

超音波を用いたトンネル変位計測技術開発に関する基礎実験（その1）

大成建設株式会社 技術センター 正会員 ○鈴木 雅浩, 谷 卓也, 上原 弓弦
株式会社日放電子 アドバンステクニカルスタジオ 溝口 芳文, 菅野 敏彦

1. はじめに

山岳トンネル工事における坑内変位の計測業務は、施工管理にとって重要かつ主要な計測であるものの、多大な労力を要する作業である。従来、この変位計測は、トータルステーションで複数のターゲットを順次視準することで実施されている。この計測業務を省力化するため、超音波を活用することで簡易に計測できるトンネル変位計測システムの開発に着手した。この技術開発は、計測担当者の作業時間の半減が期待できるものである。

現在、この計測システムを実現するための基礎実験を行っているが、本論文では開発概要と計測原理、採用する原理による計測方法の適用性確認のために実施した室内実験の結果について、考察とともに述べる。

2. 開発概要

開発の目標とする計測対象は、トンネル断面に複数個取り付けられたターゲット間の相対距離（内空変位量）とし、目標精度を1 mmとした。ターゲットを超音波送信機とし、複数のマイクから構成される受信機で受信することでターゲットの位置（相対座標値）を特定する。この方法によれば受信装置を小型軽量化できる他、任意の位置で受信装置の傾斜にも左右されないため据付作業が簡単かつ早くなるメリットがある。また、ターゲットから順次発信される超音波を受信するだけであるので、測定時間の短縮も期待される。

3. 計測原理

受信装置は複数のマイクから構成されるマイクアレイで、図-2の $P_1 \sim P_N$ のように各マイクに相対座標値を付与しておく。同期合わせの t_d を使用せず、超音波の到達時間 $t_1 \sim t_N$ を測定し、GPS測位計算と同様の手法でターゲット P_0 の座標を算出する。

4. 基礎実験

基礎実験では、距離測定装置開発の第一段階として、開発実現性を評価するために可聴域音波を発する装置を製作し、室内実験により位置推定処理の検証を行った。可聴域音波を使用した理由は、基礎実験段階においては、機器入手の容易さや装置の構成を簡易にすることを優先したためである。

4.1 実験方法

先ず音速は気温、湿度の影響を受けるため、これを予め測定しておき、音速の補正を計測の都度行った。図-3のフローに沿い、設定した閾値を超えた最初のピークを検出して位置推定処理を行った。実験で用いた各パラメータを表-1に示す。位置推定はマイクアレイを固定し、図-4に示す位置にスピーカの配置を変えて1個所当たり3回行った。

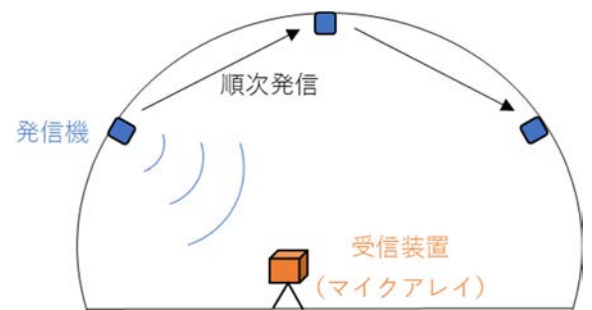


図1 超音波を用いたトンネル計測イメージ

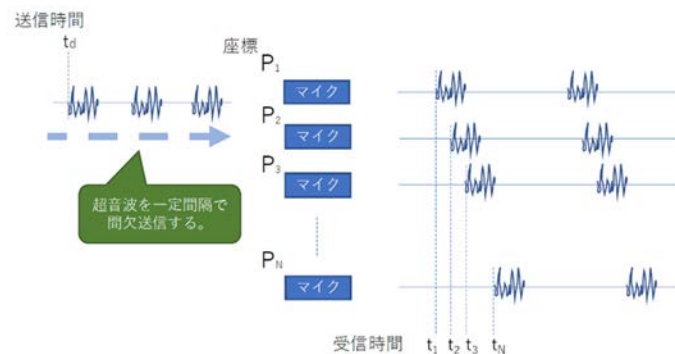


図2 位置推定処理のパラメータ

キーワード 山岳トンネル, 超音波, 変位計測

連絡先 〒264-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7221

表 1 実験パラメータ

パラメータ	値
信号種別	正弦波
周波数	5 KHz
サンプリングレート	40 MSPS
ADレンジ	9 bit 前後
マイクアレイサイズ	75 cm

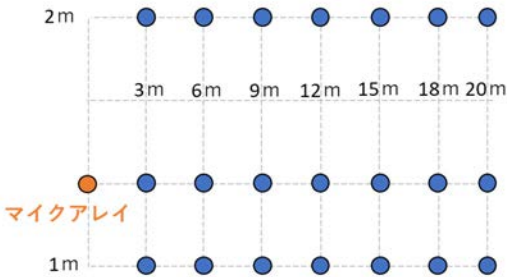


図 4 スピーカー配置

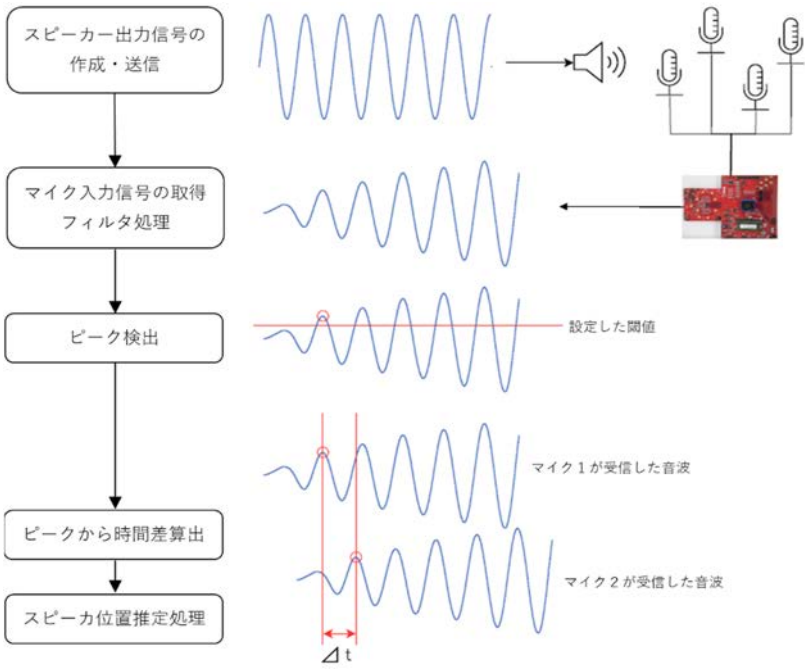


図 3 解析フロー図

4.2 実験結果と考察

理論値と位置推定処理結果を表-2 に示す．この結果よりマイクアレイとスピーカ間の距離が大きくなるほど位置推定誤差が大きくなり，トンネル変位計測システムに適用できるような精度を得ることが難しくなることが分かった．

誤差のひとつの理由として，位置推定処理の前段階であるマイク間の時間差取得の段階で計測値に誤差が発生することが分かった．この誤差は信号のピーク検出の際に量子化の影響を受け，図-5 のようにピークで同じ値のサンプルが連続し，時間差取得にばらつきが生じていることが理由と考えられる．

また，位置推定処理はマイクに付与された座標値を用いるため，各マイク相互の距離が小さいことが位置推定誤差の大きな要因となることも分かった．計算上マイク位置が 1 mm ずれると音速では 2.94 μ s 程度の時間到達誤差が発生するため，マイクに与える座標値の正確さも重要となることが明らかになった．

5. まとめ

今回の簡易な実験環境や装置の条件下で実際に音波測定を行い，位置推定アルゴリズムに影響する要因を把握することができた．時間差取得の際のピーク検出方法の改善，マイク間距離を大きくとる工夫，各マイク間のより正確な位置関係把握等，計測精度を向上させるための課題が明らかになった．今回取得した情報を基に，位置推定精度をより向上させるために必要な機器の仕様を数値シミュレーションによって求め，目標精度である 1mm を実現しようとする，機器の入手が困難または膨大なコストが生じる可能性があることも分かった．今後，誤差要因を排除もしくは極力小さくする工夫を行い，コストと精度のバランスがとれたトンネル変位計測システムの実現を目指す．

表 2 実験結果

スピーカ距離	位置誤差	※時間差誤差
3 m	0.1 m程度	±3 μ s
12 m	5 m程度	±5 μ s
20 m	10 m以上	±10 μ s

※マイク間時間差の理論値と測定値の差

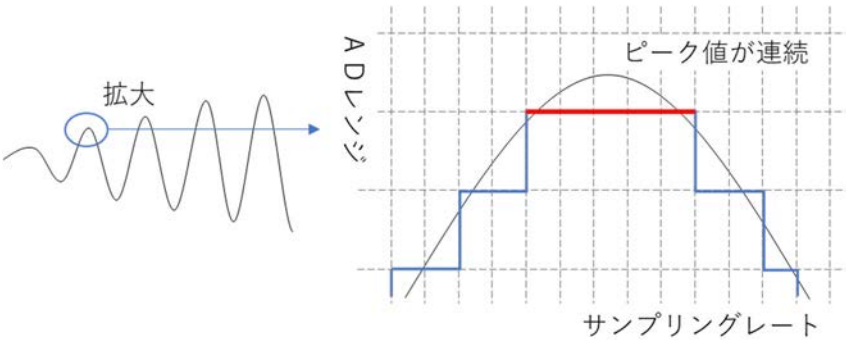


図 5 AD変換量子化の概念図