 Amount of noise reduction level by removing each of parts

対象の台車部品	部品着脱による騒音低減量 [dB]
車輪	0.7
軸箱体	0.2
ギアケース	0.1
主電動機	0.0
ブレーキキャリパ	0.1
ヨーダンパ	0.1

5. 台車部空力騒音低減手法の基礎検討

5.1. 台車部品の平滑化

次に、車輪を除く台車主要部品を表3のようにシンプルな形状あるいは流線形とすることで凹凸をなくし、平滑化した部品を製作した。車輪については平滑化は難しいのでカウルを取り付け、標準条件から部品を交換して風洞試験を行った。軸箱、主電動機、ヨーダンパ、ギアケース、ブレーキキャリパなどの簡素化部品・流線形部品については、強度上台車部品として構成できることを考慮し、既存の部品を滑らかにする方針とした。また、図10のような跳上材による効果も検証した。この跳上材は、台車周り(キャビティ内部)に流入する手前で流れを跳ね上げることで流速を小さくし、発生する騒音を低減するものである。

Table3 Smooth parts and bumps

車輪 (カウル取付)	
軸箱	
主電動機	
ヨーダンパ	
ギアケース	

Table3 Smooth parts and bumps (cont.)

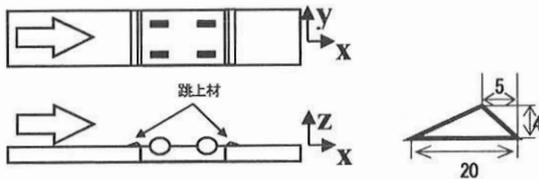
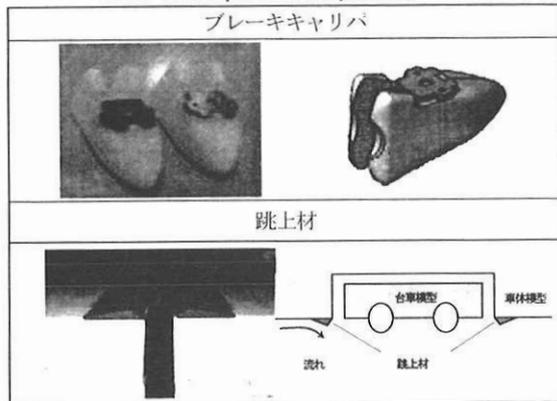


Fig.10 Details of bump

5.2. 風洞試験結果

騒音測定結果を図11に示す。図9と同様に、横軸が周波数、縦軸が騒音変化量であり、0の値を現状の基準（標準条件）として値が正であれば騒音悪化、負であれば騒音低減となる。標準条件と比較すると、車輪へのカウル取付は125Hz帯および400~800Hz帯でかえって騒音が悪化しており、他の部品については全周波数帯に渡ってある一定の低減効果があった。車輪以外の部品の平滑化については、低減効果のある周波数帯もその低減量も傾向が似ている。最も低減効果のあったのは跳上材の取付で、台車部（キャビティ内部）への流速が減少することが理由と考えられる。

部品平滑化による騒音低減量を表4に示す。軸箱体や主電動機は0.4~0.6dBの範囲で近い値を示す一方、跳上材の取付は1dB近く低減していることがわかる。

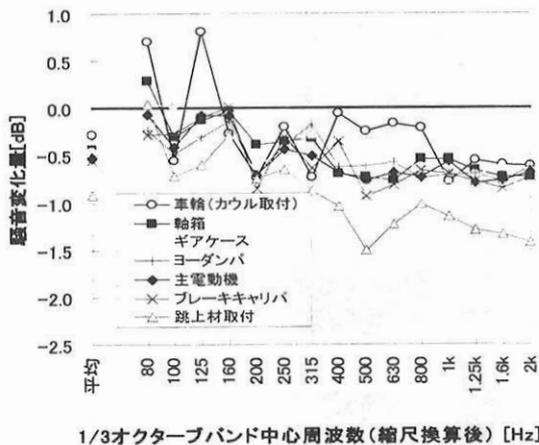


Fig.11 Noise change level by smoothing each of parts / by attaching bumps

Table4 Amount of noise reduction by smoothing each of parts / by attaching bumps

対象の台車部品	平滑化による騒音低減量 [dB]
車輪 (カウル取付)	0.3
軸箱	0.4
ギアケース	0.5
主電動機	0.5
ブレーキキャリバ	0.6
ヨーダンバ	0.5
跳上材	0.9

6. まとめ

本研究では、床下流速分布を模擬した上で精密台車模型を用いた風洞試験を実施し、主要部品の着脱による台車部空力騒音源の特定と部品の平滑化等による騒音低減効果を確認した。その結果、騒音源の特定については、車輪や軸箱といったレールに近い部品が音源となっている傾向が確認できた。しかし、特定の部位が空力騒音の大部分を占めるといった傾向はみられなかった。

部品平滑化による騒音低減手法の検討については、騒音源として最も大きかった車輪へのカウル取付は、低減効果が小さかった。主電動機やブレーキキャリバなどの部品についてはある一定の低減効果があり、跳上材の取付による低減効果が最も大きかった。以上の結果を踏まえ、今後も台車部空力騒音低減に向けた取り組みを続けていくこととする。

文献

- 1) Takeshi KURITA, Yuusuke WAKABAYASHI, Haruo YAMADA and Masahiko HORIUCHI, "Reduction of Wayside Noise from Shinkansen High-Speed Trains", Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol.4, No.1 (2011), pp.1-12.
- 2) 北川敏樹, 長倉清, 栗田健, "高速走行時における車両下部音の音源別寄与度", J-RAIL2010 (2010), pp.217-220.
- 3) N. Yamazaki, A. Ido, "Evaluation Methods for Aerodynamic Noise From a High-Speed Train Bogie in a Wind Tunnel Test", Inter-noise 2011(2011)
- 4) 井門敦志, 山崎展博, 栗田健, 松本雅則, "LDVによる車両床下流速分布の測定, J-RAIL2009(2009)", pp.199-200.