

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

大型低騒音風洞における測定技術

大型低騒音風洞は鉄道の技術開発のために特別に設計され、空力音を測定するために、風洞自体の騒音が低いことを始めとして多くの優れた性能を持っています。しかし、鉄道の技術開発のためには、風洞自体の優れた性能だけで十分に実験の目的を達成できるわけではなく、適切な測定技術も不可欠です。これまで多くの研究開発課題に対応し、さまざまな測定技術を開発、導入、活用することで成果をあげてきました。ここでは、風洞実験を活用した主要な研究に用いられている測定技術を紹介します。

はじめに

大型低騒音風洞（以下、米原風洞）は、鉄道の風洞実験のために設計されていますが、米原風洞を活用して鉄道の技術開発を進めるためには、おのこの風洞実験の目的に適した測定技術を用いることが、非常に重要となります。ここでは、これまでの風洞実験のために開発・導入し、活用してきた各種測定技術について紹介します。

パンタグラフの揚力・空力音の測定技術

米原風洞における実験では、実物のパンタグラフを供試体として用いることができます。パンタグラフに求められる空力的な性能は、走行中にパンタグラフにあたる空気の流れによって生じる架線を押し上げる力（揚力）を安定化させることとパンタグラフが風を切ることで発生する空力音を小さくす



井門 敦志
Atsushi Ido
研究開発推進部
風洞技術センター所長



鈴木 実
Minoru Suzuki
環境工学研究部
車両空力特性研究室長



山崎 展博
Nobuhiro Yamazaki
環境工学研究部
騒音解析研究室
主任研究員



光用 剛
Takeshi Mitsumoji
鉄道力学研究部
集電力学研究室
主任研究員

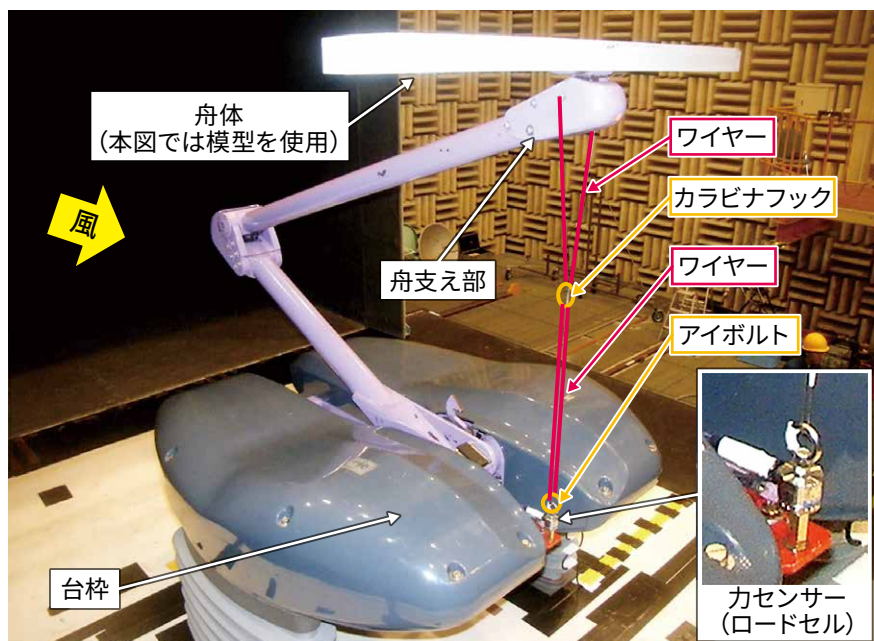


図1 パンタグラフの揚力測定の場合 (新幹線)

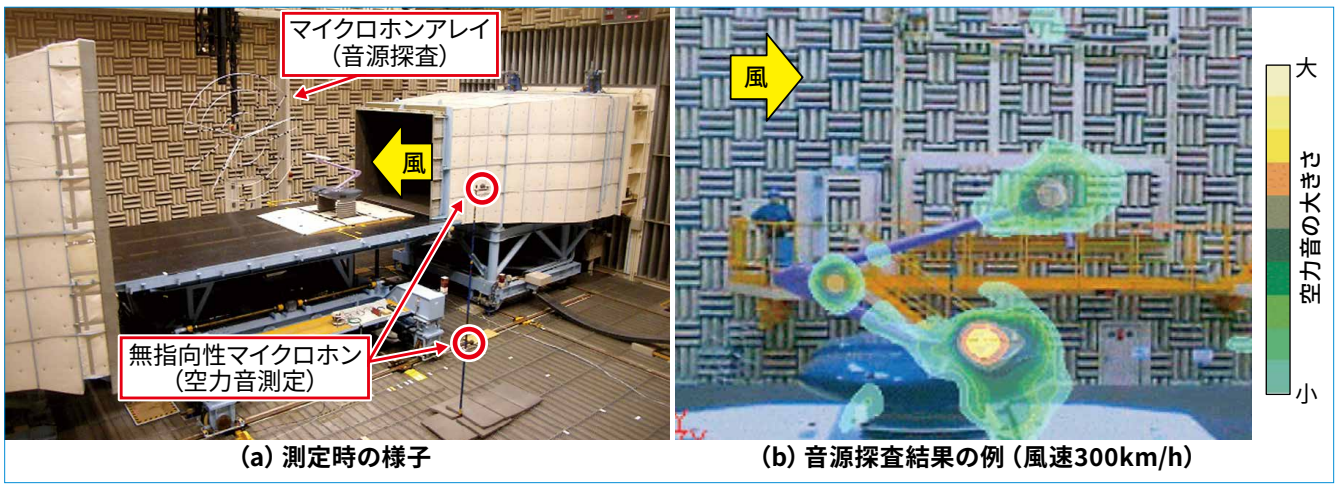


図2 パンタグラフの空力音測定・音源探査の例(新幹線)

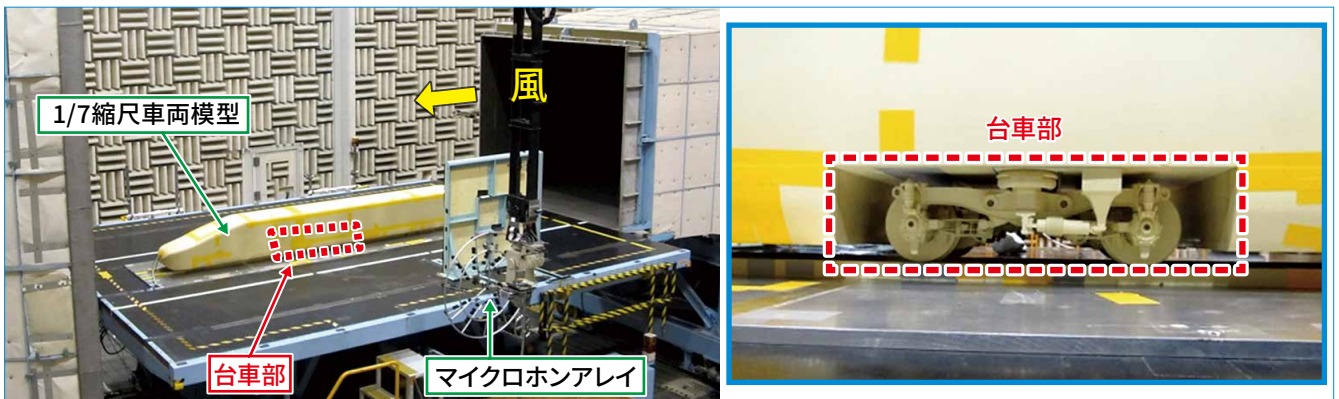


図3 風洞実験による台車部空力音の測定試験

ることです。そのため、風洞実験ではおもに揚力測定および空力音測定を行っています。

列車が高速で走行する時には、パンタグラフと架線との間の接触力が大きく変動するため、揚力が小さいと架線と良好な接触状態を維持できなくなる一方で、揚力が大きすぎると架線にダメージを与えてしまいます。そのため、揚力はつねに適切な値に維持される必要があります。揚力測定は、図1に示すように、パンタグラフの台枠に力センサー(ロードセル)を設置し、力センサーと舟体周辺部とをワイヤーなどで接続して行います。このとき、ワイヤーは風の流れに極力影響を与えないよう、直径1mm程度の細いものを使用します。この方法により、無風時の力センサーの出力に対して、風洞送風時の力センサーの出力がどれだけ増加したかを揚力として検出することができます。

空力音の低減のためには、空力音が大きい部位から優先的に対策を行っていくことが重要となります。そのため、図2(a)に示すように、全体的な音の大きさを測定するための無指向性マイクロホンによる空力音測定に加え、パンタグラフを構成する各部材のどこからどれくらいの音が出ているかを調べる音源探査を併用することで、図2(b)のように空力音の大きな部位を把握でき、効率的に研究開発を進めることができます。

ここでは、新幹線用実機パンタグラフの実験を例に説明しましたが、米原風洞ではこのほかに、縮尺模型を用いてパンタグラフ周辺のがいしオオイ(パンタグラフ周辺を覆うカバー)や二面側壁(パンタグラフ遮音板)を含めた集電装置全体を再現した空力音測定・音源探査や、在来線用実機パンタグラフの揚力測定なども行っています。

車両から発生する騒音の測定技術

米原風洞が完成してから25年が経過し、その間には風洞に対する研究開発ニーズも多様化しています。米原風洞が稼働し始めた当初はパンタグラフが主たる空力音源でしたが、パンタグラフ空力音のさらなる低減が進む中で、台車部空力音の影響度合いが、近年、相対的に大きくなってきています。表面の平滑化が進んでいる新幹線車両では、とくに、台車部のような凹凸のある車両床下から発生する空力音について研究を進めています。風洞実験では、実際に走行する鉄道車両から発生する台車部空力音を風洞実験で精度よく測定するために、車両周りの流れの状態を模擬しました(図3)。流れ場を模擬した風洞実験で得られた台車部の空力音と実際の新幹線が走行した場合に台車部から発生する音が一致することが確認されました。

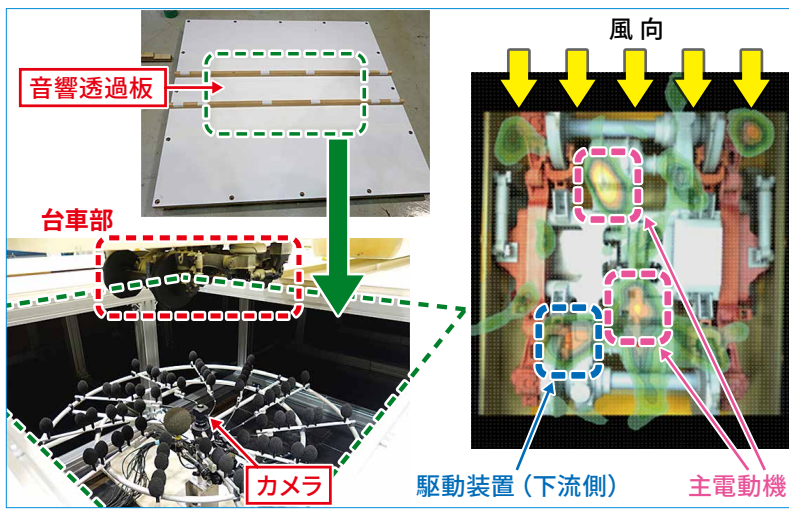


図4 新幹線台車部模型の下部に設置したマイクロホンアレイによる音源分布測定

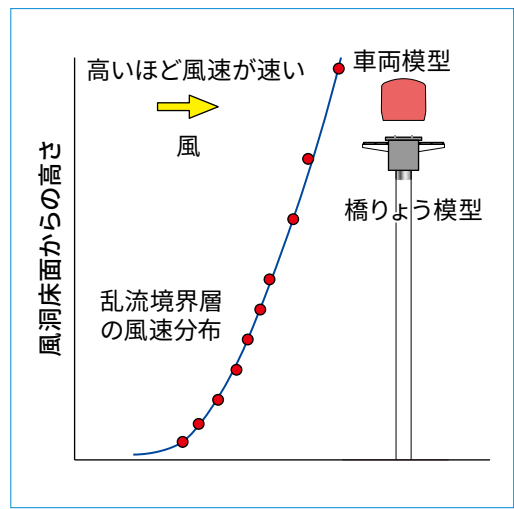


図5 自然風の特徴を再現した流れ

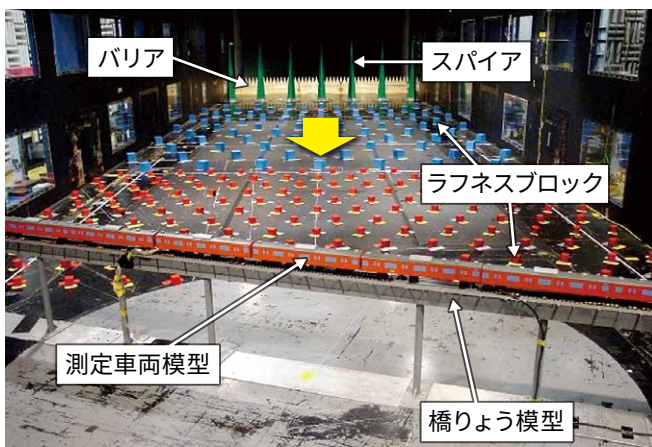


図6 横風試験の様子

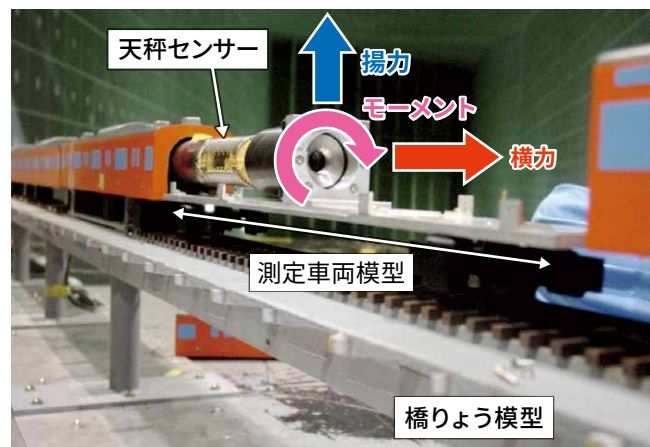


図7 測定車両模型に内蔵された天秤センサー

台車部の空力音を低減するためには台車部から発生する空力音の位置をより詳細に明らかにすることが重要です。そこで、パンタグラフの実験でも活用しているマイクロホンアレイを用いて台車部の下部の音源探査測定を行っています(図4)。風洞実験では、台車の下部に地面板がありますので、その地面板を音響透過板に置き換えました。音響透過板は空気を通さないで床下の流れは同じですが空力音は透過することができます。台車部の下部の音源探査測定を行うために、音響透過板の下にマイクロホンアレイを設置する風洞実験手法を開発しました¹⁾。

横風により車両に働く空気力の測定技術

強風時の列車の安全性と適切な運転

規制方法を考えるうえで、車両はどれくらいの強風まで転覆せずに走行できるのかを、できるだけ正確に知ることが重要となります。ここでは、車両が強風により転覆に至る際にもっとも影響の大きい空気力を評価するための風洞実験方法を紹介します。

横風により車両に働く空気力は、一般的に風洞を用いた横風実験で測定されます。横風実験では、現実の風(自然風)の特徴を測定部に再現した、乱流境界層とよばれる気流を用います(図5)。

強風により車両に働く空気力は、車両そのものの形状だけでなく、先頭車、後尾車あるいは中間車といった車両の列車編成内の位置や、橋りょうや盛土などの線路構造物の形状にも大きく影響を受けます。このため、横風実験では、車両とその車両が走行する線

区の線路構造物を組み合わせ、おもに40分の1の縮尺模型を用いて空気力を測定します。一例として、線路構造物が橋りょうの場合を図6に示します。乱流境界層を生成するため、模型が設置してある場所の上流側の床面にバリア、スパイア、ラフネスブロックを設置しています。

車両に働く空気力は、車両に対して吹いてくる風の向き(風向角)によっても変化するため、橋りょう模型の上に車両模型を固定して、模型全体を回転させ、さまざまな角度から風を当てて空気力を測定します。

模型に内蔵した天秤センサーで空気力(横力、揚力、モーメント)を測定します(図7)。横風の風洞実験で得られた空気力から、実際に吹く風の風速および風向角と、模型の縮尺に応じて、

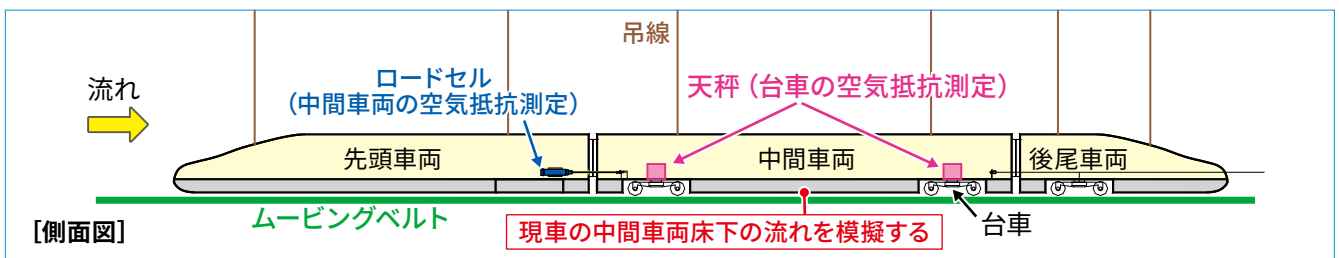


図8 3両編成車両模型での空気抵抗測定実験

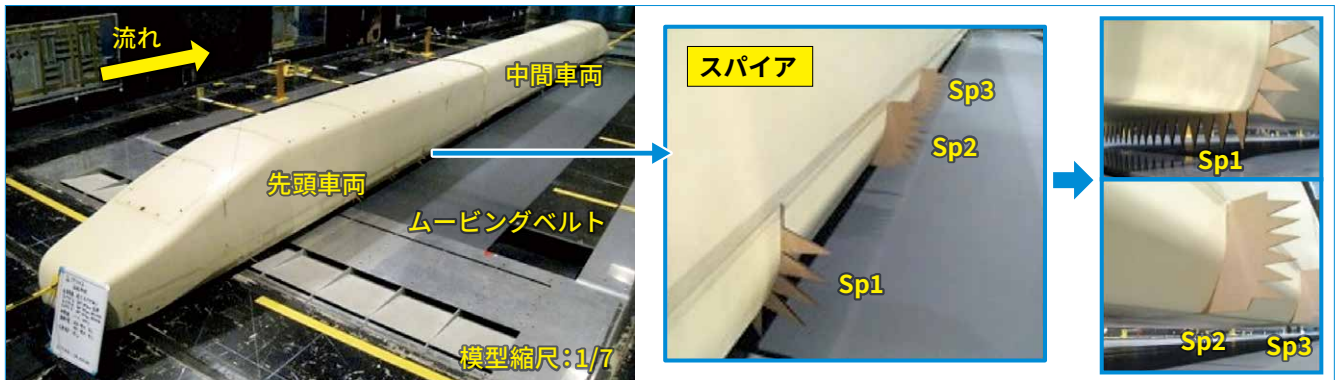


図9 車両床下流れの模擬

実際の車両に働く空気力を求めることができ、この空気力が転覆限界風速の評価に使用されています。

鉄道総研では、これまでに代表的な車両形状と線路構造物形状を組み合わせた風洞実験を行い、空気力係数の一覧表²⁾を作成しています。この一覧表から、対象の車両と線路構造物形状に近い組み合わせの空気力係数を準用することで、強風時の走行安全性を確認することが可能になっています。

車両の空気抵抗低減の測定技術

高速で走行する長大編成の列車の空気抵抗の低減は、省エネルギーに直結する重要な研究課題です。そのため精度の高い空気抵抗の測定技術が必要です。

新幹線車両の表面は平滑化が進んでいますが、台車部の凹凸のある車両下部では、空気抵抗低減の余地があります。図8に、新幹線車両の風洞実験の様子を示します。モデルは、先頭、中間、後尾の3両編成で、先頭車両に取り付けたロードセルで、中間車両の空気抵抗を測定します。風洞実験で車両下部の空気抵抗を精度良く測定するには、

まず、車両床下の流れを再現するためにムービングベルトを用います。さらに、現実の車両の周り（ここでは床下）にできる流れが遅くなる領域を風洞実験模型で再現します。現実の床下の流れは、現車試験で測定しました³⁾。現車試験の流速分布から風洞実験に用いる模型の現車相当の流速分布を求めました。その流速分布を、風洞実験でも再現します。風洞実験模型の周りの流れは、現実の車両周りの流れより速くなっていますので、風洞実験の模型の先頭車にスパイアとよばれる流れを遅くする板を取り付けます（図9）。スパイアの形状や取り付け位置を変更しながら、現車の床下流れを風洞実験で再現します。先頭車両へスパイアを取り付けることで、中間車両の車両模型の床下の流れを遅くして、現車の流速分布を再現することができます。このように、風洞実験で車両周りの流れを再現したうえで、中間車両の空気抵抗を測定することで、車体形状の改良による空気抵抗低減量を精度良く推定することができます。

さらに、長大編成の列車では、空気抵抗の多くを中間車両が占めています

が、過去の研究から、この中間車両の空気抵抗は編成内の位置によらずほぼ同じであると考えられます。風洞実験で得られた中間車両の空気抵抗低減量を中間車両の連結両数倍することで、編成全体の空気抵抗低減量を精度良く推定することができます。

おわりに

ここで紹介したほかにも多くの測定技術が活用されています。今後も、よりよい風洞実験のために、目的に適したさまざまな風洞実験技術の開発、活用を推進していきたいと考えています。

RRR

文献

- 1) 宇田東樹, 北川敏樹: 鉄道車両の台車部空力音に関する音源探査手法および低騒音対策の検討, 日本機械学会, Vol.86, No.888, p.20-00025, 2020
- 2) 種本勝二, 鈴木実, 斎藤寛之, 井門敦志: 在来線車両の空気力係数に関する風洞試験結果, 鉄道総研報告, Vol.27, No.1, pp.47-50, 2013
- 3) 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, 第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.199-200, 2009