

環境技術に関する研究開発の動向

飯田 雅宣*

Recent Studies on Environmental Technology

Masanobu IIDA

Environmental issues in railways include the following: noise, ground vibrations and low frequency noise along waysides, sanitation in stations/trains, energy-saving for train operations, electromagnetic fields, soil/water pollution, and others. It is necessary to mitigate the effects of these phenomena to aim at environment-friendly railways. This review describes the outlines of recent studies performed on them by Railway Technical Research Institute.

キーワード：環境，騒音，地盤振動，トンネル微気圧波，低周波音，電磁場，衛生，汚染

1. はじめに

鉄道の環境技術には、沿線における騒音・振動・低周波音の低減技術，駅・車内環境の改善技術，地球環境保全のための省エネルギー技術など，さまざまな項目がある。列車の速度向上，輸送力の増強に際しても，環境に対する負荷を小さくし，環境に優しい快適な鉄道の実現をはかることが重要である。ここでは，鉄道総研で実施している環境技術に関する研究開発の動向を概説する。

2. 沿線騒音

環境庁（現，環境省）より，昭和50年に新幹線鉄道騒音に係る環境基準が告示され，平成7年には在来鉄道の新設又は大規模改良に際しての騒音対策の指針が出されている。近年では，新幹線騒音のみならず，在来線の騒音の低減も社会的に重要な課題となっている。鉄道騒音を低減するためには，空力音，固体音の発生メカニズムを明らかにし，騒音がどこから発生し，測定点ではどの音がどれだけ寄与しているか知ることが重要である。高速の新幹線では空気の流れから発生する空力音の低減が課題であり，在来線では，主電動機などの車両機器音の低減に伴って，転動音，構造物音など物体の振動から発生する固体音の低減が課題となっている。

空力音に関しては，車体の車間部，台車部から発生する空力音に関する風洞試験を実施し，車端部を丸みづける方法，台車部にカバーなどを設置する方法に対する空力音の低減効果を評価した¹⁾。車端部を丸みづける方法については，更に現車試験を実施しその低減効果を確認

した。また，多孔質材料を物体表面に貼付する空力音低減方法を考案し，円柱に貼付した場合の基礎的な風洞試験により，その低減メカニズムを明らかにした（図1）。更に，多孔質材料をパンタグラフに適用し，風洞試験において空力音低減効果を評価するとともに²⁾，現車試験においても，一定の低減効果が得られることを確認した。技術的ハードルが高いとされている空力音の数値シミュレーションに関する基礎的な研究も進めており，低周波数の空力音の計算法からはじめて，現在は，高周波数域の計算法の開発に取り組んでいる³⁾。

転動音，構造物音に関しては，現在，鉄道総研の鉄道の将来に向けた研究開発課題の一環として研究が行われている。この課題では，転動音と構造物音の現象を解明し，その発生メカニズムに基づいた予測手法を構築するとともに，低減対策法を開発することが大きな目的となっている。転動音に関しては，現車試験により，車輪

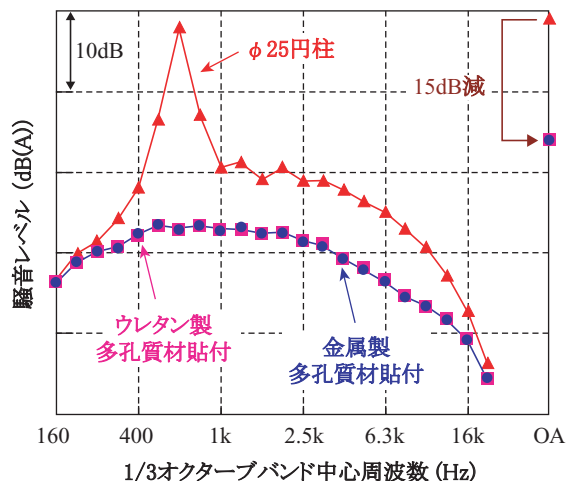


図1 多孔質材貼付による空力音の低減
(風洞試験，供試体：φ25mm円柱)

* 環境工学研究部 部長

特集：環境技術

とレールの凹凸、車輪とレールの振動、レール近傍の騒音の測定を継続的に実施し、基礎データを取得するとともに、加振試験や数値シミュレーションにより、車輪と各種軌道構造の振動特性を調べた。それらの結果をもとに、ヨーロッパで開発された TWINS (Track-Wheel Interaction Noise Software) ⁴⁾ の理論を基礎に、車輪とレールの凹凸を加振源とした物理モデルに基づく転動音予測手法を開発した (図2)。取得した現車試験のデータを用いて予測結果と実測結果との比較を行い、予測手法の精度の検証を行った。さらに、この予測手法を用いて、車輪とレールの凹凸、軌道構造 (軌道パッドのばね剛性、レールの損失係数) の転動音に対するパラメータスタディを行い、今後の低減対策の方向を検討した ⁵⁾。車輪については、各種車輪 (普通車輪、波打車輪) に対する室内試験と数値シミュレーションが行われ ^{6),7)}、車輪形状 (板部厚、リム厚、板部のオフセット量) の影響が明らかとなり、今後の低騒音車輪の形状に関する指針が得られた ⁸⁾。また、転動音を低減するための新たな手法として、レール防音材の開発を進めており、室内基礎試験、営業線での走行試験などにより、騒音低減効果を確認した ⁹⁾。構造物音に関しては、これまで、鋼橋の振動特性・放射音性について、現車試験を実施し、橋桁用磁性防振材の開発を進めてきたが ¹⁰⁾、現在、コンクリート高架橋に対する振動特性、放射音特性に関する現車試験を実施し、予測手法の検討を行っている。

以上述べたような個々の音源に関する研究の他に、新線建設時、新型車両導入時、防音壁などの対策実施時などに、全体騒音レベルを事前に予測するための研究が、特に実用上の観点から重要である。従来は、主として明かり区間の地面付近で観測することを前提として、新幹線及び在来線の騒音予測手法を開発してきたが、近年では、トンネル坑口付近、あるいは、高層マンションなどの高所空間を対象とした騒音予測手法の開発も進めている ^{11),12)}。

3. 地盤振動

地盤振動対策に関して、基礎研究段階から実用化された対策まで様々であるが、車両対策としては軽量化、軌道対策としては軌道のばね剛性を小さくする低ばね係数化 (低ばねレール締結装置、防振まくらぎ、防振直結軌道、有道床弾性まくらぎ、バラストマットなど)、軌道の高剛性化、路盤改良、地盤対策としては、地中溝・地中壁による振動遮断、地盤改良などが考えられている ¹³⁾。最近ではトンネルからの地盤振動予測手法と対策工の開発を目指して、トンネル内、地中、地表部の列車通過時の振動測定を行い、実態を把握した ¹⁴⁾。また在来線トンネル上で発生した振動問題の原因調査と対策効果確認により、レール波状摩耗が主要な振動源となる場合がある

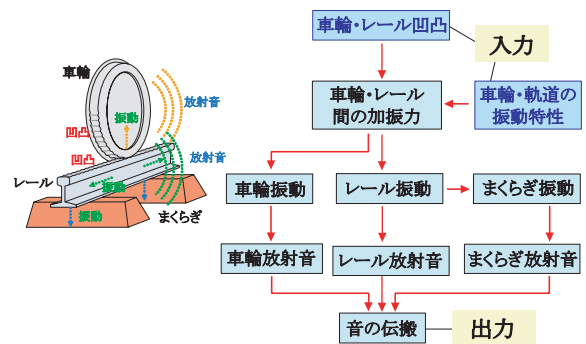


図2 転動音予測手法の計算の流れ

ことを確認した ¹⁵⁾。

4. 低周波音

わが国では、100Hz以下の可聴音と20Hz以下の不可聴音を含めて低周波音と呼んでいる。

鉄道における代表的な沿線低周波音の現象として、新幹線トンネルの坑口から発生するトンネル微気圧波がある。これは、列車のトンネル突入時に発生する圧縮波がトンネル内を音速で伝播し、トンネル出口に到達した時に、坑口から外へ放射されるパルス状の圧力波のことである。トンネル微気圧波低減対策の基本的な考え方は、トンネル出口に到達した圧縮波の波面の圧力勾配を小さくすることである。その対策の一つとして、トンネル入口ではじめから圧縮波の圧力勾配を小さくしておく対策が有効であり、トンネル入口緩衝工の設置あるいは列車先頭部形状の改良による対策が行われてきた。これまで、主として突入時の現象に注目し、トンネル入口での圧縮波の圧力勾配が最小になるように、トンネル入口緩衝工の形状や列車先頭部形状を決定してきたが、数値シミュレーションによりトンネル内を伝播する圧縮波の特性を考慮することによって、更に入口緩衝工形状 (特に

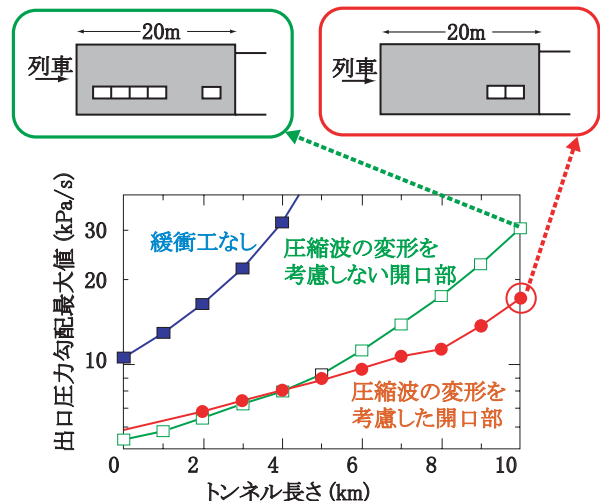


図3 トンネル緩衝工の側面開口部の最適化

側面に設ける開口部の形状)の最適化をはかることが可能となった(図3)¹⁶⁾。これは、開口部を持つトンネル入口緩衝工に列車が突入する時の圧縮波の生成¹⁷⁾と長大トンネルを伝播する圧縮波の伝播特性¹⁸⁾、すなわち、圧縮波に対する軌道条件(スラブ軌道、バラスト軌道)や斜坑・立坑の影響を数値シミュレーションによって精度良く評価できるようになったことによる成果である。

明かり区間を列車が走行すると、列車近傍に、先頭部と後尾部が通過する時に圧力変動が生じる。また、車両周りの流れの乱れから、低周波空力音そのものも生じる。現在、現車試験、模型試験、数値シミュレーションにより、これら明かり区間の現象解明を進めているが¹⁹⁾、²⁰⁾、高架橋を列車が走行する場合には、低周波空力音に加えて構造物の振動による低周波音が含まれるため、今後、その寄与度も明らかにし、低減対策を検討する必要がある。

5. 空気抵抗

鉄道は、エネルギー効率が高く、地球環境保全に適した交通機関であるが、さらなる省エネルギー化が求められている。高速走行する新幹線では、走行抵抗の過半を空気抵抗が占めており、その低減が重要な課題となっている。長大編成の新幹線車両では、車両床下部分の空気抵抗が最大の抵抗要素となっていることから、移動地面板を用いた風洞試験を実施して(図4)、床下形状と空気抵抗の関係を調べ、低減の指針を示した²¹⁾。

一方、在来線においても、特に切妻車両の先頭部では、流れが大きく剥離し、空気抵抗やトンネル・明かり区間での圧力変動・列車風が増大する傾向にある。この現象の対策を検討するために、風洞試験や現地試験などを実施した²²⁾。この研究成果の一部は、最近の在来線車両の設計に反映されている。

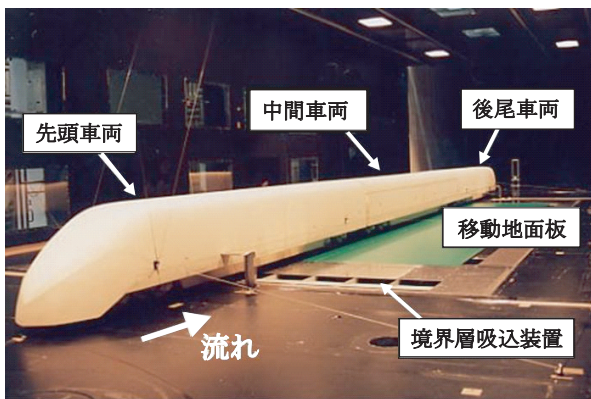


図4 空気抵抗に関する風洞試験

6. 生物学に関する課題

環境問題は、環境の変化が人間や生態系に何らかの影

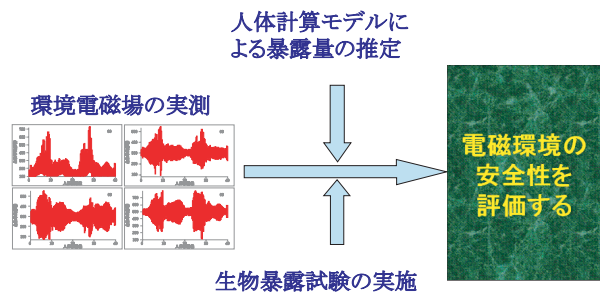


図5 電磁環境の安全性評価の研究の流れ

響を及ぼすことによって起こる。したがって、環境技術に関する研究開発において、生物学は、重要な役割を担っている。以下では、生物学分野での環境に関する最近の研究について述べる。

携帯電話やIH家電の普及に伴って、電磁場の生物学的影響に関する関心が高まっており、国際保健機構(WHO)は健康影響についての知見の見直しを進めている。極低周波数域(主に商用周波数50/60Hz)および高周波数域(主に携帯電話使用帯域)に関しては、様々な研究がなされているが、鉄道用車両主変換器、電磁調理器、非接触ICカードなどの中間周波数帯(300Hz~10MHz)に関する実験データは十分に蓄積されていない。そこで、鉄道分野の電磁環境の実態を把握し、人体暴露量の推定と生物学的影響とを総合した安全性評価手法を確立することを目的に(図5)、現在、中間周波数帯電磁場の生物への影響評価に関する研究を進めている²³⁾。

近年、鉄道利用者の衛生、清潔、快適性に関する関心は、車両内のみならず、駅構内にも広がりつつある。そこで、駅構内の快適性の向上を目指して、駅構内の衛生に関する利用者の意識調査と衛生に係わる物理的要因の実態調査を行った²⁴⁾。その結果、「清潔さ」、「におい」が重要な因子であることが明らかになり、現在、においに関する分析を進めている²⁵⁾。

鉄道沿線に発生する雑草対策として、効果的かつ環境親和性が高い抑草剤による方法を現場で試験し、その有効性を確認したが²⁶⁾、雑草制御機能を持つ植物を利用する方法についても検討を始めている。

鉄道沿線や関連する土地の土壌環境の劣化を安価・継続的に監視するために生物を利用する技術についても研究を進めている²⁷⁾。

7. おわりに

鉄道は、地球環境に対して優れた交通機関であるが、鉄道の速度向上、輸送力の増強に際しても、環境負荷を増大させることなく、更に低減することを目標に、技術開発を進めることが必要である。

特集：環境技術

文献

- 1) 高石武久, 山崎展博: 風洞試験による車間・台車部空力騒音の抑制技術の検討, 鉄道総研報告, Vol.21, No.3, pp.11-16, 2007
- 2) 末木健之ほか: 多孔質材の表面貼付による空力音低減効果と集電装置への応用, 鉄道総研報告, Vol.22, No.5, pp.11-16, 2008
- 3) 高石武久, 佐川明朗: 高周波数域まで予測可能な空力音数值解析手法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.7, pp.11-16, 2009
- 4) D.J.Thompson, C.J.C. Jones: A review of the modeling of wheel/rail noise generation, Journal of Sound and Vibration, Vol. 231, No.3, pp.519-536, 2000
- 5) 北川敏樹: 転動音の特性と軌道・車両に係わるパラメータの影響, 鉄道総研報告, Vol.22, No.5, pp.23-28, 2008
- 6) 笹倉実, 佐藤潔: 3次元構造/音場解析によるレール及び車輪振動放射音の評価, 鉄道総研報告, Vol.21, No.3, pp.23-28, 2007
- 7) 笹倉実, 佐藤潔: 在来線車輪の形状変更と制振材料等による振動・騒音低減対策, 鉄道総研報告, Vol.23, No.7, pp.17-22, 2009
- 8) 上妻雄一ほか: 在来線鉄道車輪の振動特性に及ぼす形状因子, 鉄道総研報告, Vol.21, No.3, pp.17-22, 2007
- 9) 間々田祥吾ほか: 遮音機能を有するレール防音材の開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.2, pp.27-30, 2007
- 10) 半坂征則ほか: 拘束型磁性制振材による鋼鉄道橋の振動低減, 鉄道総研報告, Vol.16, No.12, pp.29-34, 2002
- 11) 長倉清: トンネル坑口騒音の予測と対策, 鉄道総研報告, Vol.17, No.11, pp.13-18, 2003
- 12) 長倉清ほか: 鉄道沿線における高所空間に適用可能な騒音予測手法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.7, pp.23-28, 2009
- 13) 横山秀史ほか: 地盤振動対策の現状, RRR, Vol.63, No.1, pp.31-34, 2006
- 14) 津野究ほか: 新幹線トンネルにおける列車振動予測に関する研究(その2), 土木学会第61回年次学術講演概要集, III, pp.169-170, 2006
- 15) 岩田直泰ほか: 波状摩耗レールの更换による地盤振動特性の変化, 鉄道力学論文集, No.10, pp.37-42, 2006.7
- 16) 宮地徳蔵ほか: 長大スラブ軌道トンネルにおける微気圧波低減法に関するシミュレーション, 日本機械学会第17回環境工学総合シンポジウム講演論文集, 2007. 7
- 17) M.S.Howe, et al.: Rapid calculation of the compression wave generated by a train entering a tunnel with a vented hood, Journal of Sound and Vibration, Vol. 297, pp.267-292, 2006
- 18) 宮地徳蔵, 小澤智: トンネル内を伝播する圧縮波の伝播特性, 機械学会流体工学部門講演会論文集, 2007. 11
- 19) 高見創ほか: 高速列車が明かり区間を走行する際に発生する低周波音, 日本機械学会論文集(B), Vol.73, No.735, 2007
- 20) 高見創, 菊地勝浩: 明かり区間走行時に生じる高速列車の低周波音分析, 鉄道総研報告, Vol.23, No.7, pp.5-10, 2009
- 21) 井門敦志: 風洞実験による車両の空気抵抗低減量の評価, 鉄道総研報告, Vol.17, No.11, pp.41-46, 2003
- 22) 佐久間豊, 井門敦志: 在来線車両先頭部における流れのはく離抑制に関する風洞実験, 鉄道総研報告, Vol.22, No.5, pp.5-10, 2008
- 23) 池畑政輝ほか: 微生物を用いた中間周波磁界の変異原性評価, 鉄道総研報告, Vol.22, No.5, pp.41-45, 2008
- 24) 鈴木浩明ほか: 衛生・清潔に関する利用者意識の実態と要望の分析, 鉄道総研報告, Vol.19, No.1, pp.15-20, 2005
- 25) 京谷隆ほか: 駅構内等においてに関する揮発性物質分析手法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.7, pp.29-32, 2009
- 26) 早川敏雄: 抑草剤によるのり面大型雑草の選別的除去による植生変更, 鉄道総研報告, Vol.21, No.3, pp.35-38, 2007
- 27) 志村稔: 微生物の環境浄化力モニタリング法の開発, 鉄道総研報告, Vol.23, No.7, pp.33-38, 2009