

CMI 報告

埋設物探査システムの開発

榎園 正義

1. はじめに

大規模地震災害や自然災害等で道路法面等が土砂崩壊等により被災した場合の復旧に際しては、崩壊状況を始めとして、崩落土砂に巻き込まれた通行車両の有無を速やかに把握・判断し、緊急復旧計画を立案することが必要である。

既往の埋設物等の探査手法は、土砂災害等に求められる探査性能を十分に満たしていないのが実状であり、土砂崩壊現場の地表面等を考慮すると、無人化等のできるだけ人が直接歩き回らないで、安全で確実な情報収集や状況把握が可能なシステムの確立が求められている。

本開発では、災害復旧に有効な埋設車両の探査技術の確立に向け、探査技術評価および各種の性能確認実験等を行い、電磁波法による探査装置（以下、埋設物探査システムと呼ぶ）の有効性を確認したので、ここに報告するものである。なお、本システムの開発は、国土交通省中部技術事務所からの受託業務として実施したものである。

2. 埋設車両探査技術の調査

(1) 埋設車両探査技術開発の背景

過去に発生した土砂崩壊現場においては、人の接近が困難であったり、二次災害の危険がある被災現場では無人化による情報収集や状況把握が重要となる。

特に、災害発生後の初動調査として、土砂崩壊現場での埋設車両の有無確認を迅速に行い、復旧計画に反映させる“埋設車両の探査”が災害復旧調査に基づく

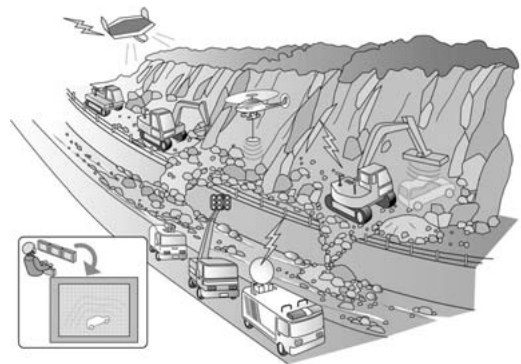
分析結果からも重要なテーマとして挙げられている。

(2) 開発のコンセプト

被災地において埋設車両を検出する場合、以下のシステム構成とし、その導入イメージを図—1に示す。

- ①埋設物調査システム；無人の重機等の先端に探査装置を取り付けて探査するシステム
- ②空中移動探査システム；自律航行型空中移動体に探査装置を取り付けて探査するシステム
- ③情報収集システム；二次災害の危険性のない場所で、探査装置からデータ収集、解析結果をリアルタイム表示するシステム

本開発では、上記①、②に開発装置を搭載して調査できる探査装置として検証・検討および技術仕様をまとめることとした。

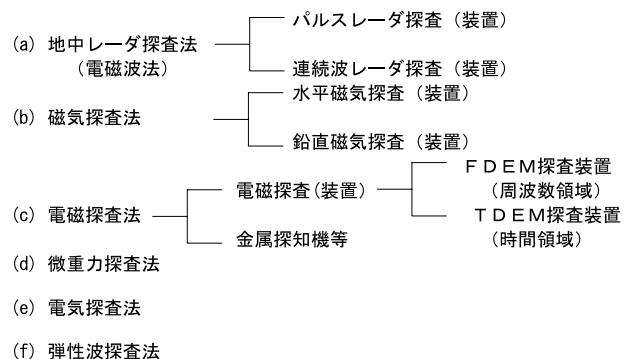


図—1 開発システムの導入イメージ

(3) 埋設物探査技術調査

地下探査技術の調査手法として、①地表面からの調査、②ボーリング孔を用いた調査、③空中からの調査、の3種類に区分される。

また、災害被災現場での埋設物（車両）を対象とした場合の探査技術としては、①の地表面からの調査方法が主体となる。さらに、地表面から数m程度の埋設物を対象とした場合には、図—2に示す探査技術



図—2 地表面からの埋設物探査技術の種類

の中から、

- ・ 地中レーダ探査法
- ・ 磁気探査法
- ・ 電磁探査法

等が有効な探査手法と考えられる。

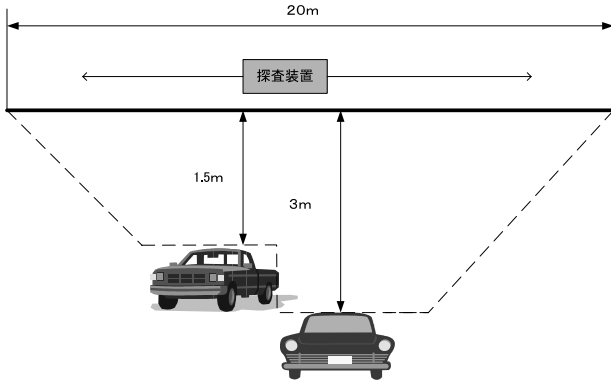
3. 探査技術評価実験

(1) 実験の概要

選定した3種類の探査技術の実用性能を把握することを目的とし、実験ヤード(約6m×20m範囲；**図—3**、**写真—1**参照)に実物の車両(軽自動車2台)を埋設して既往の探査装置の探査性能の比較確認実験を行った。

各社が保有する探査装置の種類、技術の独自性および評価実験の実施可能時期等を総合的に考慮して、全16社の中から5社を抽出し、合計18機種の探査装置を選定した。

- ① 地中レーダ探査法；5社6機種
- ② 磁気探査法；4社6機種
- ③ 電磁探査法；5社6機種



図—3 探査対象物の埋設イメージ

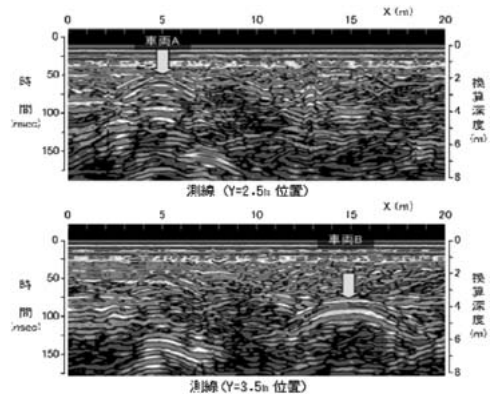


写真—1 実験ヤードの造成(6×20m×深さ4m)
(車両埋設位置決め)

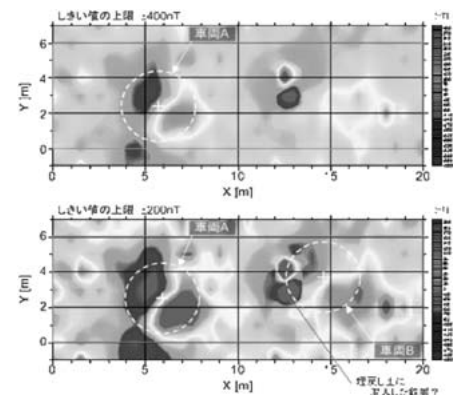
(2) 実験結果

- ① 地中レーダ探査法；各社の装置による大きな精度の差はなく、対象物の平面位置、深度を高精度で探査可能。
- ② 磁気探査法；各社の装置によって多少の差はあるものの、対象物の平面位置、深度が探査可能。
- ③ 電磁探査法；各社の装置によって多少の差はある。対象物の平面位置が探査可能であるが、深度方向の精度が若干低い。

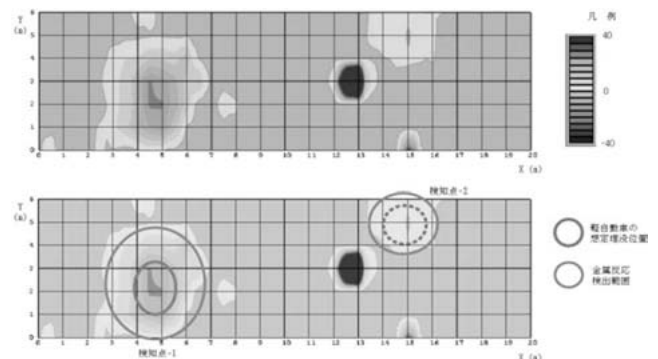
以上の実験結果より、3種類の探査手法によれば、埋



(a) 地中レーダ探査結果の例



(b) 磁気探査結果の例



(c) 電磁探査結果の例

図—4 探査実験結果の解析例
(X；東西方向、Y；南北方向の測線)

設した車両が検知可能である。また、現地への適応性を考慮した場合、地表面に沿って移動する必要がなく、リアルタイムに検知が可能な電磁探査（金属探知器）をベースとした探査深度の深い探査装置の開発が有効と判断した（図—4）。

4. 探査装置の試作・検証実験

電磁探査装置（金属探知器）を災害現場で埋没物探査に適用させるための探査装置の要求仕様を表—1に、試作製作のための基本仕様を表—2に示す。

表—1 探査装置の要求仕様

項目	要求仕様
1) 対象深度	3.5 m（地中 3.0 m + 空中 0.5 m）
2) 対象物	軽乗用車以上の車両（鉄類，非鉄金属）
3) 現地状況	土砂地盤（凹凸あり）
4) 使用条件	重機吊り下げ
5) 質量	軽量化：15 kg 以下（無人ヘリ搭載想定）
6) データ処理	時間領域リアルタイム処理
7) 出力形式	アナログ出力
8) 電源方式	DC12V～24V

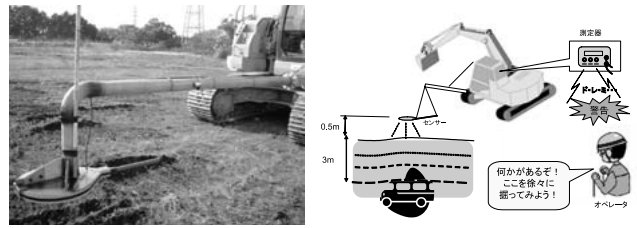
表—2 探査装置の基本仕様

検討項目	採用する仕様	採用理由
1) コイル数	2	電気回路が簡素
2) コイル配置	垂直配置（PERP）	部品数が少なく、機器構成を簡素化でき、ノイズに強い
3) 処理領域	時間領域	リアルタイム処理に適している
4) 検知方式	送信電流と2次磁場の位相差と振幅差	リアルタイム処理に適している

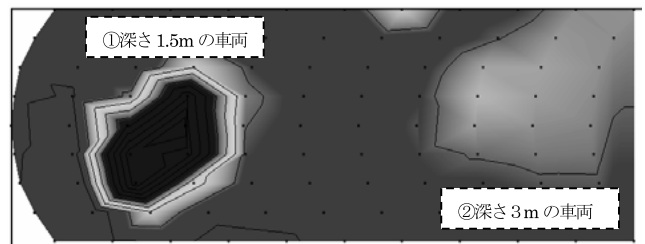
(1) 検証実験

試作・選定した代表的な複数のセンサ（二次コイル形状の違い）を用い、土砂崩壊によって埋没した通行車両の発見を想定した探査深度や埋没物検知に関する基礎データを収集した。また、センサ部および探査装置本体部の基本的な性能・機能について実験ヤードにて検証・実験を行った。その結果、次のことが確認された。

- ①探査性能；試作センサは地表面上約 50 cm の位置から写真—2，図—5 に示すように地表面下 3 m の埋設車両をリアルタイムに検知できることを確認した（空中 1.5 m の場合には，地中 2.0 m まで探査可能）。
- ②近傍にある金属の影響；試作機の探査能力は，概ね約 3 m の埋設車両を検知できることから，写真—2



写真—2 重機（バックホウ）への探査装置搭載の例（重機からセンサまでの距離は約 3 m）



図—5 試作機による探査結果の例（重機搭載）

表—3 埋設物探査装置の製作仕様

項目	仕様
検知方式	電磁誘導方式
電源	DC12V，2A
コイル形状	円形
コイル径	1次：直径 48 cm 2次：直径 2 cm
コイル径間	73 cm
質量	センサ：2.7 kg データ処理部：3.6 kg
1次コイル電流	600 mA（24 V）
発信周波数	485 Hz
データ処理	時間領域リアルタイム処理
検出パラメータ	2次コイルの位相および振幅
信号表示	反応の強さに応じたビーブ音（音階変化）
外部出力	検知信号のアナログ出力
地盤反応除去装置	リセットボタンによるゼロ点調整

に示すようにセンサ部は搭載する重機からは約 3 m 程度離す必要がある。

5. 埋設物探査装置の仕様

各実験・検証および検討結果を踏まえ，埋設物探査装置の製作仕様を整理し表—3 に示す。本仕様は，二次災害防止との観点から無人移動体などへ搭載する必要性から，装置を出来るだけ小型軽量なものとした。


6. おわりに

本開発により埋設物探査装置については，各種評価

実験・検討等により要求仕様に基づき性能を確認した結果、当初の開発目標を概ね達成することができた。

今後は、移動体（重機，無人ヘリ等）への搭載については、情報収集システム等との組合せによる情報の記録・表示の実現が課題となる。

最後に、本開発の実施にあたり、ご協力・ご指導を

いただいた国土交通省中部技術事務所，日本物理探鑛（株）の関係者の方々にお礼を申し上げます。 

〔筆者紹介〕

榎園 正義（えのきぞの まさよし）

社団法人日本建設機械化協会

施工技術総合研究所 研究第四部 技術課長