

可搬型線路下空洞探査装置の開発

JR 東日本 正会員 ○波場 志郎

JR 東日本 正会員 斉藤 岳季

1. はじめに

土構造区間では、伏びの破損などの要因による路盤陥没の発生が懸念されている。陥没発生前に目視で陥没の兆候を見つけ出すのは難しいが、これを探査する手法としては、電磁波レーダを用いる探査法が有効とされている。

当社は、電磁波レーダ技術を活用した線路下空洞探査車により定期的に探査しているが、路盤陥没発生時の調査など急ぎょ測定したい時にすぐに対応ができ、状況の確認もできる探査装置へのニーズがある。そこで、持ち運びができタイムリーに測定ができる可搬型線路下空洞探査装置（以下可搬型探査装置）の開発を行ったのでその概要を報告する。

2. 電磁波レーダの探査原理

電磁波レーダによる探査の原理は、以下のとおりである。図 1 に示すように、送信アンテナより地中に向けて電磁波（点線）を発信し、周囲の土と電気的特性（比誘電率）の異なる物質、例えば空洞や埋設物などの表面で反射されて返ってくる電磁波を受信アンテナで受けるまでの時間を計ることにより、物体までの距離を求めることができる。

3. 線路下空洞探査車の概要

当社は、電磁波レーダ技術を活用した線路下空洞探査車（UTRAS[アトラス]: Under-track survey car）を 1 台で全社運用している。

定期的に運用する装置として有用な線路下空洞探査車で、以下の特徴を有している。

1 台を全支社で定期的に運用していることから、路盤陥没発生時の類似箇所調査など急ぎょ測定したい時に、対応が困難な場合がある。軌陸車タイプであり、一定の大きさをもつ踏切でなければ線路への載線ができないことから、複線計測をしたい場合など時間がかかる。測定したデータについては、専門的に解析するため、専門技術者が後日確認して報告することとなっている。そのため、結果確認までに時間を要す。

4. 可搬型探査装置の開発仕様

可搬型探査装置は、現場ニーズなどから以下の仕様を定めて開発を進めた。

2 名での運搬が可能であること マクラギの影響を極力受けないこと 深度 2m まで計測できること 測定時にモニタで状況の確認ができること 軌間外および線路外測定にも対応できること

なお、深度を 2m までとしたのは、ここ数年における陥没事故の発生源がほぼ 2m 以内であったことによる。

5. 可搬型探査装置の主な特徴

可搬型探査装置（試作機）の測定状況を写真 1 に、アンテナ配置を図 2 に示す。以下、主な特徴について紹介する。

(1) 2 名での運搬が可能

試作した可搬型探査装置の総重量は約 40kg で、2 人で運搬が可能である。

(2) マクラギの影響を極力受けない

送受信アンテナが 1 台ずつの場合、アンテナとマクラギの位置が重なり、電磁波がマクラギで反射してしまうおそれがある（図 3）。そのため、一方のアンテナがマクラギに重なっても、もう一方のアンテナで送受信できるように、送信用 2 台、受信用 2 台の計 4 台のアンテナを搭載している。これにより、確実な送受信が可能となる。

(3) 深度 2m までに対応

より高い周波数の電磁波レーダは、低い周波数に比べて解像度は良いが探査深度が浅く、より低い周波数の電磁波レーダは、解像度は優れないが、より深くまで探査可能な特性がある（表 1）。そこで、深度 2m まで探査できる 1000MHz のレーダを基本とし、これに深度 1m までは解像度の良い、1500MHz のレーダを回路で切り替え 2 台の送信アンテナから交互に送信させ

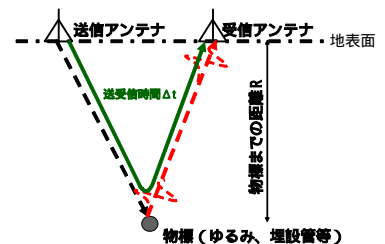


図 1 探査原理

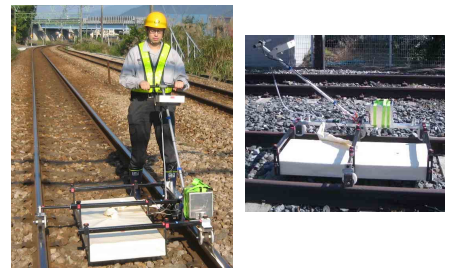


写真 1 可搬型探査装置（試作機）

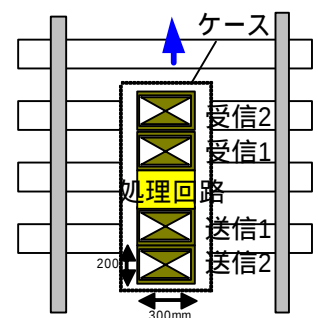


図 2 探査装置のアンテナ配置

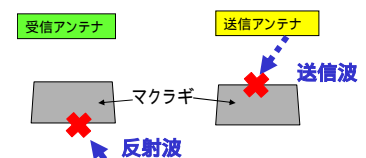


図 3 マクラギの影響

表 1 レーダの相対的な特性

周波数	解像度	探査深度
高い		浅い
低い	○	深い

キーワード 線路下探査 可搬型 電磁波レーダ

連絡先 〒331-8513 さいたま市北区日進町 2-479 JR 東日本研究開発センター テクニカルセンター TEL048-651-2389

ることとした。

電磁波レーダの送信サイクルは以下のとおりである(図4)。

送信アンテナ No.1 から 1000MHz を発信 送信アンテナ No.2 から 1000MHz を発信 送信アンテナ No.1 から 1500MHz を発信 送信アンテナ No.2 から 1500MHz を発信 なお、上記 から までを 1 サイクルとして、1 秒間に 38 サイクルの周期で発信させている。

(4)モニタで状況の確認ができる

測定状況画面を図5に示す。これは検査者が可搬型探査装置を走行させながら確認するモニタの画像である。

画像の縦軸は探査深度、横軸は探査スタート地点からの距離を表示している。

リアルタイムに状況を確認できる機能として、探査ソフトウェアにあらかじめ設定されたしきい値を越える反射波を受信した場合には、受信レベルに応じて黄色、赤色のマーキングを画面表示することとした。これにより、検査者がモニタ画面で黄色表示、赤色表示を確認した場合は、測定時に現地の状況確認を行うことが可能である。

(5)軌間外および線路外測定に対応

可搬型探査装置は、軌間内を両輪走行させることを基本としているが、フレームの部品などを交換することにより、軌間外、ホームや駅前広場など線路外の測定にも対応できるようにした。

6. 性能確認試験

探査性能を検証するため、模擬空洞を設置したテストコースや営業線において確認試験を行った。

(1)テストコースでの性能確認試験

空洞を模擬化したものとして空気の比誘電率に近い発泡スチロール、伏びを模擬化したコンクリート製のU字側溝、ゆるみを模擬化した発泡スチロールと発生土の混合部を埋設してテストコースを製作した。

テストコース断面図を図6、調査結果の画像を図7に示す。これらの結果から、空洞モデルの埋設位置と同様な傾向でマーキングがされており、良好な探査性能を有していることが確認できた。

(2)営業線での性能確認試験

営業線での性能試験は、ケーブル防護マクラギ、伏びが敷設されている区間を選定して実施した。調査結果画像を図8および9に示す。

図8は、ケーブル防護マクラギ位置における画像である。防護マクラギ箇所においては、表面付近に金属の反射が明瞭に出力された。

図9は、深度1mに敷設された伏びの位置における画像である。図に示すとおり反射波が深度1m付近に明瞭に出力された。

(3)対策工施工後の確認

ある区間において、探査試験を実施したところ、広範囲にマーキングがされ、空洞の可能性を発見することができた。その後、碎石を投入しながらH型鋼を振動挿入させる対策工を施工した後に、再度同区間を探査したところ、マーキング箇所が減少しており、空洞の可能性のある箇所の発見に加えて対策工の評価においても、有用な装置であることが確認できた。

7. おわりに

可搬型線路下空洞探査装置については、試作機を使用してモニターテストを実施し、寄せられた意見をもとに、フレームなどに改良を加えて各土木技術センターに配備し実運用を開始している(写真2)。導入した装置を活用して、今後も安全安定輸送の確保に努めていきたい。

参考文献

- 1)熊澤孝夫;三次元検知が可能な地中埋設物レーダ,センサ技術,1993.2
- 2)村沢観治ほか;3 アンテナ素子を有する地中埋設物探査レーダ,三井造船技報,1994.6
- 3)長谷川祐二ほか;線路下空洞探査車(UTRAS)の導入,日本鉄道施設協会誌,2001.2

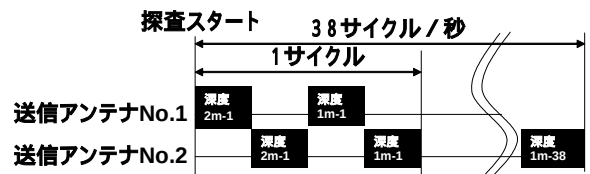


図4 電磁波レーダの送信サイクル

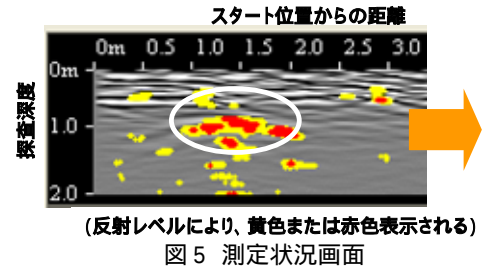


図5 測定状況画面

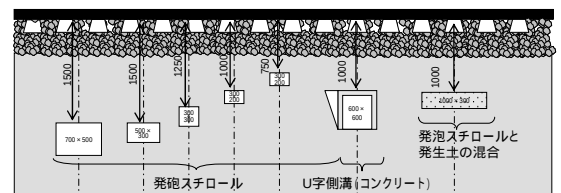


図6 テストコース断面図

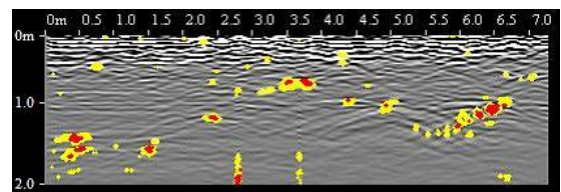


図7 テストコース調査結果画像

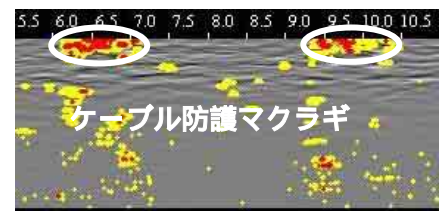


図8 ケーブル防護マクラギ付近調査画像

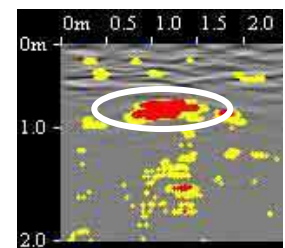


図9 伏び付近の調査画像



写真2 導入した可搬型探査装置