

35. 音源探査装置の開発と騒音防止対策への活用に関する研究

○ 大脇雅直, 財満健史 (熊谷組)

山下恭弘 (信州大学)

1. はじめに

工場や鉄道、道路などの騒音防止対策を検討する場合、騒音の発生源を特定し、騒音防止対策を行う必要がある建物部位や機械を明確にすることは、効率良く対策を行う上で非常に重要である。しかし施設が広大であったり、騒音源となる機器が複数存在したりするような場合、音源や対策部位を特定するために多くの時間と労力を要する。筆者等は、現場へ簡単に持ち運びができ、その場で結果を見ることができる音源探査装置の開発を行っている^{1) 2)}。本装置は対策を必要とする音源に対して仮想の防音壁を設定し、防音壁の効果の予測を行う機能を持っている。本報では音源探査装置と防音壁の効果の予測を行う機能の概要について述べ、次に本装置を活用して防音対策を検討した事例について報告する。

2. 音源方向の推定方法

5 個のマイクロホンを用いて音源方向を推定する方法を示す。マイクロホンを図 1 に示すように配置する。M1～M5 はマイクロホン、L は水平面のマイクロホン間隔とする。ここで、音源はマイクロホン位置から充分離れており、平面波として入射すると仮定する。図 2 にマイクロホン M_i—M_j 間における平面波の進行距離の概念図を示す。D_{ij} を M_i に対する M_j の時間遅れ(sec)、c を音速(m/sec)とする。M_i, M_j を通過する平面波の進

行距離は D_{ij}・c (m) となる。図 1 における水平角を θ (°)、仰角を φ (°) とすると、M₂—M₄ 間および M₃—M₅ における平面波の進行距離は式(1)、(2)で表される。

$$D_{24} \cdot c = L \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi \quad (\text{m}) \quad (1)$$

$$D_{35} \cdot c = L \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi \quad (\text{m}) \quad (2)$$

次に、XZ 平面および YZ 平面における進行距離を求めると式(3)、(4)となる。

$$(D_{13} + D_{15}) \cdot c = \sqrt{3} \cdot L \cdot \sin \phi_x \cdot \cos \theta \quad (\text{m}) \quad (3)$$

$$(D_{12} + D_{14}) \cdot c = \sqrt{3} \cdot L \cdot \sin \phi_y \cdot \cos \theta \quad (\text{m}) \quad (4)$$

但し、φ_x, φ_y はそれぞれ XZ 平面、YZ 平面に入射する仰角である。ここで、式(3)、(4)の右辺は等しくなるので式(5)の関係で表せる。

$$\begin{aligned} D_{1a} + D_{1b} &= D_{12} + D_{14} = D_{13} + D_{15} \\ &= \frac{D_{12} + D_{14} + D_{13} + D_{15}}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

水平角は式(1)、(2)から式(6)で、仰角は式(1)、(2)、(5)から式(7)で表せる。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D_{35}}{D_{24}} \right) \quad (6)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{D_{12} + D_{14} + D_{13} + D_{15}}{2\sqrt{3} \cdot \sqrt{D_{24}^2 + D_{35}^2}} \right) \quad (7)$$

なお、式(6)、(7)の D_{ij} は、2 個のマイクロホンに入力

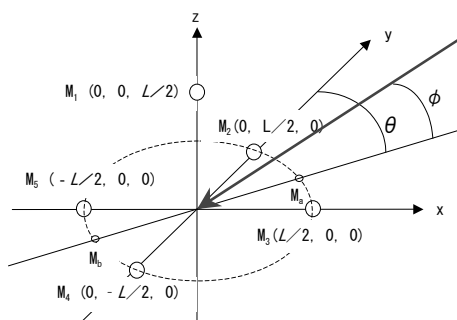


図1 マイクロホンの配置

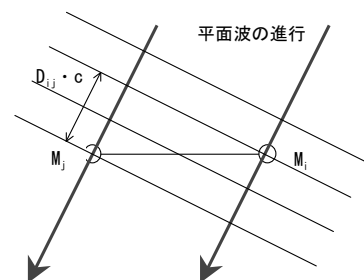


図2 平面波の進行距離の概念

される信号のクロススペクトル $P_{ij}(f)$ を求め、対象とする周波数の位相情報 Ψ から求めることができる。

$$D_{ij} = \frac{1}{2\pi f} \psi[P_{ij}(f)] \quad (8)$$

但し、 f は周波数とする。

3. 音源探査装置の概要

図3に音源探査装置の構成を、写真1に概観を示す。センサ部は5つのマイクロホンと小型カメラから構成されており、カメラから取り込んだ画像の上に音源方向、周波数、音圧レベルを○印の大きさと色で表示するようにしている。5つのマイクロホンの間隔は各々35mmとし、解析可能周波数の上限を4,500Hzとしている。測定結果の表示例を図4に示す。

また本音源探査装置は、時系列で変化する音源や道路交通騒音のように移動する音源に対応するため、測定結果を動画処理して音の発生状況の時間変化を確認することができる。図5、6にトラックの走行音を測定した例を示す。

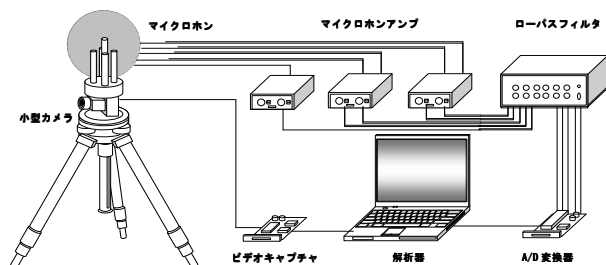


図3 音源探査システムの構成



写真1 音源探査システム概観およびセンサ部

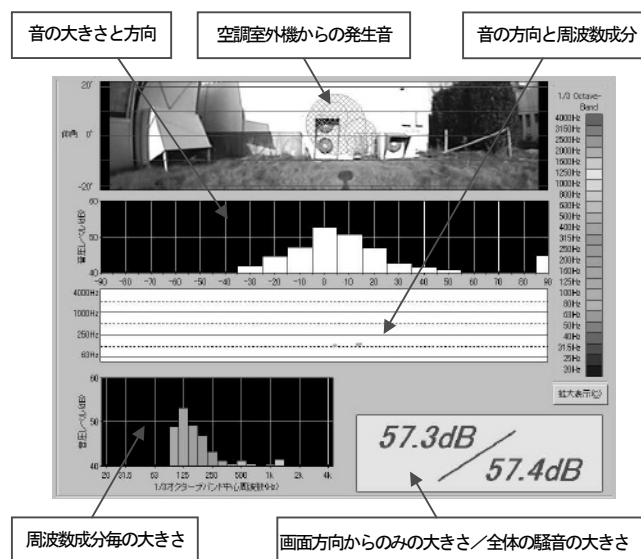


図4 測定結果の表示例（屋外：空調室外機）

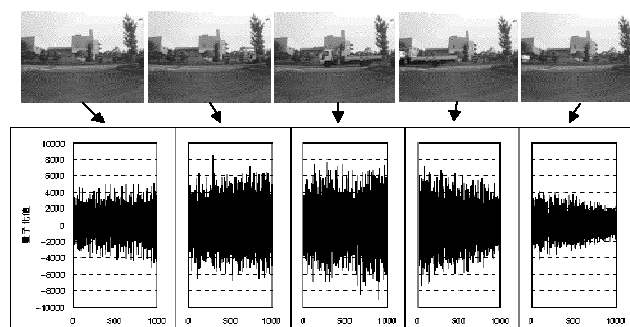


図5 音情報と画像の対応例

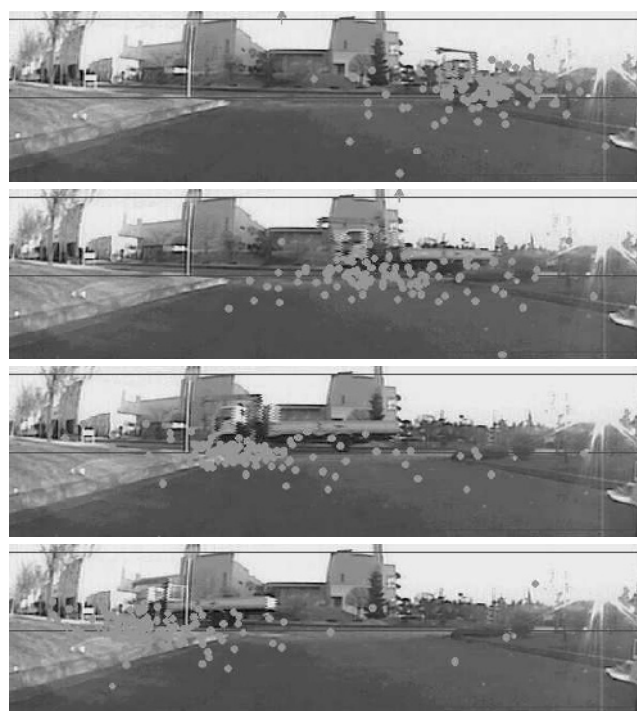


図6 移動音源の測定結果例（トラック、250Hz 帯域）

4. 防音壁の効果の予測について

従来の防音対策評価は、現地で詳細な騒音調査を行い、騒音源の位置や音の大きさなどの調査結果を騒音計算プログラムに入力して防音効果の予測を行う。そのため調査と調査結果の入力には多くの時間と手間が必要であった。さらに騒音源の調査漏れにより、予測結果が必ずしも正確でない場合も考えられる。

本音源探査装置による測定結果は任意の測定点における全方位の音情報を記録することができるため、調査漏れの可能性が小さい。この特性を利用して、本装置の測定結果を用いて簡単な操作で防音壁による効果を予測計算できれば非常に有用で有ると考えた。本装置に組み込んだ予測計算機能は、測定結果の画面上において、図7に示すように防音壁の影響を受ける音源の範囲や仮定の防音壁を設定し、計算に必要な数値をいくつか入力するだけで良い。予測計算において、有限長の防音壁による回折効果の計算は山本ら³⁾の提案する方法によった。

5. 適用例

本装置を用いた防音壁の予測計算の例を示す。図8～9は無響室においてスピーカ音源を使った実験例である。防音壁はW1,820×H9,1020mm 厚さ15mmの合板を用いた。音源には白色雑音を用いた。図10～11は屋外に設置したコンプレッサを使った実験例である。防音壁はL字型配置とし、W2,400×H2,000mm（正面）+W2,400×H2,000mm（右側面）の防音パネルを用いた。図12～13は屋外の空調室外機を使った実験例である。防音壁はL字型配置とし、W1,000×

H2,000mm（左側面）+W2,000×H2,000mm（正面）の防音パネル（衝立）を用いた。いずれの予測計算結果も実際に防音壁を設置した結果と良く一致していた。

6. まとめ

本装置を用いて、可聴音域における音源の方向、音圧レベル、周波数を特定することができ、屋外の移動音源や室内音響にも適用できることを示した。さらに、本装置に防音壁の遮音効果の予測機能を付加すること

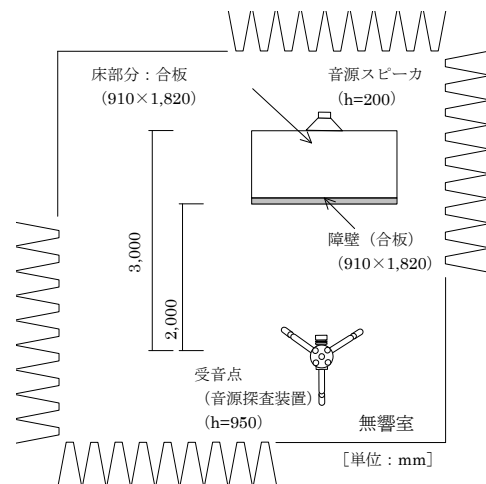
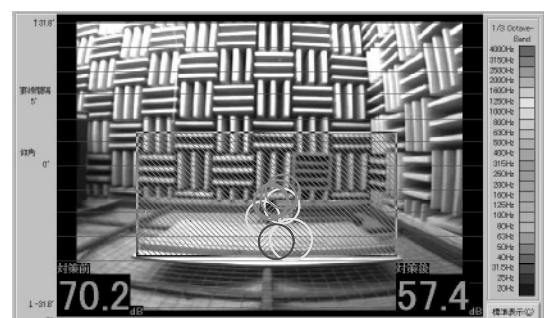
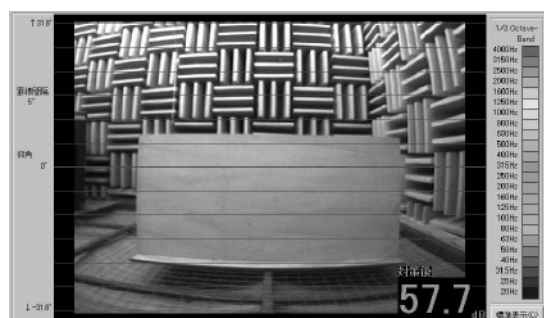


図8 無響室における実験 配置図



（予測計算結果）



（実測結果）

図9 無響室における例（スピーカ）

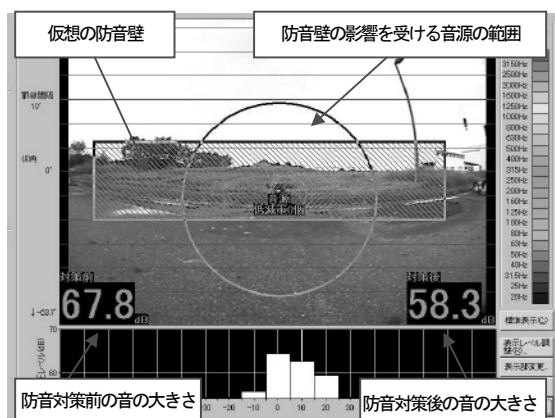


図7 予測計算の方法について

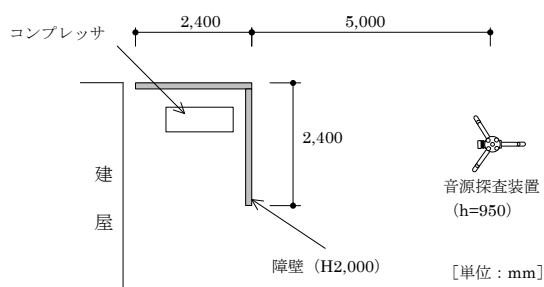


図 10 屋外における例 1 (コンプレッサ) 配置図



(予測計算結果)



(実測結果)

図 11 屋外における例 (コンプレッサ)

で、調査から遮音壁の検討まで現地で一貫して行うことが可能となった。現在の装置では、同じ周波数で音圧レベルが同程度の音源が多数ある場合には、1回の測定で音源方向を正しく表示できないため、複数の測定点で測定を行い、音源位置を工学的に判断している。遮音壁の遮音効果の予測機能については、遮音壁による反射の影響は考慮していない。今後、さらに精度を向上させるために計算手法の検討を進めていく予定である。現場での測定をさらに簡単に行う事ができるように、装置の小型化、軽量化を進めていく予定である。

なお、本装置の開発は、中部電力(株)、(株)熊谷組、信州大学工学部山下研究室の3者が共同で行っているものである。

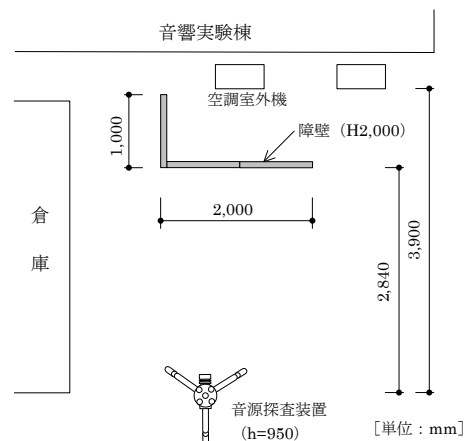
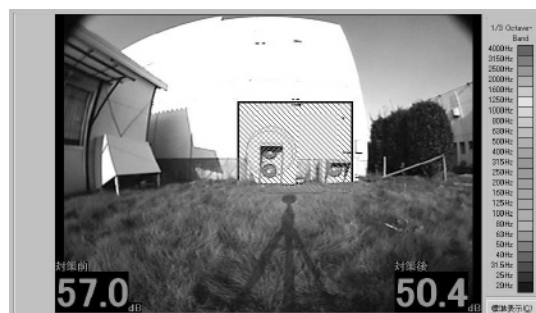


図 12 屋外における例 2 (空調室外機) 配置図



(予測計算結果)



(実測結果)

図 13 屋外における例 (空調室外機)

参考文献

- 1) 上明戸昇, 山下恭弘, 財満健史, 大脇雅直, 杉山武, 澤克紀: 倍音を含む純音性音源の方向推定に関する検討-誤差要因の基礎的検討, 日本建築学会計画系論文集, No.542, pp.15-21, 2001.4
- 2) 野上英和, 上明戸昇, 山下恭弘, 大脇雅直, 財満健史, 杉山武, 和田浩之: 音情報と画像を組み込んだ音源探査システムの開発-5 チャンネル音源探査装置の開発-, 日本音響学会講演論文集, pp.857-858, 2001.10
- 3) 山本貢平, 堀田竜太, 高木興一: 有限長障壁に対する音の回折効果の計算方法について, 日本音響学会誌 50 巻 4 号, pp.271-278, 1994