

62. 地中探査車の開発

建設省近畿技術事務所：八尾 正勝・*広瀬 健治

1. はじめに

道路の陥没や不等沈下の原因となっている路面下(地中部)の空洞は予期せずして都市部において発生しその対策に苦慮しているのが現状である。

最近の自動車交通量のもとで一般交通の支障とならず調査することは困難で大きな問題とされていた。そこで近畿技術事務所では、このような問題に対処するために地中探査車の開発に取組みこの度完成し現地適応性試験を行ったのでここに紹介する。

2. 開発のための予備調査

2-1 既存技術調査

現在、非破壊による道路路面下の「空洞」や「異状箇所」検出に対応する探査法として

- ① 電磁波を用いる方法(地中レーダ)
- ② 赤外線温度計測による方法
- ③ 弾性表面波を用いる方法

がある。それぞれの探査法について詳細に検討した結果、表-1に示すとおり「電磁波探査法」が高速・高精度で探査できる機能を有していることが判明した。

2-2 電磁波レーダ探査法の原理

電磁波レーダの原理は、目的までの距離を時間で計測する点では航空レーダと同じであるが地表表面付近から数メートルの深さまでの目標を探知するために通常、周波数帯域が10~1000MHzの電磁波を使用している。送信アンテナから地中に誘電率の異なる媒質(空洞・盛土層の緩み)などがあると地中に透過した電磁波はその表面で一部が反射され地表の受信アンテナで探知される。この時の送信から受信までの時間を測定して空洞などの深さを知るものである。

図-1に電磁波レーダ(地中レーダ)の原理図を示す。

3. 開発目標の設定

構内予備試験結果及び道路管理者等の意見を総合し開発目標を次のとおり設定することにした。

- ①探査速度30km/Hにおいて道路路面下2.5m以内でφ50cm以上の空洞及び地層の乱れなど異状が判別でき

表-1 望まれる条件の満足度

	路上での空洞探査に望まれる条件	電磁波探査法	赤外線探査法	表面波探査法
①	線及び面的な探査が可能	○	○	×
②	施工制に優れ迅速な探査が可能	○	○	×
③	探査時間の制約を受けない	○	×	△
④	騒音、振動の影響を受けない	○	○	×
⑤	気象に関する制約を受けない	△	×	△
⑥	探査深度1m以上	○	×	○

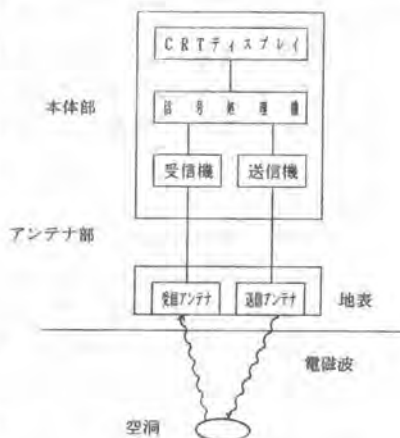


図-1 地中探査レーダの原理図

るハード及びソフトシステムの開発

- ②一走行による探査幅が2 m以上が可能な機構の設計
- ③探査当日の探査状況が記憶でき再生と保存が可能である機構の設計
- ④探査状況と探査位置が照合できる機構の設計
- ⑤異状箇所部のみ抽出できる機能の設計
- ⑥内部記憶データのCRT画像表示及び画像コピー機構の設計

4. 高速レーダシステムの設計

4-1 アンテナ

地中探査用アンテナは各種のアンテナが使用されているが大半の機器には放射できる電磁波の周波数帯域が広く効率の良い「ダイポールアンテナ」が多く使用されている。

本システムにおいても広帯域でかつ路面からのギャップを最小にできるダイポールアンテナを採用した。アンテナからの電磁波はその指向性から中心下のエネルギーが最も高く通常 45° 以内が有効範囲と考えられる。ダイポールアンテナの指向性を図-2に示す。

また、本システムは車両搭載の探査システムであり車両幅全域が探査できるアンテナの設計を実施する。周波数帯域については、地中での電磁波減衰特性をふまえ探査深度と分解能という相反する要求を現実的に満足させるために周波数帯域は10-575MHzを採用する。

4-3 電磁波画像

地中探査（空洞、埋設物その他異状箇所）の電磁波は地中を伝播していくとき各層、即ちアスファルト、土砂、埋設管等の誘電率(ϵ_r)により一部は反射し残りは透過、伝播する。

代表的な媒質の比誘電率(ϵ_r)を表-2に示す。また、本システムは誘電率の大きい媒質から誘電率の小さい媒質へ電磁波が伝播する時、暖色に、誘電率の小さい媒質から誘電率の大きい媒質に電磁波が伝播する時、寒色に、カラー表示することにより地中情報判断を容易にすることとした。

4-4 探査位置情報システム

地中探査車走行により、検査収集された情報から空洞や異状箇所が発見された場合、その場所がどこであるか特定する必要がある。本システムではロータリエンコーダ信号を走行距離(M)に変換すると共に探査車の左右の後面に撮影カメラを装備し路肩情報を収集する。

また、探査員による音声情報を収録するため助手席と探査機器操作卓の2箇所にマイク設備を設けることにした。これらの情報はモニターTVに表示されると共にVHSビデオテープに収録される等探査位置の再現を容易にする機構設計を実施する。

4-5 異状箇所表示機能

本システムでは、探査走行と同時に受信する反射波信号をアナログ化し、レコーダに波形表示し疑いのある箇所の概況を探査員にリアルタイムに提供するものである。

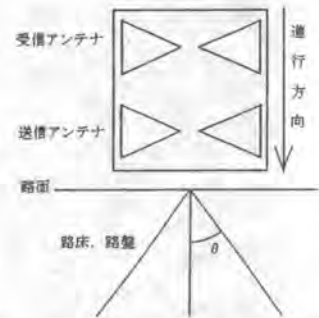


図-2 ダイポールアンテナの指向特性

表-2 代表的な媒質の比誘電率 (ϵ_r)

土	乾土	2.5-4
	湿土	14-30
乾いたコンクリート		4-12
水		81
導体		∞
空気		1

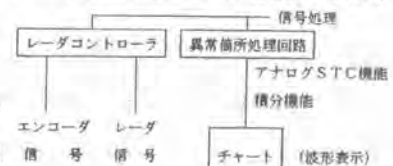


図-3 リアルタイム異常箇所表示システム

図-3にリアルタイム異状箇所表示システムを示す。

4-6 機器構成

地中探査に必要なレーダのハードシステム及びソフトシステムを種々検討の結果レーダシステム構成(図-4)及び機能の概要(表-3)探査車の主要諸元(表-4)を下記のとおり決定した。

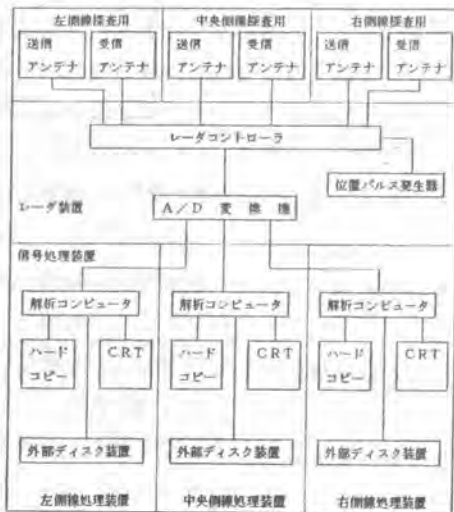


図-4 道路探査レーダシステム構成図

表-3 探査機能の概要

項目	機能概要
連続探査速度	探査ピッチ 3cmで15km/h 探査ピッチ 6cmで30km/h
探査幅	約2m
探査速度	0~2.5m ただし、地中の状態により異なる
探査有効空洞寸法	φ50cm以上
連続探査距離	探査ピッチ 3cmで15km 探査ピッチ 6cmで30km (バックアップの装置の利用で延長可能)
探査データの保存	光磁気ディスクに記録のうえ保存する
信号解析処理・出力	探査車内にて解析処理・記録・出力可能
表示モード	Bモード(断面画像)・1側線
探査位置情報記録	ビデオ画像・距離録画方式
探査電源	発電機と無停電電源装置方式

表-4 探査車の主要諸元

項目	主要諸元
車	全長: 8,010mm 全幅: 2,295mm 全高: 3,050mm 乗車定員: 4名 機関: 水冷、5気筒ディーゼル機関 走行速度: 60km/h以上
レーダ装置部	メインレーダコントローラ: 1台 レーダコントローラ: 1台 レーダ-送受信アンテナ: 3台 (測定帯域: 10MHz~575MHz) 出力: 0.01mw アンテナ路面高(探査時): 10cm 走行距離検出器: 1台
信号処理・解析	コンピュータ: 32ビット 3台 磁気ディスク: 320MB 3台 カラーディスプレイ: 14型 3台
出力部	光磁気ディスク: 600MB 3台 カラーハードコピー: A4 厚紙転写 3台
電源部	発電機: ガソリン空冷式 6kVA 1台 無停電電源: 2kVA 1台 無停電保持時間: 10分
探査位置情報記録装置	監視カメラ: 3台 カラービデオモニター: 3台 画面4分割ユニット: 1台 ビデオデッキ(VHS): 1台

5. 現地探査作業の立案

5-1 作業の構成

地中探査車による現地調査作業は、次の区分により構成される。



事前調査: 道路台帳より埋設物の位置、種類数量、大きさ、舗装構成、道路幅員など調査計画地域の現況を把握する。

現地調査: ①高速探査作業(高速概査)
探査ピッチ 6 cm、連続探査最高速度 30km/H、連続探査距離 30km
リアルタイム異状箇所検出記録
②低速探査作業(精査)
探査ピッチ 3 cm、探査速度 0~1.5 km/H、異状箇所を中心とした短距離探査

6. 高速レーダシステムによる探査結果

地中探査車による近畿技術事務所構内実験路での探査画像を図-4に示す。

探査画像は13色調に表示されプラスを暖色調、マイナスを寒色調で表現している。即ち路面下の空洞や誘電率の小さな媒質からの反射波はプラス信号と表現され判別が容易であることが確認できた。

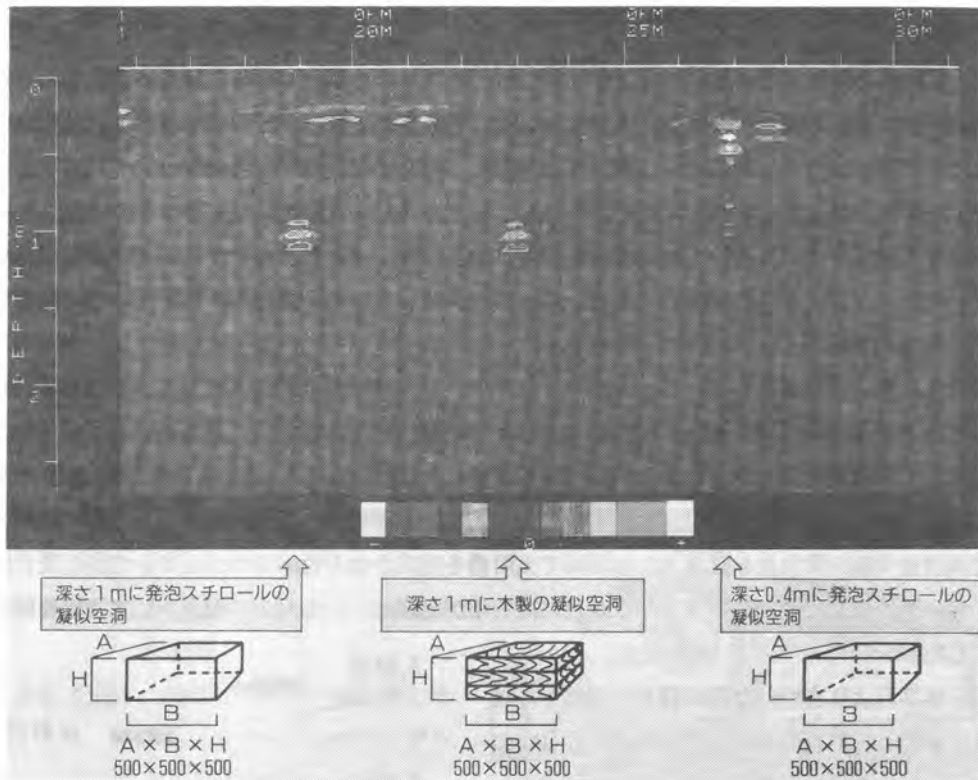


図-4 地中探査結果の画像

7. まとめ

近畿技術事務所では平成元年度から民間企業と共同でレーダを応用した「地中探査車」の開発に取り組んできましたが、現地適応性試験を都心部に於いて実施したところ道路の陥没や不等沈下につながる空洞はなかったものの舗装と路盤の層界にゆるみ（隙間）が発生していることが調査の結果確認することができた。

路面下の異状形態は多種多様で今後は現地適応性試験を継続しその実績をもとに数多くデータベース化することで自動制御システムの発展をめざそうと考えている。

土中部の異状診断は河川の堤防や護岸にも強いニーズがあり本機のシステムを利用して対応できる様になるとともに使い勝手のよい高精度システムに育てる様、鋭意検討を深めているところである。