

- 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

# 新幹線速度向上時の沿線環境負荷の低減



長倉 清  
Kiyoshi Nagakura  
環境工学研究部 部長  
[専門分野] 音響工学

鉄道の価値を向上させるうえで、速度向上による到達時間の短縮が効果的な方策の一つであることはいうまでもありませんが、日本の新幹線のような沿線人口の多い路線では騒音・振動などの沿線環境への影響が大きく、新幹線の速度向上が社会に許容されるためには、現状を悪化させない、あるいは基準値や指針値を遵守することが必須となっています。本課題では、新幹線の沿線環境問題の中で、とくに速度向上時に影響が顕著になる明かり区間の空力音・圧力変動、トンネル微気圧波、地盤振動の諸現象を対象とし、これらの現象解明、予測評価手法および低減手法に関する研究開発を行いました。

## 空力音の低減策

新幹線車両が走行するときに発生する騒音は、車輪・レールや構造物などの固体の振動に起因して発生する音（転動音や構造物音など）と車両まわりの空気流に起因して発生する空力音に分類されます。現地試験データを用いた音源解析結果から、最新の新幹線車両が300km/hを超える速度で走行する場合には、空力音の占める割合が転動音を大きく上回ることで、空力音の中では台車部などの車両下部からの音が大きく、パンタグラフからの音がそ

れに次ぐことが示されています。そこで、本研究では、台車部およびパンタグラフから発生する空力音の低減策の開発に取り組みました。

台車部空力音については、風洞試験において台車装置直下の地面を音響透過板（音は透過するが空気の流れは通さない性質の板）に置き換え、その下方に設置したマイクロホンアレイを用いて音源探査を行う試験手法を開発しました（図1）<sup>1)</sup>。この測定方法を用いることにより、空力音の音源は主電動機・駆動装置付近に局在すること、

台車を格納する車体下部の空間（以下、台車キャビティー部）の前後ふさぎ板端部も音源になっていることが明らかになりました。これらの知見をもとに、台車キャビティー部の前後に車両床下流れの方向を変える跳ね上げ材を取り付ける対策、主電動機や駆動装置の設置位置を上方に移す（オフセット）対策、台車カバーの下面を車体内側に折り込む対策（フラットアンダーカバー）などを提案し（図2）、「オフセット+フラットアンダーカバー」対策により250Hz～2kHz帯で台車部空力音が約2dB低減することを確認しました。

パンタグラフ空力音については、過去の研究において、走行方向を一方に限定することで空力音の低減と揚力特性の安定化を両立する平滑な舟体断面形状（以下、平滑化舟体）や、舟体と舟支え部を離して設置して流れの干渉を緩和する手法、部材表面に多孔質材を貼る手法などが提案されています。本研究では、これらの考え方に基づいて空力音のさらなる低減を図るとともに、実機への適用に向けた検討を行いました。

平滑化舟体については、多分割舟体

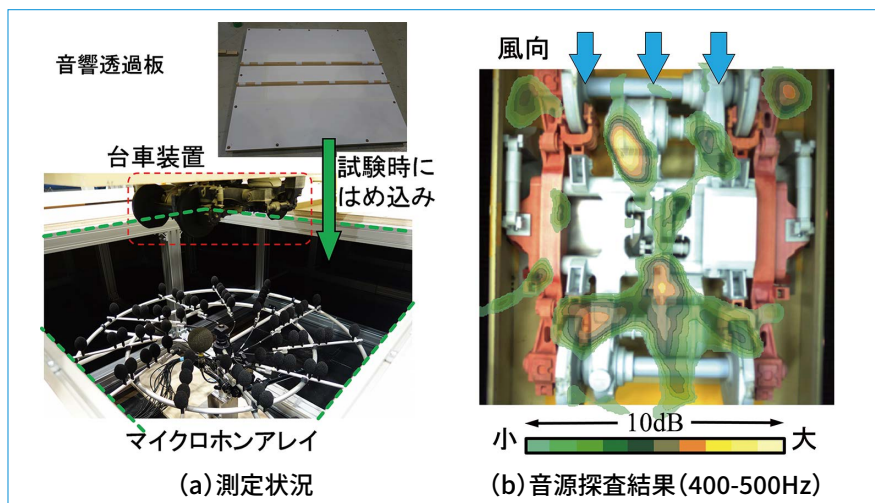


図1 マイクロホンアレイと音響透過板を用いた風洞試験による台車部空力音の音源探査

機構<sup>2)</sup>によって舟体が上下動作するときの揚力変化を減らすとともに、切り欠きを設けて揚力特性を安定化する対策(図3①)などを提案しました。改良舟支えについては、舟体位置を上流側に移設するタイプのものを選定し(図3②)、機構・強度や集電性能に問題のないことをしゅう動試験などにより確認しました。多孔質材については、空力音低減効果と取り付け強度を考慮し、頂点カバーへの多孔質材の埋込部分適用(図3③)を提案しました。これらの対策の組み合わせにより、現用パンタグラフに対して騒音レベルを2.7dB低減できることを確認しました。

以上に述べた台車部・パンタグラフ部の対策については、ぎ装限界の検討などの実車両への適用における課題が残っていますが、沿線騒音の現状非悪化を維持しながら10%程度の速度向上ができる可能性が示されました。

### 明かり区間圧力変動の現象解明と低減策

新幹線車両が明かり区間を走行すると、列車まわりの空気流および高架橋などの構造物振動に起因した圧力変動が発生し、家屋の建具や窓などのがたつきが生じることがあります。前者の空気力学的な成分は、車両の先頭・後尾部の圧力変動と中間車両から連続的に放射される圧力変動で構成され、建具のがたつきなどに大きく影響する5Hz~20Hzの成分はおもに中間車両から発生することがわかっています。そこで、この成分の詳細な発生源を解明するため、構造物音の影響のない平地区間においてマイクロホンを線路方向に約30mの範囲に並べて発生源の分布を測定しました。その結果、圧力変動の発生源は台車部付近に局在し、とくに台車キャビティー部に起因することが明らかになりました<sup>3)</sup>。

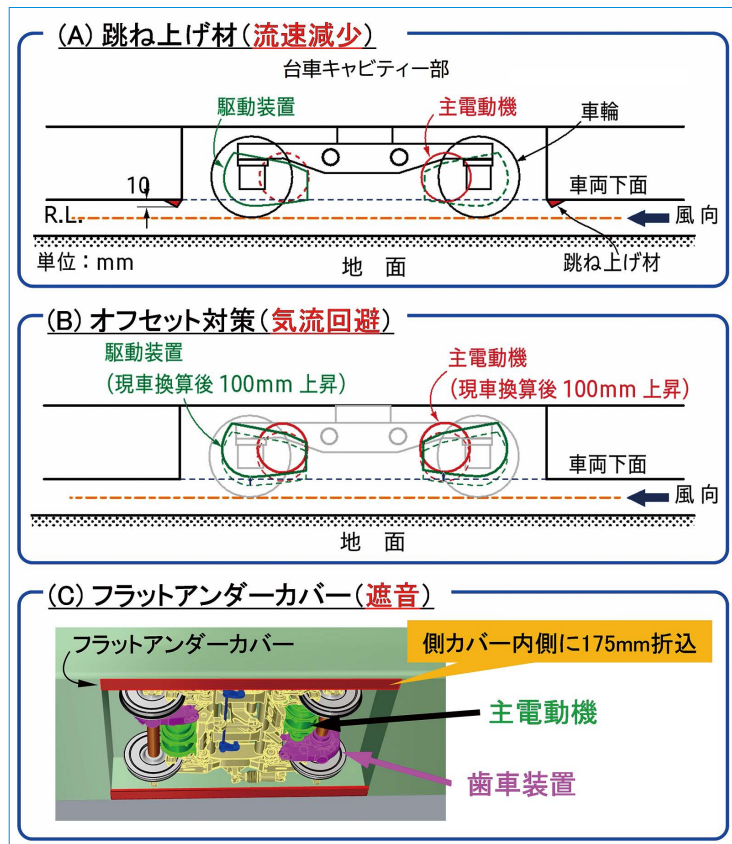


図2 台車部空力音の低減策

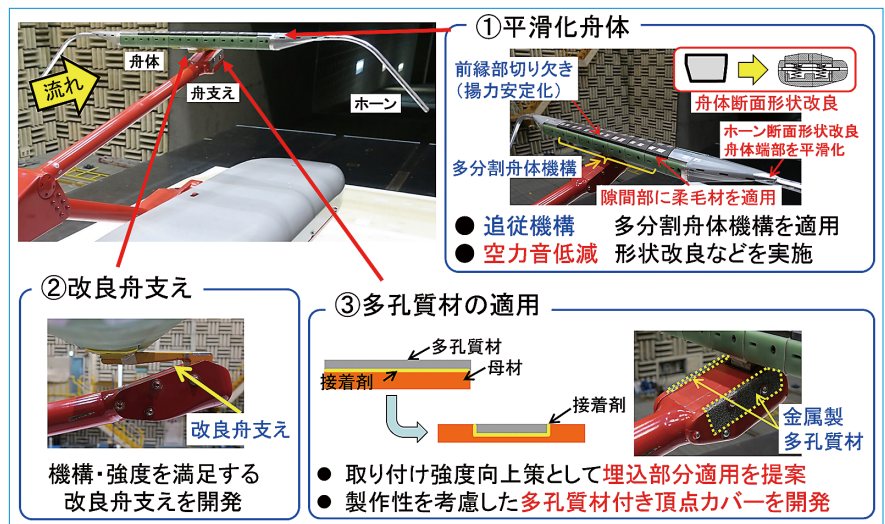


図3 パンタグラフ空力音の低減策

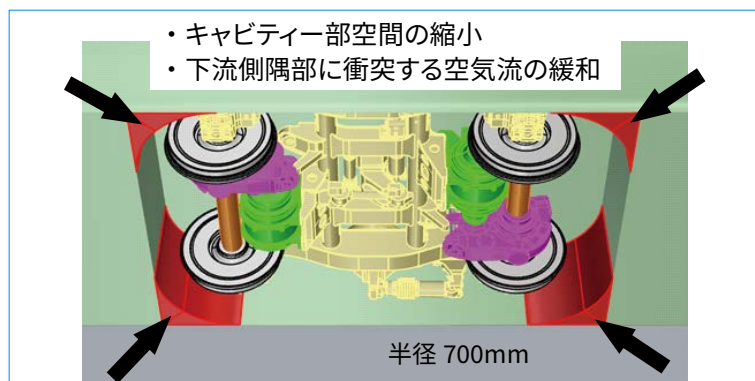


図4 台車キャビティー隅部丸み付け対策

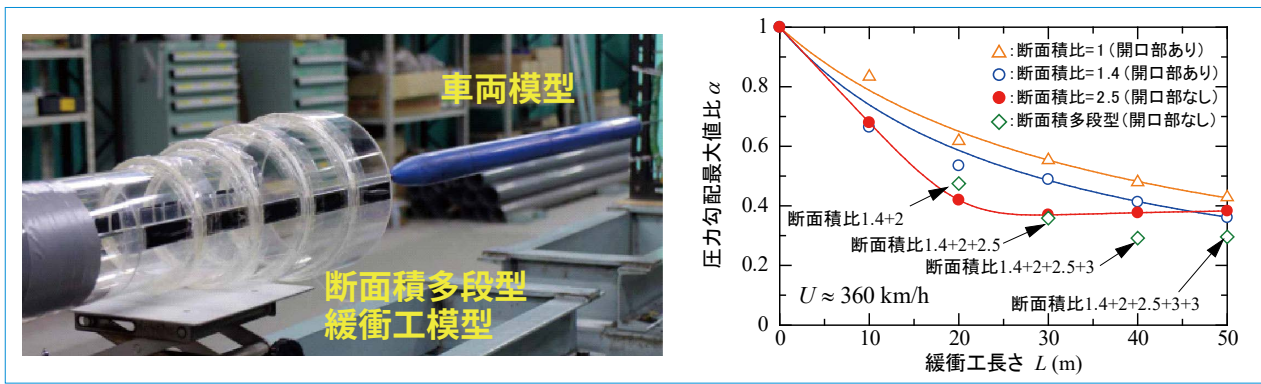


図5 緩衝工の断面積と効果の関係

この知見をもとに、図4に示すように台車キャビティー部の隅部を丸める対策を考案し、この対策と前述のフラットアンダーカバーを併用することにより、100Hz帯以下の圧力変動が約1.5dB低減することを確認しました。この対策についても実車両への適用における課題は残っていますが、明かり区間圧力変動に関して現状非悪化を維持しながら6%程度の速度向上ができる可能性が示されました。

### トンネル微気圧波の低減策

列車がトンネルに突入するとトンネル内に圧縮波が形成され、これが反対側の坑口に到達すると外部へパルス状の圧力波が放射されます。このパルス波はトンネル微気圧波とよばれ、坑口付近において発破音や家屋の建具のがたつきなどの環境問題を引き起こすことがあります。微気圧波の対策としては、圧縮波の形成、トンネル内の圧縮波の伝播、坑口からの微気圧波の放射の各段階での対策が考えられますが、圧縮波形成段階での対策が基本であり、地上側の代表的な対策として、列車突入側坑口に坑口断面よりもひとまわり大きいフード状構造物(緩衝工)の設置があります。ただし、列車速度が向上するにつれて必要な緩衝工の長さが長くなり、コストが増えるとともに、現地の状況によっては延長が困難なケースも出てきます。そこで、現在の仕様(本坑との断面積比が1.5程度、

側面・天井などに開口部を設置)にこだわらず、より大きい微気圧波低減効果を得られる緩衝工構造の開発に取り組みました。

模型発射装置による実験の結果、列車速度360km/hで開口部がない場合には緩衝工と本坑の断面積比が2.5程度のときにもっとも大きい低減効果が得られ、長さ45mまでは開口部のある従来型の緩衝工(図5の実験では断面積比1.4)よりも微気圧波低減効果が大きいこと、段階的に断面積を変化させる断面積多段型緩衝工では、30m以上の長さにおいて、さらに大きい効果が得られることがわかりました<sup>4)</sup>。

一方、圧縮波形成段階の車両側対策である列車先頭部形状の改良については、理論解析、数値流体解析(CFD)、模型実験により、新しい最適先頭部形状の設計指針を検討しました。従来の先頭部形状設計では、先端部の断面積の変化率を大きくし、中間部以降では断面積の変化率を一定にする滑らかな形状が推奨されてきました。ところが、新しい音響理論に基づいてさらに研究を進めたところ、トンネル断面の半径程度の長さごとに断面積が変化する多段型先頭部形状にすることで、微気圧波をさらに低減できることがわかりました。

以上の理論的知見に基づき、CFDによって各段の位置や大きさを決定し、微気圧波がより低減される3段型先頭部形状を提案しました(図6)。こ

の効果を模型実験で確認し、従来型先頭部形状に比べて微気圧波のピーク値を5%程度低減できることを示しました。

また、現状の先頭部形状の新幹線車両が速度向上することを想定した数値解析(トンネル長10kmまで、緩衝工長100mまで)により、速度360km/hに対しては緩衝工の断面積変更などの圧縮波形成時対策、400km/hに対してはさらにトンネル内バラスト敷設などの圧縮波伝播時対策を組み合わせることによって、指針値を達成できる見込みが得られました。なお、トンネル坑口周囲の地形はさまざまであり、坑口近傍に家屋が存在することも多いため、実際の速度向上の際には、それぞれの路線やトンネルに合わせたより詳細な検討が必要になります。

### 地盤振動の現象解明と低減策

地盤振動は、車輪・レール間に作用する加振力が軌道、構造物を振動させ、さらに構造物の基礎から地盤に振動が伝達されることによって発生します。地盤振動の大きさは列車速度により変化しますが、その速度依存性は地盤の性質や構造物の固有振動数などの影響を受けるため、速度向上を検討する際には地盤振動の速度依存性に強い影響をもつ要因を明らかにし、対策が必要な箇所を事前に抽出することが重要です。

過去の高速走行試験において、営業

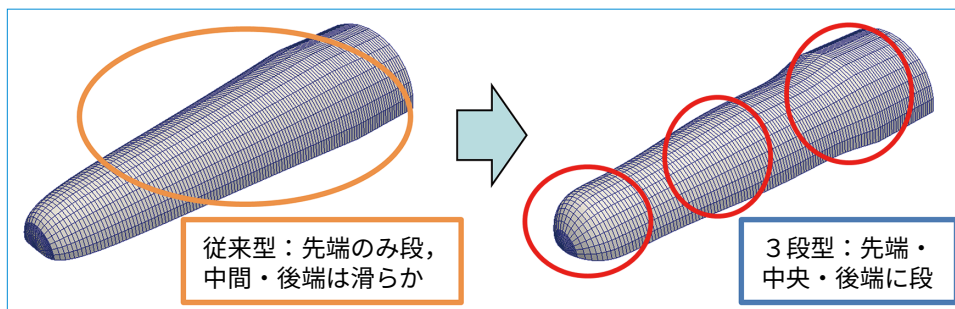


図6 3段型先頭部形状の例

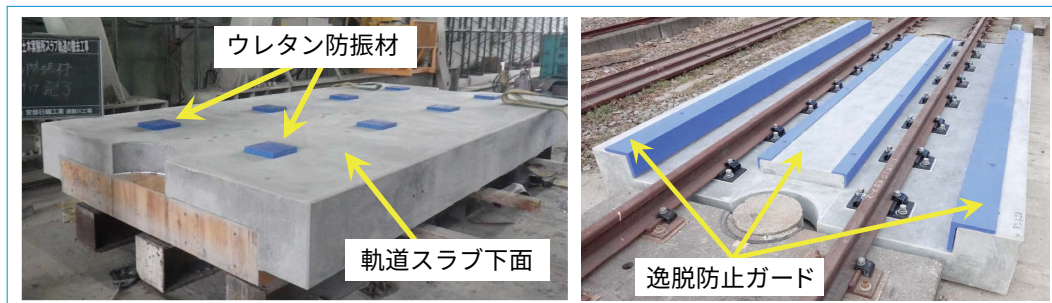


図7 高減衰スラブ軌道

速度を大きく超えた速度域で低周波数帯域の地盤振動が急増するケースがあったため、低周波数帯域の振動変化について構造物・地盤の多点同時測定と数値シミュレーション<sup>5)</sup>に基づく現象解明を行いました。その結果、低周波数帯域の振動変化に影響する主な要因が、速度向上にともなう列車加振力の周波数特性の変化と構造物・地盤系の振動特性の2つの組み合わせであることが明らかになりました。この知見に基づいてこれら2つの要因をモデル化し、大規模な数値解析を行わずに速度向上時の地盤振動増加量を評価する方法を開発しました。

一方、新幹線の速度向上における具体的な地盤振動対策としては、地盤振動に影響の大きい数Hz～30Hz付近の周波数帯において高い効果をもつコイルばね防振装置を用いたフローティング軌道に着目し、実物大供試体を用いた加振試験などにより、その効果を確認しました<sup>6)</sup>。また、上記構造と同等の振動低減効果をもち、既存の普通スラブ軌道と置き換え可能なプレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 製の軌道スラブをウレタン防振材で支持

する「高減衰スラブ軌道」(図7)を提案し、モーターカー走行試験により普通スラブ軌道と比較して軌道脇で6.6dB、12.5m地点で3.3dBの低減効果が得られることを確認しました。

数値シミュレーションによる検討から、高減衰スラブ軌道を320km/hから400km/hへの速度向上時に適用することにより、軟弱地盤がとくに厚い一部の箇所を除いておおむね現状の地盤振動と同程度以下となるという結果が得られました。また、軌道対策の効果が得られにくい軟弱地盤箇所の低周波数帯域の地盤振動に対しては、基礎の支持剛性を増大させる対策による低減効果が期待できることがわかりました。

### 成果の活用と今後の展開

明かり区間の空力音・圧力変動、トンネル微気圧波の低減策については、2020年度から始まった将来指向課題「沿線環境に適合する新幹線の高速化」において研究の深度化を図り、実用性の向上や低コスト化を目指した開発を行います。地盤振動増加量の評価手法については、鉄道事業者の抱える具体的課題への対応に活用していきます。

高減衰スラブ軌道については防振部材の耐久性に関する検討を行うとともに、整備新幹線の新規着工区間や在来線延伸区間を対象として小土被りトンネルや建物基礎に近接するトンネルなどに適用可能な防振軌道の開発を行っていく予定です。[RRR]

### 文献

- 1) 宇田東樹, 北川敏樹: 音響透過板を用いた台車部空力音の測定および評価手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.3, pp.29-34, 2020
- 2) 臼田隆之, 光用剛, 長尾恭平, 磯野達志, 久保田喜雄: パンタグラフの集電性能と環境性能を両立する: RRR, Vol.76, No.9, pp.20-23, 2019
- 3) 宇田東樹, 北川敏樹, 齊藤実俊, 若林雄介: 高速走行する新幹線における低周波空力音の特性, 鉄道総研報告, Vol.31, No.9, pp.29-34, 2017
- 4) 福田傑, 齊藤実俊: 断面積多段型緩衝工の微気圧波低減効果に関する模型実験, 日本機械学会第97期流体工学部門講演会 講演論文集, OS5-24, 2019
- 5) 横山秀史, 伊積康彦, 渡辺勉: 3次元振動解析による地盤および建物振動の予測シミュレーション手法, 鉄道総研報告, Vol.29, No.5, pp.41-46, 2015
- 6) 洲上翔太, 渡辺勉, 横山秀史, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣: 高減衰スラブ軌道による高速走行時の地盤振動の低減効果: 鉄道総研報告, Vol.34, No.4, pp.47-52, 2020