

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6章 総 括

本研究では、音源が高速で移動する場合に対する防音壁の回折減衰量について検討することを目的として、以下に示す検討を行った。

第1章では、新幹線鉄道の騒音について、騒音問題の歴史からその重要性を述べ、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を述べた。また、超電導磁気浮上式鉄道は、時速600kmの営業運転を目指して実験線での試験を行っているところである。この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騒音問題がある。これら高速で移動する交通機関の騒音を最も簡易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。

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ことを述べた。

第2章では、Duhamel が提案した2次元円筒波音場におけるあらゆる周波数の解を Fourier 変換することで3次元球面波音場での特定周波数の解を求められるという積分変換理論を応用し、音源の移動による周波数の変調など音源の特性が変化する場合に拡張することを検討した。これに対応した積分変換式を導き、本手法を用いて音源が移動する際の防音壁の挿入損失について検討を行った。

Duhamel が提案した手法から、等速移動音源の場合はその移動を考慮した音場の伝達特性を計算しておけば、音源周波数特性が変化した場合にも、周波数合成のみによって得ることができることを導出した。音源が正弦波を放出しており、その移動により周波数が変調する場合には、音源の移動方向の周波数に関する積分を含まない形で3次元音場における速度ポテンシャルを得ることができることを示し、Duhamel の手法を音源の移動により周波数が変調する場合に拡張できることを示した。また、音源が移動する場合の音源指向特性の検討を行い、その結果、音源が速い速度で移動した場合の音源の音圧レベルは、進行方向に対して大きくなり、音源の進行方向に強い指向性を持つことが分かった。また、音源の速度が速くなるに従い、音源の進行方向に強い指向性を持つ傾向が強まることも分かった。

Duhamel の手法を用いた数値計算結果から、音源が高速で移動する場合には、進行方向へ強い指向性を持つ影響により、受音点における音圧レベルが最大となる位置は、音源の移動方向に対して受音点の正面より負の位置である手前側に移動する。また、防音壁がある場合には、最大値はさらに手前側に移動し、その移動量は、速度に応じて大きくなる。防音壁の挿入損失の最大値は、速度が速くなるに従い大きくなる傾向があり、音源が受音点の正面で静止している場合と比べて最大となる位置は手前側に移動することが分かった。

第3章では、音源が移動する場合の挿入損失について、交通騒音に対する騒音予測手法の中で一般的に用いられている前川の実験式を用いた簡易予測手法を考えた。

前川の実験式のフレネル数を求める際に、各音源の位置に対応した音源の変調周波数の波長を代入することで、音源の周波数を考慮した回折減衰量を算出し、さらに、音源が移動する際に進行方向に強くなる指向性の変化を考慮した場合の音圧レベルを用いて計算を試みた。この計算結果から、周波数の変調と指向性を考慮した場合の音圧レベルの変動の傾向は、防音壁の有無にかかわらず、第2章において境界要素法を用いて数値計算により求めた結果と0.5dB以内の精度で一致している。また、音源の周波数変調に伴う挿入損失の違いと音源の指向性の変化を考慮に入れて受音点での音圧レベルの変化を算出した結果は、

いずれの受音点においても、速度が速くなるに従い音圧レベルの最大値は大きくなり、最大となる位置は中心より手前に移る傾向がある。

第4章では、音源が高速で移動する時の防音壁の挿入損失について、実験により検討するために、高加速及び高減速度に耐える音源を製作した。その音源を高速で移動させ受音点の音圧レベルの変化を測定し、防音壁の挿入損失について検討した。

まず、移動音源の実験では、移動する音源に対して固定した受音点で計測を行うために、音源に対してマイクロホンの正面を向けて常に正対した状態で使うことができない。そのため、音波が到来する角度に対するマイクロホン感度を把握しておく必要がある。そこで、高周波用マイクロホンの入射角度方向感度を把握するために、インパルス・レスポンスの計測を行った。そして、その感度特性の測定結果から、マイクロホンの音波入射角度に応じた感度のレベル差について補正を行った。

実際の音源としては、まず最初に車両を模擬した模型の先頭部分に周方向に溝を彫り込み、車両模型が高速で移動する際にキャビティ部から空力的に発生する音を音源とした。低騒音風洞を用いて、車両模型を空気の流れの中に入れ、先頭部分のキャビティの音源としての有効性を検証すると共に、周波数、音圧、水平方向放射指向性、軸回転方向放射指向性について計測を行った。その結果、流れの速度が速まると発生する音の周波数が高くなると共に音圧が上昇し、速度に応じて水平方向の放射特性は後方側に向く傾向であることが分かった。この空力的な音源を用いて、音源を高速で移動した場合の防音壁が無い条件と防音壁を設置した条件について比較する実験を行った。音圧レベルの変化を測定した結果から、キャビティから発生する空力的な音源の場合、挿入損失を明確に求めることができず、このキャビティ音源を用いて防音壁の遮音量の検討を行うのは困難であることが分かった。この理由は、軸回転方向及び水平回転方向に対してそれぞれの指向性が角度に応じて異なるためである。

次に、高加速・高減速に耐えるスピーカーによる音源を製作し、この音源を高速移動することにより、音源が高速で移動する場合の防音壁の挿入損失について実測することにした。まず、低騒音風洞を用いて、周波数及び音圧レベル

の変動を計測することにより、軸回転方向放射指向性、水平回転方向放射指向性について検討した。この結果、空気の流れの場合における音の放射特性は、空気が静止している状態とほぼ一致した分布をしており、空気の流れの影響を受けず比較的滑らかな無指向性に近い特性を有していることが確認された。このスピーカー音源を用いて、音源を高速で移動した場合の防音壁が無い条件と防音壁を設置した条件について比較する実験を行った。各速度で音源を移動した場合に、各受音点で観測された音圧レベルの変化から見ると、どの受音点においても音圧レベルが最大となる位置は、速度が速くなるに従い、手前側に移動する傾向がある。防音壁がある場合は、防音壁がない場合に比べて、音圧レベルが最大となる位置は、さらに手前側に移動している。また、各受音点における防音壁の挿入損失として、防音壁設置前後の音圧レベル差を求めた。その挿入損失の最大となる位置は、音源の速度が速くなるに従い手前側になる傾向があり、挿入損失の最大値は速度が上昇するに従い、速度とともにわずかながら大きくなる傾向があることが分かった。

第5章では、音源が高速で移動する時の防音壁の挿入損失の実測結果と簡易予測手法を用いた計算結果との比較検討を行った。

第4章において、音源としてスピーカーを用いて、移動速度が150, 200, 250km/hの場合において各受音点で観測された音圧レベルの変化と、第3章で述べた防音壁の挿入損失の簡易予測手法を用いて算出した音圧レベルの変化を比較した結果、音圧レベルは、防音壁がある場合も防音壁がない場合でも、1dB以内ではほぼ一致している。計算において、音源の移動速度が速くなるに従い、音圧レベルが最大となる位置は手前側になる傾向であるが、実験においても防音壁なしの条件では移動量は減少しているものの、同様の傾向が認められる。また、計算値の場合と同様に実験においても、音圧レベルの最大値は、速度が速くなるに従って、大きくなる傾向がある。防音壁がある場合とない場合を比べると、計算値、実験値ともに防音壁がある場合の方が音圧レベルが最大となる位置は手前側になっている。

各受音点における防音壁の挿入損失について、実験により求めた防音壁の挿入損失と、計算により求めた挿入損失とを比較した結果、実験値と計算値とは

ほぼ一致し、挿入損失が最大となる位置は、手前側に移動しており、最大値は、速度が速くなるに従い挿入損失の最大値は大きくなる傾向にある。

これまでの騒音予測手法では、移動している音源に対する騒音を予測する際にも音源は静止しているものと仮定して計算を行っており、防音壁がある場合には受音点の正面に音源が来た時に挿入損失が最大となるとしている。しかし、本論文における検討結果から、音源が高速で移動する場合には、挿入損失が最大となる位置は、手前側に移動し、音源の速度に伴い挿入損失が大きくなるなど、音源が静止している条件とは異なることが明らかになった。

本論文により、音源が高速で移動する場合の受音点における騒音を予測するには、音源の速度に応じた挿入損失を用いると共に速度により変化する音源の指向特性を考慮して算出する必要があることを明らかに出来た。ここでは、音源、受音点の距離が 3m で、3 種類の回折角度についてのみの検討に止まっているが、音源が高速で移動する場合の防音壁の挿入損失は音源の速度の変化に応じて変わるという基本的現象は明らかに出来た。今後はさらに解析条件を拡大し、実用に耐える予測手法を整備することを課題としたい。