

## はじめに

地中に埋設されたガス管、上下水道管やケーブル等の位置を正確に求めるることは、地中埋設物を維持管理する事業者にとって重要な課題である。また、管路以外にも舗装厚の変化や舗装下の空洞の位置等が地中の情報として事前に得られれば、施工時の経済的な効果や保安上の効果に大変に大きなものが期待できる。これら、土中の情報を得る方法の一つとして埋設管探査用地中レーダーを開発したので報告する。

## 1. 埋設管探査装置の概要

今回開発した埋設管探査装置は、パルス状の電波を地

地中レーダーの  
開 発

岡田真澄・道口由博・  
大高敏秀

資料

中に向けて放射し、埋設物標からの反射波を処理し物標を映像化する装置である。

探査装置の構成を図-1に、外観を写真-1に示す。本装置は電波を送受信する移動台車部とデータ処理用コンピューター部とに分かれ、両装置は光ファイバーケーブルを介してデータの送受を行う。電源部を含めた装置全体はライトバン程度の車に搭載し探査現場に移動可能である。装置の特徴は

- (a) 発振パルス電圧、受信アンプの増幅度、受信信号の平均化回数の制御による検出感度の向上。

(b) 波形採取用サンプラーの高速化による、反射波形採取時のアンテナ移動速度の向上。

(c) データ処理速度の大幅な向上。

(d) 前処理、開口合成処理による探査対象の容易な識別、等が挙げられる。

以下、装置の詳細について述べる。

## 2. 移動台車部

移動台車部の主な仕様を表-1に示す。この中に搭載される機器は、パルス発生器、送受信アンテナ、増幅器、サンプラー、平均化回路および制御装置である。パルス発生器は 100 MHz の正弦波の 1 波長分であるモノサイクルパルスを出力し、パルスの繰り返しは 10<sup>6</sup> 回/秒である。送受信用アンテナには、広帯域性を確保するために抵抗を装荷した、長さ約 1 m のアンテナを用いている。サンプラーのサンプリングレートは 10<sup>6</sup> 回/秒と従来の 10~20 倍の高速化を達成し、周波数特性も 600 MHz を越える性能を有している。

サンプラーの出力は A/D 変換後、波形の平均化処理によってランダムノイズ低減させる。この後光ファイバーを介してコンピューター側へ波形を伝送する。移動台車には、移動距離の検出器も設置されており距離データもコンピューターへ転送される。

次に本装置の特徴の一つである各種の制御について述べる。地中からの高周波信号はサンプラーによってその振幅が受信される。サンプラーはパルス発生から設定された時間遅れた位置（深さ）の信号信幅値を検出するので、この設定時間が小さいときはパルス電波の放射から検出点までの時間が短く、地中の浅い部分が観測対象と

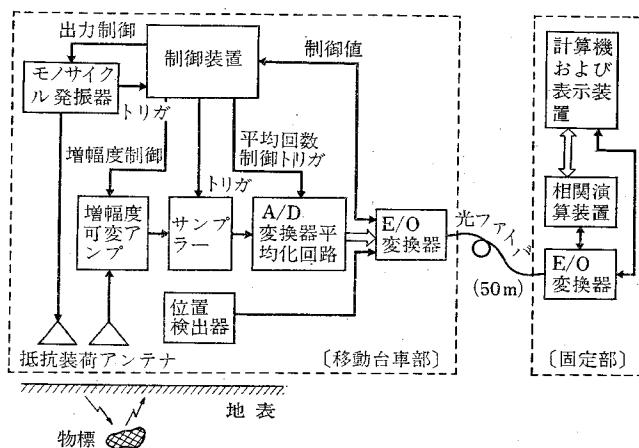


図-1 埋設管探査装置の構成

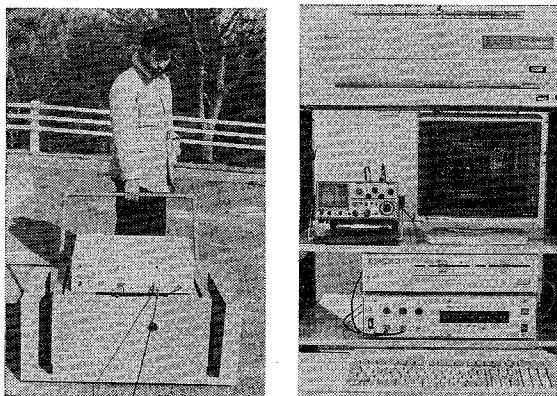


写真-1 埋設管探査装置の外観

なる。設定時間を順次増やしていくと、地中の深さ方向に向かって、反射波形の観測位置をずらしていく操作となる。開発した探査装置では、設定時間、つまり観測深さの移動に伴ってパルス発生器の出力電圧、受信アンプの増幅度、平均化回数を制御する。観測時間は、0~100, 150,  $200 \times 10^{-9}$  秒の切換が可能である。この観測時間を256分割した各点で反射信号の振幅を求め、各点の振幅を合成して、1つの波形とする。たとえば、設定時間の経過とともにパルス発生器の出力を増す場合を考えると、合成された1つの波形は、観測深さが増大するほど大きなパルスを発生させて反射信号を得たものとなる。このため、土中の電波減衰の影響を低減し、さらに最も強度の大きい地表反射の影響も低減できる。また同様に受信アンプの増幅度も深さに応じて変化させる(TVG Time Varying Gain)ことができ、深い部分の物標反射波の増大が可能となる。波形の平均化は、上記観測点を一定に保ちあらかじめ設定した回数平均化する。この演算は、DSP (Digital Signal Processor) を用いてリアルタイム処理をしている。

観測深さに応じたパルス出力、増幅度、平均化回数の制御パターンは、あらかじめおののおの32パターンをPROM (Programmable Read Only Memory) に格納しており、選択スイッチで選ぶことができる。

以上に述べた制御により、土質の変化によって電波の減衰率が異なるようなケースでもその影響を軽減し、さらにノイズを低下させる最適なパターンでの探査が可能となる。このため、地中埋設物の検出感度の向上が図れる。

### 3. コンピューター部

表-2はコンピューター部の主な仕様である。装置は汎用の16ビットパソコンコンピューターおよび、相関演算用ハードウェアと入出力インターフェースを内蔵したスイッチ部から構成されている。

相関演算装置は、採取波形と送信パルスとの相互作用をDSPを用いてリアルタイムで計算する。これは、S/N比の向上が期待できるマッチドフィルターの演算に対応する。設定スイッチは、前述した制御パターンの番号、増幅度、相関演算の有無、波形採取時のアンテナ移動距離等の選択に用いる。

次に、パソコンコンピューターの処理内容を述べる。処理内容はデータの採取やディスクとメモリー間のデータ転送等のデータ操作、信号処理、および画像表示の3モードに大別できる。信号処理は物標反射波のS/N比を改良する前処理と、アンテナを移動して得た反射情報から埋設物標を再合成する開口合成処理に分か

れ、両処理は併用される。画像表示ではアンテナ走査線に沿った地中断面像(1,3画面)、反射波形のほか反射波形の周波数特性をカラー表示できる。また、プリンターに出力可能である。

処理時間は、信号処理の前処理・開口合成処理が約20秒、画像表示が5秒以内と高速である。キーボードからの解析パラメータ入力時間も含めても1分程度で探査画像を得ることができ、実用上の問題はないと考えている。

表-1 移動台車部の仕様

項目	内 容
発振器	波形: 10 ns のモノサイクル 繰り返し周波数: 最大 $10^6$ 回/秒 出力: $10 \sim 100 \text{ V}_{pp}$ (各サンプル点ごと可変)
アンテナ	型式: 抵抗装荷ダイポール リターンロス: -22 dB (最小値)
増幅器	固定部ゲイン: 30 dB TVG: 40 dB (各サンプル点ごと可変)
平均化回路	平均回数: 1~256 (各サンプル点ごと可変)
サンプラー	帯域: DC~620 MHz サンプリングレート: 最大 $10^6$ 回/秒 観測時間幅: 100, 150, 200 ns
波形採取	台車速度: 最大 3.9 m/秒 (1波形/1 cm, 平均回数10) 1波形当たりのアンテナ移動距離: 0.1~25.6 cm

表-2 固定側装置の仕様

項目	内 容
計算機	型式: B 16-EX-II メモリー: 1.5 メガバイト
相関演算器	演算速度: 1.8~3.1 $\mu\text{s}$ /点
処理	データ操作: ディスクへの入出力、波形採取 信号処理: 前処理 (反射情報の抽出) 開口合成 画像表示: 断面像 〔カラー〕反射波形 周波数分析結果

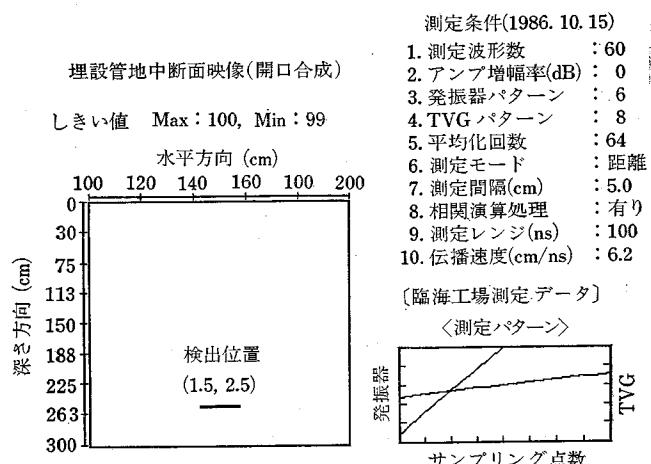


図-2 探査結果の一例

#### 4. 埋設管の探査例

テストフィールドで埋設管の探査実験を行い、装置の性能を確認した。あらかじめ、大口径の鋼管からの反射強度を求め、土の電波減衰率を算出した結果、1m の深さで 9.1 dB/m、2m の深さで 16.1 dB/m の減衰率であった。

図-2 は、深さ 2.5 m に埋設された 2B 鋼管の探査結果である。図の左側に、アンテナの走査線に沿った地中断面像を表示してある。3m の走査幅のうち中央 1m 部分を拡大表示し、検出位置と深さの数値も表示してある。図-2 の右側には、波形の採取、処理時の測定条件が表示される。また、発振器出力、増幅度 (TVG) の制御パターンや波形採取時に操作者が入力したコメントなども表示される。

この図からわかるように、2.5 m 深さに埋設された 2

B 鋼管を明確に識別できる。同じフィールドで 2B のプラスチック管は、深さ 1m まで映像化可能であった。

#### おわりに

埋設管探査用レーダーはコンピューターによる送受信系の各種制御とデータ処理によってその性能が向上することが確認できた。さらにパーソナルコンピューターによるデータ処理の時間も実用上問題のない程度まで短縮され、装置の実用化の見通しが得られた。

今後のフィールドテストではさまざまな土質に対する適用性や操作性を検討する予定である。

（筆者：Masumi OKADA, 東京ガス（株）導管技術センター  
 （〒230 横浜市鶴見区末広町 1-7-7）  
 Yoshihiro MICHIGUCHI, (株) 日立製作所エネルギ  
 一研究所  
 Toshihide OHTAKA, (株) 日立製作所日立工場）

#### ●図一書一案一内●

#### トンネルライブラリー 第3号

### ト ネ ル 用 語 辞 典

近年、世界におけるトンネル需要の増大は、鉄道・道路などの交通用トンネルにとどまらず、上下水道・水力発電・農業用水用のほか、燃料の地下備蓄や、核廃棄物処理にまで及び、地下の利用範囲の広がりはトンネル技術に依存することが多い。わが国のトンネル技術は、世界でも高く評価されており、今後世界各国とのトンネル技術交流、情報交換はじめ、トンネル建設技術による海外技術協力はますます増えるものと考え、土木学会トンネル工学委員会では、多くの技術者の便益を考え、トンネルの研究開発、情報交換、教育などにおいて最低必要と思われる専門用語 1500 有余を取り上げ、これを 16 のカテゴリーに分類のうえ、トンネル用語辞典として刊行致しましたので広くご利用下さい。

内 容：1. 一般／2. 調査／3. 計画・設計／4. 堀削／5. 機械設備／6. ずり処理／7. 支保工／8. 覆工／9. 地山安定処理／10. 土留め路面覆工／11. 測量・計測／12. 設備・維持管理／13. 安全衛生／14. 環境保全／15. 沈埋トンネル／16. 契約の 16 のカテゴリーを日・英・独・仏で明記し、解説を加え、付録に I. 日・中語対訳、II. 付図・付表、最後に索引 I (日本語)、索引 II (英・独・仏語) を付してある。

体 裁：B5 判 208 ページ

定 価：5200 円 会員特価：4500 円 送料：350 円