

土中音波による位置探査システムの開発

大成建設株式会社 正会員 ○宮崎 裕道
 大成建設株式会社 非会員 近藤 高弘
 東京工業大学 非会員 蜂屋 弘之

1. 開発の背景

近年、都市土木において地下有効利用の一環として、トンネルなど地中構築物の大深度化や長距離化が多く見られるようになってきた。従来は、測量器を用いてトンネル切羽などの位置を計測するが、坑口からの距離が長く（数km）なると誤差が累積するため、トンネル直上からチェックボーリングを行って位置を確認している。しかし、地上部に道路・構造物がある場合や海底トンネルなどではこの方法は使えないため、他の手段による位置確認方法が求められていた。そこで、土中でも伝播可能と思われる低周波音波に着目し、土中音波送受信装置および位置解析方法の開発をおこなった。

2. 計測原理

本システムでは、発振器の位置を未知数とし、座標が分っている複数の受信器での音波到達時間から発振器位置を解析するものである。しかし、事前調査が出来ない場所では土中音速も未知数となるため、発振器の位置（X,Y,Z）と土中音速 V の4つを求める必要がある。そのためには、座標既知の受信点が最低4箇所以上必要となる。また、この場合の音速は平均音速として解くことになるため、地質分布によっては収束がうまくいかないデータ（音波到達時間）が混在する可能性がある。そこで、実際には受信点を6～8箇所以上設置し、収束の良いデータを選択して収束解を求める方法をとった。

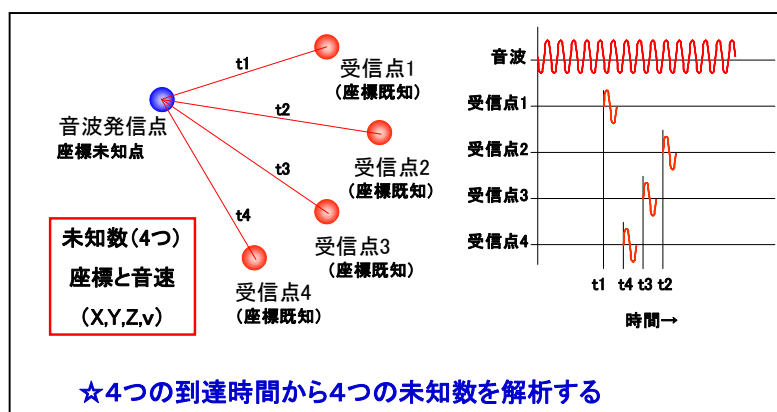


図-1 計測原理

3. システム構成

図-2 にシステムブロック図を示す。発振側パソコンで波形データを作成、DA変換器より出力された波形は発振アンプで増幅し、発振器より音波出力する。受信側では受信器で音波を受信し、プリアンプ・マルチアンプ等を通過後、AD変換器にて受信側パソコンに取り込まれる。受信した波形データはフィルター処理、相関計算、位置解析等の手順で処理される。また、発振側と受信側が離れていても正確に同期がとれる様に、専用同期装置を付加しており、ネットワークは情報交換のために使用している。

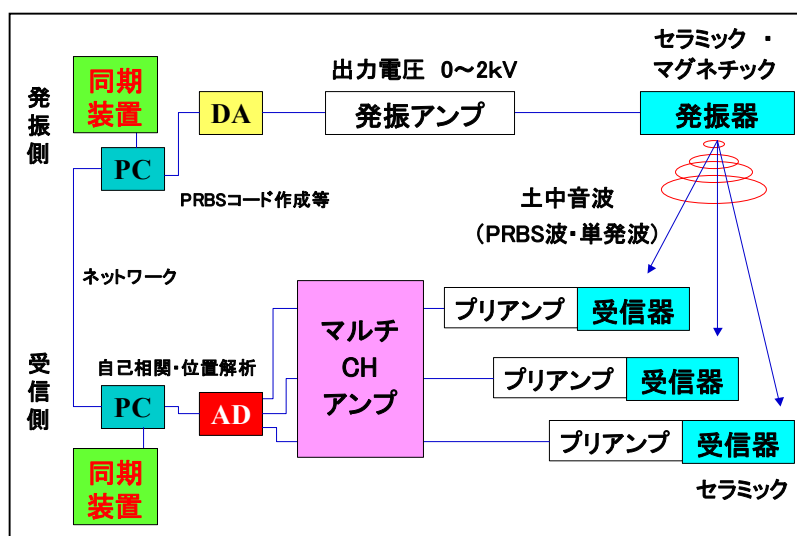


図-2 システムブロック図

キーワード 位置計測，音波送受信，セラミック素子，水中スピーカー，最小二乗法

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター土木技術開発部 TEL045-814-7219

4. 機器装置

土中では周波数が高いほど減衰も大きくなるため、低周波で使用できる発振器が必要とされる。通常、海中工事などで使用される音波の送受信機はセラミック型のものが多いが適用周波数は超音波領域となる。また、低周波の発振器としては水中スピーカーと呼ばれるマグネチック型があるが使用深度は数m程度である。そこで、大深度への適用を想定し使用深度を地下 50m以上と設定して開発に着手した。写真-1 に完成した発振器の外観を示す。振動板に塩化ビニール（厚さ 2mm）を使用し、マグネチック型のコイルと磁石を内蔵させて全体を密閉し、深度 50m の水圧に耐えられる構造とした。また、写真-2 に発信アンプ、受信器、受信アンプを示す。受信器にはセラミック型を使用。耐ノイズ性を高めるため、受信器内部にプリアンプを内蔵した。

この他、発信側と受信側の時刻を正確に同期させるために、24 時間で誤差が 1μ 秒以下の高精度同期装置を開発した。



写真-1 発信器

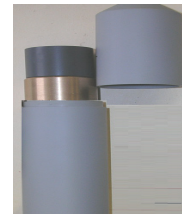


写真-2 発信アンプ・受信器・受信アンプ

5. 性能検証実験

本システムの性能を検証するため、気中実験・海中実験・土中実験（写真-3）をおこなった。気中実験では通常のスピーカーとマイクを使用し、音波到達時間×音速（1 気圧： $331.5 + 0.61t$ m/s）と実距離との比較およびシステムの基本的な動作を確認した。また、海中実験では開発した発振器・受信器の海水中での性能（耐水性、水圧に対する駆動力）を確認した。さらに土中実験では砂層・砂礫層地盤に深度 15m と 30m のボーリング（孔曲がり計測を実施）をおこない、土中（地下水位以下）での発振器・受信器の性能（耐圧性、土中での駆動力、土中での減衰）を確認した。



写真-3 性能検証実験

上記実験の結果、土中では 6kHz 以上では減衰が大きいため、6kHz 以下の低周波が適している事、また今回開発したシステムならば50m以上の距離でも音波到達時間が解析可能＝位置解析可能な事が検証された。図-3 に受信波形と相関値の例を示す。

6. まとめ

本開発により、土中で 50m以上の距離でも音波の送受が可能なる事、および音波到達時間から目的物（発振器）

の位置が解析可能な事が示された。今後は、色々な土質を対象に実験を重ねていくとともに、シールドマシンへの設置方法など現場での実利用を目指して開発をおこなう予定である。

参考文献

- ・ 蜂屋弘之, 山口匡, 「音波を用いた広域海洋計測」 Journal of Signal Processing, Vol.10, No.2, pp. 75-82, March2006
- ・ 蜂屋弘之, 大槻茂雄, 奥島基良, 「中浅海域音波伝搬観測のためのM系列変調法」 第3回デジタル信号処理シンポジウム, B-5-4, pp. 321-326, 1987.12

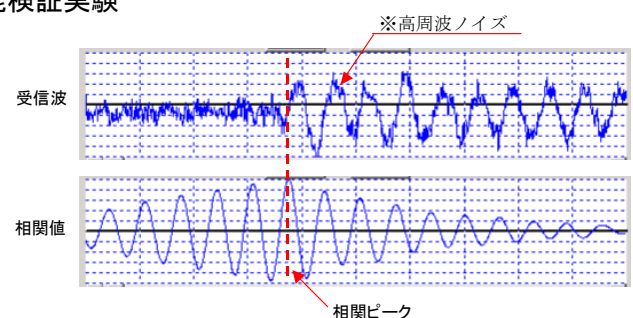


図-3 受信波と相関値