

沿線環境に関する最近の研究開発

飯田 雅宣*

Recent Studies on Wayside Environmental Problems

Masanobu IIDA

It is necessary to mitigate the impacts of wayside environmental problems such as noise, ground vibration, tunnel micro-pressure wave, etc. to aim at environment-friendly railways. This review describes the results of some recent studies on these problems performed by Railway Technical Research Institute.

キーワード：沿線環境，騒音，地盤振動，トンネル微気圧波

1. はじめに

鉄道は省エネルギー性の高い，地球環境に優しい交通機関であるが，大型の重量物である列車が高速で走行するため，沿線の環境に様々な影響を及ぼす。特に，沿線騒音，地盤振動，トンネル微気圧波は鉄道の代表的な沿線環境問題であり，それらの低減が重要である。本号では鉄道総研で実施した沿線環境に関する最近の研究開発の成果から6件を選んで報告しているが，沿線環境に関しては，この他にも多くの研究課題に取り組んでいる。そこで本稿では，今回掲載できなかった研究開発の内容について，その概要を紹介する。

2. 騒音

2.1 レール継目通過時の衝撃音予測モデルの構築

鉄道車両がレール継目部を通過する際，車輪・レール間に衝撃的な力が生じ，それに伴い大きな騒音が発生する。この現象を解明するために，鉄道総研内の試験線において車輪・レールへの衝撃加振試験および実車走行時の騒音・振動測定試験を実施した¹⁾。

衝撃加振試験の結果から，継目板を表すバネ要素でレールに対応する2つの半無限梁をつないだモデルによりレール継目部の振動特性を評価できること，継目通過

時に車輪中心が描く軌跡と接触バネの非線形性を考慮した時間領域での解析モデルを用いて車輪・レール間に働く加振力を評価できることを明らかにした。次に，これらのモデルを従来の転動音予測手法²⁾に組み込むことにより，衝撃音の予測モデルを新たに構築した(図1)。

レール近傍での騒音について試験線での実測値と予測モデルによる計算値を比較したところ，両者は概ね一致し，モデルの妥当性が確認された(図2)。今後は営業線での実測データを用いた検証により予測精度の向上を図り，衝撃音低減対策の提案，評価に活用していく予定である。

2.2 RC高架橋振動のシミュレーション技術の構築

RC高架橋は剛性が高く，発生する構造物音は鋼橋に比べて小さい傾向がある。しかし，列車速度のさらなる向上に伴い部材振動や発生音の増大が懸念されるため，定量的な予測手法の必要性が高まっている。そこで，シミュレーションによる構造物振動・構造物音の解析手法の構築を目標に(図3)，まず第一段階として有限要素法による構造物振動の解析手法の開発を行った³⁾。

構造物振動の解析に際しては，車両/軌道と構造物を分割してモデル化し，構造物音の音源となる部材振動を効率的に解析する手法を採用した。計算結果は，実測値と概ね一致し，手法の妥当性が確認された(図4)。また，

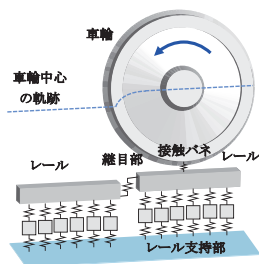


図1 レール継目通過時の衝撃音予測モデル

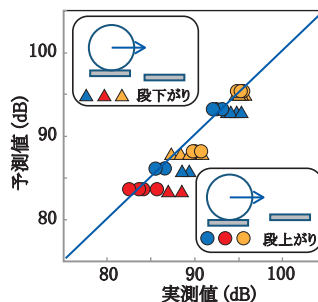


図2 レール継目通過時の衝撃音の予測値と実測値の比較(レール近傍点における騒音レベル)

* 環境工学研究部 部長

特集：沿線環境

車両、軌道、構造物の各種パラメータを広範囲に変化させた計算を行い、各パラメータが部材振動に及ぼす影響を定量的に評価した。これらの結果は、構造物振動対策の検討に有用な知見として活用できる。さらに、現在は、振動解析結果を入力条件とした境界要素法による音響解析も可能となっており、今後、沿線での構造物音の予測評価に活用していく予定である。

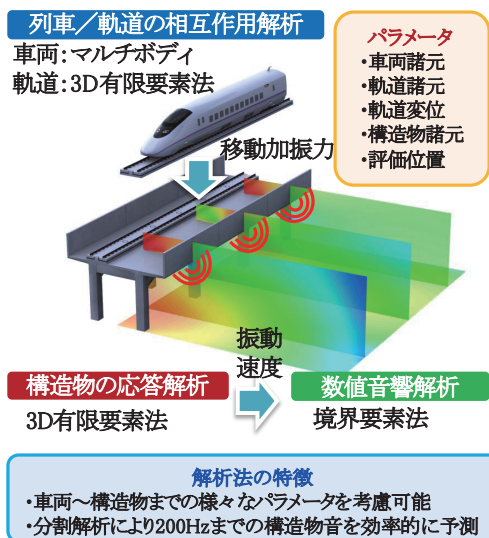


図3 構造物音の予測シミュレーションの概要

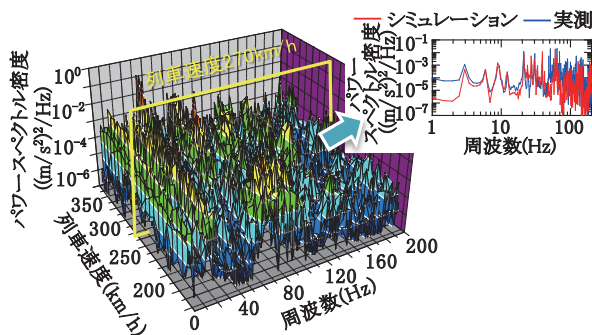


図4 床版振動に関する解析結果と実測値の比較

2.3 流れ場制御による空力音低減手法の基礎研究

新幹線の沿線環境負荷低減や高速化を進める上で、パンタグラフ舟体から発生する空力音の低減は、最重要課題の一つである。一般に、空力音の低減には形状平滑化が有効であるが、舟体については揚力特性の悪化を伴う傾向があるため、単純な平滑化は困難である。そこで、舟体に対して流れ場制御技術を適用することで、現状の舟体形状を基本的に維持したまま空力音を低減する手法の基礎研究を行っている。

物体表面において流れを制御する手法としてスピーカー駆動型シンセティックジェットアクチュエータ (SJA)、およびプラズマアクチュエータ (PA) の2方式を検討した。SJA に関しては、まず CFD 解析によりジェットの出力位置を検討した上で、2次元舟体模型を用いた低速域での風洞実験を実施し、カルマン渦に起因

するエオルス音の低減を確認した⁴⁾。一方、PA に関しては、まず低速域での風洞実験を行って、カルマン渦の抑制効果を確認した後に、より高速域での流れ場制御効果と空力音低減効果を CFD 解析により予測した⁵⁾ (図5)。いずれの手法についても、流れ場制御メカニズムの基本的な解明と低速域での低減効果の確認は行ったが、今後実用化のためには、アクチュエータの高出力化あるいは同様の低減メカニズムを有する代替手法の開発が課題となる。

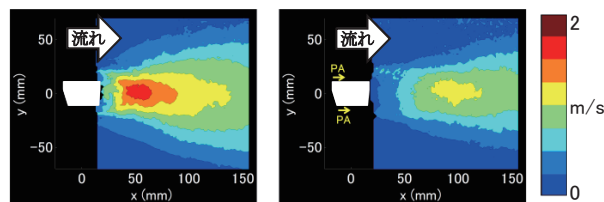


図5 プラズマアクチュエータによる舟体後流の変化に関する計算結果 (y 方向流速標準偏差, 風速 4.6m/s)

2.4 風荷重低減型防音板の開発

構造物を大規模に補強することなく防音壁を嵩上げできるようにするため、風荷重低減型防音板の開発を進めている。この防音板は、磁力を利用した開閉可能な構造となっており、通常時には閉じて高い騒音低減性能を示す一方、構造物の設計限界値を上回るような強風時には開いて風荷重による負荷を低減する。現在、実用サイズ (約 3m × 1m) の防音板試験品を試作し、性能の検証を行っている⁶⁾。試作品を対象に、大型低騒音風洞で動作試験を行い、所定の風荷重 (1.5kPa, 35m/s 相当) で開くことを確認した (図6)。また、防音板が閉じているときは高い遮音性能を持つことを確認した。

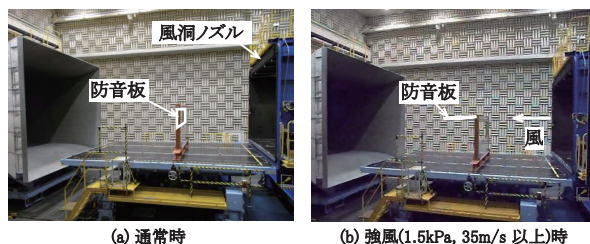


図6 風荷重低減型防音板の風洞試験

3. 地盤振動

3.1 地盤振動への軌道不整の影響に関する動的連成解析による検討

近年、レール頭頂面の凹凸により地盤振動が顕著に増大した事例が報告され、地盤振動への軌道不整の影響が無視できない場合があることが確認されている。そこで、軌道不整の地盤振動への影響を把握するため、鉛直方向の地盤振動に対する寄与度が高いと考えられる軌道の上下変位について、動的連成解析によるパラメータスタディを実施した。また、軌道不整の実波形を用いた検討を行った⁷⁾。

3.2 車両の振動・移動効果を考慮した地盤振動の3次元解析

地盤振動の予測や対策を検討する方法として、従来の経験的な手法以外に、精密な数値シミュレーション手法も有力になってきている。しかし、振動系としての鉄道車両の移動効果を考慮した三次元の振動評価は容易ではない。ここでは、移動加振力解析と三次元振動伝播解析の2つの解析モデルをカップリングした効率的な解析手法の開発に取り組んでいる(図7)。

移動加振力の解析では、車両の振動系、軌道構造、軌道変位等を任意に有限要素でモデル化し、レール凹凸や車輪/レール間の接触力、車両の高速移動効果を考慮して200Hz程度までの加振力を算出する。三次元振動伝播の解析では、建物や対策工を有限要素、地盤を薄層要素でモデル化し、上記の加振力解析とリンクさせる。高架橋、建物、トンネル、対策工の三次元形状をモデル化できる。現在は、2つの解析モデルをカップリングさせたシミュレーションが可能であることを確認した段階である。今後は、この手法を地盤振動の予測や鉄道振動対策法の検討に活用していく予定である。

4. トンネル微気圧波

4.1 実形状模型を用いた列車・トンネル系の空気力学実験装置の開発

列車がトンネルを走行する際に発生するトンネル微気圧波やトンネル内の圧力変動の現象を実験で再現するための試験装置として、車両模型発射装置がある。従来は、単純な円形断面の車両模型を用いていたが、現象の再現性を向上させるために、複雑な形状の実形状車両模型を発射できる装置を開発した^{8) 9)}(図8)。実形状車両模型を用いることにより、従来の円形断面車両模型に比べ、

トンネル壁面に作用する圧力やトンネル内圧縮波の圧力勾配を精度良く再現できる(図9)。また、本装置を用いて、列車通過時の圧力変動や列車風などの明かり区間の空力現象に関する実験を行うこともできる。

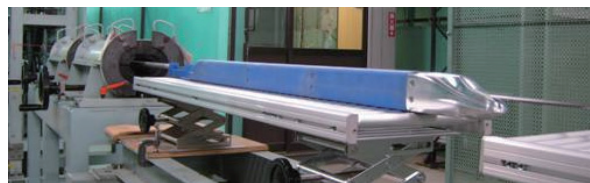


図8 実形状車両模型

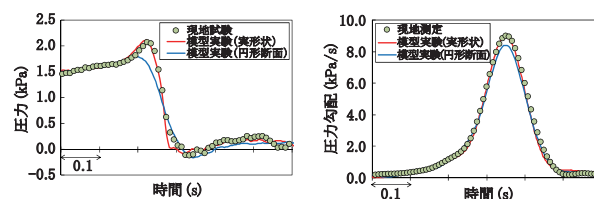


図9 模型実験と実測の比較(左:先頭部通過時のトンネル壁面圧力, 右:先頭部突入による圧縮波の圧力勾配, 実測換算値)

4.2 シェルターによる微気圧波低減効果の予測

複数のトンネルが近接しているような箇所では、隣り合うトンネルを側面スリットのあるシェルター(図10に示すような雪害対策用スノーシェルターなど)で接続する場合がある。シェルターがある場合、トンネル奥からシェルターに圧縮波が到達したときに、微気圧波がスリットから少しずつ放射されるため、シェルターがない通常の場合と比較して大幅にトンネル微気圧波が低減する。このシェルターによる微気圧波低減効果を予測評価するための数値解析法を開発した¹⁰⁾。

数値解析結果では、一つ目のトンネル入口への列車突入による圧縮波がシェルターに到達してからシェルター

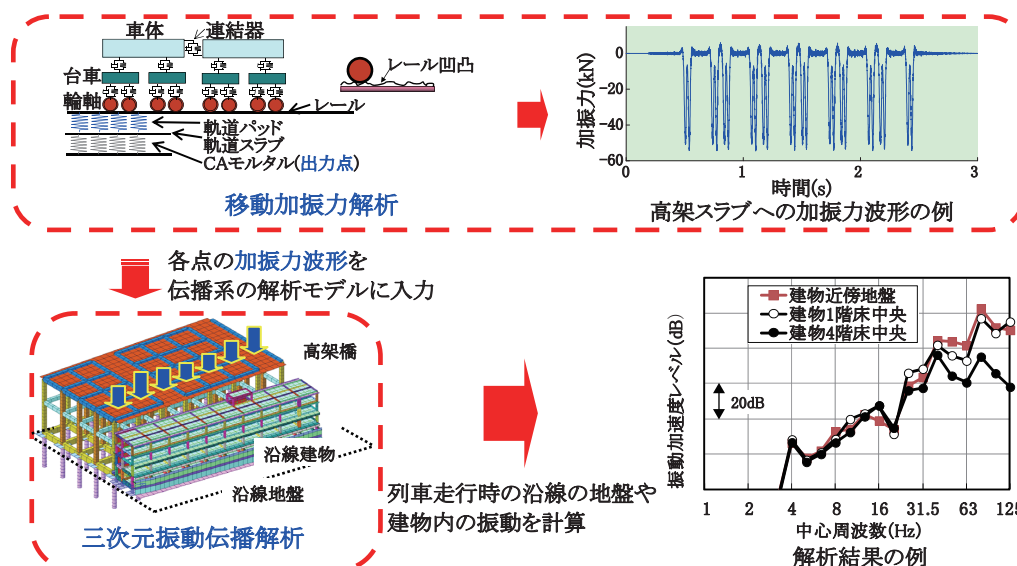


図7 地盤振動の予測シミュレーションモデルの構成

特集：沿線環境

内を通過する間に減衰し、二つ目のトンネル入口に到達する時点で非常に小さくなる状況、およびシェルターのスリットから放射される微気圧波の指向特性が通常のトンネル坑口の微気圧波のそれとは大きく異なる様子がよく再現されている。また、数値解析結果は、現地測定結果との比較においても、非常に良い一致を示した(図11)。

今後は、新幹線の速度向上や新線建設の際のシェルターによる微気圧波低減効果の検討およびシェルター側面のスリットから放射される微気圧波の予測にこの数値解析法を活用していく予定である。

5. おわりに

鉄道新線建設時や複々線化・連続立体交差化などの大規模改良時はもちろん、高速化や輸送力増強などの利便性向上の施策を行う際には、沿線環境への影響を評価し、適切な対策を講ずることが求められる。問題が発生してからの事後の対策は、大幅なコスト増につながるため、事前にできるだけ精度の高い評価結果を得ることが重要である。したがって、沿線環境に関する研究においては、予測評価手法の開発が最も基本的な課題の一つとなっている。予測手法は、多くの実測データに基づく経験的な手法、模型実験等の結果をベースとする実験的手法、理論解析手法など複数の種類に分けられるが、近年は、コンピュータの発展を背景に、数値解析あるいはシミュレーションによる予測が主流になりつつある。本稿で紹介した事例からもこのあたりの状況が確認いただ

けることと思う。鉄道総研では、共用計算機の高高速化など、シミュレーション環境の充実に努めている。今後は、シミュレーションの成果をさらに活用し、沿線環境に関する研究開発を鋭意推進していく所存であるので、関係各位のご支援・ご協力をお願いしたい。

文献

- 1) 北川敏樹ほか：レール継目部で生じる衝撃音の予測評価，日本機械学会第23回環境工学総合シンポジウム講演論文集，2013.7
- 2) 長倉清：転動音の予測手法と対策効果の評価，JREA，Vol.53，No.9，pp.35357-35360，2010
- 3) 渡辺勉ほか：RC ラーメン高架橋の部材振動特性に関する解析的検討，鉄道総研報告，Vol.27，No.10，pp.47-52，2013
- 4) 佐藤祐一ほか：スピーカー駆動型シンセティックジェットによるパンタグラフ舟体の空力音低減，鉄道総研報告，Vol.26，No.8，pp.5-10，2012
- 5) 光岡剛ほか：プラズマアクチュエータによるパンタグラフ舟体の空力音低減手法の基礎検討，鉄道総研報告，Vol.27，No.10，pp.11-16，2013
- 6) 半坂征則ほか：風荷重低減型防音板の力学解析と実用試験品による検証，鉄道総研報告，Vol.26，No.12，pp.17-22，2012
- 7) 八代和幸ほか：地盤振動への軌道不整の影響に関する動的連成解析による検討，土木学会論文集，Vol.69，No.2，pp.211-225，2013
- 8) 福田傑ほか：列車のトンネル突入時に形成される圧縮波の三次元・軸対称列車模型を用いた実験，日本機械学会論文集(B編)，Vol.78，No.793，pp.1521-1533，2012
- 9) 斉藤実俊ほか：トンネル内圧力変動に関する三次元形状車両模型発射装置の開発，日本機械学会年次大会講演論文集，2012
- 10) 福田傑ほか：隣接したトンネルを接続するシェルターのスリットから放射される微気圧波，日本機械学会第91期流体力学部門講演会講演論文集，2013

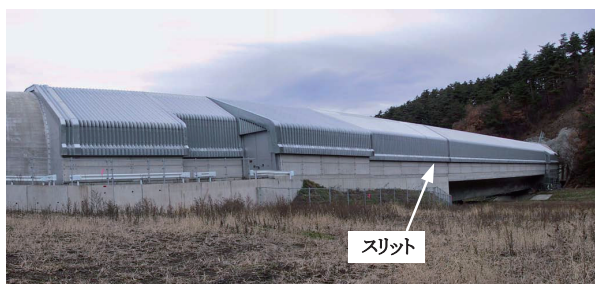


図10 新幹線のスノーシェルターの例

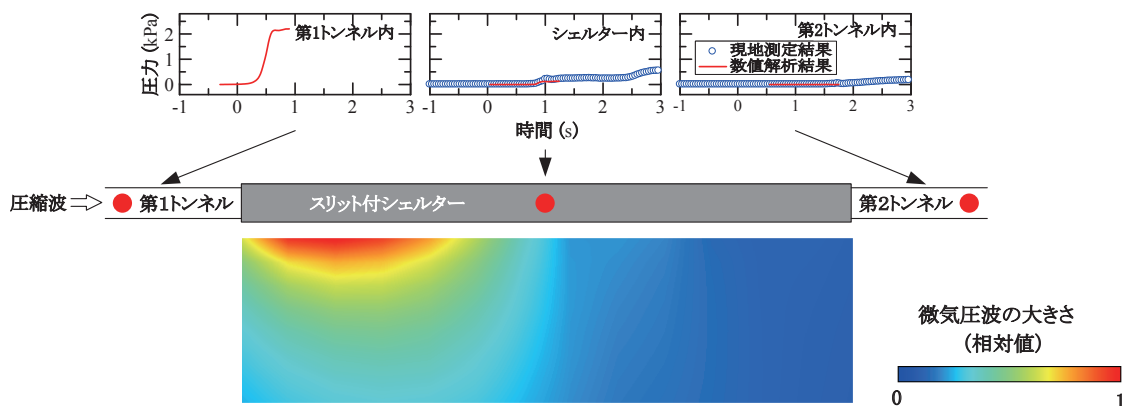


図11 スリット付シェルター内の圧縮波の減衰と側面スリットから放射される微気圧波の指向性