

# 車両周りの流れを模擬して空力音を測る

山崎 展博

環境工学研究部  
(騒音解析研究室 副主任研究員)

井門 敦志

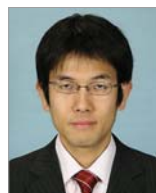
同  
(車両空力特性研究室 主任研究員)

高石 武久

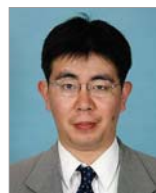
同  
(同 主任研究員)

池田 充

鉄道力学研究部  
(集電力学研究室 室長)



やまざき のぶひろ



たかいし たけひさ



いど あつし



いけだ みつる

## はじめに

東北新幹線八戸－新青森間延伸(2010年)、九州新幹線博多－新八代間の開業(2011年)が実現し、日本における新幹線路線は着実に拡大を続けています。また、新幹線開業当初210km/hであった営業最高速度も徐々に引き上げられ、近い将来300km/hを超える速度での運行も計画されています。新幹線の速度向上に向けては、幅広い分野で鋭意技術開発が進められていますが、その際に必要な取り組みとして、沿線騒音をより低く抑えるという環境問題への配慮も重要な課題となります。特に新幹線が高速で走行する場合には空気の流れが車体で乱されることにより発生する空力騒音がより顕著となるため、効果的な空力騒音低減対策が強く望まれます。これらの騒音低減対策を講じる上で、人工的に空気の流れを生成することができる風洞試験は非常に効果的なツールとなっています。ここでは、低騒音化対策に向けた技術開発に有用な最近の風洞試験法について紹介します。

## 風洞試験による空力騒音の評価

実際に走行している新幹線の騒音を測定して空力騒音の低減対策を模索しようとする、多くの問題が生じます。これは、実際の新幹線騒音には空力騒音以外の成分(転動音や構造物音)も含まれていること、また多岐にわたる形状の変更が容易でないことなどが理由です。このため、空力騒音のみを評価するための実験方法として、静止した気流中を新幹線が走行する状況と等価な状況、つまり静止した新幹線模型の周りに気流を流す風洞試験法が古くから用いられています。かつては主に空気力を測定するために用いられていた風洞施設ですが、最近では風洞自身から発生する暗騒音を低減することにより、空力騒音の評価を行うことも可能となっています。

## 風洞試験と現車での流れ場の違い

風洞試験により空力騒音を測定・評価するにあたっては、実際に走行する新幹線車両まわりの流速分布を忠実に模擬することが重要となります。しかし従来の風洞試験法では、新幹線車両の屋根上で発達する境界層(車体表面で速度が遅くなる領域)や、編成の長い車両の中間部床下付近における流速分布について、現車での状況を十分反映できていなかったため、風洞試験で得られた結果が現車での傾向と異なる問題が指摘されてきました(図1)。これらの違いは、発生する空力騒音特性に影響をもたらします。一方、風洞試験でこれらの流れ場を模擬するためには、測定対象部位の上流域で人為的に流れを乱し流速を調整する手法が考えられます。しかし、付加的に流れを乱すことは測定対象部位以外からの騒音を増加させることになるため、本来測定したい部位からの騒音が暗騒音成分に埋もれてしまう問題が生じます。このため、騒音測定精度(信号対雑音比:測定対象となる騒音成分とそれ以外の騒音成分(暗騒音)との比、以下S/N)を著しく劣化させることなく流れ場を模擬するための特別な手法を講じる必要があります。次節では、屋根上および車両下部の流れ場について、現車での流れ場を模擬した上での騒音測定法について個別に紹介します。

## 現車の屋根上流れを再現した風洞試験法の開発

現車試験の流速測定結果から、屋根上においてはこれまでの風洞試験で得られていた流速分布に比べ境界層が発達している様子が明らかにされました<sup>1)</sup>。前述したとおり、新幹線から発生する空力騒音の中で、高速の気流にさらされるパンタグラフは主たる騒音源の一つです。また、パンタグラフには安定した集電性能と低騒音化の両立を図ることが求められますが、集電性能は架線に接触する際、揚力などの力学的作用に大きく影響されるため、この点からも

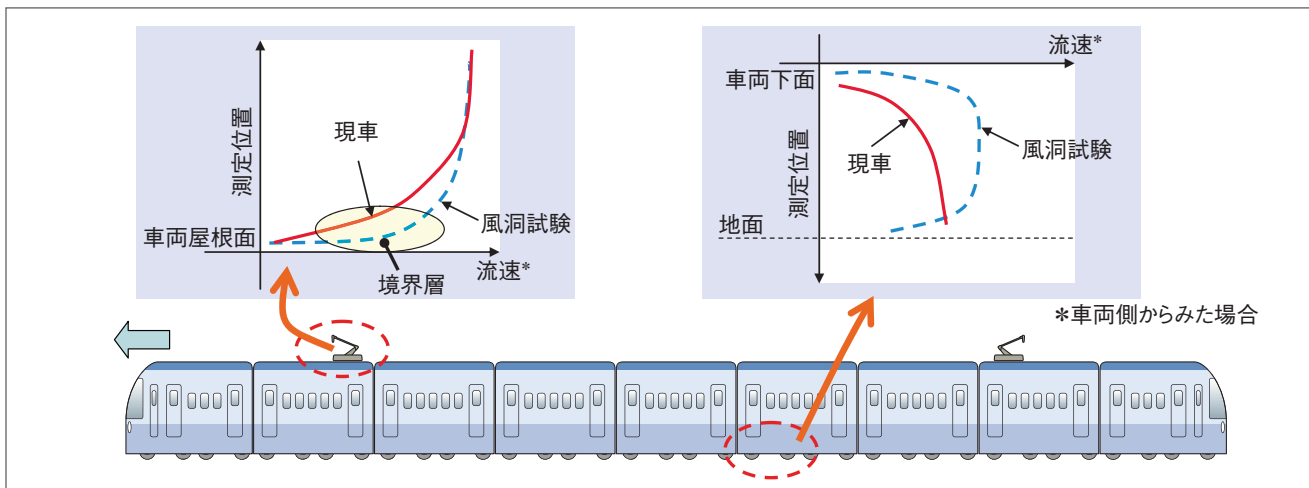


図1 風洞試験と現車での流速分布の違い(イメージ図)

気流の状況を精密に模擬することは重要になります。そこで、鉄道総研が所有する大型低騒音風洞の開放型測定部において新幹線屋根上流れを再現した風洞試験法の開発<sup>1),3)</sup>を行いました。図2に風洞試験の様子を示します。ノズル吹出口の大きさは、幅3m×高さ2.5m、集電部の模型は実物の1/3.15縮尺です。現車の状況に近い乱れた流れ場を生成するため、乱流生成装置として正面が二等辺三角形のスパイアをノズル吹出口に設置しました。精度の良い騒音測定を行うためには、このスパイア自身から発生する空力騒音を低減する必要があります。このための対策として、スパイアの二等辺の角を半径10mmで丸めるとともに、表面に厚さ4mmの不織布を貼付しました。表1に乱流生成装置の設置条件を示します。図3は流速分布を比較した結果です。図の縦軸は、車両の屋根または模型支持台車上

面からの高さを示しており、このうち①、②の風洞試験結果については、模型の縮尺(1/3.15)の逆数倍して現車換算した後の高さを表しています。図の横軸は、流速測定結果の平均値 $u_{mean}$ を列車速度または測定を行った断面における風洞の一樣流速度 $U$ で無次元化した主流方向の平均流速を示しています。スパイア形状の最適化を図った結果、現車(旧形式)の先頭から8両目(図中①)の流速分布とほぼ一致させることが可能となりました。次に、現車に近い流速分布を得ることができた乱流生成装置(②)を

表1 車両屋根上模擬時の乱流生成装置設置条件

	スパイアの形状	スパイアの本数	スパイアの間隔	スパイアの表面状態
あ	スパイアなし			
い	H1000mm×W60mm	3	400mm	不織布貼付
ア	現車(旧形式)、先頭から1両目の屋根上、明かり区間			
イ	現車(旧形式)、先頭から8両目の屋根上、明かり区間			

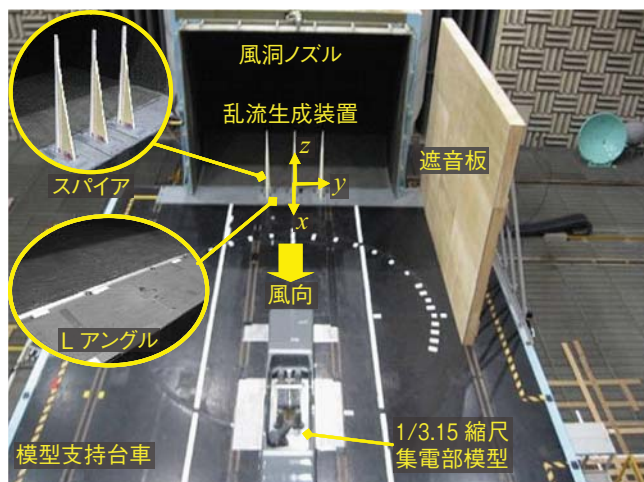


図2 新幹線屋根上流れを再現した風洞試験状況

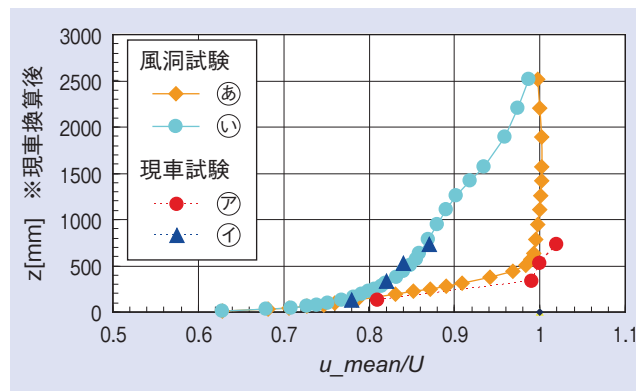


図3 平均流速分布の測定結果(車両屋根上部)

設置した状態で、集電部の縮尺模型から放射される空力音の評価を行いました。騒音測定時のS/Nを向上させるため、前述したスパイア自身の低騒音化に加え、幅3.5m×高さ2.7mの遮音板を設置しました。図4は、集電部模型の側方に設置した無指向性マイクロホンにより風速350km/hにおける放射音を比較した結果です。上述の対策の結果、集電部模型から発生する騒音レベルと乱流生成装置などの暗騒音レベルとの差は7dB以上であり、概ね良好なS/Nを確保できました。

### 現車の床下流れを再現した風洞試験法の開発

次に、台車部付近の車両床下流れを模擬した風洞試験法および騒音の同時計測法について紹介します。現車試験での測定結果から、中間車両台車部（8両編成の5両目後位）へ流入する箇所での流速分布については、平均流速が列車の走行速度の半分以下まで減速していることが分かりました<sup>2)</sup>。この流れ場を模擬した風洞試験を前述した大型低騒

音風洞の開放型測定部で行いました。風洞試験の状況ならびに本研究での騒音測定対象となる台車部の形状を図5に示します。測定部には1/7縮尺スケール車両模型が設置されており、その中央部付近に測定対象となる台車部が位置しています。列車走行速度に相当する一様流速（ノズル出口部における風速）は、現車の状況<sup>2)</sup>と極力合わせるため360km/hとしました。なお、台車本体を取り外した上で車体下面を平滑化した条件での測定結果を暗騒音レベルと定義します。台車部流入箇所での流速分布を再現するための模擬手法を図6に示します。検討の結果、車両先頭部付近の車両下面にスロープを敷設して、車両下部の高さを徐々に狭めることにより流れを車両側方に跳ね分け、結果

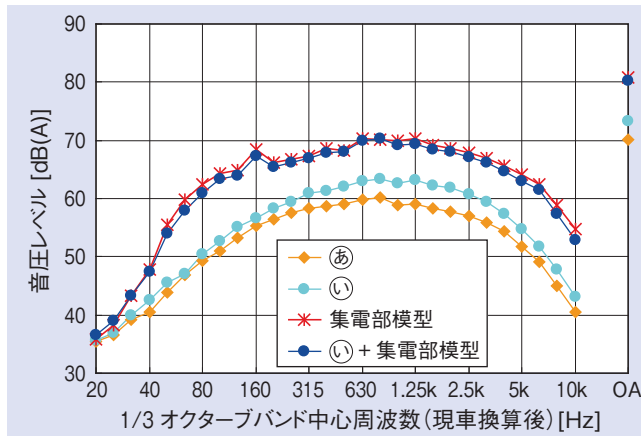


図4 集電部からの空力騒音測定結果

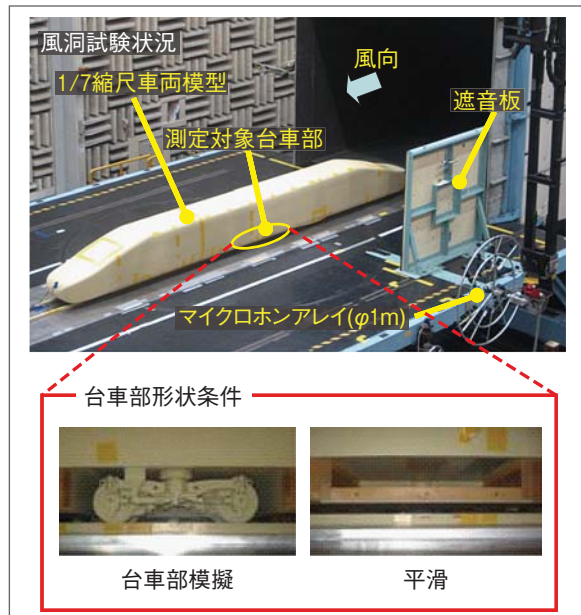


図5 新幹線屋根上流れを再現した風洞試験状況（台車部写真は撮影のため側カバーを取り外した状態）

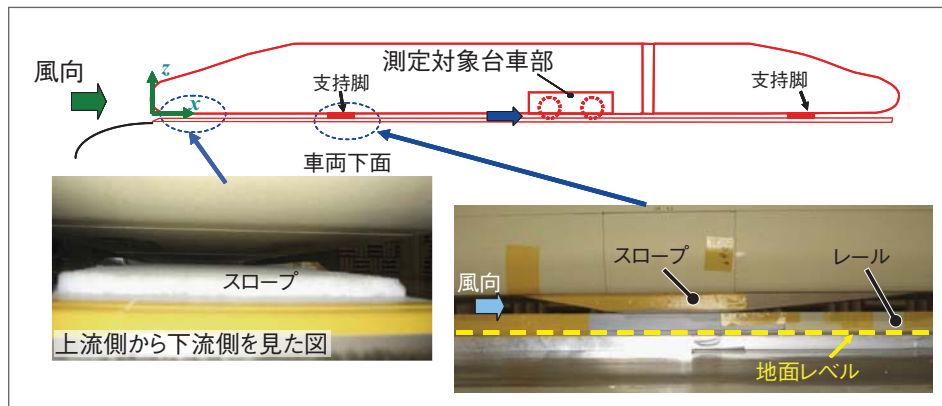


図6 台車部流入箇所における流れ場の模擬手法

として暗騒音レベルを著しく悪化させることなく台車部流入箇所における平均流速を低減できるとの見通しを得ました。この手法を用いて得られた台車部位流入箇所における流速分布を図7に示します。図中の現車試験における結果は、8両編成の新幹線車両において、先頭車両から5両目後位台車部流入箇所にて得られた結果を示しています。また、縦軸は風洞試験における鉛直方向座標 $z$ を現車における車両下部-地面間隔 $H$ により無次元化しています。横軸については、同じく測定流速 $u$ を一様流速 $U$ により無次元化しています。これより、本手法を用いて得られた風洞試験での流速分布が現車試験での結果と良く一致していることがわかります。騒音の測定時のS/Nをさらに向上させるため、流れ場模擬部材自身の低騒音化に加え、騒音計測装置として台車部側方に設置した指向性を有するマイクロホンアレイを使用しました。さらに流れ場模擬部材などから発生する騒音の影響を抑えるため、車両模型先頭部の側方に遮音板を取り付けました。この流れ場模擬手法を用いて車両下部流れ場を再現した上で、マイクロホンアレイにより測定した台車部まわりの音圧レベル分布図を図8に示します。台車部模擬時と台車部平滑条件を比較すると、台車部での音圧レベル差が十分大きく、台車部空力騒音の評価が可能であると考えられます。また、台車部側方における推定騒音レベルを図9に示します。台車部模擬条件と平滑条件の差は、125Hz帯~500Hz帯で9dB以上、630Hz帯~1000Hz帯で5dB以上確保されており、本手法により定量的評価が可能であるといえます。

### まとめ

ここでは、現車での状況を詳細に模擬した風洞試験における空力騒音測定手法について紹介しました。今後は、代表的な空力騒音源とされている集電部や車両下部騒音を対象とした風洞試験に本手法を適用し、空力騒音の低減化に向けた研究開発を行っていく予定です。RRR

### 文献

- 1) 高石武久他：新幹線屋根上流れを再現した風洞試験法（第1報：乱流生成装置の開発），J-RAIL2010，pp.215-216，2010
- 2) 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，pp.199-200，2009
- 3) 池田充他：新幹線屋根上流れを再現した風洞試験法（第2報：集電装置模型の風洞試験），J-RAIL2010，pp.225-226，2010

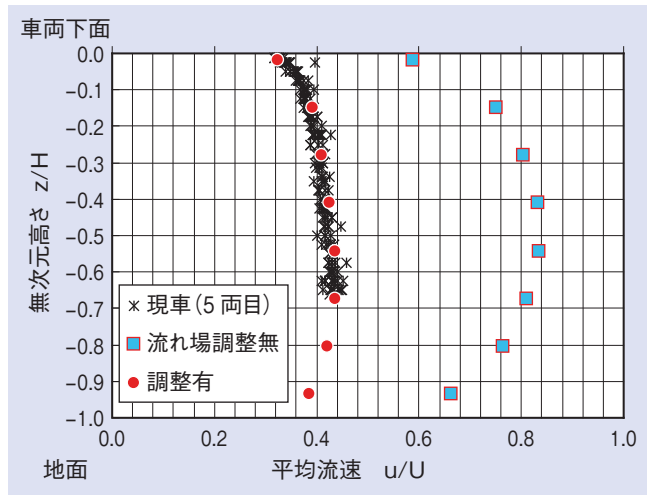


図7 平均流速分布の測定結果(台車部流入箇所)

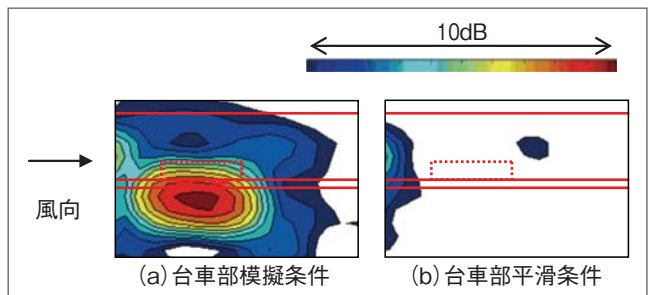


図8 台車部まわりの音圧レベル分布図 (現車換算周波数 500Hz帯)

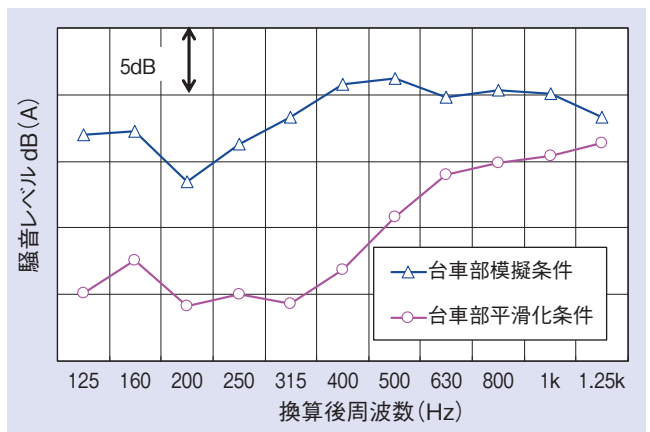


図9 台車部から発生する空力騒音測定結果