

鉄道沿線環境に関する最近の研究開発

環境工学研究部
部長 飯田 雅宣

1. はじめに

鉄道の速度向上や輸送力の増強に伴い、沿線環境への影響が増大するため、その緩和・低減が重要となる。鉄道総研では、沿線騒音、地盤振動、トンネル微気圧波などを対象に、これらの現象の発生メカニズムの解明、評価・予測手法、低減対策に関する研究開発を実施している。今回の月例発表会では最近の研究開発成果の中から7件を選んで発表を行う。しかしこれら以外にも多くの課題に取り組んでいる。以下では、本日の発表件名以外の主な研究開発についてその概要を説明する。

2. 沿線騒音

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)。また、衝撃音に対する車輪、レールおよびまくらぎの寄与度を明らかにした。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。

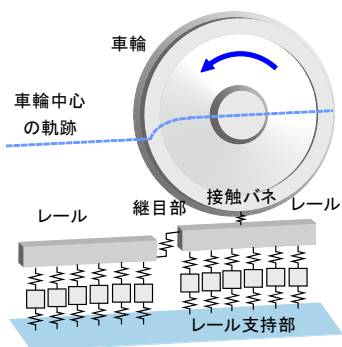


図1 レール継目通過時の衝撃音予測モデル

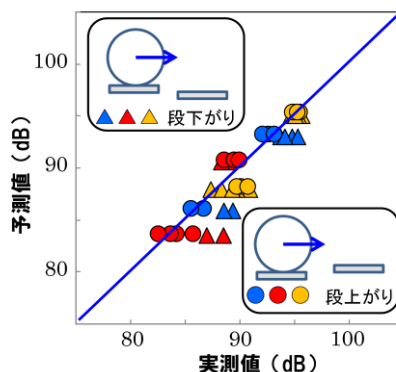


図2 レール継目通過時衝撃音の予測値と実測値の比較(レール近傍点における騒音レベル)

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進めている。開発の最終目的は、有限要素法による構造物の振動解析と境界要素法による音響解析を組み合わせた構造物音の予測シミュレーションの確立であるが(図3)、第一段階として構造物振動の解析手法の開発を行った²⁾。

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、解析効率化のメリットを活かして、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。

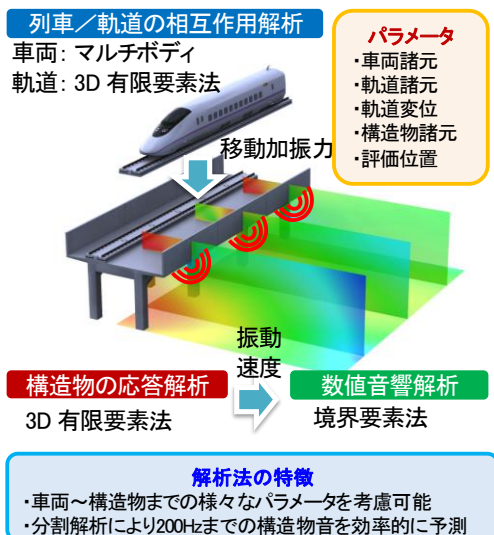


図3 構造物音の予測シミュレーション

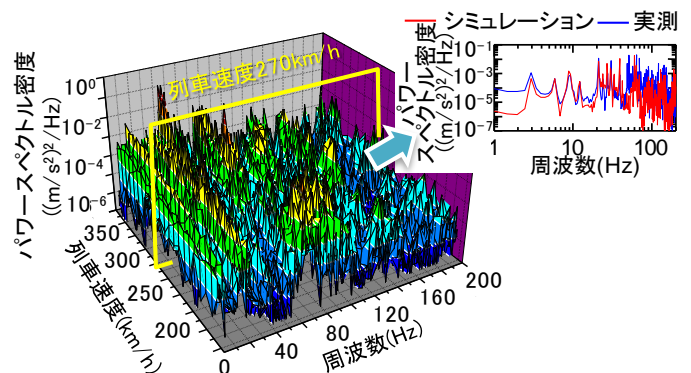
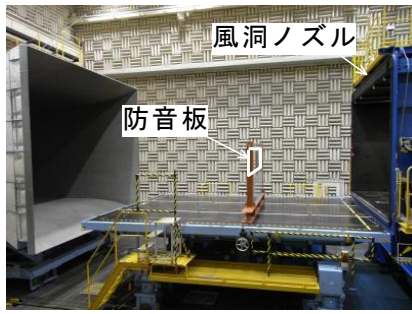


図4 床版振動に関するシミュレーション結果と実測値の比較

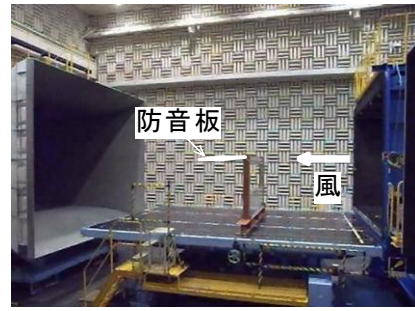
2. 3 風荷重低減型防音板の開発

既設防音壁の大幅な嵩上げには、下部構造物の大規模な補強が必要となることが多いが、この補強工事を省略ないし簡略化することを目的として、風荷重低減型防音板を開発している。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³⁾。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5)。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音響試験により確認した。



(a) 通常時



(b) 強風(1.5kPa, 35m/s 以上)時

図5 風荷重低減型防音板の風洞試験

3. 地盤振動

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。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ため、鉄道総研では、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6)。

移動加振力の解析では、車両の振動系、軌道構造、軌道変位など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。

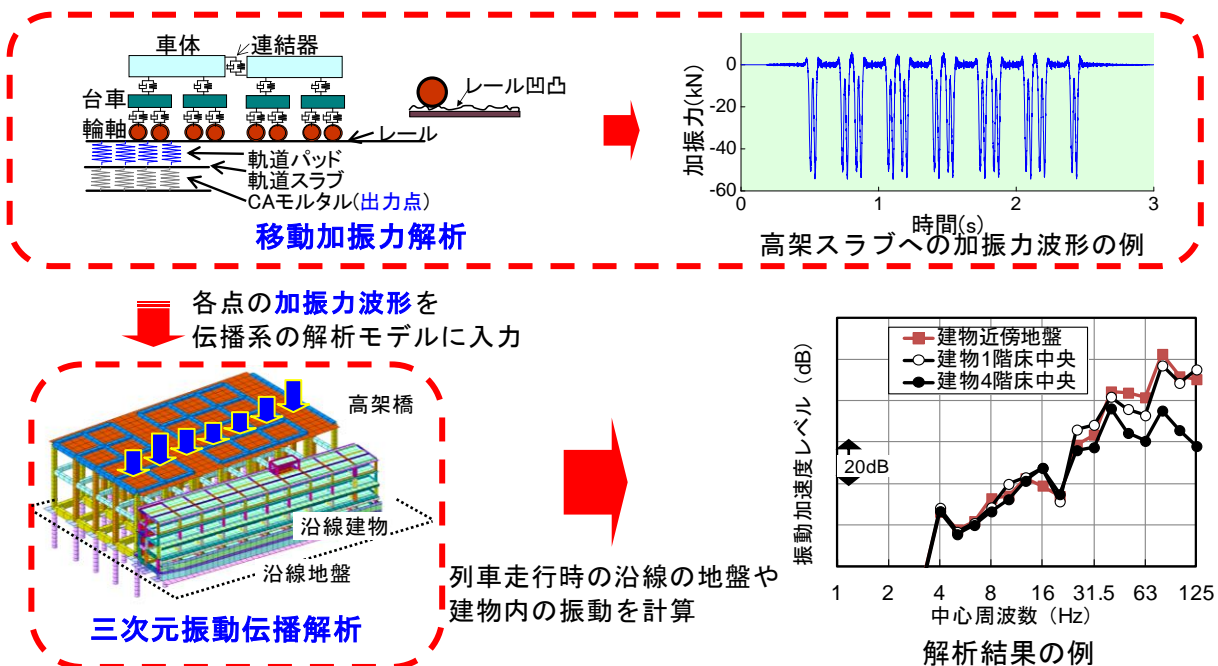


図6 地盤振動の予測シミュレーションモデルの構成

4. トンネル微気圧波

トンネル微気圧波の予測評価精度の向上

トンネル微気圧波に関しては、列車のトンネル突入時の圧縮波形成の段階、トンネル内の圧縮波伝播の段階、坑口からの微気圧波の放射の三段階に分けて、予測評価精度向上のための研究を進めている。

突入段階については、理論解析、数値解析による予測手法の開発の他、模型実験の精度向上に取り組んだ。従来の模型実験装置は、単純な円形断面の車両模型を発射する方式であったが、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⁴⁾(図7)。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、トンネル内圧縮波の圧力勾配を精度良く再現できる(図8)。

放射段階については、理論検討と模型実験により、トンネル坑口付近の地形や出口側坑口に緩衝工が存在する場合の微気圧波に及ぼす影響を調べ、予測モデルの検討を行った^{5,6)}。



図7 実形状車両模型

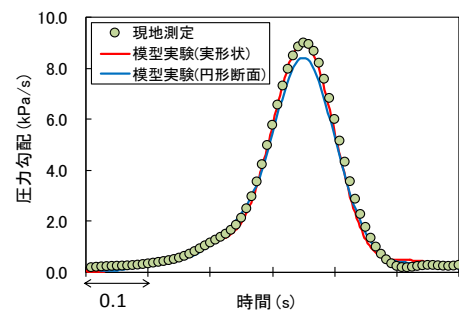


図8 模型実験と実測の比較
(圧縮波の圧力勾配, 実測換算値)

5. おわりに

新幹線、在来線ともに、さらなる高速化が進められており、沿線環境に関わる研究開発の重要性が増している。鉄道総研では、沿線環境に関わる項目を重要課題として位置づけ、鋭意研究を推進している。今後も関係各位のご支援・ご協力をお願いしたい。

参考文献

- 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) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 宮地徳蔵ほか：トンネル微気圧波の放射に対する地形条件の影響，鉄道総研報告，Vol.28，No.3，pp.23-28，2014
- 6) 渥美浩和ほか：側面開口部付き緩衝工から放射される微気圧波，鉄道総研報告，Vol.28，No.3，pp.29-34，2014