

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2）

大成建設株式会社 技術センター 正会員 ○谷 卓也 鈴木 雅浩 上岡 亮一
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の省力化を目的とし、超音波を活用した坑内変位の計測システムの開発に着手した。しかしながら、前報¹⁾の超音波のみを用いた方法では、一つのターゲットのスピーカから発信される超音波を複数のマイクで受信した際の時間差から距離を求めるため、目標とする精度1mmを達成するためにはハードウェアの大幅な機能向上とそれに伴うコスト増、ターゲットからの超音波を受信するマイクアレイを広範囲に配置にする必要がある等、開発後の普及展開に困難が伴う状況になることが明らかになった。そのため、超音波を用いた距離測定精度を高めるための新たな仕組みを導入した実験装置（図-1）を製作し、室内にて検証を行った。本報告書では、考案した距離測定における精度向上方法について述べるとともに、検証実験（図-2）の結果を報告する。

2. 距離計測の原理と装置

図-3 はマイクとスピーカ間の距離を計測する装置の構成図である。装置本体（図-3 右側）およびターゲット（図-3 左側）では、いずれも CPU が計測に関する制御を行う。2 点間の距離を求めるために、まずパルス発信によって赤外線を発光させ、ターゲットでは赤外線を受光したら超音波を発信する。ターゲットから発信された超音波を装置本体のマイクが受けると、整流検波回路・ピークホールド回路・信号検出回路を通じて超音波受信を検知し、カウンタ回路にてパルス発信と信号検出の時間差をカウントする仕組みになっている。なお、装置本体からの無線により、ターゲットに計測開始を事前に知らせ受光の準備を行うことで、複数個のターゲ

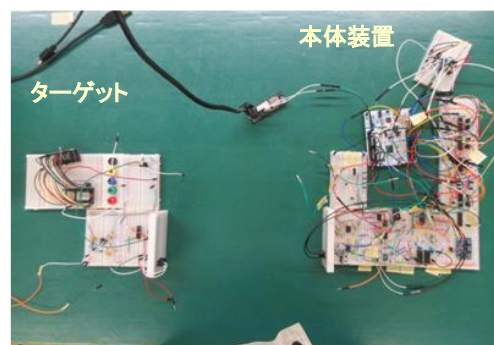


図-1 実験用の距離測定装置



図-2 検証実験の状況

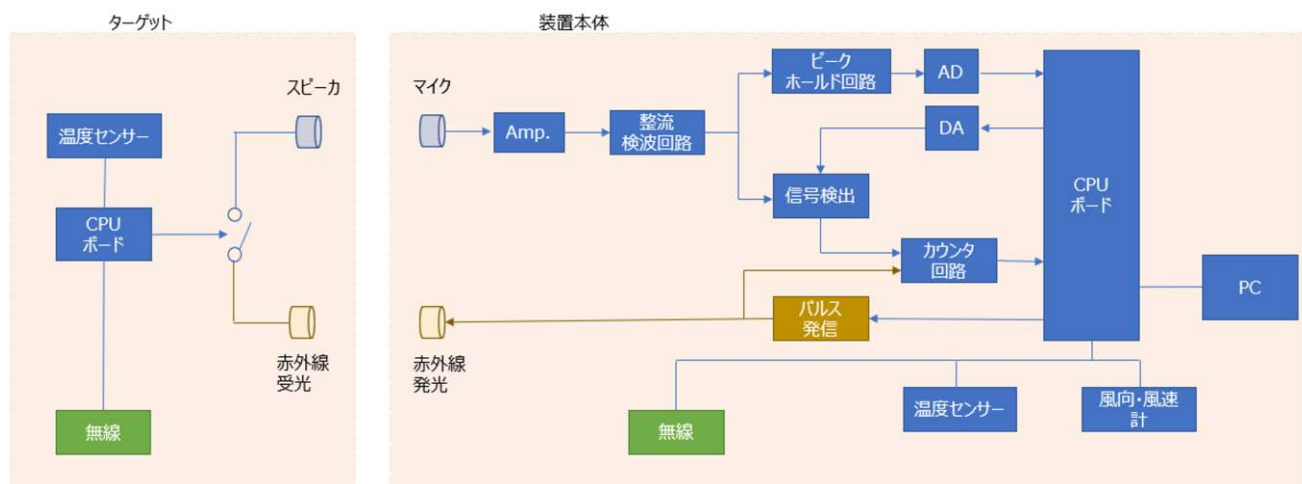


図 3 距離計測機器の構成図

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

ットの測定にも対応できる．この装置本体やターゲット内での信号処理に伴う遅延時間も含めた測定時間について、図-4 にまとめる．

距離計測の精度に影響を与える超音波の伝達時間を除いた回路の遅延時間を、既知の距離におけるキャリブレーション計測を行うことで算定し、これを図-4 に示した本体装置でのパルス発信から信号検出までの時間から差し引くことで、超音波の伝達時間のみを得る．なお、温度センサーと風向・風速計の計測結果と連動させて超音波の速度補正も行う．実験段階では、計測距離や超音波波形といった計測結果はPCの画面上に表示する．なお、赤外線の発光と受光に要する時間は目標精度に対し無視できるほど小さい遅延時間である．マイクで受信した超音波は、整流検波され一定のレベル（ピーク値からの割合で設定）を超えた時点で信号検出のタイミングとするようになっている．

4. 実験結果

現状の実験機器の性能上、安定して距離計測が行える5～7mのマイクとスピーカ間距離範囲内で3つ異なる距離（凡そ、5m、6m、7m）で実験を行った．それぞれ20回、約4秒の計測を行い、平均値から乖離が大きい8回を取り除いた12回分の平均値を算出する方法で評価した．実験結果を表-1 に示す．

表-1 中の評価距離はレーザー変位計による計測結果を参考として示したものである．表中の「時間」は、回路遅延を取り除く前の図-4 に示した時間差である．ここでは音速が340m/sと仮定して時間差から距離を計算すると、実験ケース①～③について、時間差の平均値から距離を求めると、それぞれ5,247mm、6,060mm、7,017mmとなり、凡そ参考となる距離に近い値かつ遅延時間を含んでいるため大きめの値を得ている．距離精度については、この時間の最大値と最小値の差を小さくすれば、種々の補正により正確な距離の評価につながれると考えている．現状、最大と最小の時間差に音速を乗じると4～10mmの間の値（≒精度）となる．

5. まとめと展望

超音波を使った5～7m範囲での検証実験においては、1mm精度での距離計測の可能性を見いだすことができたと考えている．トンネル坑内での計測を考えた場合、少なくとも20m以上の距離を測定したいため、超音波の出力のアップや、マイクで受けた信号増幅時のゲイン調整も必要となる．また、詳述はしなかったが、データ処理等における回路遅延時間にばらつきがあることも分かったため、ばらつきの傾向や原因を十分精査して回路内のノイズ低減等対応していきたい．今後、現場で距離計測を行うと、さらに別の課題が見つかる可能性もある．これらの課題を地道に解決し、低コストで精度の高いターゲットの位置を評定できるシステムに進化させていきたい．

参考文献

1) 鈴木 雅浩ら：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）、第78回土木学会年次学術講演会（投稿中）

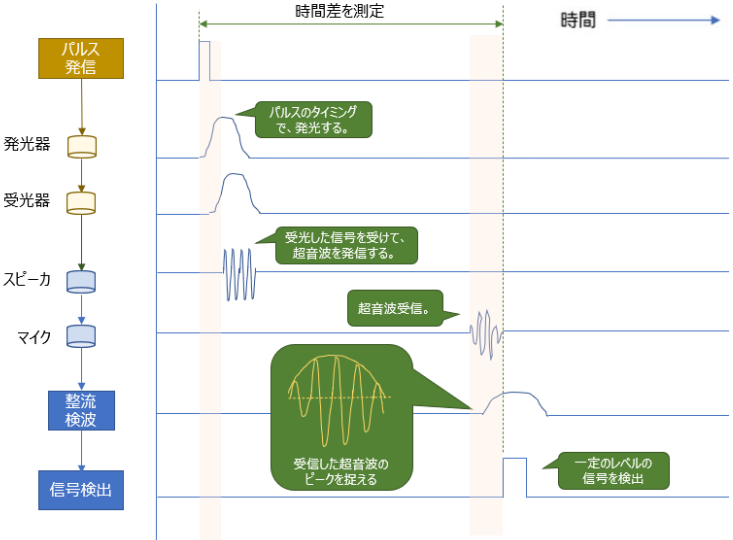


図 4 マイクとスピーカ間距離の算定方法

表-1 実験結果

実験ケース	①	②	③
参考距離 [mm]	5, 191	6, 009	6, 975
時間・平均 [ms]	15. 4333	17. 8263	20. 6378
時間・最大 [ms]	15. 4464	17. 8308	20. 6546
時間・最小 [ms]	15. 4280	17. 8168	20. 6262
時間・標準偏差 σ [ms]	0. 003089	0. 005159	0. 005504
最大・最小の時間差に音速を乗じた値 [mm]	6. 256	4. 760	9. 656