

マドリッド工科大学との共同研究



兎内 龍也
Tatsuya Tonai
環境工学研究部
騒音解析研究室
研究員



宇田 東樹
Toki Uda
環境工学研究部
騒音解析研究室長

はじめに

マドリッド工科大学は、スペインでトップクラスの工科大学であり、ヨーロッパの工学分野における主要な学術機関の一つとして位置付けられています。特に、情報通信システム工学部音響可視化工学科のEduardo Latorre Iglesias 准教授は、空力音の予測モデルに関する世界的な第一人者の一人です。鉄道総研とマドリッド工科大学とは、両者の専門分野と研究の方向性が合致したことから、2021年度より「高速列車の台車から発生する空力騒音を予想するための半経験的コンポーネントベースモデルの開

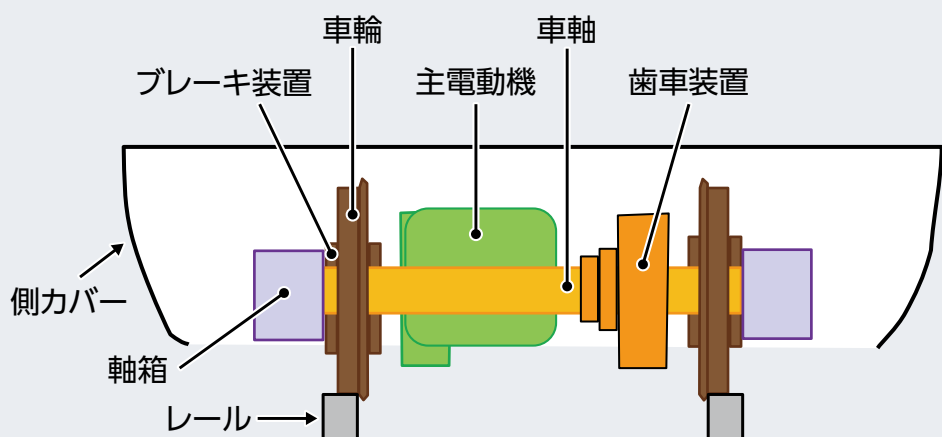
発」に関する共同研究を進めており、台車部空力音の予測モデルの開発に取り組んでいます。

高速鉄道における台車部空力音とその予測

昨今、日本国内だけでなく海外の高速鉄道において、**台車部**^① (図1) から発生する**空力音**^② (以下、台車部空力音) が注目されています。一般に、鉄道車両が走行する際には音が発生し、走行速度が高いほど発生する音は大きくなりますが、高速走行時にはこの台車部空力音が主な音源の一つであるとされています¹⁾。

台車部空力音を予測する際、実物大の台車を

図1 台車部の模式図 (正面図)



① 台車部

台車は鉄道の走行に欠かすことのできない重要な機器です。台車の主要な構成部品として、車輪や車軸、主電動機や歯車装置などがあります。それらのほかにも、鉄道の走行の安定性・安全性を向上させるための機器・部品が数多く配置されています。このため、台車の構造は非常に複雑なものとなっています。

② 空力音

空気が流れることによって発生する音のことです。空力音の発生源は渦の非定常運動とされ、流れの向きが急激に変わる段差や凹凸などが主な発生箇所になります。鉄道騒音においては、走行速度が300km/h以上の場合に、ほかの音(転動音や構造物音など)に比べて顕著に大きくなります。

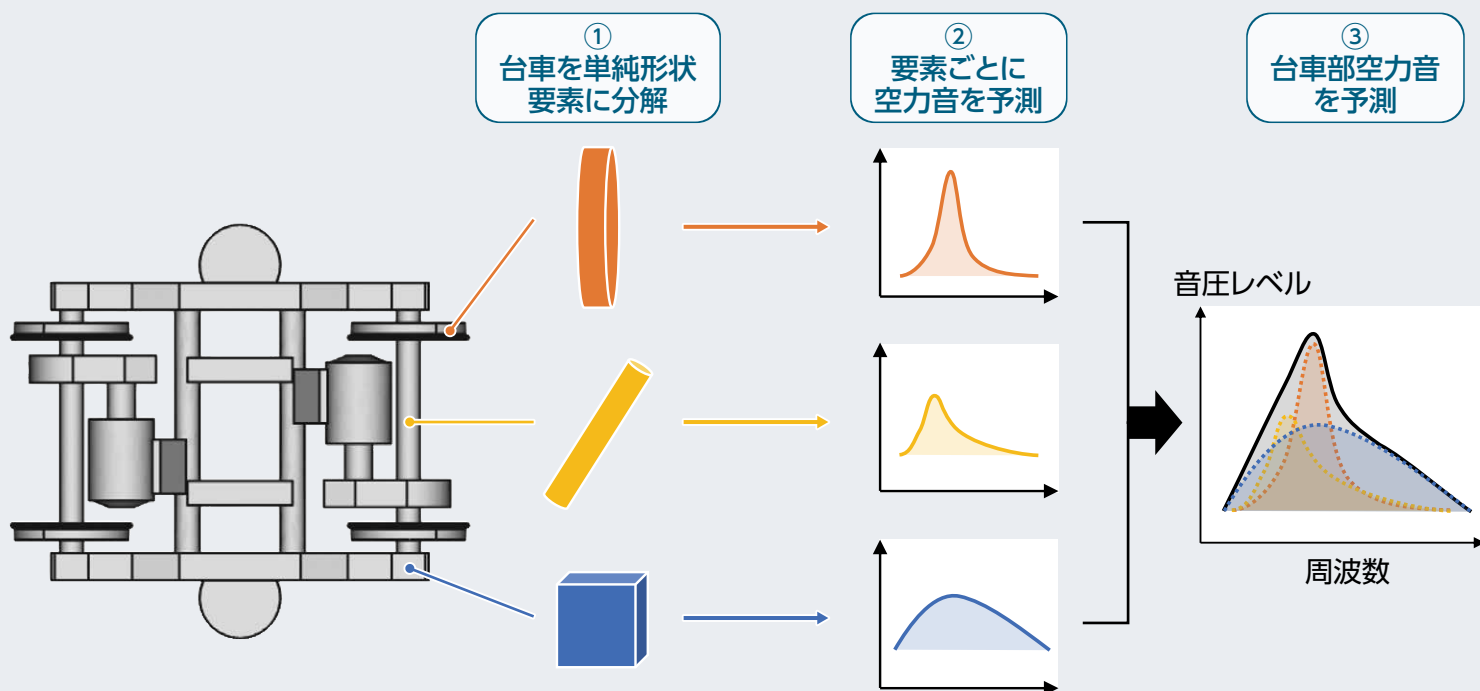


図2 台車部空力音のモデル化のフロー

用いることは容易ではないため、通常は、[風洞試験](#)や[CFD解析](#)などを行います。しかし、台車部空力音を厳密に予測することは、非常にコストがかかります。その理由は台車部が非常に複雑な構造を有している点にあります。例えば、風洞試験では台車部の細部まで忠実に再現した縮尺模型が必要です。また、CFD解析でも、台車部の構造を再現するためには計算格子を密にしなければならず、膨大な計算時間がかかります。

風洞試験

風洞とは空気の流れを人工的に作りだすための実験設備です。鉄道総研では、鉄道の技術開発に特化した小型低騒音風洞(国立研究所)や大型低騒音風洞(滋賀県米原市)を有しており、鉄道の車両から発生する空力音や、車両に加わる力などを評価するための試験に使用されます。大型低騒音風洞では、幅3m×高さ2.5mのノズルで最大400km/hの送風試験を実施することが可能です。

CFD解析

流体の運動を、コンピューターで数値的に計算する方法です。計算領域内の空間を小さな領域に分割した計算格子を作成し、分割された空間ごとに方程式を解くことで流れ場を再現します。一般に分割が細かいほど正確な結果に近づくとされますが、その分だけ計算に必要なリソースが増加します。

一方、台車の概念設計時などには、台車部空力音の予測精度は十分でなくとも台車の構造や機器・部品の配置などによる影響を大まかに把握し、設計の方向性を短時間に比較検討できる方が適している場面があります。

そこで、本研究では、台車の構成要素を単純形状に置き換えることで、台車部空力音を大まかに予測することを目的としています。マドリッド工科大学はこのモデル化手法に関する研究の最前線に立ち、多彩なノウハウを有しております。鉄道総研は空力音の測定に必要な不可欠な低騒音風洞設備を有しており、単純形状から放射される空力音のデータベースを構築することが可能です。ここで得られる空力音のデータを組み込んでモデル化することによって、より妥当性の高いモデルを作成することができると考えられます。

台車部空力音のモデル化

図2に台車部空力音のモデル化のフローを示します。まず初めに台車の各構成要素(台車の機器や部品、構造の一部など)を単純な形状に置き換え、それらを分割して個別に取り扱うこ

音圧レベル(オーバーオール値)
[dB]

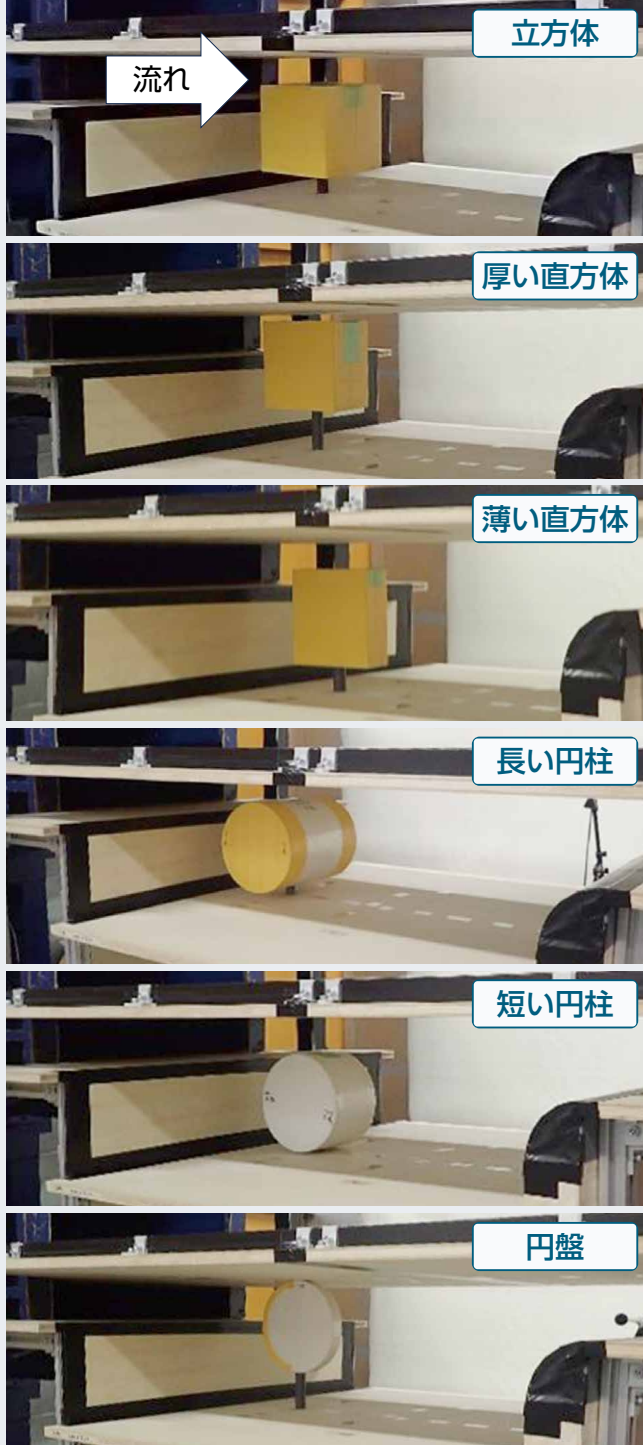
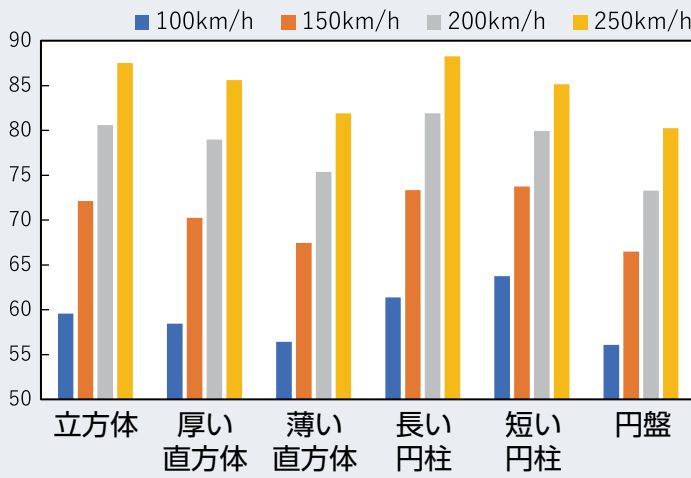


図3 単純形状から発生する空力音

とを考えます(①)。このようにすることで、単純な形状から発生する空力音のみを考えることができます(②)。必要に応じて、分割した各単純形状に対して既存の文献値を参照することもできます。最終的に、個別に検討した空力音を統合し、台車部空力音の予測値を得ることができます(③)。

この手法では複雑な形状を単純化するため、細かな形状の違いに由来する音の変化を予測することは難しいものの、台車の一部分の形状や配置などを変更したい場合に、台車部空力音の予測を簡便に実施できるようになります。台車部空力音のモデル化が確立されることにより、台車構成要素の配置、個数などのパラメーターから、空力音への影響を短時間で見積もれるようになり、鉄道事業者や車両メーカーへ低騒音な台車の設計指針を示せるようになることが期待されます。

現在はモデル化のためのデータベースを拡充することを主眼に、さまざまな条件で空力音の測定を実施しております。図3に研究成果²⁾の一例を示します。これは、鉄道総研の所有する小型低騒音風洞で高速鉄道の台車格納部を1/5スケールで再現し、その中に単純な形状の物体を置いた時の空力音を測定した結果です。異なる形状および流速について測定された音圧レベルのオーバーオール値を示しています。前述の通り、同じ形状においては流速(列車速度に相当)が大きいほど空力音が大きいたことが確認できます。空力音

の大小関係を形状間で比較すると、流速が小さい場合に最も騒音が大きいのは短い円柱であり、次いで長い円柱です。流速が大きくなると、長い円柱と立方体が空力音の大きい形状になります。円盤はすべての流速で最も騒音の少ない形状であり、次いで薄い直方体となります。

以上のように、形状や流速により異なる空力音の違いを定量化するとともに、データベースを構築しました。今後は、これらのデータベースをもとに、台車部空力音のモデル化を相手方とともに進めていく予定です。

マドリッド工科大学との 人事交流

本共同研究を通して、マドリッド工科大学との人事交流も盛んにおこなわれております。2023年には鉄道総研の職員がマドリッド工科大学を訪問し研究設備の見学や意見交換を行ったほか、約4か月間にわたってマドリッド工科大学側の共同研究員を受け入れ、モデル化に向けた風洞試験の計画から実施後のデータ解析までの一連の過程を共同で実施(図4)したり、台車部空力音の新たな低減策に関して議論したりしました。受け入れの最後には研究成果に関する報告会が実施されました(図5)。



図4 風洞試験の様子



図5 マドリッド工科大学の共同研究員の派遣成果報告会

おわりに

今後は、さらなるデータベースの拡充に向けて風洞試験を継続して実施すると同時に、データベースをもとにして台車部空力音のモデル化を進めていく予定です。今後も引き続き共同研究に取り組んでまいります。RRR

文献

- 1) 飯田雅宣：高速化のための沿線環境の評価・対策，RRR，Vol.72，No.7，pp.44-47，2015
- 2) Eduardo Latorre Iglesias, Tatsuya Tonai, Toki Uda, Jorge Muñoz Paniagua：Anechoic wind tunnel tests for high-speed train bogie aerodynamic noise characterization, INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise 23, Chiba, Japan, pp.1995-2994, 2023