

| |
|-------|
| 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 |

パンタグラフに関する試験に活用する

パンタグラフは車両屋根上に搭載され、高速の気流にさらされる装置であることから、揚力特性の安定化や空力音の低減といった空気力学的な課題の解決が重要となっています。こうした課題に取り組むうえで、大型低騒音風洞は重要な役割を担っています。ここでは、パンタグラフの風洞試験について、これまでの歴史を概説するとともに、大型低騒音風洞を活用したパンタグラフの揚力特性や空力音の評価方法に関する最近の研究開発状況についてご紹介します。



光用 剛
Takeshi Mitsumoji
鉄道力学研究部
集電力学研究室
副主任研究員
[専門分野] 架線/パンタグラフ系に関わる空力現象



池田 充
Mitsuru Ikeda
鉄道力学研究部
部長
[専門分野] 架線/パンタグラフ系の動的相互作用、パンタグラフの低騒音化



臼田 隆之
Takayuki Usuda
鉄道力学研究部
集電力学研究室
室長
[専門分野] 架線/パンタグラフ系の動的相互作用

はじめに

日本国内において、パンタグラフの風洞試験が最初に実施されたのは今から57年前の1959年に遡ります。当時は、東海道新幹線開業に向けた研究開発が行われていた時期であり、200km/hを超える当時としては未知の営業速度において、パンタグラフにどの程度の空気が作用し、どのようにすれば空気を適切な値に調整できるのか、ということに対して十分な知見がありませんでした。そこで、パンタグラフに関わる最初の風洞試験が鉄道総研の前身である旧国鉄・鉄道技術研究所（以下、技研）津田沼土木実験所の風洞（吹出口800mm×800mm）において実施

され、舟体の空力特性に関する基礎試験が行われました。続いて1959年～1961年にかけて工業技術研究院 尼崎分室の風洞（吹出口1.8m×2.2m、楕円形）において実機パンタグラフの空力特性に関する試験が実施されています。これら一連の研究成果に基づいて0系新幹線車両用パンタグラフPS200が開発された結果、1964年の東海道新幹線開業後は、パンタグラフの空力特性に起因する大きなトラブルが発生することはありませんでした。

その後、1970年代中盤に沿線騒音低減の重要性が広く世間に認知され、そのなかで空力音の低減の重要度が理解されるようになりました。こうした背

景のもと、1980年代前半に再びパンタグラフの風洞試験が実施されるようになりました。当時、技研には吹出口800mm×800mmの風洞（1993年に現在の小型低騒音風洞に改修）がありましたが、パンタグラフの試験を行うには吹出口が小さい

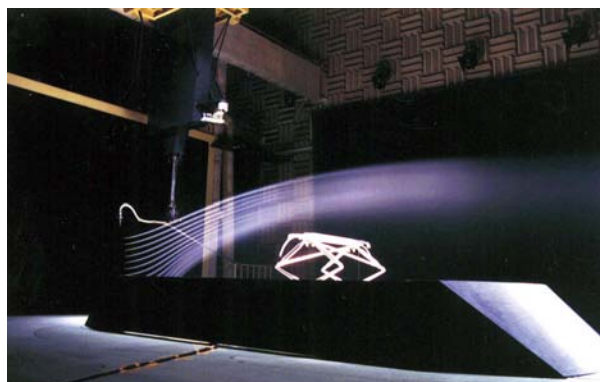


図1 パンタグラフカバーの試験の様子（1989年 日産自動車 実車風洞）

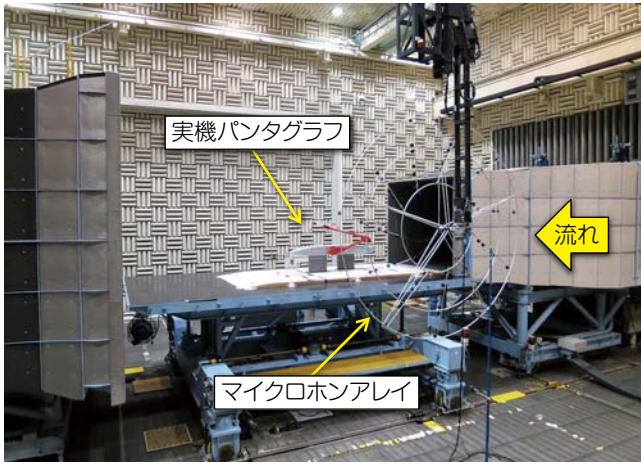


図2 実機パンタグラフの試験の様子

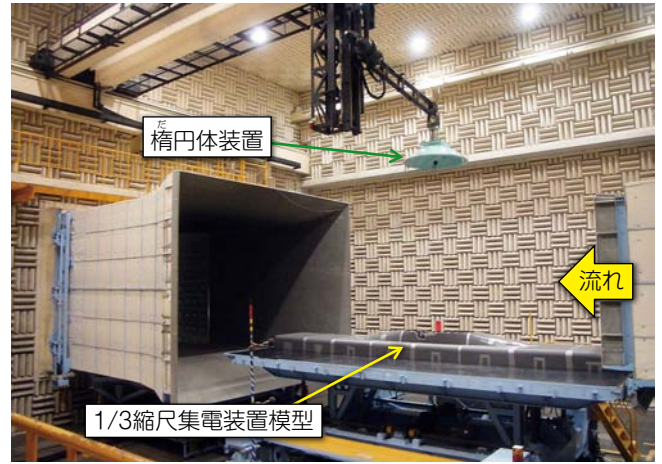


図3 1/3縮尺集電装置模型の試験の様子

え、風洞自体から発生する騒音(暗騒音)が大きく、パンタグラフの空力音の評価は困難でした。そこで、当時のパンタグラフの試験は日立電線(現:日立金属)の低騒音風洞を借用して実施され、パンタグラフや支持がいしから発生するピーク性の空力音の低減技術が考案されました。

また、1980年代後半には、国鉄からJRへの分割民営化の流れのなかで新幹線の高速化が検討され、空力音の試験については日産自動車の低騒音実車風洞を、空力特性に関する試験については、富士重工業や川崎重工業の航空用風洞、日本自動車研究所の実車風洞などを借用し、風洞試験が実施されています。とくに、日産自動車の実車風洞は5m×3mと7m×4mの二種類の吹出口を有し、かつ、測定部長さも12mと長いことから、パンタグラフ近傍の流速を低下させ空力音を低減する技術として考案されたパンタグラフカバーの試験も数多く行われてきました(図1)。

このように、1980年代の試験は部外の風洞を活用していましたが、新幹線の高速化に向けた空力的な技術課題が顕在化し、各種試験を鉄道分野自前の設備で実施するニーズが高まってきたことが大きな契機の一つとなり、1996年に大型低騒音風洞を竣功するに至りました。現在では、日本国内における実機パンタグラフに関する風洞試験

のほとんどがこの大型低騒音風洞において実施されています。図2は実機パンタグラフの試験例を示していますが、揚力測定や空力音測定に加え、マイクロホンアレイを活用した音源探査も一般的な測定項目の一つとなっています。

また、前述の小型低騒音風洞もパンタグラフの試験に活用されています。ただし、小型低騒音風洞は、吹出口寸法が小さいという制約があるため、縮尺模型や実物の一部分を供試体として、大型低騒音風洞で実施する試験ケースの絞り込みなどの予備試験や、流速分布測定などの基礎試験を実施しています。このように、現在では大型低騒音風洞と小型低騒音風洞の役割分担を明確にし、効率よく試験を行っています。

パンタグラフの風洞試験の概要

パンタグラフに関する空気力学的な技術課題として、揚力特性の安定化と空力音の低減の二点が挙げられます。どちらも、最終的には走行試験で評価がなされるものですが、走行試験の場合、試験コストがかかるうえ、高電圧部にあるパンタグラフの測定にはさまざまな制約が生じます。また、安全性の面からは走行試験に供する前に、パンタグラフの揚力特性などを把握しておくことが必要不可欠です。そこで、パンタグラフの空力的な評価試験には大型低騒音風洞が活用されていま

す。大型低騒音風洞で試験を行う最大のメリットは実機のパンタグラフを持ち込んで実際の走行速度と同じ風速で試験を実施できる点にあります(図2)。これは、現車と同じレイノルズ数(物体の大きさと流速、流体の粘性から決まる流れの状態を表す数値)で試験を行うことができるだけでなく、パンタグラフの枠組構造による揚力特性への寄与や、部材間の隙間から発生する空力音の影響などを含めたパンタグラフそのものの特性を評価できることを意味しています。ただし、大型低騒音風洞といえども、がいしオオイ(☞参照)や二面側壁(パンタグラフ遮音板)(☞参照)といった屋根上構造物を含めた実物の集電装置全体を試験に供することは、吹出口寸法や測定部長さの面で制約があります。そのため、これら集電装置全体の構成を検討する場合には、主に1/3程度の縮尺模型が供試体として用いられます(図3)。

☞ がいしオオイ

パンタグラフの支持がいし周辺から発生する空力音を低減する目的でパンタグラフの周囲に設置されるフェアリング(整流カバー)のことです。

☞ 二面側壁

パンタグラフから発生する空力音を遮音する目的でパンタグラフの両側に設置される板状部材のことです。パンタグラフ遮音板とも呼ばれます。

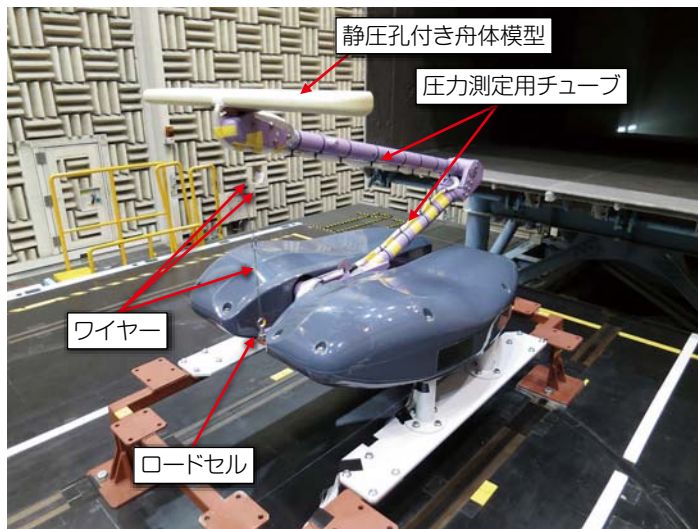


図4 揚力と舟体表面圧力の同時測定の様子

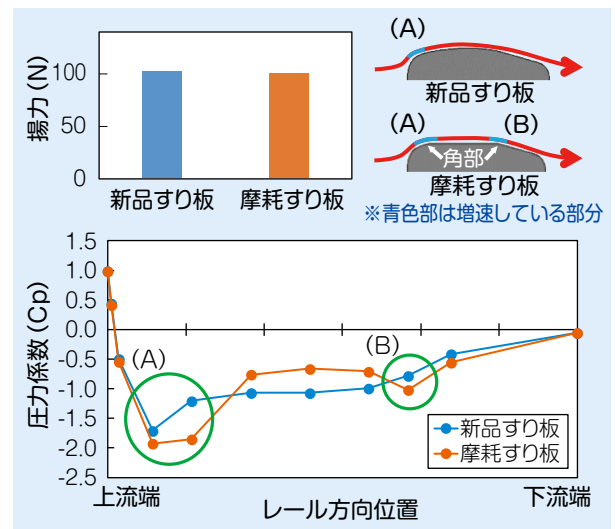


図5 揚力・舟体表面圧力分布測定結果と流れの模式図

パンタグラフの揚力特性

走行中のパンタグラフには揚力が作用しますが、揚力が小さいと離線が頻発し、車両に安定して電力を供給できないだけでなく、離線アークによってすり板の摩耗が増加します。一方、揚力が大きすぎると、トロリー線の金属疲労が問題になるうえ、架線金具類とパンタグラフが接触するリスクも高くなります。このため、想定される作用高さの範囲において、パンタグラフの揚力が常に適正な範囲であることが重要です。また、舟体部分については、対向風の風向変化やすり板摩耗による断面形状変化に対する揚力変化量が小さいことも求められます。こういった背景から、パンタグラフの開発段階の試験では、適切な値の揚力が得られ、かつ、作用高さ、迎角（風向）、すり板摩耗といった条件を変化させた場合の揚力変化量が極力小さくなるような舟体形状が選定されます。しかし、こういった開発は経験に基づいて試行錯誤的に行われる場合が多く、流れ場と揚力の因果関係についての理解は、必ずしも十分に進んでいません。そこで、すり板摩耗に起因する揚力変化を例に、風洞試験によって流れ場と揚力の因果関係について現象解明を試みた事例を紹介いたします。

揚力と舟体表面圧力の測定

揚力は物体表面の圧力分布によって決まるため、パンタグラフの揚力特性と流れ場との関係を理解するうえで、舟体の表面圧力を把握することは重要です。図4は実機パンタグラフに、圧力測定用の静圧孔を設けた舟体模型を搭載し、揚力と舟体表面圧力を同時に測定した試験の様子を示しています。揚力は、台枠に取り付けたロードセルと舟体近傍をワイヤーで接続し、無風時に対する送風時のワイヤー張力の増分によって評価しています。また、舟体表面圧力は、舟体模型の表面に設けた静圧孔と圧力計をチューブで接続して測定しています。なお、舟体には鉄道総研が提案している、揚力特性の安定化と空力音の低減を両立するように設計された平滑化舟体¹⁾を搭載しています。図5はすり板の摩耗条件が異なる場合について、風速300km/hにおける揚力測定結果（上段左）と、舟体中心からまくらぎ方向に200mm偏倚した断面における舟体上面側の圧力分布測定結果（下段）を示しています。図5上段左の揚力測定結果より、この舟体では、すり板摩耗による顕著な揚力変化は生じないことがわかります。一方、図5下段の舟体表面圧力分布測定結果を参照すると、両者の圧力分布

には違いがあることがわかります。「新品すり板」の場合には前縁部(A)で圧力が極小値を示した後、下流側に向かうにつれて圧力が上昇しています。一方、「摩耗すり板」の場合には前縁部(A)および下流側のすり板角部(B)の二点に圧力の極小値が見られます。これらの結果から、舟体上面側の流れを推定すると図5上段右のようになります。どちらも、流れが舟体表面に沿っていると考えられますが、「摩耗すり板」の場合には、すり板の摩耗によって生じた2箇所の角部(A)(B)近傍で流れが加速していることが推測されます。このように、同じ揚力特性でも舟体周りの流れ場に差異がある場合があるため、舟体表面の圧力分布を把握しておくことは重要です²⁾。こういった揚力と舟体表面圧力の同時測定を精緻に実施できることも、実機パンタグラフでの試験が可能な大型低騒音風洞ならではの利点といえます。

パンタグラフの空力音の評価

パンタグラフの風洞試験において、実機パンタグラフを実際の走行速度の風速で試験をした場合においても再現しきれない現車特有の現象の一つに、屋根上境界層の影響があります。境界層とは、物体表面と空気との摩擦に

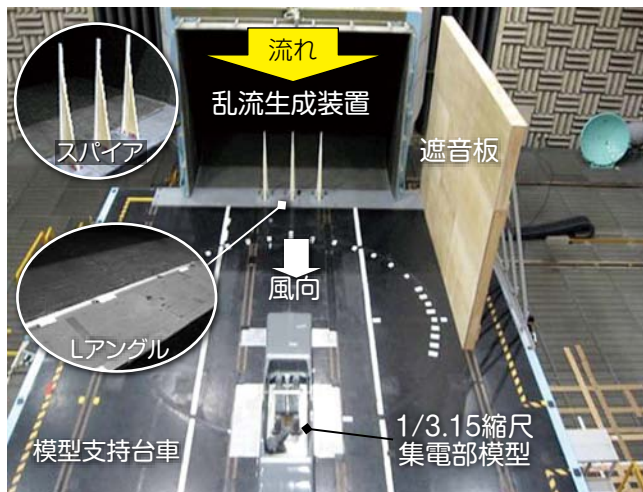


図6 車両屋根上の境界層を模擬した試験
(図の右側にマイクを設置)

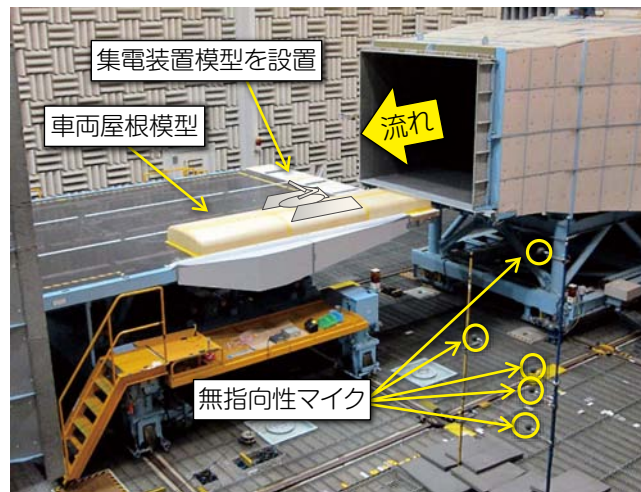


図7 現地での見通しを考慮した空力音測定試験

よって生じる速度が遅い流れの層のことであり、走行中の車両屋根上には発達した境界層が存在することが知られています。また、境界層は後位側の車両ほど厚くなることも知られています。この境界層の影響で、現車のパンタグラフの支持がいしや台枠風防カバーなどから発生する空力音が風洞試験と異なる可能性があります。そのため、風洞試験においても現車の境界層の速度分布や乱れの状態を模擬することが重要になってきています。また、現地での騒音測定点と風洞試験とで、観測点からパンタグラフのへ見通し角を合わせることも、現地で観測される空力音の精緻な予測を行ううえで重要です。以下では、これらの事柄についての最近の研究例を紹介します。

車両屋根上流れの再現

図6は車両屋根上の境界層を模擬した風洞試験の例³⁾を示しています。横風に関する風洞試験(本号の特集記事参照)と同様に、この試験では吹出口にスパイアなどを設置し、境界層分布を再現して試験を行っていますが、空気力ではなく空力音の評価を主目的としている点が横風に関する風洞試験と大きく異なります。そのため、スパイアに柔毛材を貼り付けてスパイア自身

を低騒音化したうえで、遮音板によりスパイアからの空力音を遮音した状態で空力音測定を行っています。この試験方法により、現車に近い流入流速分布で空力音の測定を行うことが可能となりました。

現時点では、境界層の平均流速分布を一致させる試験方法を確立した段階ですが、今後、境界層内の乱れの分布やスペクトルを含めた現車の屋根上流れを模擬することで、より精緻な評価が可能になると考えられます。

現地での見通しを考慮した試験

通常、パンタグラフの風洞試験では、模型支持台車の上に供試体を設置します。このとき、模型支持台車のまくらぎ方向の幅が広い(4mまたは5.5m)ため、現地の騒音測定点の高架高さを想定した点、すなわち、パンタグラフの斜め下方にマイクを設置すると、支持台車によってパンタグラフからの空力音が過度に遮音されてしまいます。図7はこの問題を解決するため、模型支持台車をまくらぎ方向にオフセットさせ、現地の騒音測定点と同じ見通し角、かつ、支持台車による遮音の影響がない条件で、集電装置模型の空力音評価を行った試験⁴⁾の様子を示しています。現在、この方法を縮尺模型試験

に適用し、二面側壁(パンタグラフ遮音板)による遮音効果を定量的に評価する手法の提案などを行っています。

おわりに

ここではパンタグラフに関する風洞試験の歴史を概説するとともに、大型低騒音風洞を活用した試験事例と最近の研究状況についてご紹介しました。新幹線開業から50年以上を経て、パンタグラフはさまざまな進化を遂げましたが、今後も空力音低減をはじめとした一層の進化が求められています。鉄道総研ではこれからも、大型低騒音風洞を最大限に活用し、研究開発を推進していきます。[RRR]

文献

- 1) 吉田和重, 鈴木昌弘, 池田充: 揚力特性および低騒音性を考慮した舟体形状最適化の基礎検討, 鉄道総研報告, Vol.19, No.9, pp.23-28, 2005
- 2) 光用剛, 池田充, 佐藤祐一: 新幹線パンタグラフ舟体の揚力特性変化メカニズムの解明, 鉄道総研報告, Vol.30, No.2, pp.11-16, 2016
- 3) 高石武久, 池田充: 高速鉄道車両の屋根上流れを再現した風洞試験法, 鉄道総研報告, Vol.25, No.11, pp.29-34, 2011
- 4) 山崎展博, 光用剛, 佐藤祐一, 北川敏樹, 井川剛暢, 土屋良雄: 風洞試験による二面側壁を伴うパンタグラフ空力音の推定法, 第22回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 2015