

Investigation for insertion loss of noise barrier for sound source moving at high speed

緒方, 正剛

<https://doi.org/10.15017/458565>

出版情報 : Kyushu Institute of Design, 2003, 博士 (工学) , 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第1章 音源が高速で移動する場合の問題点

1.1. 新幹線鉄道騒音の騒音予測手法

我が国の高速鉄道である新幹線は、1964年（昭和39年）に東京オリンピックの開催に合わせて東京・新大阪間を210km/hで走る東海道新幹線が開通したのを契機に、1975年（昭和50年）に山陽新幹線の新大阪・博多間の全面開通、1982年（昭和57年）東北新幹線の大宮・盛岡間及び上越新幹線の大宮・新潟間が開通した。1997年（平成9年）には北陸新幹線の高崎・長野間が整備新幹線として初めて開通し、その後2002年（平成14年）に東北新幹線の盛岡・八戸間が開通した。現在も九州新幹線、北陸新幹線の建設が進められており、新幹線の整備は着実に進みつつある。

この間、新幹線の速度は、東海道新幹線の開通当初の210km/hから、現在は、山陽新幹線における300km/hの営業運転へと大幅なスピードアップがはかられており、他の交通機関との競争力の確保や到達時間の短縮のため、現在も360km/hを目指した実験を行う事業者があるなど、今後もさらなるスピードアップが検討されている。また、東海道新幹線で開業当時、上り下り合わせて一日60本の列車でスタートした列車運行本数は、現在では一日の運行本数は300本に迫り、年間の利用乗客数は1億3千万人に達している。

一方、新幹線が全国的に整備される中、新幹線沿線における騒音公害が大きな社会問題となった。代表的なものが、1974年（昭和49年）の新幹線公害訴訟である。名古屋市内の新幹線沿線の住宅密集地域の住民575人、341世帯は、高速で走行する列車の騒音・振動等の被害に耐えかね、原告団を結成し、事業者である日本国有鉄道（以下、「国鉄」という）（被告）に新幹線公害の差し止め（午前7時から午後9時までは騒音65ホン、振動65デシベル以下、その他の時間帯は騒音55ホン、振動60デシベル以下に抑制すること）と損害賠償（過去及び将来にわたる被害の金銭的保証を行うこと）を求め、裁判所に提訴した。第1審、第2審判決とも国鉄の加害責任を認め賠償を命じたが、新幹線公害（騒音・振動）の差し止め請求は棄却した。原告住

民が期待した公害解決策、住宅密集地域 7km 区間の減速運転による公害差し止めは認めなかったが、国鉄の加害責任を明確にし、障害防止策が不十分であることを指摘する内容であった。その後、当事者間の直接交渉による和解が成立し、国鉄は原告住民に和解金を支払うとともに①発生源対策の積極的実施、②障害防止対策の見直し改善、③軌道構造物周辺の環境整備、④公害源の不拡大、の 4 点を確認し、当面 75 ホン以下に抑えるよう最大限努力することを約束し、訴訟は取り下げられ紛争は全面的に解決した。一方、環境庁（現在の環境省）は、新幹線公害に対する全国的な注目の中で、中央公害対策審議会の答申をもとに 1975 年（昭和 50 年）、新幹線鉄道騒音に係る環境基準（住宅系地域 70 ホン、商工業系地域 75 ホン）を告示し、10 年以内に達成することを目標に掲げた。さらに環境庁は 1985 年（昭和 60 年）に環境基準の達成状況を踏まえて、当面の目標として住宅が密集する地域においては 5 年以内を目途に 75 ホン以下となるよう、さらなる音源対策の推進を運輸省（現国土交通省）に要請した。また、1984 年に政府は、環境影響評価実施要項を閣議決定し、公害の未然防止のためのアセスメント制度が動き始めた。新幹線の事業者である国鉄は、住民との和解内容を実行することとなったが、1987 年の分割・民営化に伴い、その実行は、JR 各社と新幹線保有機構に継承されることとなった。新幹線騒音に係る環境基準は、線路区分ごとに達成目標期間等が設定されており、達成目標期限が到来した線路区分ごとに環境基準の達成状況が調査されている。2001 年（平成 12 年度）に新幹線沿線の地方自治体が測定した結果によると 22 都府県において 321 地点で測定が実施され、軌道中心より 25m 離れた位置での測定結果を評価すると 132 地点で環境基準を達成している状況であり[1-1]、特に東海道、山陽、東北、上越の各新幹線については、達成状況が芳しくない。これまで地域を限定し当面の対策により 75dB 以下とするいわゆる「75 ホン対策」が環境省から関係機関に要請されており、75 ホン対策の区間については順次拡大して、現在は平成 14 年度末を目途とした第 3 次 75 ホン対策が終了したところである。これらことから、今後の新幹線のスピードアップを行うには、騒音問題の解決が最重要課題であることが分かる。

新幹線騒音の対策としては、音源対策のうち車両側対策としてパンタグラ

フの改良やパンタカバーの取り付け、車輪研削の強化などによるタイヤフラットの発生防止、車体形状の改良による空力音低減、車両の軽量化が上げられる。軌道への対策としては、レールの削正や重量化、バラストマットなど防振材の敷設、防振枕木の敷設があり、架線への対策としては、ハンガー間隔の縮小、架線張力の増大などがある。また、音源を遮蔽する対策手法として、防音壁がほぼ全線にわたり設置され、その形状も直立型のみならず、防音壁の先端を改良した逆L字型、ラムダ型、トナカイ型などの防音壁がある。

新幹線が高架橋を走行する時に発生する騒音は、発生部位別に、①車両下部騒音（車輪レール転動音、ギア騒音、空力騒音）、②車両上部空力音（先頭部を含む空力騒音、車体継ぎ目空力騒音）、③集電系音（摺動音、スパーク音、空力騒音）、④構造物音に分類される[1-2]～[1-4]。新幹線騒音の予測手法では、これら4種類の音源を点音源または線路方向に分布する点音源列でモデル化している。音源の概要図を Fig.1.1 に示す。これらの音源の中で④構造物音は、125Hz 以下の周波数帯域において主な成分を持つが、バラストマット付バラスト軌道または防振スラブ軌道であれば①～③の騒音に比べて小さく、地上 25m 点における騒音に占める寄与も小さい。高速新幹線車両が 275km/h で走行した時の車両下部騒音及び集電系騒音、車両上部空力騒音の地上 25m 点における寄与(時定数 1sec での最大値)を推定した結果を Table 1 に示す[1-4] (スラブ軌道、R.L.+1.8m の直立型防音壁)。

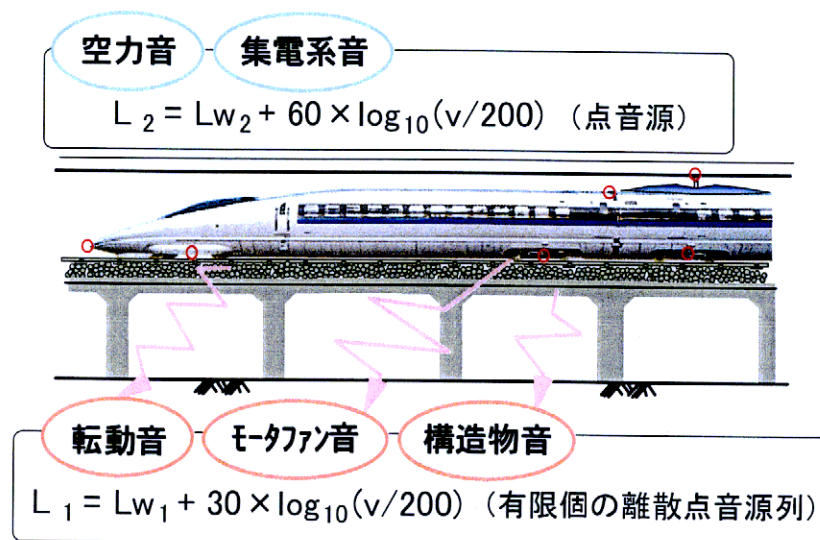


Fig.1.1 新幹線騒音の音源の概要図

Table 1 新幹線騒音の音源別寄与 (単位: dB)
 (評価点位置: 高架橋中心から 25m 離れ, R.L.-6.5m)

	車両下部 騒音	集電系 騒音	車両上部 空力音	全体騒音
音源別寄与	73.0	72.0	66.0	76.0

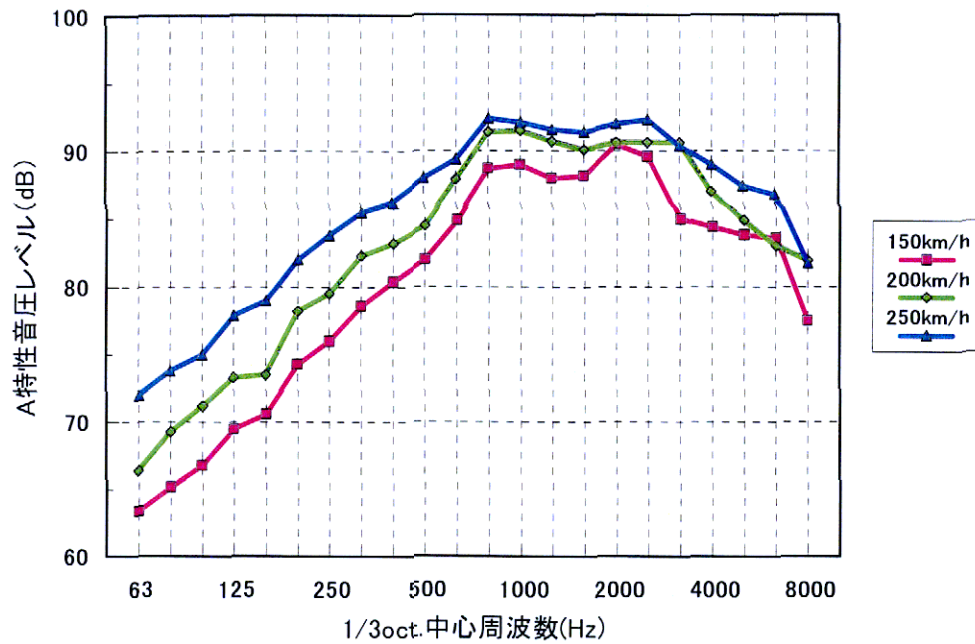
Table 1 より、地上 25m 点における全体騒音に対して、車両下部騒音と集電系騒音の占める寄与が大部分であり、車両上部の空力騒音の寄与は小さい。このそれぞれの値には、防音壁の騒音低減量が含まれるが、集電系騒音や車両上部の空力騒音は音源が車両上方にあるため、防音壁による回折減衰量がほとんど含まれない値となっている。このことから、前述の騒音対策を実施することにより、集電系の空力音、スパーク音、車両の継ぎ目部で発生する空力音などが低減した結果、相対的に車輪レール転動音及び台車周りから発生する空力音、モーター音、ギア音などの車両下部騒音の占める割合が増してきた。よって、車体下部騒音を最も簡易的に低減する騒音対策手法としての防音壁の重要性が増してきたと言える。

新幹線沿線騒音予測手法[1-5]では、各点音源に対する防音壁の回折減衰量を騒音伝搬経路の行路差 δ から前川チャート[1-6]をもとに評価している。前川チャートでは、回折減衰量の評価にフレネル数 $N (=2\delta/\lambda, \lambda$ は音波の波長) を用いるため、回折減衰量 ΔL_p は、音源の周波数スペクトルの影響を受け、式(1,1)で表すことができる。

$$\Delta L_p = 10 \log_{10} \sum_n 10^{L_0(f_n)/10} - 10 \log_{10} \sum_n 10^{(L_0(f_n) - \Delta L(f_n))/10} \quad (1,1)$$

ここで、 f_n は 1/3 オクターブバンド中心周波数、 $L_0(f_n)$ は音源の周波数スペクトル、 $\Delta L_p(f_n)$ は周波数 f_n の点音源に対する回折減衰量である。沿線における環境騒音に対して寄与の大きい車両下部騒音の周波数スペクトルは、レール近傍の測定点で計測した騒音から推定できる。Fig.1.2 に列車速度が、

150km/h, 200km/h, 250km/h における車両下部騒音の例を示す。



出典：新幹線沿線騒音予測手法

Fig.1.2 新幹線の車両下部騒音の周波数スペクトル

車両下部騒音のスペクトルは、速度によって周波数スペクトルがやや異なるものの、1000～2000Hz になだらかなピークを持ち、500Hz 以下の低い周波数領域では、下がる傾向を持つ形となっている。

この車両下部騒音を低減するための防音壁の騒音低減量を算出するために、騒音予測手法では、防音壁の回折減衰量は騒音伝搬経路行路差 δ ($\delta = \pm(AC + BC - AC)$) から計算チャートを用いて評価する手法を用いている。騒音伝搬経路行路差の概念図を Fig.1.3 に示し、計算チャートの例を Fig.1.4 に示す。

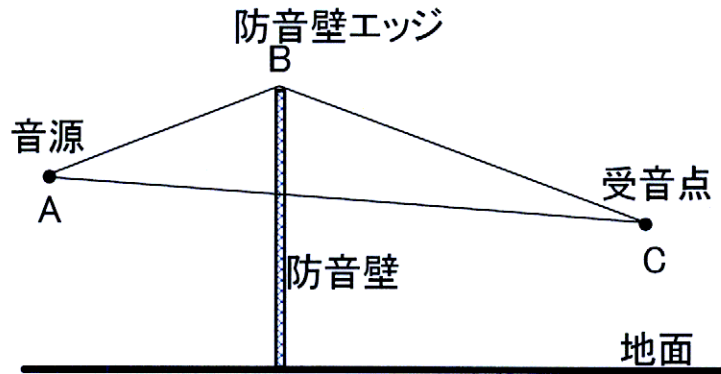
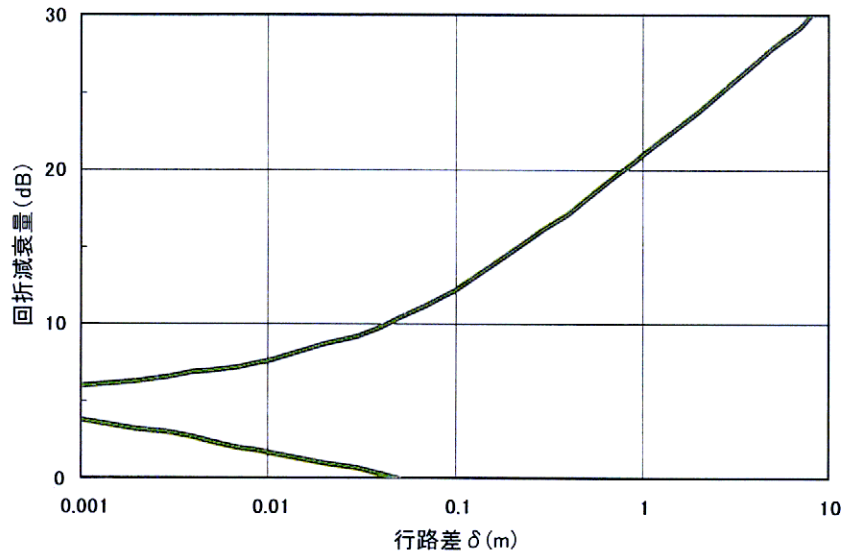


Fig.1.3 騒音伝搬経路行路差の概念図



出典：新幹線沿線騒音予測手法

Fig.1.4 車両下部騒音に対する回折減衰量

この回折減衰量を表すチャートでは、速度の上昇による低い周波数帯域の音の寄与が増すことにより、回折減衰量は小さくなると考えられるが、150～250km/h の速度領域では、200km/h との差は±1dB であり、速度の影響は小さいとして、200km/h で走行する場合の周波数スペクトルを代表スペクトルとする回折減衰量チャートを車両下部騒音に対するチャートとして用いている。

1.2. 超電導磁気浮上式鉄道の騒音の例

超電導磁気浮上式鉄道であるリニアモーターカーは、国家的プロジェクトとして東海道新幹線の役割を代替補完することが必要とされており、中央新幹線は、全国新幹線鉄道整備法に基づく基本計画路線であり、起点を東京都、終点は大阪市とし、甲府市付近、名古屋市付近、奈良市付近を主な経過地として、東京～大阪間を1時間で結ぶように計画されている。1997年4月からは中央新幹線の計画路線上となる山梨リニア実験線において走行試験を開始し、2000年3月には、運輸省（現在の国土交通省）・超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会において、超電導リニアモーターカーは超高速大量輸送システムとして実用化に向けた技術上の目途が立ったものと評価された。山梨リニア実験線では、500km/h 走行を含む高速での走行を繰り返し行い、車両や地上設備の信頼性、耐久性能の検証を実施している。2000年4月からは、新たな段階として、信頼性・耐久性の検証、コスト低減にかかわる技術開発、車両の空力的特性の改善などの試験・技術開発を行い、輸送システムとしての総合的な完成度を高めているところである。

リニアモーターカーの実現に際しての技術的課題の一つに環境問題がある。特に騒音は、高速での走行時は車体が浮上して走行しているため、低いものと思われがちであるが、現実には、先頭部や車両の継ぎ目、台車周り及びガスタービン排気口の空力音、ガイドウェイの振動による音などが音源として、500km/h で走行した場合に 25m 側方の受音点でのピークレベルは 80dB(A)（時定数 SLOW）と大きい。

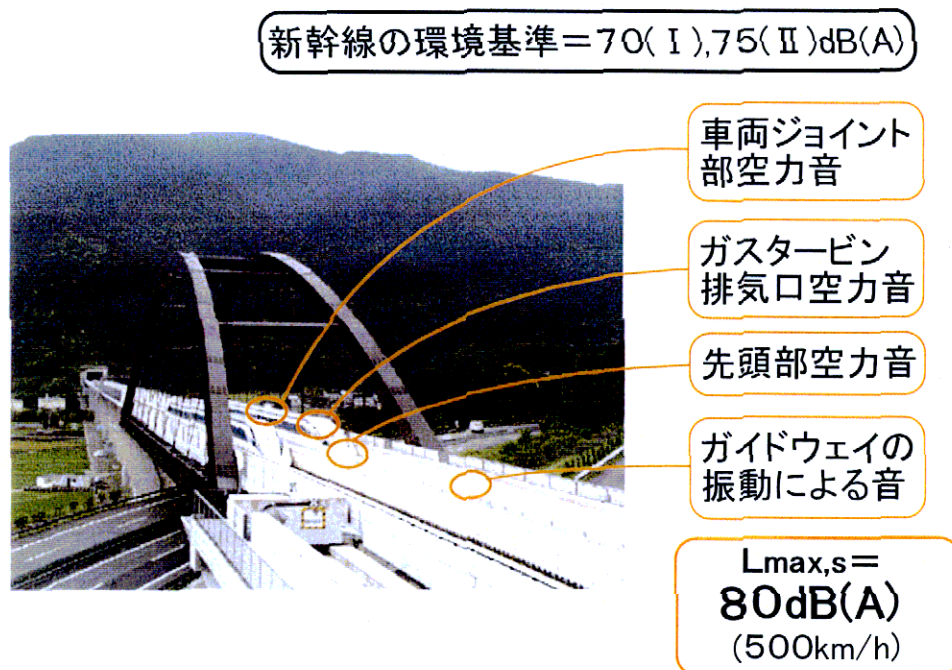


Fig.1.5 超電導磁気浮上式鉄道の騒音

現在は、リニアモーターカーのように浮上して高速で走行する形式の鉄道についての騒音の環境基準は定められていないものの、現行の新幹線の環境基準の暫定目標が前述の通り商工業地域（Ⅱ類型）では 75dB(A)、住居地域（Ⅰ類型）は 70dB(A)であることから、将来的に営業線として全面開業する場合には、騒音対策が不可欠であり、効果的な騒音対策として防音壁が設置されるものと考えられる。

1.3.まとめ

新幹線の速度は、東海道新幹線の開通当初の 210km/h から、現在は、山陽新幹線における 300km/h の営業運転へと大幅なスピードアップがはかられており、他の交通機関との競争力の確保や到達時間の短縮のため、現在も 360km/h を目指した実験を行う事業者があるなど、今後もさらなるスピードアップが検討されている。新幹線が全国的に整備される中、新幹線沿線における騒音公害が大きな社会問題となっており、今後の新幹線のスピードアップを行うには、騒音問題の解決が最重要課題である。

新幹線騒音の対策としては、防音壁がほぼ全線にわたり設置され、その形

状も直立型のみならず、防音壁の先端を改良した逆L字型、ラムダ型、トナカイ型などの防音壁がある。新幹線の騒音は、車両下部騒音と集電系騒音の占める寄与が大部分であり、車両上部の空力騒音の寄与は小さい。騒音対策を実施することにより、集電系の空力音、スパーク音、車両の継ぎ目部で発生する空力音などが低減した結果、相対的に車輪レール転動音及び台車周りから発生する空力音、モーター音、ギア音などの車両下部騒音の占める割合が増してきた。よって、車体下部騒音を最も簡易的に低減する騒音対策手法としての防音壁の重要性が増してきた。

一方、将来の高速鉄道として、超電導磁気浮上式鉄道であるリニアモーターカーがある。リニアモーターカーは、国家的プロジェクトとして東海道新幹線の役割を代替することが計画されており、時速 600km で走行し、東京～大阪間を約 1 時間で結ぶように計画されている。リニアモーターカーの実現に際しての技術的課題の一つに環境問題があり、特に騒音は、解決しなければならない最重要課題の一つである。現在、実験線における走行試験において、騒音としては、先頭部や車両の継ぎ目、台車周り及びガスタービン排気口の空力音、ガイドウェイの振動による音などが発生し、500km/h で走行した場合に 25m 側方の受音点でのピークレベルは 80dB(A) (時定数 SLOW) と大きい。これらのことから、将来的に営業線として全面開業する場合には、騒音対策が不可欠であり、効果的な騒音対策として防音壁が設置されるものと考えられる。

新幹線鉄道の騒音予測手法では、新幹線の走行時の騒音を①車両下部騒音（転動騒音、ギア騒音、空力騒音）②構造物騒音③車両上部空力騒音（先頭部空力騒音を含む）④集電系騒音（空力騒音、摺動音を含む）の 4 種類の音源に分類し、それぞれの音源を線路方向に分布する点音源列でモデル化している。防音壁による回折減衰量の評価は、前川の実験式を基本にし、設定した各音源位置と受音点との幾何学的関係により、各走行速度における各音源のスペクトルを考慮した回折減衰量のチャートを用いて行われている。交通機関の騒音の予測に際しては、実際には移動している音源を静止したものと仮定して、受音点での騒音を求める手法が用いられる。しかし本来、音源が移動する場合はドップラー効果による周波数変調などにより音源の特性が変化

することが知られている。しかし、防音壁の遮音性能を評価する際に音源の移動速度を考慮する方法についてはこれまでに報告された例がない。また近年では、高速鉄道の速度向上がめざましく、リニアモーターカーなどでは、走行速度が速くなり 0.5Mach にも近づこうとしている。このように、移動速度が亜音速の領域でもマッハ数が無視できないほど速い場合には、その変化による影響が無視できるのか、できないのか、その判断に対する知見が必要であると考えられる。

従って、本研究では、音源が高速で移動する場合の防音壁の遮音性能を評価する際に音源の移動速度を考慮する方法について検討することを目的とする。