特集 2 ・騒音振動の計測，評価等の最近の動向

騒音の放射特性の把握と可視化技術

橘 秀 樹*・押 野 康 夫**

ま え が き

近年，道路交通騒音や鉄道騒音は重要な環境問題の一つとなっている。これら騒音を低減する方法には，発生源そのものを低減する音源側の対策と騒音伝搬を抑制する伝搬側の対策がある。これらの対策を効率的に実施するためには，種々の対策効果を予め予測計算する必要があるが，その場合，音源特性を詳細に把握しておくことが重要である。この音源特性を把握する手段としては，音源位置の同定および騒音放射パターンの可視化が有効である。

本稿では，音響インテンシティ法および近接音響ホログラフィー法を転動している自動車用タイヤ，走行中の自動車および新幹線の音響放射特性の測定などに適用し，音源位置の把握や騒音放射パターンの可視化を行った例を紹介する。

1. 自動車用タイヤの騒音放射特性

タイヤと路面の接触によって発生する騒音，いわゆるタイヤ/路面騒音の放射特性を把握するために，テストコースとドラム試験機で音響インテンシティを測定した結果について述べる。

1.1 実路における測定例

音響インテンシティの測定によって音源位置の同定や音場の可視化を行うためには，多数の点における測定が不可欠である。特に，実際の路面上を転動しているタイヤから放射される音響インテンシティを測定する場合には，車体振動や風切り音の影響を低減したマイクロホンの移動装置が必要である。そこで，遠隔操作が可能なマイクロホン移動装置を製作した。このマイクロホン移動装置には side-by-side 型に配列された 2 本のマイクロホン（間隔：20

mm）が取り付けられている。この装置を写真 1 に示すように大型トレーラのタイヤ近傍に装着し，走行中に順次マイクロホンを移動させて音響インテンシティ（法線方向成分）の測定を行った¹⁾。本実験では，タイヤのサイドウォールから 100mm 離れた平面に 1 m × 1 m の測定面を設定し，測定間隔を 50mm とした。走行実験は，日本自動車研究所の高速周回路（1 周 5.5km）の直線部分で行った。

図 1 は，速度 80km/h で走行中のリブタイヤから放射された音響インテンシティの 3 次元分布である。(a) に示す A 特性オーバーオールの場合，主な音源位置は踏み込み部と蹴り出し部であることが明らかである。(b) はオーバーオールレベルに支配的な 1 kHz 帯域 (1/3oct.) における放射パターンであり，オーバーオールレベルの場合と同様な結果となっている。この帯域における発生騒音は，リブ溝の気柱共鳴によるものと考えられる。

図 2 は，ラグパターンのタイヤに関する同様な結果である。(a) に示すオーバーオールレベルの場合，主な音源位置は接地部であるが，接地部から離れた

写真 1 大型トレーラに装着したマイクロホントラバースシステム

* 東京大学生産技術研究所 Hideki TACHIBANA

** 勸業日本自動車研究所 Yasuo OSHINO

図-1 リブパターンタイヤから放射された音響インテンシティ (速度80km/h)

図-2 ラグパターンタイヤから放射された音響インテンシティ (速度80km/h)

サイドウォールにもレベルの高い部分がみられ、放射パターンはやや複雑となっている。(b)はパターンノイズの2次成分が含まれる630Hz帯域の放射パターンであるが、路面から高さ約500mmのサイドウォールの二つの部分に負のインテンシティが観測されている。この現象は、タイヤトレッドと路面の衝撃によって励振されたサイドウォールの振動によるものと考えられる。

1.2 ドラム試験機による測定例

上述の例で、音響インテンシティ法は音源探査に有効であることを示したが、この方法では多数点における測定を繰り返す必要があるため、測定に長時間を要する。そこで、短時間に音源探査や音響エネルギー流の可視化が可能な多チャンネルのマイクロ

写真2
タイヤ/路面騒音測定用無響室と100チャンネルのマイクロアンレー

ホンアレイを使用した近接音響ホログラフィー法の適用を試みた²⁾。写真2は、タイヤ/路面騒音測定用実験室にマイクロホンアレイを設置した様子である。この実験室は半無響室となっており、床下部分に直径3mのドラムを装備し、タイヤの接地部のみが実験室に現れている。マイクロホンアレイとしては、900mm×900mmの平面内に100本のマイクロホンを100mm間隔で配列したものを使用した。なお、マイクロホンアレイ面とタイヤサイドウォールの距離は100mmとした。

図-3は、近接音響ホログラフィー法によるトラック用タイヤの測定例であり、周波数500Hzの音響インテンシティ・コンターマップ（放線方向成分）および水平面内と垂直面内におけるインテンシティベクトルである。コンターマップと水平面内のインテンシティベクトルから、踏み込み部と蹴り出し部に主な音源があり、これらの音源からの発生騒音は放射状に伝搬している様子が明瞭に見られる。また、垂直面内における音響エネルギー流はタイヤ近傍でやや複雑となっている。

2. 自動車、新幹線の騒音放射特性

道路交通騒音や鉄道騒音を予測する場合、自動車や列車の音源をどの位置に設定するかは、予測の精度を左右する重要なポイントである。そこで、音響インテンシティ法によって自動車や列車の音源位置について実験的に検討した結果を述べる。

2.1 自動車の測定例

実際に走行している自動車の騒音放射パターンから音源位置を調べるために、テストコースにおける走行実験に音響インテンシティ法を適用した³⁾。図-4に測定配置と測定装置のブロックダイアグラム

図-3 近接音響ホログラフィー法によって測定した音響インテンシティのコンターマップとベクトルマップ (500Hz)

を示す。この実験では、6個のコンデンサーマイクロホンから構成される3次元音響インテンシティロープを用いた。試験車両は、オートバイ、乗用車、大型トラックとした。

図-5は、垂直面内(Y-Z平面)におけるA特性オーバールの音響インテンシティベクトルの測定結果(実線)を示している。なお、図中の破線のベクトルは、車両中心の路面上に無指向性の点音源があると仮定して計算したインテンシティベクトルである。オートバイの測定結果では、測定結果と計算結果はよく一致している。一方、乗用車の場合、測定結果と計算結果のベクトルの方向が多少異なっている。この場合、測定したベクトルの延長線は、左右タイヤの接地部に集中している。大型トラックの場合は、測定したインテンシティベクトルの延長線は車体中央の路面上に集中している。これらの結果から、自動車を一つの音源と仮定する場合には、音源を車両中心の路面上に設定するのが妥当であると考えられる。

図-4 実験配置と測定系のブロックダイアグラム

図-5 自動車から放射された音響インテンシティ
(垂直面内の測定結果)

図-6 は、水平面内 (X-Z 平面) における同様な結果である。これらの結果は、サンプリング間隔ごとに車両と測定点の相対的な距離を算出することによって求めた。オートバイと乗用車の結果をみると、インテンシティベクトルの測定結果と計算結果はよ

図-6 自動車から放射された音響インテンシティ
(水平面内の測定結果)

く一致しており、これらの車両については水平面内で点音源と仮定してもよいと考えられる。一方、大型トラックの場合、ベクトルの測定結果と計算結果は、方向、大きさともに大きく異なっており、大型トラックを一つの点音源と仮定することにはかなり

図-7 新幹線とマイクロホンアレー

図-8 新幹線から放射された音響インテンシティ

無理があることを示している。

2.2 新幹線の測定例

新幹線車両の騒音放射パターンを調べるために、8系統の2次元音響インテンシティプローブを軌道近傍に設置し、車両が通過する際の発生騒音を測定した⁴⁾。図-7にインテンシティプローブの配置を示す。なお、マイクロホン間隔は50mmとし、測定対象とした周波数範囲は200~1250Hz (1/3oct.) とした。

図-8は、遮音壁の設置前・後に測定した250Hzと800Hz帯域 (1/3oct.) の音響インテンシティベクトル

であり、図中の破線はインテンシティベクトルの延長線を示している。(a)は遮音壁設置前に測定した結果であるが、ベクトルの延長線は車体下部に集中している。この結果から、列車騒音は、車体下部からの発生騒音が支配的であると考えられる。(b)は遮音壁設置後の結果である。遮音壁による遮蔽効果が明確に見られ、遮音壁よりも高い位置におけるインテンシティベクトルの延長線は、設置前の場合よりも高い位置に集中している。この原因は、車体と遮音壁の間の多重反射の影響と考えられ、遮音壁設置後の騒音伝搬の予測計算では、仮想的な音源位置を軌道よりも高い位置に設定する必要があることを示唆している。

ま と め

本稿では、転動中のタイヤ、走行中の自動車および新幹線に音響インテンシティ法および近接音響ホログラフィー法を適用し、音源位置の同定や騒音エネルギー流の可視化を行った例を紹介した。特に、音響インテンシティ法は、建築音響や設備機器騒音など交通機関以外の分野においても、多くの測定、解析事例が報告されており、騒音計測の一手法として定着しつつある。また、騒音対策においては近接音場における測定結果から遠距離音場を推定する方法が有効であり、最近、近接音響ホログラフィー法が注目されている。この方法によれば、音源位置の同定や騒音エネルギー流の可視化のみならず各部音源の遠距離音場における寄与も推定することができ、騒音対策の面で有効な手法と考えられる。今後、応用範囲の拡大が期待される。

参 考 文 献

- 1) Yasuo Oshino and Hideki Tachibana, "Noise source identification on rolling tires by sound intensity measurement," J. Acoust. Soc. Jpn. (E), Vol.12, No.2, 87-92 (1991)
- 2) 小池 博, 鈴木桂輔, 押野康夫, "近接音響ホログラフィー法による自動車用タイヤの騒音放射特性に関する検討," 日本機械学会創立100周年記念講演会 No.97-12 第6回交通・物流部門大会講演論文集 (部門大会編), 359-362 (1997.7)
- 3) Hideki Tachibana and Yasuo Oshino, "Sound intensity radiation patterns of actually running automobiles," Proc. of Inter-noise 92, 849-852 (1992)
- 4) Yoshito Hidaka and Hideki Tachibana et al., "Measurement of sound radiation from Shinkansen train by sound intensity method," Proc. of Inter-noise 95, 215-218 (1995)