

プロジェクト 1

打撃音によるヘルスマニタリング技術

山崎 憲 (電気電子工学科)

霜山 竜一 (電気電子工学科)

1 はじめに

打音法は、物体表面を打撃した際に生じる音の違いから人が物体内部の状態を推定するもので、比較的簡単に実施できるため農産物の品質検査やコンクリートなどの非破壊検査に古くから用いられている。この方法は人の聴覚に依存するため、検査に人手と時間を要し、疲労や慣れにより検査精度が低下するなどの欠点がある。コンクリート構造物などを検査する場合は周囲の雑音や壁面による反響の影響が避けられない。実環境下で打音法を機械化するには、このような雑音や反響の影響を除き、打撃音のみを選択的に検出する必要がある。

筆者らはこれまで、約 1.6s にわたる音圧の平均化処理が音源定位における反響音の影響を抑制し、平均化されたチャンネル間位相差の周波数特性から、反響のある室内で比較的遠方(～5m)にあるスピーカの水平面内方向を高精度に推定できることを示した[1]。また、位相差の周波数特性を利用して、反響のある室内でコンクリート壁の打撃音を 2 次元的可視化し音の発生箇所を推定した[2]。さらに 2 次元の画像から位相多義性に起因する仮想的な点音源を消去する方法を示した[3]。

本報では、コンクリート壁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、チャンネル間の位相差から周波数毎に点音源の方向を推定して、それらの 2 次元的な分布を求める。さらに、仮想的な点音源を消去した 2 次元画像を示す。

2 定式化と推定アルゴリズム

まず水平方向の音源定位法について述べる。Fig. 1 に示すように、1 対のマイクロホン (Mic1, Mic2) で計測される直接音の行路差と位

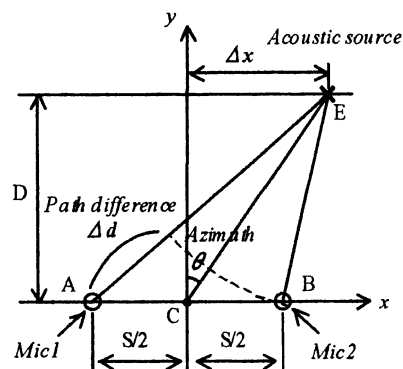


Fig.1 Source localization model

相差をそれぞれ Δd 、 $\Delta \phi$ とおくと

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

ただし c は音速、 f は周波数である。位相差の多義性は次式で表される。

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

ただし n は整数である。式(2)を式(1)に代入変形すれば

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

が得られる。式(3)は、一つの位相差値から整数 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。音源方向 θ は行路差を用いて Fig. 1 から幾何学的に求められる。

次に音源の水平、垂直方向を同時に定位する方法を述べる。マイクロホン Mic1 を共用した 2 対のマイクロホンを、それぞれ水平、垂直方向に配置する (Fig. 2)。音源の方向 (θ , ω) を推定するアルゴリズムを Fig. 3 に示す。水平、垂直方向について同様の手続きを行う。音響信号のクロススペクトルを時間的に平均化する。式(3)において、周波数 f で計測された位相差値 $\Delta \phi$ について、整

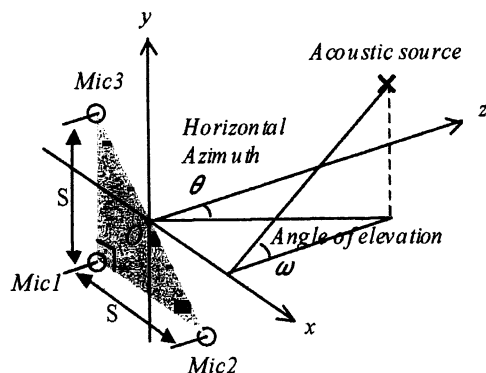


Fig.2 Configuration of microphones

数 n ($n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) に対する推定可能な全ての行路差 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。計測された全周波数の位相差について上記計算を行い、音源推定方向の周波数特性を求める。この場合、多くの仮想的な(偽の)方向が推定されるため、固定された広帯域音源から直接到来する音の方向は周波数に依存しない、という特徴を利用して真の方向を区別する。音源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を用いて抽出する。すなわち、 N 個の 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 は周波数値、 Y_i は音源推定方向に対応する。 $m=0$ とし、 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。水平、垂直の両方向の組み合わせで表される位置に点音源を 2 次元的に配置する。

3. 結果

室内にあるコンクリート柱(約 78cm 幅)表面の同一箇所を小型ハンマーで繰り返し打撃し、1.2m(=D)離れた位置で計測した音圧から 2 次元画像を求めた。マイクロホンの間隔は 20cm(=S)である。打撃点はマイクロホンの正面に位置する。音の立ち上がりでトリガをかけ、1 フレーム 500ms で断続的に 10 回計測した音圧の位相差を平均化した。Mic1-Mic2 間の位相差(水平方向)から推定された音源の方向の周波数特性を

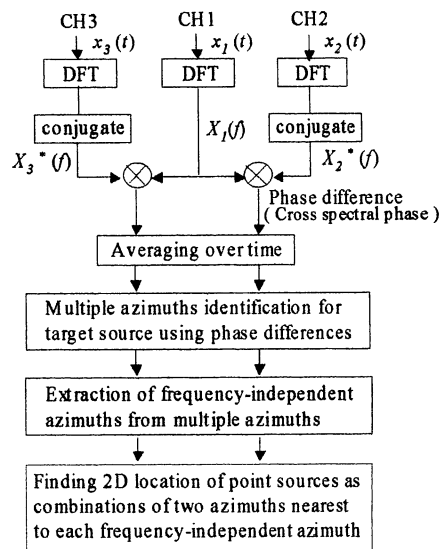


Fig.3 Algorithm on source localization

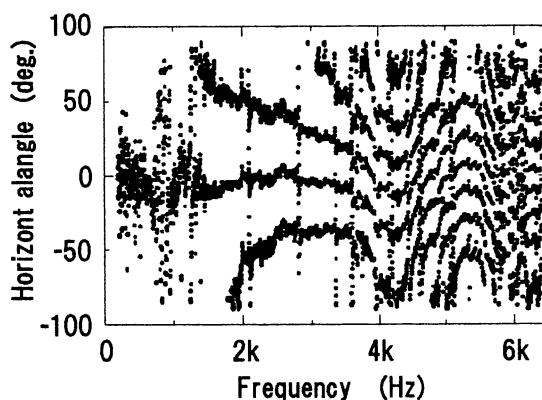
Fig.4 Multiple azimuths spectra identified
From ambiguous phase differences

Fig.4 に示す。位相差の多義性によって約 1.2kHz 以上の周波数で複数の方向に推定値の集まる様子が分かる。音源の方向は周波数とともに複雑に変化している。周波数軸に平行な方向に、これらの方向を積算した度数分布を Fig.5 に示す。度数分布は度数を積算する際の角度の幅に依存する。積算する角度の幅: 0.36~2.2 に対する、度数値の大きい方から 10 個までの方向を Fig.6 に示す。Fig.6 の分布について、積算する角度幅に対して求めた規格化度数分布を Fig.5 の音源方向の度数分布に反映させたものが Fig.7 である。つまり Fig.5 の分布から積算する角度の幅に依存しにくい音源方向のみを抽出している。閾値を 20 とすれば、閾値以上の値をとる水平方向の範囲はほぼ、 $-11.5^\circ \sim +0.6^\circ$ である。この範囲に

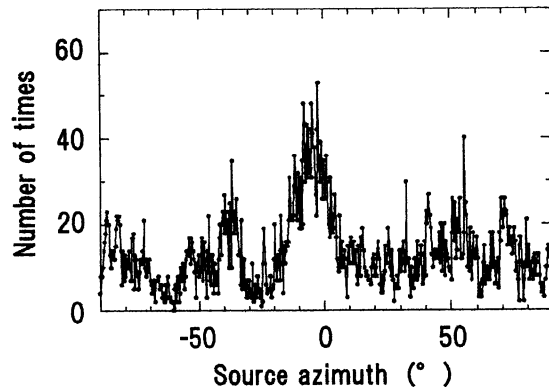


Fig.5 Number of times distribution on horizontal angle

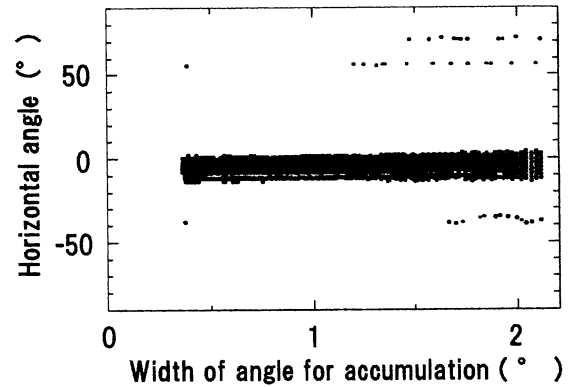


Fig.6 Top ten angles for various widths of accumulating angle

等価的な音源が分布する。水平方向にも同様の処理を行うと、度数が閾値 20 以上の値となる水平方向の範囲は $-2.0^{\circ} \sim +3.7^{\circ}$ 、度数値のピークは水平、垂直方向でそれぞれ -2.2° 、 -1.1° である。打撃音は方向 $[-2.2^{\circ}, -1.1^{\circ}]$ から到来するものとみなすと、実際の打撃の方向と 2° 以下の差となる。水平、垂直の各方向について推定された音源の方向の全ての組み合わせに相当する位置に点音源を配置した場合の分布を Fig.8 に示す。また求められた到来方向に最も近い水平、垂直両方向の組み合わせで表される点音源の分布を Fig.9 に示す。Fig.9 は Fig.8 の分布から仮想的点音源を除いたものである。点音源の色(赤～青)を音の周波数(0.2～6.4kHz)に対応させた。比較的低い周波数の点音源(赤色)は広く分布するが、高い周波数では打撃箇所周辺に集まる傾向がみられる。

4. おわりに

コンクリート壁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、位相差から周波数毎に点音源の方向を推定してそれらの 2 次元的な分布を求めた。その結果、(1)打撃時に、打撃位置を含むコンクリート表面から比較的広帯域の音が発生する、(2)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こと、などが明らかになった。

謝辞 本研究は文部省ハイテクリサーチ助成による研究の一環として行われた。

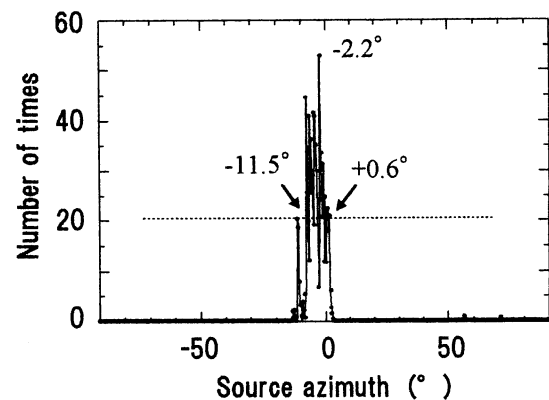


Fig.7 Modified number of times distribution on horizontal angles

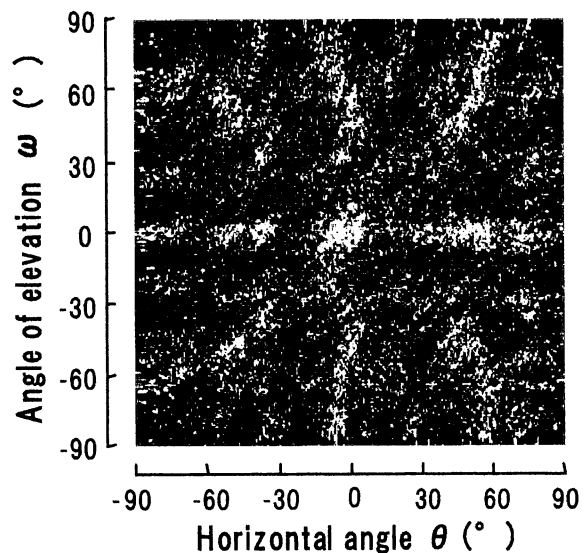


Fig.8 Acoustic source image for tapping sound on concrete wall (with false sources)

参考文献

- 1) R. Shimoyama and K. Yamazaki 「Acoustic source localization using phase difference spectrum images」 Acoust. Sci. & Tech., 24, 4 (2003) pp. 161-171
- 2) 霜山, 山崎「コンクリート壁における打撃音の発生箇所」第23回日本シミュレーション学会大会発表論文集, (2004.6), 7-5, pp. 245-248
- 3) 霜山, 山崎「多義性を有する位相差から推定された2次元音像-真の点音源の抽出法について」第3回FIT講演論文集, (2004.9), J-050, pp. 317-318

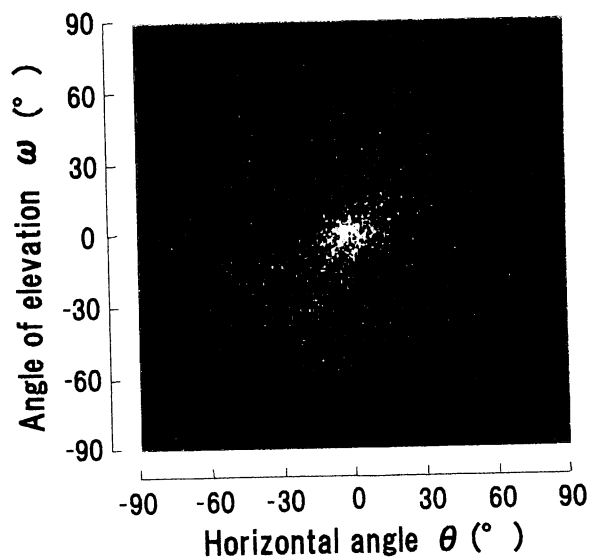


Fig.9 Acoustic source image for tapping sound on the concrete wall (without false sources)