

環境工学分野に関する最近の研究

環境工学研究部

部長 飯田雅宣

1. はじめに

鉄道の環境問題には、騒音、振動、低周波音、電磁環境、駅の衛生環境など、さまざまな課題がある。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、沿線環境問題を中心に、環境工学に関する最近の鉄道総研の研究を紹介する。

2. 騒音

環境庁（現、環境省）より、昭和 50 年に新幹線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。高速の新幹線では空気の流れから発生する空力騒音の低減が課題であり、在来線では、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。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り、寄与度の高い騒音源から低減をはかっていく必要がある。

音源解析手法に関する研究では、これまで、風洞試験、現車試験用に多点楕円体型指向性マイクロホン、X 配列型および螺旋配列型マイクロホンアレイを開発し、カメラと連動したアレイ式マイクロホンなども整備してきたが、車間部あるいは台車部から発生する空力騒音の音源解析精度向上のために、低周波数まで計測可能な螺旋配列型マイクロホンアレイを新たに製作した。

空力騒音に関しては、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が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、上記の螺旋配列型マイクロホンアレイを用いた測定により、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騒音低減方法について、円柱に貼付した場合の基礎的な風洞試験を実施し、その低減メカニズムを明らかにし、更に、多孔質材料をパンタグラフに適用した場合の風洞試験も実施し、低減効果を評価した²⁾。現車試験も実施し、一定の低減効果が得られることを確認した。

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。ここでは、車輪とレールの凹凸を主要因とする転動音と構造物音の現象を解明し、予測手法を構築し、低減対策法を開発することが大きな目的となっている。現車試験により、車輪とレールの凹凸、車輪とレールの振動、レール近傍の騒音、構造物の振動、騒音の測定が継続的に行われている。車輪の振動特性、放射音特性を明らかにするために、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³⁾、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⁴⁾。現

車試験により、車輪と各種軌道構造の振動特性も調べ、測定された車輪とレールの凹凸のデータとこれらの振動特性を基に、ヨーロッパで開発された TWINS (Track-Wheel Interaction Noise Software)⁵⁾ の理論を基礎に構築した予測手法を用いて転動音の予測を行った。そして、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（軌道パッドのバネ剛性、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⁶⁾。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⁷⁾。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⁸⁾、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。

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る⁹⁾。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、実態の把握を行った¹⁰⁾。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ことを確認した¹¹⁾。

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。環境省は、平成16年に低周波音問題対応の手引書を作成しているが、この手引書では、ある時間連続的に低周波音を発生する固定された発生源から発生する低周波音を想定しており、交通機関等の移動音源や発破・爆発等の衝撃的な音源には適用しないとしている。したがって、現在のところ、鉄道の低周波音に関する環境基準あるいは指針は存在しないが、新幹線の低周波音として代表的な後述するトンネル微気圧波に対しては、トンネル入口緩衝工の設置や列車先頭部形状の改良などの対策がとられてきた。

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をトンネル微気圧波と呼んでいる。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。これまでは、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¹²⁾。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¹³⁾と長大トンネルを伝播する圧縮波の伝播特性¹⁴⁾、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。なお、トンネル微気圧波以外にも、トンネル坑口からは種々の原因により、低周波音が発生する。列車がトンネルに突入する時に突入側坑口から放射される突入波、列車がトンネルを退出する時に退出側坑口から放射される退出波、列車がトンネル内の枝坑を通過する時に発生する圧力波が坑口から外へ放射される枝坑通過波などであるが、高速化に伴ってこれらの現象が顕在化する可能性があるため、現象解明と低減対策の研究を進めている。

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。先頭部と後尾部が通過する時の圧力変動は、列車走行時に車体表面の生じる圧力分布が列車と共に移動することにより生じる現象で、波動現象ではないが、新幹線の高速化に伴って、その影響が沿線にも及び、沿線の家屋の窓を揺らすことから、低周波音問題に分類されている。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¹⁵⁾、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。

以上の低周波音問題は、高速走行する新幹線に関わるものがほとんどであるが、在来線においても、空力現象が問題となることがある。特に、切妻車両の先頭部では、流れが大きく剥離し、圧力変動や空気抵抗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、風洞実験などを実施し¹⁶⁾、そこで得られた知見の一部は、最近の車両の設計に反映されている。

5. 電磁環境

携帯電話やI H家電の普及に伴って、電磁場の生物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。極低周波域（主に商用周波数50/60Hz）および高周波域（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、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¹⁷⁾。

6. 駅の衛生環境

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¹⁸⁾。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。

7. その他

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¹⁹⁾、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。また、鉄道沿線や関連する土地の土壤環境の劣化を安価・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。

8. まとめ

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。

参考文献

- 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, 池田充, 高石武久: 金属製多孔質材の適用による高速用パンタグラフの低空力音化, 第14回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2007) 講演論文集, pp. 447-450, 2007
- 3) 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
- 4) 上妻雄一, 北川敏樹, 長倉清: 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. 11-16, 2007
- 5) 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
- 6) 北川敏樹: “車輪・レールの管理による鉄道騒音の低減”, 騒音制御 Vol. 32, No. 1, 2008
- 7) 間々田祥吾, 半坂征則, 佐藤潔, 鈴木実: 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, 2007
- 8) 半坂征則, 杉本一郎, 長倉清, 間々田祥吾: 鋼構造物騒音の部材ごとの寄与度解析および対策材料の検討, 鉄道総研報告, Vol. 21, No. 2, 2007
- 9) 横山秀史, 芦谷公稔, 岩田直泰: 地盤振動対策の現状, R R R, 2006. 1
- 10) 津野究, 藤井光治郎, 武居泰, 山崎貴之, 丸山修: 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
- 11) 岩田直泰, 横山秀史, 芦谷公稔, 斎藤聡: 波状摩耗レールの更換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
- 12) 宮地徳蔵, 飯田雅宣, 小澤智: 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
- 13) M. S. Howe, M. Iida, T. Maeda, Y. Sakuma: 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
- 14) 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
- 15) 高見創, 菊地勝浩, 前川博, 栗田健, 若林雄介: 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
- 16) 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, 2008
- 17) 中園聡, 池畑政輝, 重光司, 根岸正: 変異原性に対する商用周波および中間周波磁界の影響, 第21回日本生体磁気学会大会論文集 Vol. 19, No. 1, 2006. 6
- 18) 鈴木浩明, 藤浪浩平, 斎藤綾乃, 川崎たまみ, 伊積康彦, 飯野直志: 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, 2005
- 19) 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, 2007