

空力・騒音対策のキーテクノロジー



飯田 雅宣
Masanobu Iida
環境工学研究部
部長
[専門分野] 空気力学

はじめに

空力現象や騒音は、走行速度に大きく依存します。例えば速度が2倍に上がると、列車の空気抵抗は速度の2乗に比例するので4倍になり、空力音は速度の6乗に比例するので約18dB音圧レベルが増加します。最高速度を、それまでの在来線の110km/hから一気に200km/h以上に引き上げた新幹線で、空力・騒音対策が重要な技術課題となった原因はまさにこの速度依存性の高さにあっただけとも言えます。

空力現象

(1) 空気抵抗

列車の高速性、経済性に直結する空気抵抗低減は、新幹線開発時からの重要検討課題で、先頭形状決定のための風洞試験などが精力的に行われました(本誌p.40-p.41参照)。0系新幹線車両では、特徴的な流線形先頭部の採用とともに、車体表面もそれまでの在来線車両に比べて平滑化されました。ただし、保守点検を考慮して床下機器がむき出しのままであるなど、空気抵抗低減の余地はかなり残されていました。新幹線のような流線形先頭部を有する長大編成の列車では、編成全体の空気抵抗に占める先頭・後尾部の寄与は10%程度に過ぎず、全体の抵抗を下げるためには、屋根上、床下や車間などの編成中間部の表面を平滑化することが必要です。近年の新幹線車両は、

騒音対策、着雪対策を主目的として、これらの平滑化が大きく進みましたが、同時に空気抵抗も大幅に低減しました。

(2) すれ違い時の衝撃力

新幹線の開発では、従来経験したことのない、200km/hを超える速度で走行する2列車が対向してすれ違うという状況を想定する必要性がありました。対向列車の風圧による衝撃力の問題ですが、理論解析や模型実験(図1)などによる研究の結果、トンネル内外ともに走行安全上の問題は全くないことが明らかにされました。

(3) トンネル走行時の空気圧変動

新幹線トンネルの断面積は、欧州の一般的な複線用高速鉄道トンネルと比較すると小さくなっています。一方、車両は3列+2列の座席配置としたため、欧州の車両よりも断面積が大きくなっています。これらの新幹線の特徴は、建設コスト低減や輸送力増大という大きなメリットをもたらしましたが、一方で列車がトンネルを高速で走行することに伴って発生する空力現象の影響の増大という結果を招きました。代

表的な問題が、トンネル内の空気圧変動(耳ツン)です。これは、列車がトンネルに突入した時に発生した圧力波が車内に浸透して発生する現象です。このような現象が起こることは事前に予想されていましたが、鴨宮モデル線での試作車両によるトンネル内走行試験の結果から対策の必要性が認識され、量産型車両では鉄道としては初の気密構造が採用されました。

(4) トンネル微気圧波

上記の空気圧変動とも関連しますが、トンネル突入時に発生した圧力波がトンネル坑口から外部に放射されると、今度は沿線の環境問題になる場合があります。この外部に放射される圧力波をトンネル微気圧波(トンネルドン)と呼びます。微気圧波は、スラブ軌道の長大トンネルで大きくなる傾向があり、新幹線にスラブ軌道が本格的に採用されてから、新たな環境問題として認識されるようになりました。微気圧波の対策としては、地上側ではトンネル緩衝工(図2)、スノーシェルダー、中間立坑など、車両側では断面

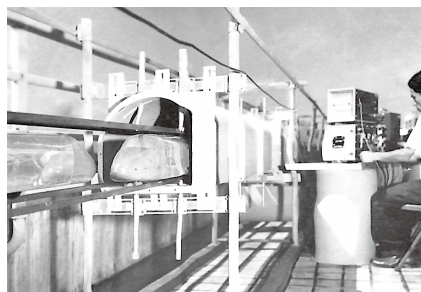


図1 すれ違いの模型走行実験¹⁾



図2 トンネル入口緩衝工の例¹⁾

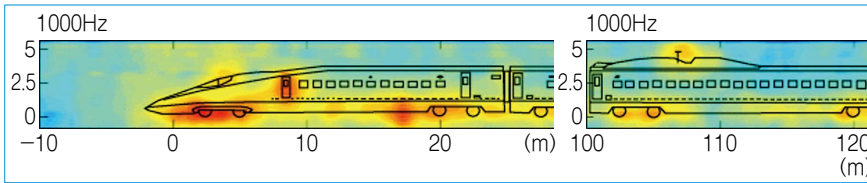


図3 現車走行試験における音源分布の測定結果

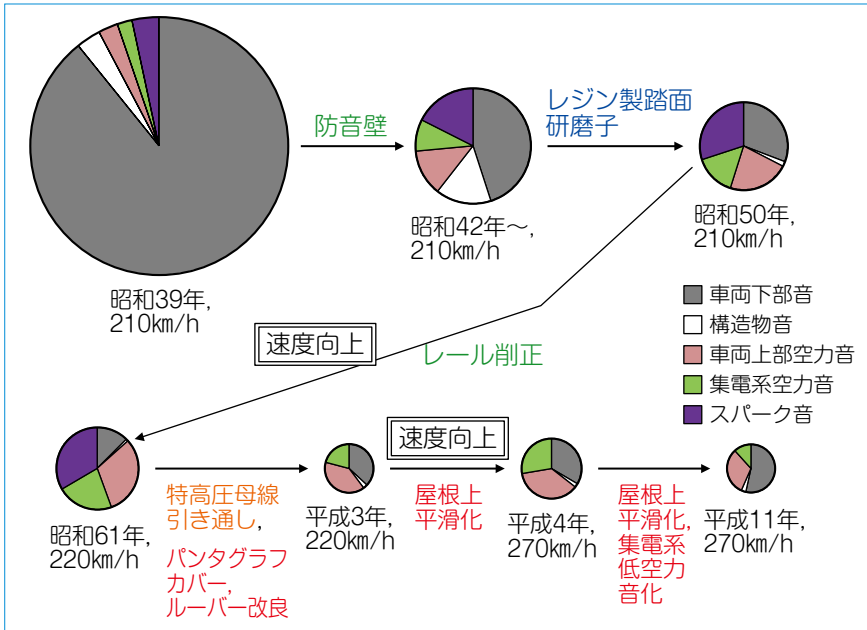


図4 新幹線騒音の音源別寄与度の変遷²⁾
(予測モデルによる推定値, 面積はエネルギー比を表わす)

積の縮小, 先頭部の長大化と断面積変化の最適化などがあります。

沿線騒音

東海道新幹線の開発段階でも騒音の研究は行われていましたが, その主目的は車内騒音でした。しかし, 開業後, 沿線で騒音問題が起こった結果, 数年後には必要箇所への防音壁の設置が始まりました。以来, 沿線騒音は新幹線に関する重要な技術分野と位置づけられています。

(1) 新幹線騒音の音源

発生部位別にみると, 新幹線騒音の音源は, 車両下部音, 車両上部空力音(先頭部含む), 集電系音, 構造物音に大別されます。このうち, 車両下部音は, 転動音(車輪・レールの振動により発生), 車両機器音(ギヤ音など)や空力音(台車部などでの空気流の乱れ,

渦により発生)に分けられます。また, 集電系音は, 空力音, スパーク音(パンタグラフが離線する際に発生)やしゅう動音(パンタグラフ・トロリー線の振動により発生)に分けられます。

このように多くの音源が存在する中では, 各音源がどこに存在し, それを受音点での騒音にどれだけの影響を与えているかを明らかにすること, すなわち音源別寄与度の把握が重要になります。その手段として超指向性マイクロホンが開発され, 各種音源解明に大きな成果を上げました(図3)。

(2) 音源対策の歴史

新幹線の沿線騒音に対する各音源の寄与度は時代とともに変遷してきています(図4)。新幹線の開業当初は防音壁がなく, 沿線における騒音はほぼ転動音の寄与で占められていました。その後, 防音壁の設置やレジン製踏面研

磨子採用による車輪踏面状態の改善により転動音が低減されたものの, 依然として転動音とスパーク音の二者が全体騒音の主体でした(昭和50年)。続いて, レール削正によって転動音が大幅に下がり, さらに特高圧母線引き通し対策(本誌p.20-p.21参照)によってスパーク音がほぼ無くなるとともにパンタグラフの個数も大きく削減されました。これらの結果, 残った集電系も含めた車両上部からの空力音の寄与が目立つようになりました(平成3年)。その後の新幹線では, 速度依存性の高い空力音対策が必須となり, 車体平滑化による車体空力音の低減, 低騒音パンタグラフやがい子カバーなどによる集電系空力音の低減などが実施されました(平成11年)。これらの空力音対策の研究開発においては, 民営化後, 鉄道総研に建設された大型低騒音風洞が大いに活用されています。現在では, 集電系を含む車両上部から発生する空力音の寄与と転動音をはじめとする車両下部から発生する騒音の寄与はほぼきつ抗しています。また, 速度向上が進むにつれて, 車両下部から発生する騒音もその主体は, 転動音から空力音へと変わりつつあります。

おわりに

安全, 安定輸送を誇る新幹線ですが, 他の鉄道にはない最大の特徴は, 何と言ってもその高速性です。この50年間の新幹線の歴史が示すように, 新幹線がさらなる高速化を目指すためには, 今後も空力・騒音対策がキーテクノロジーの一つでありつづけることは間違いありません。[RRR]

文献

- 1) 鉄道技術研究所監修：高速鉄道の研究, 研友社, 1967
- 2) 環境省：平成15年度新幹線鉄道騒音対策検討調査, 2004