

## VI-78

## 線路下空洞探査装置の開発

東日本旅客鉄道（株） 正会員 ○森島啓行  
 東日本旅客鉄道（株） 正会員 小山弘男  
 三井造船（株） 木村憲明

## 1 まえがき

線路下の空洞に起因する路盤陥没は年間に数件程度発生している。この空洞は軌道上から目視では発見できず、陥没が発生してから人力による掘削やオーガボリング等で周辺調査を実施しているのが実態である。

線路下の空洞探査のため、平成4年から開発してきたレーダ（以下浅層用レーダ）と平成7年により深い探査性能を目標に新しく試作した中層用レーダを使用して本線において比較探査試験を実施し、同時に実用装置のための遠隔操作方式のアンテナ支持装置を試作し軌陸車両に搭載して探査機能試験を実施したので、その結果について報告する。

## 2 試験の概要

浅層用レーダと中層用レーダの仕様を表-1に示す。また、アンテナ支持装置を搭載した軌陸式の試験車両を図-1に示す。試験は、本線路盤において埋設位置、深度、材質、構造の明らかな排水管を目標に浅層用レーダと中層用レーダで探査性能を比較した。また、効率的な検査作業を目指した実用車両のための遠隔操作方式によるアンテナ支持装置を試作し軌陸型車両に搭載して探査作業の効率性について試験した。

## (1) 中層用レーダの試作

平成6年度までに試作した浅層用レーダは探査深度が1.5mを越えると急激に探査性能が低下することが明らかとなった。これは、使用している周波数帯域(20~730MHz)と電波出力の限界であると思われる。そこで、多少の分解能力は犠牲にしても、より深い

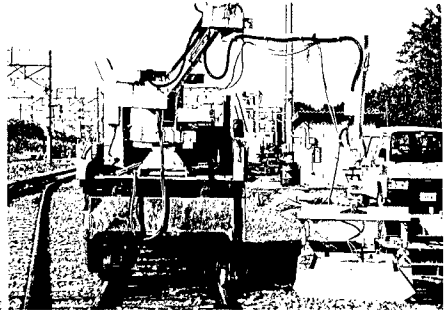


図-1 軌陸式試験車両

表-1 浅層用レーダと中層用レーダの仕様

| FM変調CW方式 | 浅層用アンテナ            | 中層用アンテナ            |
|----------|--------------------|--------------------|
| 構 成      | 送信1 受信2            | 送信1 受信2            |
| 形 状(mm)  | W260×D390<br>×H200 | W260×D390<br>×H200 |
| 掃引周波数:   | 20~730MHz          | 20~320MHz          |
| パルス幅:    | 2 2.5nsec          | 2 2.5nsec          |
| 送信電力:    | 0.3mW              | 0.9mW              |
| トリガ周期:   | 2msec              | 2msec              |

、大きな目標を捉えることを目標としたレーダを試作した。

主な改良点は第一に、使用周波数帯域(20~320MHz)を低くし、高い送信出力を得られるようにした。第二に、強い表面反射波で相対的に捉え難い深部の目標からの弱い反射波を効率的に受信するために、表面反射波を低減させ、深度1.7m前後の反射波を効率的に取得するAM変調機能を付加した。

## (2) 遠隔操作方式のアンテナ支持装置の試作

アンテナの性能を最大限に発揮するには、アンテナ下面を探査面に最も接近させかつ、一定の離隔と移動速度を保持して探査する必要がある。そのために軌道上から重量15kgのアンテナを探索範囲全体にわたり自由に遠隔操作可能なロードバラサタイプのアンテナ支持装置を試作した。表-2に支持装置の仕様を示す。

## (3) 試験方法

本線に埋設されている排水管(ヒューム管、外径:0.46m~0.91m、埋設深度:0.73m~2.33m) 26箇所を目標に浅層用、中層用の2アンテナを使用して測定した。測定方法は1箇所の排水管に対して軌間内、軌間外(マクラギをはずれた位置)、路肩の3測線(線路方向1測線の延長10m)について実施した。

表-3 浅層用レーダと中層用レーダの比較測定結果

| 埋設深さ             | 軌 間 内 |      |     | 軌 間 外 |     |     |
|------------------|-------|------|-----|-------|-----|-----|
|                  |       | 浅層用  | 中層用 |       | 浅層用 | 中層用 |
|                  | 計測数   | 検知率  | 検知率 | 計測数   | 検知率 | 検知率 |
| 1m未満             | 4     | 75%  | 50% | 4     | 75% | 75% |
| $1 \leq h < 1.5$ | 8     | 75%  | 60% | 12    | 75% | 78% |
| $1.5 \leq h < 2$ | 1     | 100% | 0   | 7     | 57% | 29% |
| 2m以上             | 0     |      |     | 3     | 0   | 0   |
| 計                | 13    |      |     | 26    |     |     |

### 3 試験結果及び考察

#### (1) 浅層用レーダと中層用レーダの比較試験

図-2に同一排水管の2測線の探索画像データを示す。また、表-3に比較測定結果を示す。

①軌間内での画像はマクラギの影響によりどちらも判別しにくい画像となっているが浅層用アンテナが中層用アンテナに比較して小型となっているためにマクラギの影響が小さく、分解能が高いために見にくい画像であるが判別は可能である。②中層用アンテナは分解能は低いために軌間内ではマクラギの影響が大きく判別不能だが軌間外と路肩では浅層用アンテナより大きな反射パターンが得られ判別し易い画像となっている。③レーダの軌間内探索は中層用レーダの検知率が浅層用レーダの約60%程度であり、逆に軌間外は中層用レーダの検知率が上回った結果となった。

これはアンテナ形状を大きくしたことでもマクラギの反射波の影響を大きく受け、同時に低周波化したことにより分解能が低下したことによるものと思われる。

#### (2) AM変調機能試験

浅層用レーダにはAM変調機能が付加されており、中層用レーダには付加されていない。AM変調機能を付加した画像では明らかに表面での細かい乱反射が除去されているのがわかる。

#### (3) アンテナ支持装置搭載軌陸車両の機能試験

①軌道上でのアンテナ探索はレール、バラスト、地上子等で不規則な凹凸があるが、ロードバランサ方式のアンテナ支持装置により、車上で効率的なアンテナ操作ができた。②軌陸車による踏切からの載線、離線は幅員4.0m以上の場合約3～5分であり移動速度は10km/h以上可能であった。③1測線あたりの探索作業時間はアンテナ位置調整、測定、車両移動含めて約2～3分であった。

表-2 アンテナ支持装置の仕様

| 機 械 仕 様 |                |
|---------|----------------|
| 可搬重量    | 60kgf          |
| 上下ストローク | 1,550mm        |
| 旋回半径    | 3,000mm        |
| 作動速度    | 0～16m/min      |
| 本体重量    | 300kgf         |
| 動作機構    | ギアモータ駆動        |
| 電 気 仕 様 |                |
| 電源      | AC300V, 3KVA3φ |

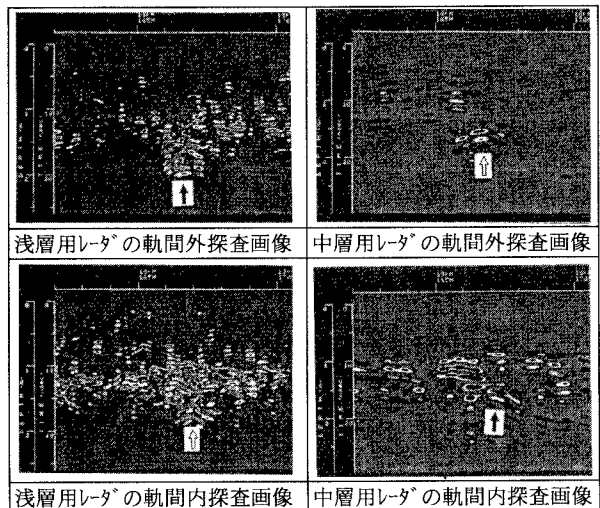


図-2 排水管(φ=800mm, 深度=1.33m)の現場探索画像

### 4 まとめ

平成7年までの開発の結果、実用探索装置の概要が以下のように明らかとなった。

①電磁波レーダを使用した線路下空洞探索装置の性能は、軌間内探索に浅層用レーダ、軌間外探索に中層用レーダを使用した場合に最良の性能が得られ、実用性能は深度1.5mまでで検知率は約75～78%である。②探索方法は、線路平行方向に軌間内1、軌間外両側2測線の計3測線について探索し、探索データを総合的に判定する。③実用探索装置は、延長の長い線路全線に点在する探索箇所短時間に短時間到達し、列車間合いの限られた時間に効率的に探索作業を実施するため、軌陸型車両で車上遠隔操作方式のアンテナ支持装置を使用した車両が有効である。

本装置は、現時点での探索性能が各々の現場の土質条件に左右されると言う欠点がある。しかし、従来、事前に探索する手段がなかったことを考慮すると限定された性能ではあるが、非破壊方式で迅速に調査できることの意義は大きいと考える。本装置は平成8年度に実用1号機の導入を計画しており、今後も性能向上のための改良を継続して行きたい。

#### 【参考文献】

森島啓行、小山弘男、木村憲明：土木学会第49回年次学術講演会講演概要集(平成7年9月)第6部p. 656, 657  
森島啓行、大井清一郎、木村憲明：土木学会第48回年次学術講演会講演概要集(平成5年9月)第4部p. 346, 347