

打音法による欠陥検出

日大生産工 ○山崎 憲 霜山竜一

1 まえがき

人が物体の表面をたたいた際の打撃音から物体の内部状態を推定する検査法は、場所に関わらず比較的簡単に実施できる反面、熟練した人材と時間を要し、疲労や慣れによる検査精度の低下が懸念される。また実環境下では反射音や騒音が影響を与えるため、機械による検査が難しい一面を持つ。

筆者らはこれまでに約1.6s間における音圧の平均化が反射音の影響を抑止し、反射のある実空間で計測したチャンネル間位相差の周波数特性から音源の方向を高精度に推定できることを報告した^{1),2)}。一方、音の波長がマイクロホン間隔より短い場合には複数音源からの音の位相差が同一となり音源方向が曖昧になる、いわゆる「位相の多様性」により音の定位が曖昧になる現象³⁾があった。

そこで、本報告では、位相の多様性による定位の曖昧さを解消するアルゴリズムを2次元に拡張して用いることにより音の発生箇所の推定を行った。

2 定式化と音源方向推定アルゴリズム

1対のマイクロホンで計測される直接音の位相差から音源の方向を求める方法を示す。Fig.1に示す直接音の行路差と位相差をそれぞれ Δd 、 $\Delta\phi$ とおくと、

$$\Delta\phi = \frac{\Delta d}{c} f \times 360 \text{ [deg]} \quad (1)$$

ただし、 c は音速、 f は周波数、また位相差は多様性といわれる性質を有する。すなわち

$$\Delta\phi \rightarrow \Delta\phi + 360n \quad (2)$$

ただし、 n は整数

式(2)を式(1)に代入すると次式を得る。

$$\Delta d = \frac{c(\Delta\phi + 360n)}{360f} \quad (3)$$

式(3)は一つの位相差から n の値に応じて複数の行路差 Δd が得られることを意味する。

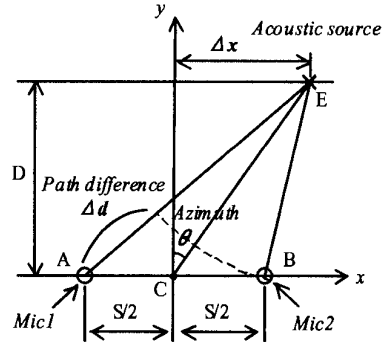


Fig.1 音源位置推定モデル

したがって、音源方向 θ は行路差を用いてFig.1から幾何学的に求める。次に音源の水平、垂直方向を定位するためにマイクロホン1を共用した2対のマイクロホンを $S=20\text{cm}$ でFig.2のように配置する。

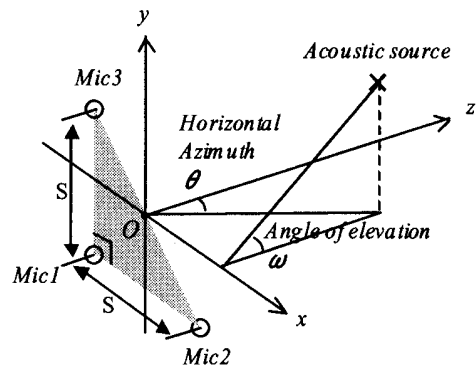


Fig.2 マイクロホンの配置

音源の水平角と仰角を推定するアルゴリズムをFig.2に示す。反射音の影響を避けるために音のクロススペクトルを時間平均する。式(3)において周波数 f で計測された位相差 $\Delta\phi$ について整数 n に対する推定可能なすべての行路差 Δd_n を算出し、行路差に対応する音源方向 θ_n を幾何学的に求める。計測されたすべての位相差について上記の計算を行い、音源の推定方向の周波

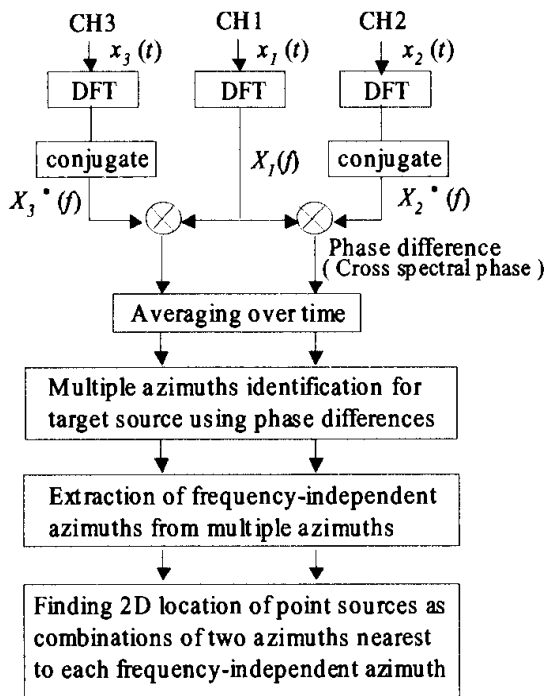


Fig.3 アルゴリズムの概要

数特性を求める。垂直方向についても同様に行う。得られた音源の推定方向の周波数特性から周波数軸に平行な直線成分をハフ変換により抽出する。すなわち、2次元データ $(X_i, Y_i) (i=1, 2, \dots, N)$ を式(4)で変換する。

$$l = -X_i m + Y_i \quad (4)$$

この場合、 X_i は周波数、 Y_i は音源の推定方向に対応し、周波数軸に平行な直線成分を求めるために $m = 0$ として、 l について累積度数を求め、累積度数の比較的大きな方向を真の音源方向とみなす。求められた多くの推定方向の中から、各周波数でこの方向に最も近い方向を選択する。これらより水平、垂直の両方向の組み合わせとして表される位置に点音源を2次元配置する。

4 実験結果

供試体表面をハンマーで繰り返し打撃し、1.2m離れた位置で計測した音圧から音の発生箇所を推定した。音の立ち上がりでトリガをかけ、500msを1フレームとして10回計測した位相差を平均化した。推定された点音源の2次元的な分布をFig.4に示す。

黒い背景全体に白い点で示された点音源が散乱している様子が認められる。

打撃箇所を含むやや広い場所に異なる周波数の多くの点音源が集まり白い塊として見える。この白い箇所を中心として、周囲に位相差の多様性により生じたと思われる仮想的な点音源による縞状の模様が見られる。

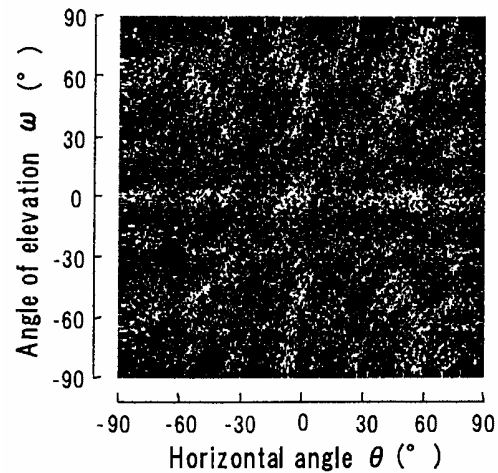


Fig.4 音源イメージ

5 おわりに

供試体表面を打撃した際に発生する音圧を3Chのマイクロホンで計測し、位相差から周波数ごとに点音源の方向を推定し、それらの2次元分布を求めた。

その結果から以下のことが明らかになった。

- (1) 打撃時に打撃位置を含む供試体表面から比較的広帯域の音が発生する。
- (2) 打撃箇所に応じて音の発生部位が変化する。
- (3) 低い周波数の音は比較的広く分布するが、高い周波数の音は打撃箇所近傍から発生する。

今後は、点音源の2次元分布から仮想音源を消去する方法や打撃箇所からの音と欠陥部位からの音を区別する方法の検討が必要である。

謝辞

本研究は、ハイテクリサーチ(産学連携)研究開発プロジェクトの一環として行った研究の一部である。

「参考文献」

- 1) R. Shimoyama and Ken Yamazaki, "Acoustic source localization using phase difference spectrum images", Acoust. Sci. & Tech., 24,4 (2003) pp.161-171
- 2) R. Shimoyama and Ken Yamazaki, "Multiple acoustic source localization using ambiguous phase differences under reverberative conditions", Acoust. Sci. & Tech., 25,6 (2004) pp.446-171
- 3) M. Konishi, "Study of localization by owls and its relevance to humans", Comparative Biochemistry and Physiology, Part A (2000) pp.459-469