

盛土内部空洞探査手法の開発

J R 西日本 正会員 泉並 良二
正会員 鈴木 喜也

1. はじめに

鉄道の線路下を横断する経年を経た陶管造の伏び(暗渠)破損に起因する陥没災害が発生している。このため、周辺環境の変化などにより地表から確認できない埋没伏びは盛土管理上の課題となっている。このことから、鉄道盛土における盛土内部の空洞及び埋没伏びを効率よく見つける手法を確立する必要がある。

本論文では盛土表面から盛土内部の空洞及び埋没伏びを探査することを目的とし、モデル盛土において各種の探査装置を用いて探査を実施した結果により、今後の探査手法開発への提言を行うものである。

2. 探査装置目標機能

探査装置に必要とされる機能を検討するには、盛土内部に発生する空洞の規模、深さを把握することが必要であるが、実在する盛土においてはその把握は困難である。このため、過去に発生した線路陥没の事例から陥没にいたる直前の空洞規模、深さを推定した結果、以下のように推定された。

発生深さ：施工基面下 2 m 程度、 空洞規模：30cm 大以上、 発生位置：軌道内、外とも同程度。

このことから、探査装置の機能として、上記空洞の検出及び軌道内外での使用が可能なものを目標とし、盛土内部の空洞及び伏びを探査する手法の開発を開始した。

3. モデル盛土の概要

地中を探査する手法については種々のものがあるが、上記機能が満たせる可能性のあるものとして、EM 探査、レイリー波探査、レーダ探査(濃淡画像法、信号伝播モデル)、の3機種(4手法)を選定した。

営業に供されている鉄道盛土では空洞の位置・規模が不明のため、探査結果と空洞位置、規模の比較検証ができない。このため、鉄道盛土を模したモデル盛土を作成し、定量的な評価を行った(図 1)。モデル盛土には表面にバラスト、マクラギを配置し、深さ 1~5m までの陶管造伏び(200 および 300) および模擬空洞〔発泡スチロール製、300(W)×300(D)×100(H)〕が配置されている。

4. 各種探査装置の探査結果

上記モデル盛土を用いて、各種探査手法による探査を行った。以下にその探査結果の概要を示す。

4.1 E M探査(Electromagnetic Method)

地上においたコイルに交流電流を印加することで地盤内磁場の変化により地中の比抵抗を求め、地盤状況を調査するものである。

モデル盛土での探査結果によると、使用した周波数帯(16~512kHz)では必要な分解能は得られず、いずれの深度においても伏び、空洞の検出が困難であった。所用の性能を満たすには、より高周波数化を行う必要があると考えるが、探査可能深度が浅くなることが想定される。

4.2 レイリー波探査

起振機により段階的に周波数を変えて振動を与え、各周波数毎に波の伝播時間と測定レイリー波の伝播領域

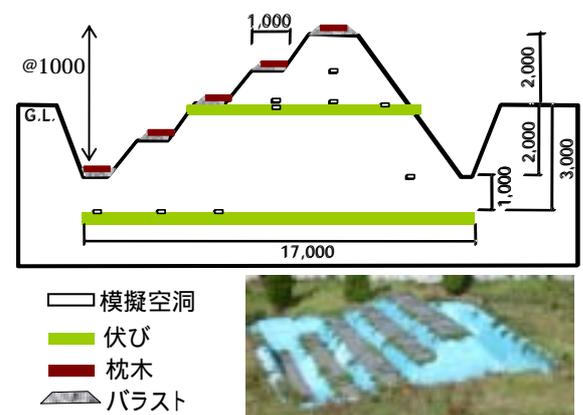


図1 モデル盛土の概要

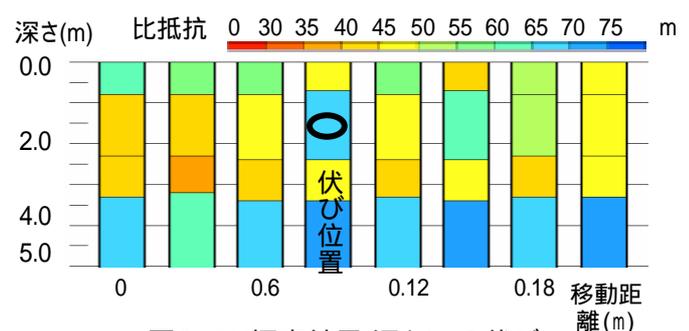


図2 EM探査結果(深さ1mの伏び)

域及び速度を算出し、地盤状況を調査するものである。

モデル盛土での探査によると、レイリー波の波長域が弾性波領域であり、他の探査手法に比較して低周波のため、必要な分解能が得られず、いずれの深度においても伏び、空洞の検出が困難であった。本方式では使用周波数帯が低周波であることから、所用の性能を満たすのは探査原理上困難と考えられる。

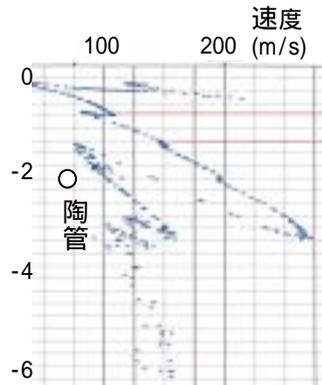


図3 レイリー波探査結果

4.3.1 レーダ探査(既存の方式：濃淡画像法)

電磁波をアンテナから地中に向けて放射すると反射物体との境界面で反射が生じる。この反射波の強度別に濃淡画像として表示し、地盤状況を調査するものである。

表1 電磁波周波数と探査性能の関係

	探査深度	分解能
周波数低	深い	粗い
周波数高	浅い	細かい

一般に、用いる周波数帯と探査性能の間には表1に示すような関係がある。このため、所用の性能に適すると想定される周波数帯の選定(350MHz)を行った。

モデル盛土での探査によると、埋設位置が既知であることにより、1m程度の深さの伏びがなんとか認識できた。

4.3.2 レーダ探査(信号伝播モデルを用いた解析手法)

レーダ探査法において、空洞などの異常部検出に際し、実際に得られた受信信号の波形に対し、予測受信信号の波形と類似度(パターンマッチング度)を評価することにより地盤状況を調査するものである。

モデル盛土での探査によると、深さ最大約2mの伏び(300)及び模擬空洞(300×300×100)が判別できたことから、探査深度、分解能などの点で目標性能に近い結果が得られたと考える。

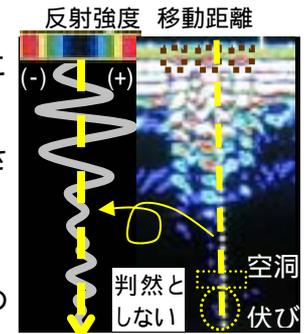


図4 レーダ探査結果(深さ1mの伏び)

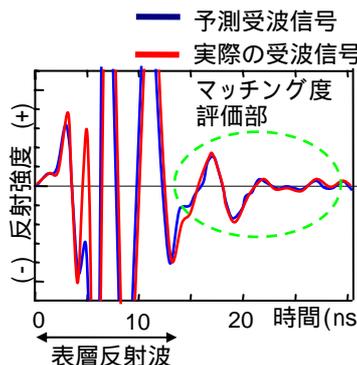


図5 受信信号波形の違い

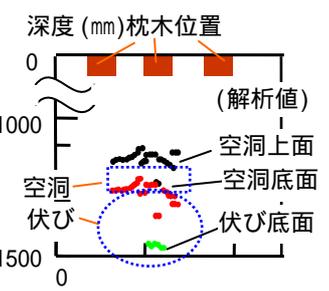


図6 解析結果

5. 各種探査装置の総合評価

内部状況が既知のモデル盛土を用いた各種探査手法による探査結果の評価を表2に示す。この結果、信号伝播モデルを用いたレーダ探査法が要求機能を満たせる可能性が高いことから、本手法を改良し、要求機能を満足させるための開発を行う。

実用化にあたってはモデル盛土での評価に加え、営業線での調査を含め多くのデータを蓄積し、解析手法、精度及び使用性の向上を図るとともに、探査機器についても不整地を走行するのに適した構造とするよう改良を図ってゆく。



図7 モデル盛土での探査試験状況

6. おわりに

信号伝播モデルを用いたレーダ探査方式は簡易かつ精度良く地中の空洞を探査できることがわかった。今後この手法をより改良することで、鉄道の安全性の向上に寄与できると考えている。

ここで、本手法による調査を実施するに当たり、山口大学田中教授のご指導を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

表2 各種探査手法の評価

探査機種/手法	探査可能深度	探査物		計測状態	結果解析
		伏び	空洞		
EM探査	×	×	×	静止(数秒)	時間要 ×
レイリー波探査	×	×	×	静止(15分)	時間要 ×
レーダ探査	(濃淡画像法)	(1m)	×	移動計測(歩行速度程度)	現場で概略判断可能
	(信号伝播モデル)	(2m)		"	現場で判断可能

参考文献

- 1) 佐々木宏一他 森北出版 平成5年 建設・防災技術者のための物理探査
- 2) 田中正吾他 計測自動制御学会論文集 Vol.39, No.5, 432/440 平成15年 信号伝播モデルに基づく電磁波レーダによるコンクリート構造物の非破壊検査