

高速化のための 沿線環境の評価・対策



飯田 雅宣
Masanobu Iida
環境工学研究部 部長
[専門分野] 空気力学

今後の鉄道の高速化を進める上で、特に重要性が高いと考えられる環境保全項目である沿線騒音（特に空力騒音）と地盤振動を対象とし、近年の実験・シミュレーション技術の進展を踏まえ、予測・評価手法および低減対策手法に関する研究開発を行いました。また、材料技術を活用し、新しい騒音・振動対策として、風荷重低減型防音工などを開発しました。

はじめに

鉄道は省エネルギー性に優れた地球環境に優しい交通機関であり、その利用促進が望まれます。そのためには、高速化やフリークエンシー向上によって、利便性を高めることが有効です。しかし一方でこれらの施策により、鉄道沿線への騒音・振動などの環境負荷が増大するため、それらの低減が必要となります。そこで、沿線騒音・振動の予測・評価手法および低減対策手法に関する研究開発を実施しました（図1）。

地盤振動の予測シミュレーション

新線建設や速度向上時には、事前に地盤振動の大きさを予測し、対策を検討する必要がありますが、その際、予測シミュレーションが重要なツールとなります。鉄道による地盤振動の現象のシミュレーションを厳密な物理モデルに基づいて行うためには、車両・軌道・構造物・地盤・建物のすべての要素を一体として取り扱う必要があります。しかし、そのようなシミュレーション

は膨大な計算量を要し、現実的ではありません。そこで、車両・軌道・構造物系と構造物・地盤・建物系の2つの部分系モデルによる振動解析シミュレーションを行うとともに、両者を連携させた全体系シミュレーションを実施しました¹⁾（図2）。また、各部分系シミュレーションについても改良を加えており、特に構造物・地盤・建物系については移動加振力を入力とした

3次元計算を可能としました。さらに、シミュレーションの開発と並行して、軌道条件（スラブ、バラスト）、構造物条件（ラーメン高架橋、桁橋、盛土、切取）、地盤条件（堅固、軟弱）の異なる30箇所以上での現地測定を実施し、シミュレーションに必要な基礎データも収集しました。

図3にシミュレーションと実測の比較例を示します（バラスト軌道、ラー

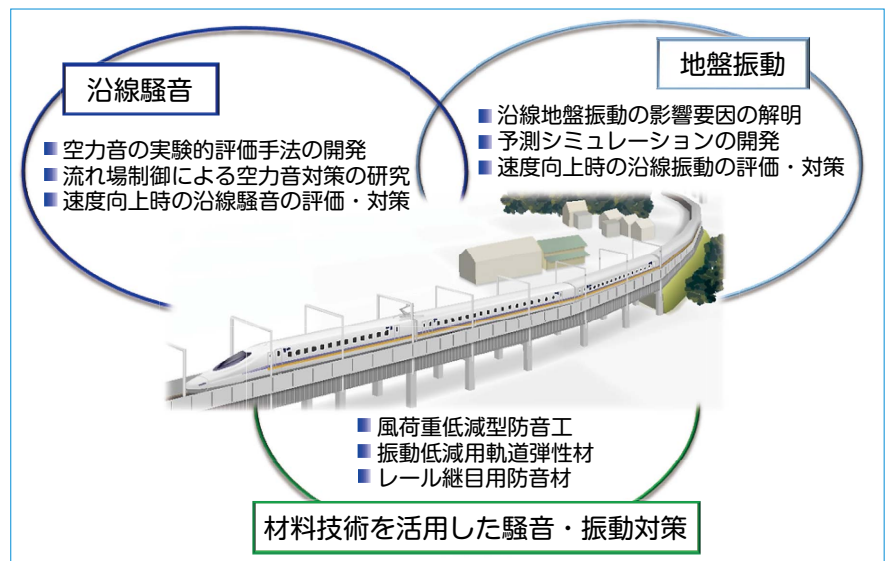


図1 研究開発の概要

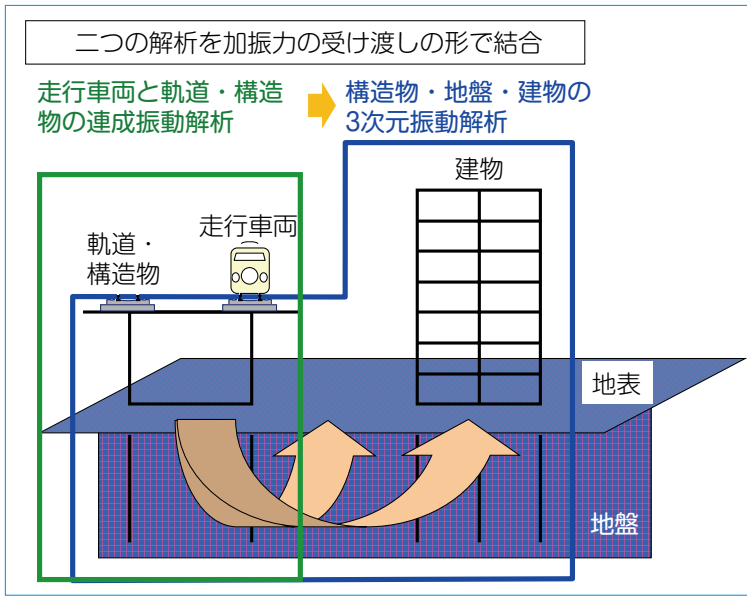


図2 地盤振動予測シミュレーションの基本構成
車両・軌道系解析モデルと建築物・地盤・建物系解析モデル(高架橋)

メン高架橋, 速度160km/h)。図中, 赤・青丸が解析結果, 黒丸が実測結果で, 高架橋縦ばり, 地盤上, 建物4階のいずれの位置においても, 両者の振動スペクトルはよく一致しています。なお, 図3の地盤上の結果からわかるように, 表層(地表~3.4m)の地盤の物性値パラメーター V_s を300m/sから170m/sに変えると, 解析結果が大きく変わります。このように, 地盤物性値は地盤振動に大きく影響するため, これらのパラメーターをどのように与えるかということが, シミュレーションを活用していく上で重要なポイントになります。

空力騒音の実験的評価手法と 流れ場制御による低減手法

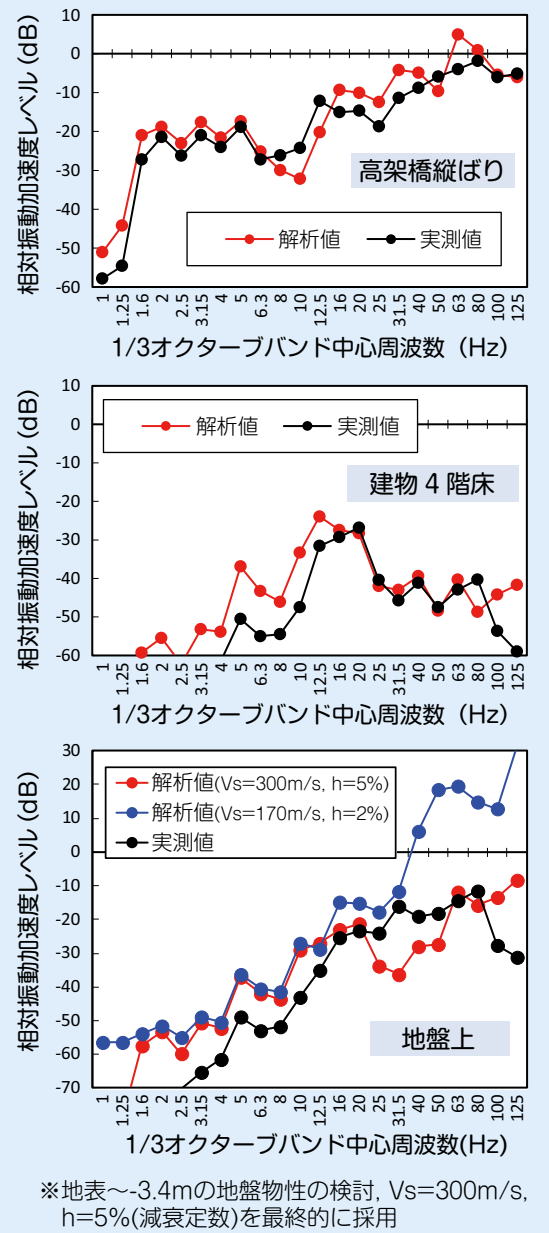
新幹線の主な騒音源を発生部位で分類すると, 車両下部音, 集電系音, 車両上部空力音, 先頭部空力音, 構造物音のようになります。近年では, これらのうち車両下部音と集電系音の2つが特に大きな音源となっていることから, この両者を主な研究対象としました。

車両下部空力音の実験的評価

車両下部音は大変取り扱いの難しい

音源です。この音源には, それぞれ発生原因の異なる空力音, 転動音, 車両機器音の3つの音源が含まれますが, 後述のように車両下部空力音の定量的評価が困難なことなどから, 各音源の内訳は不明でした。各音源は速度依存性がそれぞれ異なるため, 音源の分離ができなければ速度向上時の予測が困難になります。そこで, 車両下部音のうちの空力音のみを風洞試験によって定量的に評価できるようにしました。

一般に, 空力音の定量的評価は風洞試験により行われますが, 評価対象が車両下部空力音の場合, 車両底面と地面の相対運動や, 長大列車における先頭から各台車部までの流れの発達を風洞試験で再現することが困難なため, 風洞試験結果の信頼性が低下します。移動地面板装置を使う方法もありますが, 暗騒音が大きく音響測定には問題があります。そこで, ここでは新たな工夫として, 風洞の吹き出し口か



※地表~3.4mの地盤物性の検討, $V_s=300\text{m/s}$, $h=5\%$ (減衰定数)を最終的に採用

図3 地盤振動に関するシミュレーションと実測の比較例(上から高架橋縦ばり, 建物4階床, 地盤上)

らのせん断流を利用する方法と, 車両模型下部の上流側に付加物を設置する方法を検討し, 両者を使い分けることにより現車試験で測定された車両下部の流れ場をほぼ再現できることを見出しました。次に, この流れ場再現手法を用いて現車試験に対応する風洞試験を行ない, 車両下部空力音(主体は台車部空力音)を実験的に評価しました²⁾。図4に, このようにして得られた空力音の評価結果, 別途実績のある予測手法で推定した転動音および機器音の評価結果, それらを合算した車両

下部全体音の評価結果を、車両下部全体音の実測値とともに示します。予測評価値と実測値はほぼ一致しており、今回の風洞試験に基づく車両下部空力音の評価結果の妥当性が確認できます。

集電系空力音の低減に関する基礎研究

集電系音は、空力音、しゅう動音、離線によるスパーク音から構成されますが、離線対策が進んだことなどから、現在では空力音が主体となっています。集電系空力音自体の大きさも、パンタグラフやがいの個数削減や形状改良などにより大きく低減しました。しかし、安定した集電性能を確保するという条件を満足しつつ、これ以上集電系空力音を低減するのは容易なことではありません。そこで、従来とは異なる原理に基づく空力音低減手法として、流れ場制御手法に注目し、それをパンタグラフ舟体に適用するための基礎研究に取り組みました。ここで、流れ場制御とは、何らかのアクチュエーターを用い、物体の形状を変えることなく、物体まわりの流れ場を制御することを意味します。本研究では、アクチュエーターとして、プラズマアクチュエーター、シンセティックジェットアクチュエーター、定常吸引込み装置の3種類の方式を検討しました。それぞれの方式について、低速域の風洞試験あるいは数値シミュレーションを行い、いずれの方式も舟体か

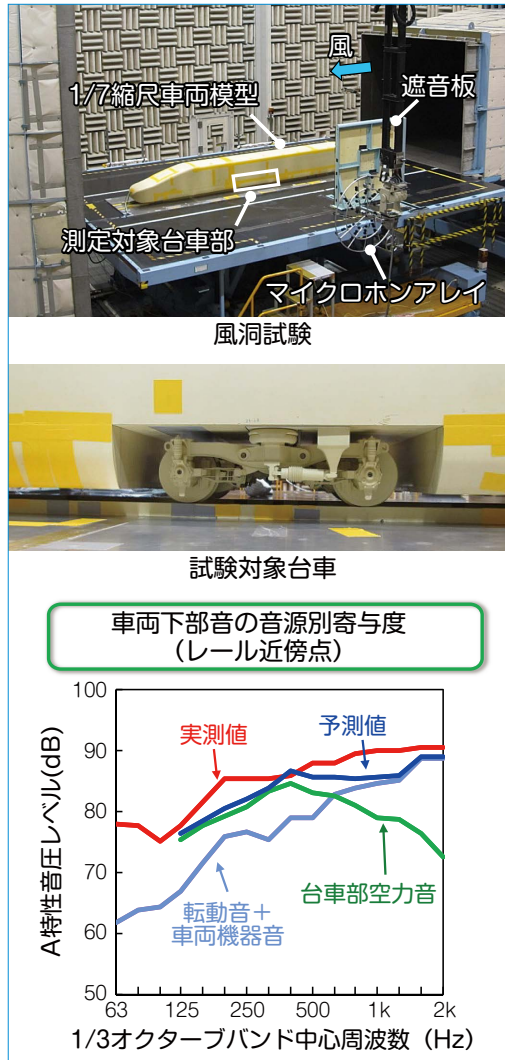


図4 風洞試験による車両下部空力音の実測の評価

ら発生するカルマン渦を弱めてエオルス音と呼ばれる周期的な空力音を低減できることが確認されました³⁾。図5はプラズマアクチュエーターに関する風洞試験の結果です。アクチュエーターを作動させることにより、舟体下流の渦の領域が縮小し、強さも低減していることがわかります。今後、営業走行速度に対応する高速域での効果確認や実際のパンタグラフ舟体への適用性の検討など、実用化に向けた難しい課題が残っていますが、本研究により空力音のさらなる低減の可能性を示すことができました。

新しい騒音・振動対策の開発

沿線騒音低減のための代表的な対策

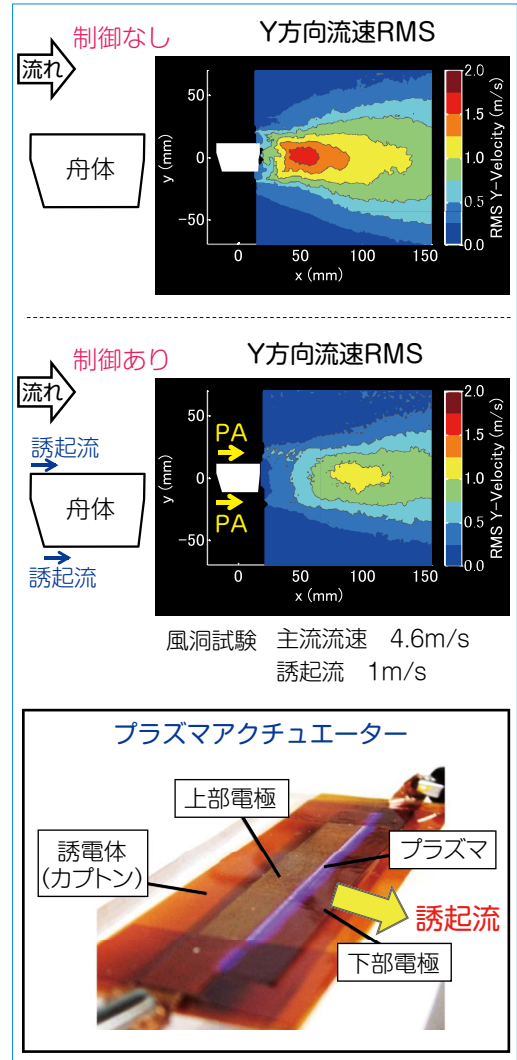


図5 流れ場制御による集電系空力音の低減

である防音壁の性能を向上させる最も基本的な方法は、高さを上げることです。しかし高い防音壁は強風時に、より大きな風荷重を受けるため、防音壁を取り付ける構造物側で十分な強度を確保する必要があります。既設構造物上の防音壁をかさ上げする際、この点が問題となることが少なくありません。「風荷重低減型防音工」は、この課題に対応するために開発した新しい騒音対策です。

図6に風荷重低減型防音工の基本構造を示します。回転軸によって支持された防音板とそれを支持する枠で構成され、防音板の回転軸以外の辺を磁石の吸引力で固定します。通常時には防音板は閉じた状態で必要な遮音効果を

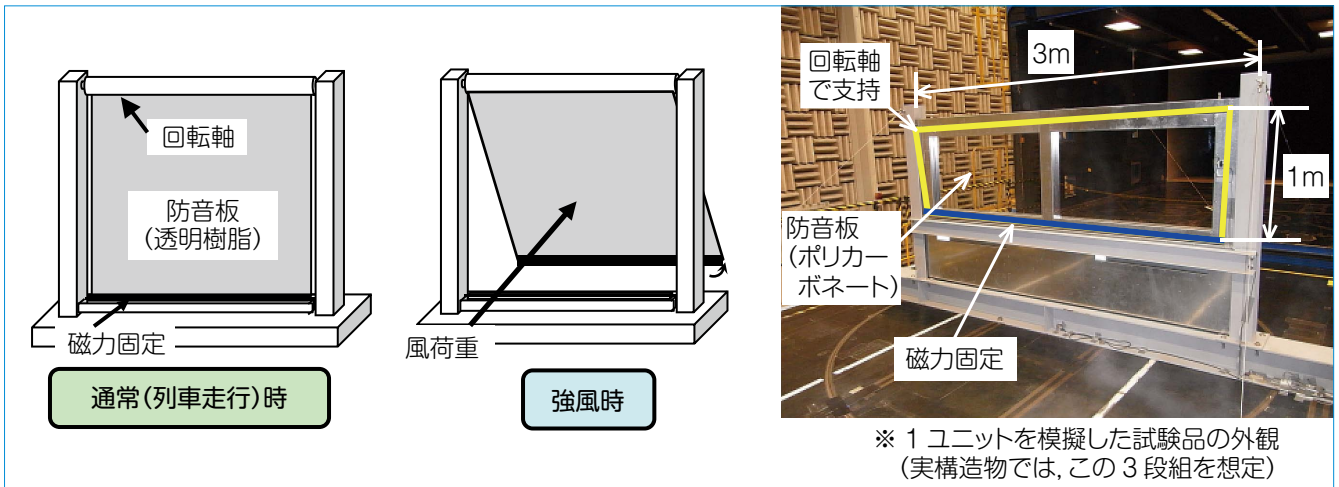


図6 風荷重低減型防音工の基本構造

発揮しますが、構造物の設計限界値を超えるような強風が吹くと、風荷重が磁気吸引力を上回って防音板が開き、構造物に作用する荷重が大幅に低減します。

今回の開発においては、開放・復元機構などの基本設計、風洞での開閉動作確認試験、通常時における遮音性能確認試験、屋外での耐候性試験、台風到来時の動作確認のための現地試験、耐疲労特性確認のための繰り返し動作試験などを実施し、いずれもほぼ満足できる結果が得られました⁴⁾。

このほかにも、レール継目用防音材、ゴム製軌道弾性材を開発しました。今後は、これらの実用化に向けて、営業線での確認試験などの段階へ進めたいと考えています。

成果の活用

- (1) 地盤振動の予測シミュレーションを、速度向上時や対策実施時の予測に活用します。また、パラメータスタディーが可能な利点を活かし、地盤条件などの各種要因が地盤振動に及ぼす影響の調査に活用します。
- (2) 空力騒音の実験的評価手法を、新幹線のさらなる高速化に向けた空力音対策の検討に活用します。また、車両下部空力音に関して得ら

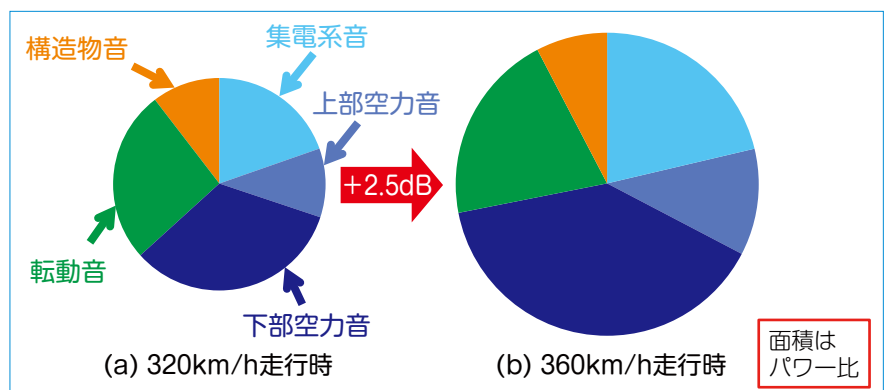


図7 新幹線速度向上時の沿線騒音の予測評価

れた知見を取り入れて改良した新幹線沿線騒音予測手法を、種々の騒音予測業務に活用します。

- (3) 風荷重低減型防音工、レール継目防音材、ゴム製軌道弾性材を営業線へ適用するための取組みを進めます。

最後に、成果の活用例として、新幹線速度向上時の沿線騒音予測の事例を紹介します。ここでは、320km/hから360km/hへ速度向上する場合を検討しました。図7に示すように、速度向上によって沿線での騒音レベルが2.5dB上昇します。また、360km/hでは全体騒音に占める空力音の割合が7割程度であり、その中でも車両下部空力音が最大であることがわかります。このように騒音対策のターゲットを明

確にすることができます。さらに、この予測手法を用いて種々の対策の効果を推定することにより、全体騒音を速度向上前のレベルに抑制する方策の検討が可能になります。[RRR]

文献

- 1) 横山秀史ほか：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
- 2) 山崎展博ほか：風洞試験を用いた新幹線車両下部から発生する空力音の評価手法、鉄道総研報告、Vol.29, No.5, pp.17-22, 2015
- 3) 光用剛ほか：流れ場制御によるパンタグラフ舟体の空力音低減手法の検討、鉄道総研報告、Vol.28, No.12, pp.11-16, 2014
- 4) 半坂征則ほか：風荷重低減型防音工の復元機構の開発と耐久性評価、鉄道総研報告、Vol.29, No.5, pp.35-40, 2015