

沿線環境に関する研究開発の動向

長倉 清*

Recent Studies on Wayside Environmental Problems

Kiyoshi NAGAKURA

Environmental problems along waysides caused by passing trains include the following: noise, ground vibration, micro-pressure waves radiating from tunnel portals, etc. It is necessary to mitigate the impacts of these phenomena aiming at environment-friendly railways. This paper describes the outlines of recent studies on them made 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

鉄道車両の走行に伴って生じる騒音，地盤振動，トンネル微気圧波などは，沿線に環境問題を引き起こす場合があります，その低減が重要な課題となっている。鉄道総研では，現車試験，実験室内試験，数値シミュレーションなどの手法を用いて，これらの現象の発生メカニズムの解明，予測・評価，低減対策に関する研究開発を進めている。本稿では，それらに関する最近の主な取り組みを紹介する。

2. 沿線騒音

2.1 新幹線鉄道騒音

新幹線車両が走行するときに沿線で観測される騒音は，発生部位別に見ると，転動音をはじめとする車両下部音，車両上部空力音，集電系音および構造物音に大別される（図1）。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，車両下部音が最も大きく，集電系音がそれに次ぐこと，車両下部音の中でも空力音の寄与率が速度とともに増大することが明らかになっている（図1）¹⁾²⁾。そこで，新幹線の速度向上時における沿線騒音の増大を抑えるために，台車部及び集電系から発生する空力音の発生メカニズムの解明，低減策の開発に取り組んでいる。台車部空力音については，現地試験において新幹線車両が走行するときの床下の流れを測定し，その流れ場を風洞実験において再現する手法を開発した。同実験方法での結果に基づいて台車部空力音を推定し，別途開発済みの転動音予測手法で推定した転動音の寄与や，現地試験で得られた車両機器音の寄与を足し合わせることで，車両下部から発生する音を予測したところ，予測結果は実測結果と良く一致しており，実験手法の妥当

* 環境工学研究部 部長

性が確認された（図2）³⁾。今後は，開発した実験手法を用いて台車部空力音の現象解明，低減策の開発を進める予定である。集電系空力音については，舟体形状改良による空力音低減と揚力特性安定化の両立，舟支え形状の改良による舟体・枠組み間の空力干渉の緩和，形状改良が困難な部材への多孔質材貼付などの対策に関する研究を行っている（図3）⁴⁾。また，シンセティックジェットアクチュエータやプラズマアクチュエータなどの流れ場制御技術を用いた新しい対策^{5) 6) 7)}について，基礎的な研究を進めている（図3）。これらの要素技術を組み合わせ，さらに改良を加えることにより，実機に適用可能な低減策の開発を進める予定である。

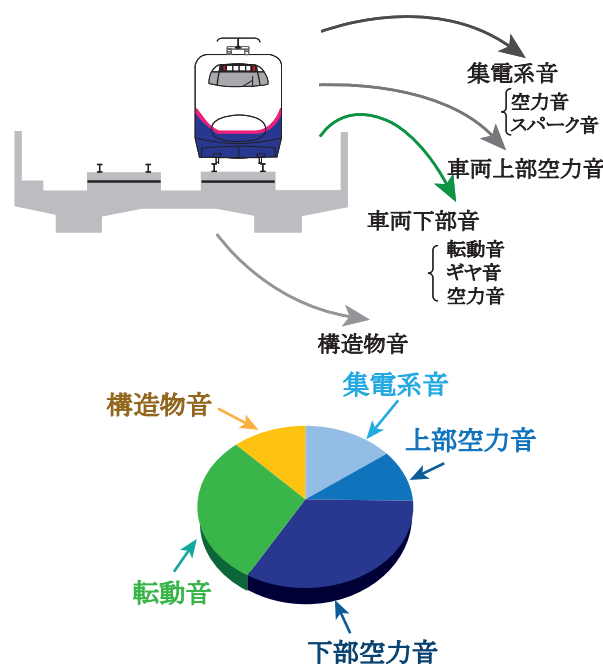


図1 新幹線騒音の音源と地上25m点における音源別寄与度の試算例（コンクリート高架橋，スラブ軌道，R.L.+2mの防音壁，速度320km/h）

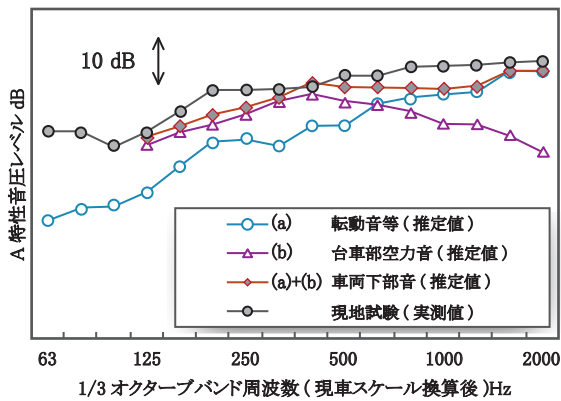


図2 床下流れを模擬した風洞実験に基づく車両下部音の推定値と実測値との比較(中間車両, 約320km/h)

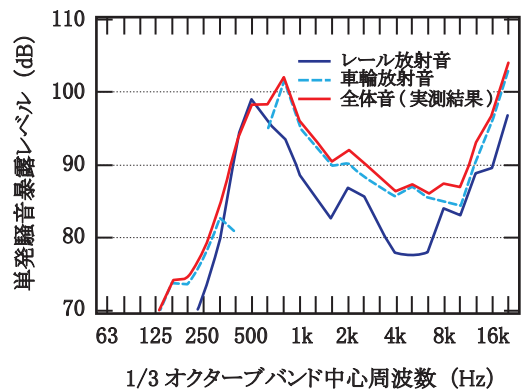


図4 高周波音に対する音源別寄与度の推定結果(外軌側レール近傍騒音, 13列車のパワー平均値)

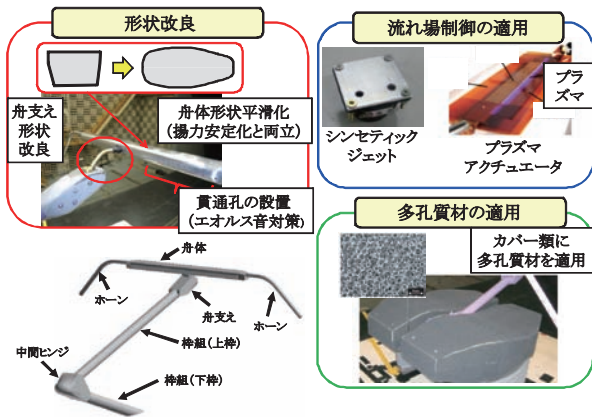


図3 集電系空力音の低減対策

2.2 在来鉄道騒音

在来鉄道については、近年の車両では主電動機ファン等の車両機器から発生する騒音が低減された結果、転動音等の車輪・レール間の音の寄与率が相対的に大きくなっている。特に、レール遊間継目部のような軌道における不連続部を車両が通過する際には、通常の区間での転動音と比較して衝撃性の大きな音（以下、衝撃音）が発生する。そこで、レール継目部における衝撃音を対象に、営業線における騒音および振動の測定により速度特性や周波数特性、車両重量等との関係性を整理するとともに、衝撃音の発生現象を表す物理モデルを構築し、音源別寄与度や各種低減策の効果等について検討を行っている⁸⁾。また、鉄道の一部の曲線区間において、列車通過に伴って10kHz以上の高い周波数成分の音が顕著に発生し、沿線騒音に対して大きな影響を及ぼす事例が報告されている。そこで、在来鉄道の曲線区間において騒音・レール振動測定を実施し、この音の発生メカニズムを調査した。その結果、列車通過時における主要な音源は外軌側の車輪であり(図4)、列車通過後では外軌側レールが主要な音源であることが明らかになった⁹⁾。

2.3 騒音伝播

騒音の伝播については、切土区間の法面や跨線橋等の鉄道沿線の構造物が騒音伝播に及ぼす影響について検討した。現地試験や縮尺模型試験での結果からこれらの影響を把握し、その影響を定量的に評価するための予測モデルを提案した。特に跨線橋の影響については、跨線橋の建設前後で騒音測定を実施し、跨線橋による騒音増加量が予測モデルによる推定結果とほぼ一致することを確認した(図5)¹⁰⁾。今後は、様々な要素が複合したより複雑な沿線の条件においても適用可能な、従来手法より精度の高い騒音予測手法の構築に取り組む予定である。

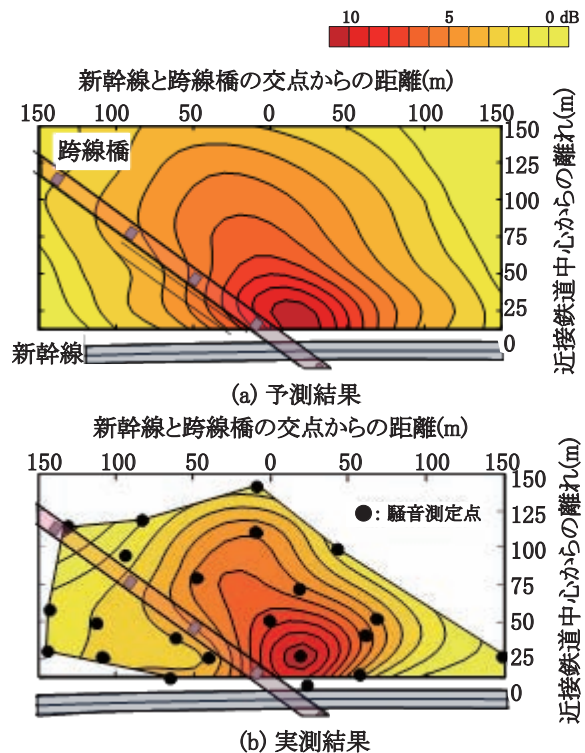


図5 跨線橋による騒音増加量(予測モデルと実測結果の比較)

3. 地盤振動

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り発生する。沿線近傍に建物がある場合は、地盤から建物の基礎へ振動が伝達され、建物全体が振動する。沿線の地盤や建物に生じる振動の予測や低減策の検討ツールとして、従来の経験的な手法以外に、数値シミュレーション手法の開発に取り組んでいる。計算規模や計算速度などの制約のため、走行車両・軌道・構造物の連成振動解析モデルと構造物・地盤・沿線建物の3次元振動解析の2つの解析モデルに分割した上で両者を連携させる構成を採用している(図6)¹¹⁾。本シミュレーションの結果を実測値と比較したところ、構造物、地盤、建物のそれぞれの振動について概ね良好に一致する結果が得られた。ただし、鉄道構造物や建物などの構造物と地盤との振動伝達特性のモデル化方法や地盤の物性値の与え方などに課題が残されている。今後、これらの課題についての検討を進めて解析精度を向上させ、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。

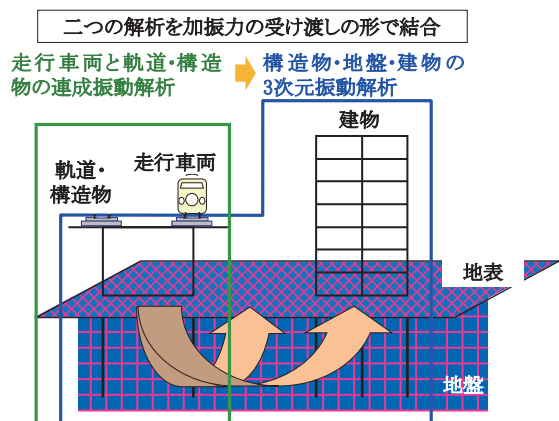


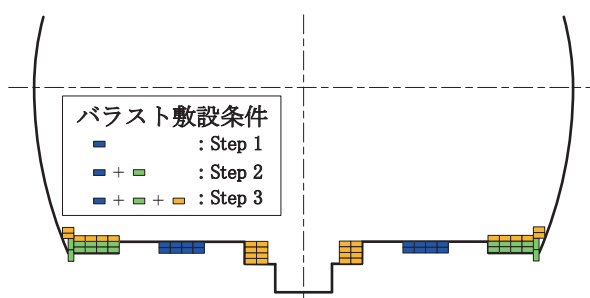
図6 高架橋、地盤、建物の振動シミュレーション構成

4. トンネル微気圧波

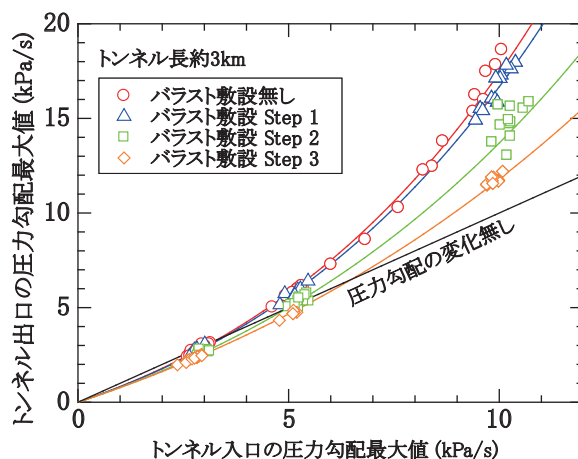
トンネル微気圧波は、列車が高速でトンネルに突入したときに形成される圧縮波がトンネル内を音速で伝播し、反対側の出口から外部へ向かってパルス状の圧力波が放射される現象であり、坑口付近で発破音を発生させたり、家屋の建具等をがたつかせるなどの、沿線の環境問題を引き起こすことがある。微気圧波の対策としては、トンネル緩衝工の設置や列車先頭部の延伸・形状の最適化等の圧縮波形成段階での対策が基本であるが、今後の新幹線の速度向上に対応するには、トンネル内の圧縮波伝播の段階、坑口からの微気圧波の放射段階についても対策を講じる必要があり、鉄道総研では、これらの各段

階における低減対策及び予測評価手法に関する研究を進めている。

圧縮波伝播段階については、スラブ軌道トンネル内にバラストを敷設するトンネル内対策について検討した。新幹線スラブ軌道トンネルでの現地測定の結果、バラスト敷設量の増加によりトンネル内圧縮波の波面圧力勾配最大値の増加を抑制し、トンネル坑口から放射される微気圧波を低減できることを確認した(図7)¹²⁾。さらにバラスト敷設時の圧縮波の数値解析方法を検討し、現地測定結果と良く一致することを確認した。



(a) バラストの敷設位置



(b) バラスト敷設の効果

図7 スラブ軌道トンネル内へのバラスト敷設による微気圧波低減効果(微気圧波の大きさはトンネル出口の圧力勾配最大値に比例)

微気圧波の放射段階については、既設緩衝工の内部を線路方向に2分割し、分割した一方の坑口を閉鎖する構造のフード(内壁付きフード)を提案した(図8)¹³⁾。内壁付きフードの微気圧波低減効果が開口率(=開口部分の断面積/フード全断面積)にほぼ比例する(0.5 < 開口率 < 1)ことを音響理論によって示すとともに、模型実験によって理論通りの低減効果が得られることを確認した(図9)。また、逆方向の列車が内壁付きフードに突入したときに発生する微気圧波に対しても、フード断面積や側面開口部などを適切に選定することで、同じ

特集：環境工学

長さの通常の緩衝工と同程度の性能を確保できることを模型実験により検証した¹⁴⁾。

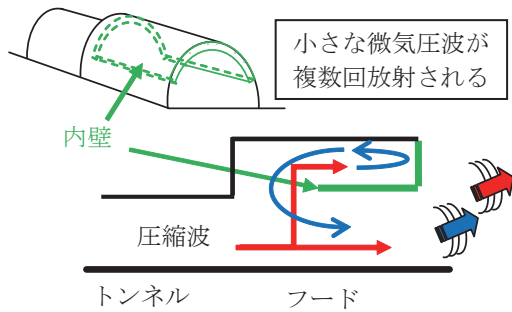


図8 内壁付フードによる微気圧波低減の原理

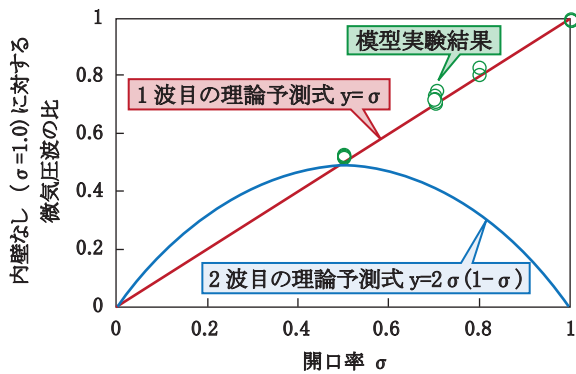


図9 内壁付フードによる微気圧波低減効果

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ており、現行の将来指向課題では、明かり区間の空力音・圧力変動、トンネル微気圧波、地盤振動を対象として、現象解明、予測手法、低減対策の開発に向けて、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。

文 献

1) 飯田雅宣：高速化のための沿線環境の評価・対策，RRR，Vol.72，No.7，pp.44-47，2015

2) 北川敏樹，長倉清，栗田健：高速走行時における車両下部音の音源別寄与度，鉄道総研報告，Vol.27，No.1，pp.23-28，2013

3) 山崎展博，長倉清，北川敏樹，宇田東樹，若林雄介：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

4) 池田充，末木健之，光用剛：部材間干渉緩和と多孔質貼付によるパンタグラフ空力音低減，鉄道総研報告，Vol.24，No.4，pp.43-48，2010

5) 佐藤祐一，池田充，光用剛：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

6) 光用剛，高石武久，佐藤祐一，池田充，末木健之，深湯康二：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

7) 光用剛，佐藤祐一，池田充，山崎展博，末木健之，深湯康二：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

8) 末木健之，北川敏樹，川口二俊：レール継目部から発生する衝撃音の騒音・振動特性評価，鉄道総研報告，Vol.30，No.7，pp.5-10，2016

9) 川口二俊，北川敏樹，熊倉孝雄：曲線区間で発生する10kHzを超える高周波音の現象解明，鉄道総研報告，Vol.29，No.5，pp.29-34，2015

10) 小方幸恵，北川敏樹，斎藤英俊：鉄道沿線騒音に対する線路上空構造物の影響評価手法，鉄道総研報告，Vol.30，No.7，pp.17-22，2016

11) 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

12) 福田傑，中村真也，斎藤実俊，宮地徳蔵：スラブ軌道トンネル内バラスト敷設による微気圧波対策の現地測定，機械学会年次大会，2015

13) 斎藤実俊，宮地徳蔵，飯田雅宣：フード状構造物による列車退出側坑口でのトンネル微気圧波低減対策，鉄道総研報告，Vol.27，No.1，pp.17-22，2013

14) 斎藤実俊，宮地徳蔵，飯田雅宣：内壁付きトンネル出口フードへの列車突入時性能に関する模型実験，鉄道総研報告，Vol.29，No.5，pp.5-10，2015