

# 風洞実験による走行風取り込み口の 空力騒音と取り込み流量の評価

新木 悠斗\* 高見 創\*  
木村 謙仁\*\* 山崎 芳成\*\* 梅田 啓\*\*\*

Evaluation of Aerodynamic Noise and Intake Flow Rate of Running Wind Intake by Wind Tunnel Experiment

Yuto ARAKI Hajime TAKAMI  
Akihito KIMURA Yoshinari YAMAZAKI Hiromu UMEDA

In order to cool the equipment installed under Shinkansen trains, running air is used directly instead of fans. A wind tunnel experiment was conducted to evaluate the shape of the intake, which can draw in a large amount of flow and reduce aerodynamic noise. In the wind tunnel experiment, five types of intake shape were examined using a model to measure the flow velocity inside the duct and the noise generated by the intake. The results showed that the intake flow rate was affected by the shape of the opening and that the aerodynamic noise generated was reduced by rounding the lip of the intake. We also found that placing protrusions or dimples near the lip increased the intake flow rate and the aerodynamic noise. Changing the position of the dimple, rather than making it shallower, also increased the intake flow rate and reduced the increase in aerodynamic noise.

キーワード：機器冷却，風洞実験，走行風，取り込み口，流速測定，騒音レベル

## 1. はじめに

新幹線車両の床下などに搭載される機器は、従来、送風ファンによって冷却されているが、送風ファンに代わり走行風を用いて冷却することで、送風ファンが不要となり、省スペース化および省エネルギー化が期待できる。走行風取り込み口を車両側面に設けて主回路機器の冷却に用いた例では、走行時に冷却に十分な流量を取り込めることが確認された<sup>1)</sup>。しかし、取り込み口から空力騒音が発生し、沿線に影響を及ぼす可能性がある。また、取り込み流量と発生する騒音レベルは取り込み口の形状の影響を大きく受ける<sup>2)</sup>。したがって、走行風を用いた冷却を行うためには、発生する空力騒音を抑えつつ、走行風を取り込み流量を確保できる取り込み口形状が求められる。

新幹線台車部の着雪を抑制することを目的に、走行風を取り込むために車両側面部に開口部を設けた例がある<sup>3)</sup>。そこで検討された取り込み口形状を、機器冷却に応用する。

本研究では縮尺模型を用いた風洞実験で空力騒音と取り込み流量を評価することにより、適切な走行風取り込み口形状を明らかにした。

## 2. 実験手法

### 2.1 風洞実験条件

実験は鉄道総合技術研究所が所有する大型低騒音風洞で行った。風洞形態は開放型で、風洞ノズル断面は幅3000mm×高さ2500mmである。風洞実験の状況を図1に、模型の設置図を図2に示す。走行風取り込み口模型を現車の側面に埋め込む状態を模擬するために、長さ2450mm、幅660mm、高さ130mmの設置枠を風洞床面に固定し、床面をかさ上げした。設置枠による流れの妨げを防ぐため、設置枠の上流側と下流側はスロープ状

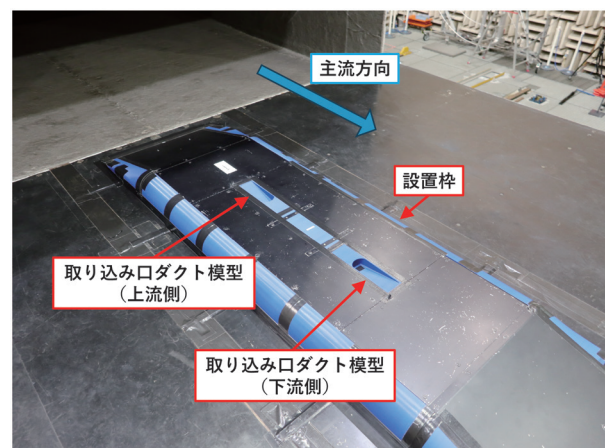


図1 風洞実験状況

\* 環境工学研究部 車両空力特性研究室  
\*\* 東日本旅客鉄道株式会社  
\*\*\* 元 東日本旅客鉄道株式会社

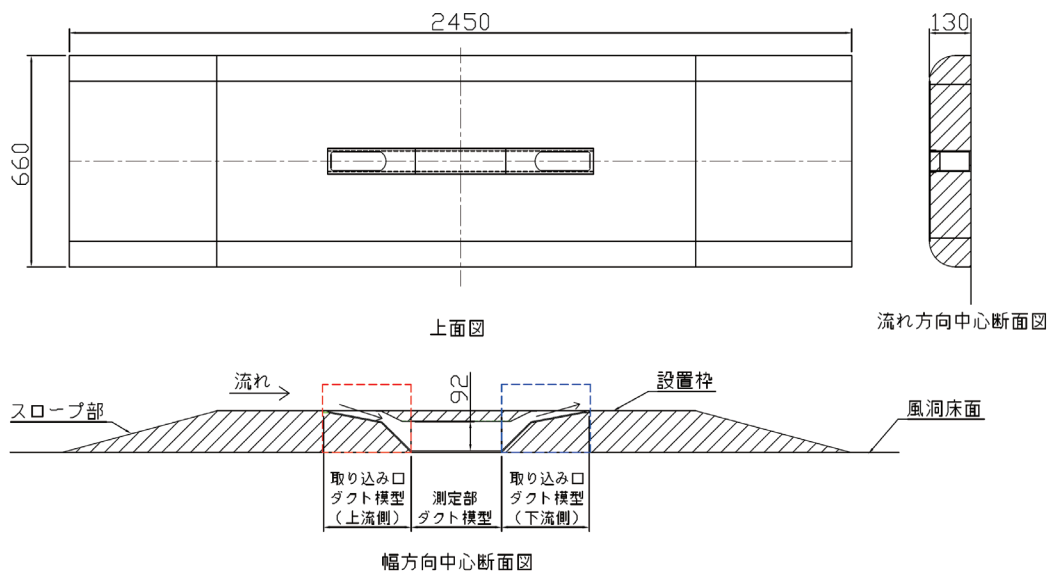


図2 設置枠と走行風取り込み口模型の設置図 (単位はすべて mm)

とし、側面は丸みのついた形状とした。設置枠内に縮尺 1/6 の走行風取り込み口模型を、取り込み口が上になる向きで設置した。

走行風取り込み口模型は上流側の取り込み口ダクト模型、測定部ダクト模型、下流側の取り込み口ダクト模型の3つで構成される。上流側の取り込み口ダクト模型で取り込まれた空気は、測定部ダクト模型の内部を通り、下流側の取り込み口ダクト模型から出る。現車では進行方向が変わると、下流側にあった取り込み口ダクトが流れの入口となるが、風洞実験では流れの方向は一定であるため下流側の取り込み口ダクトは常に流れの出口となる。

取り込み口測定部ダクトの断面は高さ 92mm×幅 59mm の矩形で主流方向長さは 284mm である。主流速度は 260 km/h (=72.2 m/s) である。

## 2.2 取り込み口形状

本件では、取り込み口ダクトの形状の違いによる、取り込み口から発生する騒音レベルへの影響とダクト内の取り込み流量への影響を調査する。取り込み口ダクト模型の形状は表1に示す通り、①A形状、②B形状、③B形状+突起、④B形状+くぼみ(標準)、⑤B形状+くぼみ(浅)、⑥B形状+くぼみ(遠)の6種類とした。それぞれの形状を図3~6に示す。これらは図2の赤色の枠で囲まれた部分を拡大した図である。また、すべての条件で図2の青枠内に設置した上流側の取り込み口ダクト模型と同じ形状の模型を、反転させた状態で図2の青枠内に設置し、下流側の取り込み口ダクト模型とする。

①A形状を図3に示す。A形状の取り込み口は幅 59mm×主流方向長さ 173mm の矩形で、リップ部(取り込み口の下流端)の断面形状は丸みがなく尖っている。

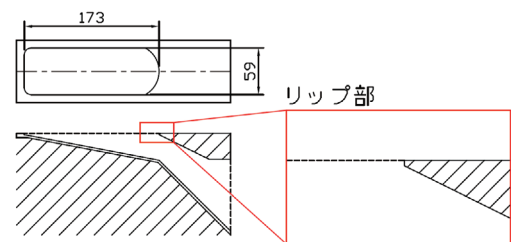


図3 取り込み口ダクト模型 (①A形状)

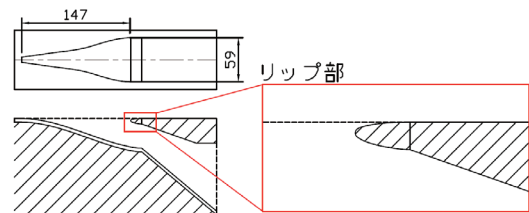


図4 取り込み口ダクト模型 (②B形状)

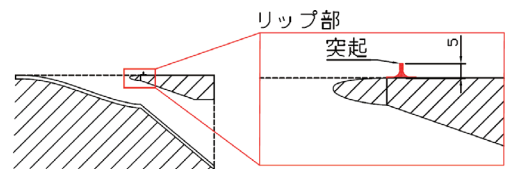


図5 取り込み口ダクト模型 (③B形状+突起)

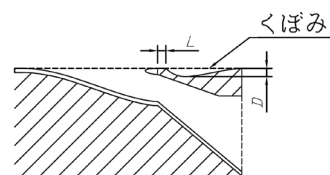


図6 取り込み口ダクト模型 (B形状+くぼみ)

表 1 取り込み口ダクト形状

番号	形状名	D [mm]	L [mm]
①	A 形状	-	-
②	B 形状	-	-
③	B 形状+突起	-	-
④	B 形状+くぼみ (標準)	10	0
⑤	B 形状+くぼみ (浅)	5	0
⑥	B 形状+くぼみ (遠)	10	10

② B 形状を図 4 に示す。B 形状は、NACA (アメリカ航空諮問委員会, National Advisory Committee for Aeronautics) が空気取り込みのために開発した NACA ダクトを基にした形状である。取り込み口は幅 59mm × 主流方向長さ 147mm の三角形形状で、リップ部は丸みを帯びている。

③ B 形状+突起を図 5 に示す。③ B 形状+突起は、取り込み流量を増加させることを目的に、B 形状のリップ部近傍に突起を追加した形状である。突起は高さ 5mm で幅方向長さは 59mm (取り込み口幅と同じ) である。突起による流量増加のメカニズムは 3 章で後述する。

突起と同様に、取り込み流量を増加させるために、くぼみを B 形状のリップ部近傍に設置した形状も実験した。くぼみを設置した形状を図 6 に示す。深さ  $D=10\text{mm}$  のくぼみをリップ部からの距離  $L=0\text{mm}$  の位置に設けた条件を標準条件 (④ B 形状+くぼみ (標準)) とする。標準条件から深さ  $D$  を 5mm に変更した条件 (⑤ B 形状+くぼみ (浅)) と、設置位置をリップ部からの距離  $L=10\text{mm}$  とした条件 (⑥ B 形状+くぼみ (遠)) の実験も行った。いずれの条件においてもくぼみの幅は取り込み口幅と同じ 59mm である。

### 2.3 騒音測定

無指向性マイクロホン (メーカー: RION, 型番: UC-31) を用いて取り込み口ダクト模型から発生する騒音の測定を行った。マイクロホン設置位置は、流れ方向および幅方向は測定部ダクト模型の中心と合わせ、高さ方向は取り込み口から 2870mm 上方とした。

騒音測定時には測定部ダクト内に放熱器模型を設置した。これは、流れが放熱器を通過するときに発生する圧力損失を模擬するためのものであり、放熱器模型と空気の間で熱のやり取りは発生しない。なお、流速測定時には取り込み口形状による流れの違いのみに着目するため、放熱器模型は設置していない。

取り込み口ダクト模型の取り込み口を塞ぎ平滑にした条件を暗騒音条件とする。模型縮尺による現車換算後周波数に A 特性補正を掛けた値を騒音レベルとする。各形状の騒音レベルの OA 値 (オーバーオール値) を算出し、暗騒音条件からの増分で空力騒音を評価する。

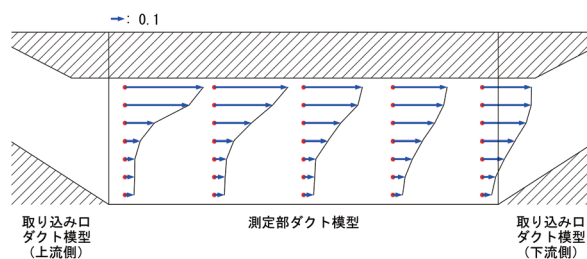


図 7 ダクト内の流速分布 (① A 形状)

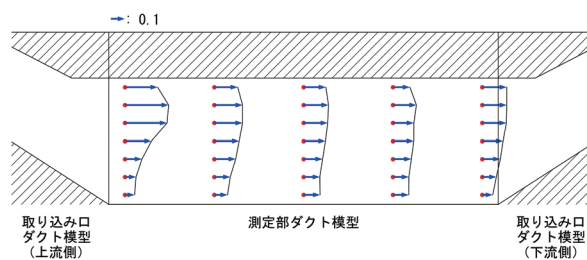


図 8 ダクト内の流速分布 (② B 形状)

### 2.4 流速測定

ダクト内の流れの様子を確認し、取り込み流量を評価するため、測定部ダクト模型内の流速を 35 点測定した。測定点はダクトの幅方向中心断面に 7 行 × 5 列で格子状に並んでいる。測定器はカノマックスの風速変換器 (型番: 6332D) と指向性プローブ (型番: 0962-00) を用いた。測定レンジは 0~50m/s である。サンプリング周波数 100Hz で 20 秒間 (2000 点) 測定した。主流方向の流速成分を測定し、20 秒間の時間平均値を主流速度 (260km/h) で無次元化したものを無次元流速とする。また、全 35 点の無次元流速をアンサンブル平均したものを流量係数と定義し、この値によって各取り込み口形状による取り込み流量を評価する。

## 3. 実験結果

### 3.1 ダクト内の流速分布

① A 形状のダクト内の流速分布を図 7 に、② B 形状のダクト内の流速分布を図 8 に示す。各測定点の無次元流速の大きさを長さとした矢印を描画している。

鉛直方向の分布に着目すると、A 形状では、上部の流速が高く下部は低いという分布がみられた。この傾向は特に上流側で顕著にみられ、下流側に進むにつれて上部の流速が低下して上部の流速と下部の流速の差は小さくなった。ダクト内の空気は上面に沿って流れており、上流側の下部ははく離領域になっていると考えられる。

一方で、B 形状は、A 形状よりも鉛直方向の流速分布が一様である。このことから、B 形状は A 形状と比較して流れが下面ではく離しにくい形状であるといえる。

B形状では鉛直方向の無次元流速の合計は上流側ほど大きい。B形状は取り込み口が三角形形状であるため、ダクト内流速の幅方向分布を考えると、特に上流側で幅方向中心の流速が高くなりやすく、下流に進むにつれて一様な分布に近づく。そのため、本実験の流速測定位置である幅方向中心では、上流側ほど無次元流速の合計が大きいと考えられる。

このように取り込み口ダクトの形状によってダクト内の流速分布が異なるため、ある1点の流速のみを用いてダクト内に取り込まれた流量の大小を評価することはできない。そこで、本件では全ての測定点(35点)の無次元流速のアンサンブル平均をとった流量係数によって各取り込み口形状による取り込み流量を評価する。

なお、B形状に突起やくぼみを追加した条件(③~⑥)でもダクト内の流速分布を測定したが、各測定点での流速は流量係数と比例関係にあり、ダクト内流速分布は②B形状の分布と似たものであったため、流速分布の掲載は省略する。

また、こちらも流速分布の掲載は省略するが、主流速度を本実験よりも低い200km/hとした条件であっても無次元流速の値はほとんど同じであったため、ダクト内流速の速度依存性は小さいといえる。

### 3.2 取り込み口の形状による比較

各形状の暗騒音条件と比較したときの騒音レベルのオーバーオール値の増分を図9に、流量係数を図10に示す。

まず、①A形状と②B形状を比較する。①A形状と比較すると②B形状では騒音レベルが0.8dB減少している。これは、②B形状ではリップ部を丸くし、風切り音が発生しにくくなったためであると考えられる。一方で、①A形状の流量係数が0.23であるのに対して、②B形状の流量係数は0.16と大きく減少した。

### 3.3 突起による影響

リップ部で風切り音の発生しにくいB形状を基に、流量係数を増加させるために突起を追加した③B形状+突起では流量係数が0.22と、①A形状と近い程度に増加する。これは、下流側の取り込み口にある突起で流れがはく離することにより、下流側の取り込み口の付近が低圧領域となり、ダクト内の空気が下流側の取り込み口から出やすくなることで、内部の流量が増加したためだと考えられる。一方で、騒音源となる突起を追加したため、騒音レベルはB形状と比較して0.3dB増加した。

### 3.4 くぼみによる影響

上述した突起と同様に、B形状にくぼみを追加することによって取り込み流量の増加をねらう。④B形状+

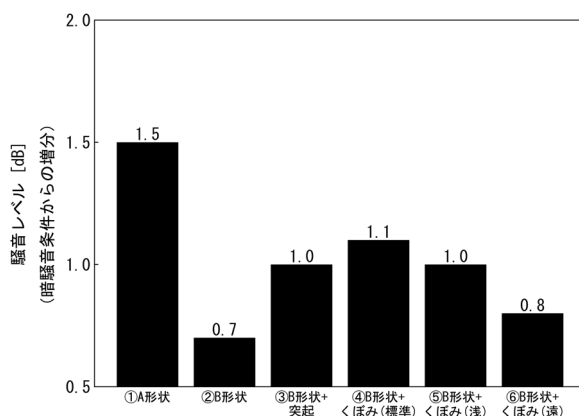


図9 各形状の騒音レベル

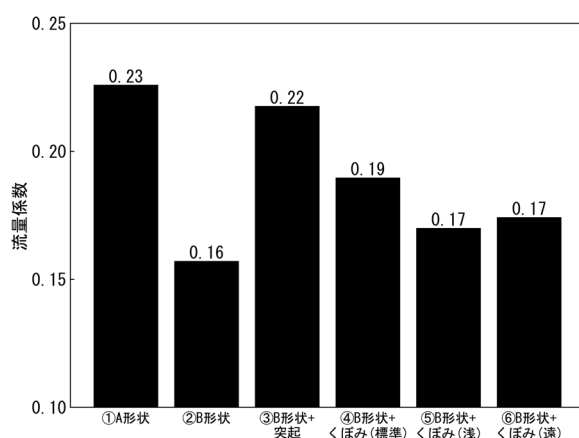


図10 各形状の流量係数

くぼみ(標準)は②B形状と比較して流量係数が0.03増加するものの騒音レベルも0.4dB増加した。これは突起を設置した場合と同じ傾向である。突起と同じく、下流側の取り込み口付近にあるくぼみが流れのはく離を発生させて、低圧領域が生じ、流量が増加したと考えられる。

④B形状+くぼみ(標準)の結果を③B形状+突起と比べると騒音レベルは0.1dB高く、流量係数が0.03低い。このため、空力騒音を増加させずに取り込み流量を増加させるという観点でみると、くぼみよりも突起を追加の方が良いといえる。しかし、車両限界の観点から、車両側面に突起を追加することは難しい場合が多い。そのため、車両の断面形状を拡大させないくぼみについて、浅くした条件や、設置位置をリップ部から遠ざけた条件での実験を行った。

⑤B形状+くぼみ(浅)は④B形状+くぼみ(標準)と比較して騒音レベルが0.1dB減少したが、④B形状+くぼみ(標準)よりも流量係数は0.02低い。つまり、くぼみを浅くすることでくぼみによる流量増加の効果が小さくなった。

⑥B形状+くぼみ(遠)は④B形状+くぼみ(標準)

と比較して流量係数は0.02減少するものの、騒音レベルも0.3dB減少する。③B形状+突起と比べると流量係数は低いが、騒音レベルも低い。⑤B形状+くぼみ(浅)と比較すると、流量係数は同程度であるのに対して騒音レベルは低い。つまり、くぼみによるダクト内の流量増加を目指す場合は、くぼみの深さを変更するよりも設置位置を調整した方が空力騒音の観点から効果が大いといえる。

#### 4. まとめ

走行風取り込み口模型を用いた風洞実験で、空力騒音と取り込み流量を評価した。取り込み口が矩形でリップ部が尖ったA形状と、取り込み口が三角形でリップ部が丸いB形状では、ダクト内の流速分布が異なり、B形状の方が発生する騒音レベルが低いが、取り込み流量も低いことが分かった。また、取り込み口を三角形とし、リップ部を丸くすることで発生する空力騒音が低くなることが分かった。さらに、リップ部の近傍に突起やくぼみを設置することで取り込み流量が増加するものの、空力騒音も増加することが分かった。くぼみによる

ダクト内の流量増加を目指す場合は、くぼみの深さを変更するよりも設置位置を調整した方が空力騒音の観点から効果が大いといえる。

ここでは模型実験の結果のみを示したが、走行風取り込み口を現車に適用した実験では、取り込み口形状に関しては今回の模型実験と同様の傾向がみられた<sup>4)</sup>。

#### 文 献

- 1) 水口芳樹, 川崎淳司: FASTECH360における主回路機器の開発, JR EAST Technical Review No.31 - Spring, pp.13-16, 2010
- 2) 新木悠斗: 新幹線車両機器冷却のための走行風取り込み口形状の評価, 第3回 鉄道総研研究発表会, 2022
- 3) 高見創, 新木悠斗, 室谷浩平, 石井秀憲, 鎌田慈: 走行風を利用した新幹線台車周りの着雪対策, 鉄道総研報告, Vol.36, No.9, pp.5-10, 2022
- 4) 木村謙仁, 藤澤由衣, 山崎芳成, 梅田啓, 高見創, 新木悠斗, 宇田東樹, 阿久津真理子: 走行風の活用による着落雪対策及び機器冷却効果の検証, 第30回鉄道技術・政策総合シンポジウム, 2023