

災害復旧支援に有効な埋設物探査システムの開発（その1）

(社)施工技術総合研究所 正会員 ○ 榎園 正義

(社)施工技術総合研究所 上石 修二

国土交通省中部地方整備局中部技術事務所 桜田 明彦

国土交通省中部地方整備局中部技術事務所 長谷川 公政

1. はじめに

大規模地震災害等で緊急輸送路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人の有無を速やかに把握して、緊急復旧計画を立案する必要がある。

また、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の手法の確立が求められている。

そこで、災害復旧に有効な安全で迅速かつ正確な埋設物調査(車両探査)を実施するために必要な埋設物探査技術の開発に向け、既往の埋設物探査技術について探査技術評価実験を行ったので報告するものである。

2. 埋設物探査技術の調査

災害被災現場での埋設物(車両)を対象とした場合の埋設物探査技術は、図1に示すように各種調査方式の測定原理から判断して、地表面から地中への調査方式が主体となる。また、適用上の問題点および現場への適用性から、地中レーダ探査法、磁気探査法および電磁探査法が有効な探査手法と考えられる。

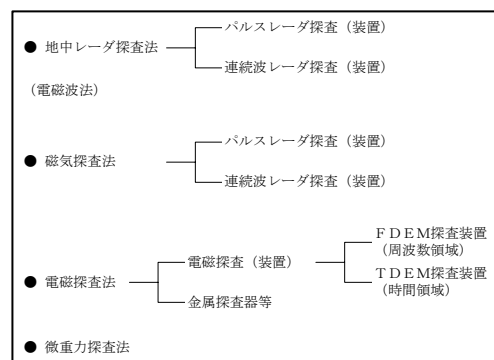


図1 地表面からの埋設物探査技術の種類

3. 探査技術評価実験

(1) 実験の概要

自然災害等で生じた道路法面等の土砂崩壊現場において、土砂に巻き込まれ埋設した通行車両等の探索を想定し、既往の埋設物探査装置の実用性を把握することを目的とし、実物の車両を埋没して探査性能の確認実験を行った。この探査実験は、平坦なグラウンド約6m×20mの範囲で、最深4mまで掘削し、軽自動車を地表面(かぶり厚さ)から1.5mと3.0mの深さに約10mの離隔で埋設した実験ヤードを造成した(図2, 写真1参照)。

また、実験ヤード内では、自然災害の崩落土を想定するため、できるだけ締固めないように配慮すると共に、表面の整形は行わず凹凸の状態とした。

探査装置は、表1に示すように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(A～E社)を選定した。

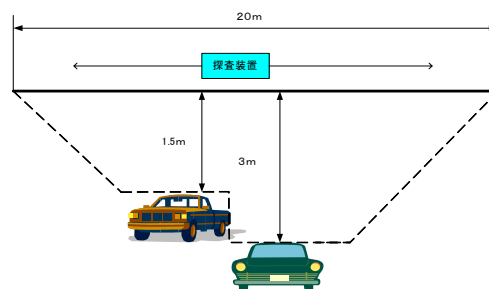


図2 探査対象物の埋設イメージ



写真1 実験ヤードの造成
(車両埋設位置決め)

(2) 実験結果

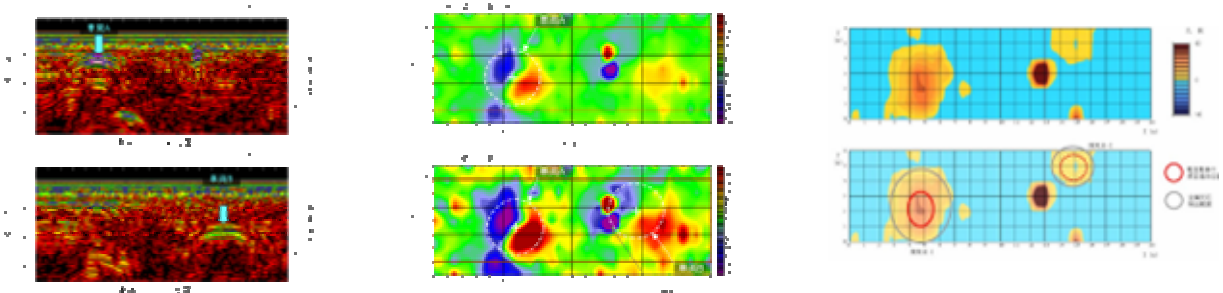
地中レーダ探査 (5 社 6 機種)、磁気探査 (4 社 6 機種) および電磁探査(5 社 6 機種)の計 18 機種の探査実験結果から解析例を図 3 に示す。

- 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ものの、磁気探査と同様に対象物の平面位置が高い精度で探査可能であるが、深度方向の精度が低い。

以上の実験結果より、3 種類の探査手法と探査精度としては、地中レーダ探査≧磁気探査≧電磁探査となった。

表 1 実験対象会社と探査装置の種類

会社名	探査法の種類		探査装置の型名	主な仕様
A 社	① 地中レーダ／連続波地中レーダ探査		・ KSD-8 (パルス式；光電製作所製) ・ UGR-1 (連続波；自社開発)	・ 150MHz ・ 5～160MHz
	② 磁気探査	プロトン磁力計	・ G866 (Geometrics 製)	・ 全磁力の測定 (3 軸)
		三成分磁気傾度計	・ (自社開発)	・ 三成分フラット型×2
	③ 電磁探査		・ 簡易 EM 探査； EM-31 (Geonics 製)	・ 9.6kHz
B 社	① 地中レーダ探査		・ SIR-10H (パルス式；GSSI 製) ・ 100MHz アンテナ	・ 中心周波数；100MHz
	② 磁気探査		・ 磁力計；G858 (Geometrics 製)	・ セシウムガス (3 軸) ・ 分解能；0.05nT
	③ 電磁探査	TDEM 探査	・ EM-61 (Geonics 製)	
		FDEM 探査	・ GEM-300 (GSSI 製)	・ 16 周波 (325Hz～19.975kHz)
C 社	① 地中レーダ探査		・ NJJ-28A (パルス方式)	・ 中型アンテナ；400MHz
	② 磁気探査	差分型磁力計	・ FELEXDLG/FELEXCON650	・ 1 軸フラットゲート
		両コイル型磁気傾度計	・ 56E/56S	・ 1 軸フラットゲート
	③ 電磁探査 (金属探知機)		・ TW6013/T6013	・ 6 音階による
D 社	① 地中レーダ探査		・ 地中レーダシステム； (自社開発)	・ 中心周波数；350MHz
	② 磁気探査		・ リンゲル型フラットゲート磁力計； (自社開発)	・ 鉛直；3 個／水平；2 個
	③ 電磁探査		・ TDEM 探査； (自社開発)	・ 送信電流；最大 5A
E 社	① 地中レーダ探査		・ Reflex Pro-900 (本体) ・ Noggins250 (送受アンテナ)	・ 中心周波数；250MHz
	② ー			
	③ 電磁探査 (FDEM法)		・ FDEM 探査装置 (Frequency Domain Electromagnetic Method)	・ 16 周波数 (364～2kHz)



(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 3 探査実験結果の解析例 (X；東西方向、Y；南北方向の測線)

4. 探査方式の選定

土砂現場における、安全で迅速かつ正確な埋設物調査を実現する必要性から、無人の探査システムの構築に適合できる探査方式を選定し、災害復旧に効果を発揮できる十分な探査性能を有する装置を開発する必要がある。表 2 に示すように地中レーダ探査、磁気探査および電磁探査の特徴を比較した結果から、機能と現地への適用性を重視し金属探知機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考えられる。

表 2 探査装置の総合評価

探査方法	地中レーダ探査装置	磁気探査装置	電磁探査装置
項目	地中レーダ	フラックスゲート型磁力計	金属探知機
①測定概要 (参考イメージ図)			
②装置概要	・送信アンテナから数 MHz～1 GHz の電磁波パルスを地中に向かって放射し、地盤の中で誘電率の変化で反射が生じることで存否や形状を推定する。	・フラックスゲート磁力計を用い、鉛直方向に 2 つのセンサを配置し、差分データを測定する。	・原位置で金属の有無を即座に判断する装置で、金属反応の強弱を音の高低で知らせる。
③利 点	・反射した電磁波を可視化でき、リアルタイム測定が可能。 ・位置深度を精度良く求めることができる。	・静止した状態で測定が可能。	・静止した状態で測定が可能。 ・操作が簡便。 ・車両等の金属反応をリアルタイムに検知できる。
④現 地 へ の 適用性	・土中に水が多く含まれていたり、地表面に凹凸があり、アンテナが浮いたりすると、測定が困難となる。	同 左	・センサを地表から浮かして測定するため、多少の凹凸は問題とならない。 ・地中の含水状態の影響を受けない。 ・金属製品の影響を受ける。
⑤問題点等	・地表面に沿って移動する必要がある。 ・金属だけでなく、土質の違い、空洞等によっても反射波が生じ、判定が困難となる可能性が高い。	同 左	・既存の装置では、探査深度が浅く、センサの開発が必要。 ・探査深度の精度が悪い。
⑥新 規 開 発 の 可能性	・地表面から浮かしての測定は、不可能であり、新規開発は、期待できない。	・市販品の利用や新規開発が可能であるが、上記⑤の問題点は解決できない。	・探査深度の深い金属探知機の開発・実験による対応が期待できる。
総合評価	△	○	◎

5. まとめ

今後、無人の探査システムとして、移動機械に搭載できる装置として検証・検討を行い、実用的な探査装置の開発を行う計画である。