

可搬型線路下空洞探査装置による測定データの解析

ジェイアール東日本コンサルタンツ 正会員 ○清水 保
ジェイアール東日本コンサルタンツ 正会員 逸見 研二
ジェイアール東日本コンサルタンツ 正会員 岩村 里美
JR 東日本 八王子支社 正会員 川名 桂子
JR 東日本 東京支社 正会員 江面 剛

1. はじめに

現在、地盤の状態を把握する検査手法として、簡易貫入試験やスウェーデン式サウンディング試験等の物理試験や、間接的に状態を確認する地中レーダー探査等が用いられている。物理試験は、ゆるみや空洞を定量的に特定することができる反面、部分的な情報しか得られない。一方で、地中レーダー探査は作業の迅速性が優れ、広範囲の状況を短時間で確認することができるため広く用いられている。特に鉄道分野においては、道床を乱すことなく路盤の状況を確認することができるため有効とされている。しかし、地中レーダー探査の判定手法は確立されておらず、結果の判断には困難を極めているのが現状である。そこで、本論文では、JR 東日本で用いられている電磁波レーダー（可搬型線路下空洞探査装置）のデータを解析することで明らかとなったパラメータの特性及び効果的な評価法について報告する。

2. 可搬型線路下空洞探査装置について

本論文では、可搬型線路下空洞探査装置（電磁波法）により、筐子設備トレーニングセンター（JR 東日本八王子支社）で測定されたデータを用いる。同センターでは、深さを変えて様々な埋設物を配置している。

電磁波レーダーの原理としては、図-1 に示すように、電磁波パルスを地中に放射し、電気的性質の異なる物体との境界面で反射され受信アンテナまで到達する伝播時間から深さを特定するものである。

可搬型線路下空洞探査装置は、各深度層について判定（マーキング）を行っているが、同法でも判定しきれない部分があり、判定精度をより向上させるためにマーキングを除去して解析を行った。

3. パラメータの特性

本論文で用いた電磁波レーダーのパラメータ特性は次の通りである。

(1) 比誘電率

道床部と路盤部の比誘電率を設定する。比誘電率は、次式の通り電磁波法における伝播速度 V に影響するものであり、表-1 に示すように物質毎に固有値が存在するが、特に土質は含水量に依存するという面もある。

$$伝播速度: V = c / (\sqrt{\epsilon} \cdot \sqrt{\mu})$$

c : 光速, ϵ : 比誘電率, μ : 比透磁率

(2) 画像強度

画像の濃淡を調整し、視認性を向上させる。

(3) STC (Sensitivity Time Control)

図-2 に示すように、地中では電磁波は深さに対して減衰してしまうため、STC 補正を行うことで、深い箇所の反応を浮き出させる。

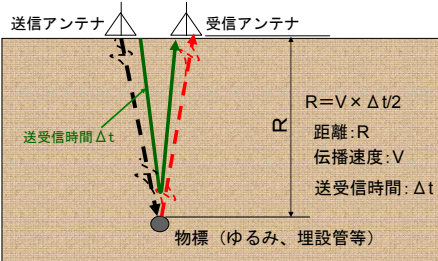


図-1 電磁波レーダー探査原理

表-1 各物質における比誘電率

材 質	比誘電率	材 質	比誘電率
真空	1.0	碎石	5～9
空気	1.0006	土 乾燥	2～6
発泡スチロール	1.03	土 湿潤	10～30
コンクリート 乾燥	4～12	岩	6～8
コンクリート 湿潤	8～20	雪	1.4
関東ローム 乾燥	10～30	水	81
関東ローム 湿潤	10～40	導体	∞

出典：コンクリート診断技術08 他より抜粋

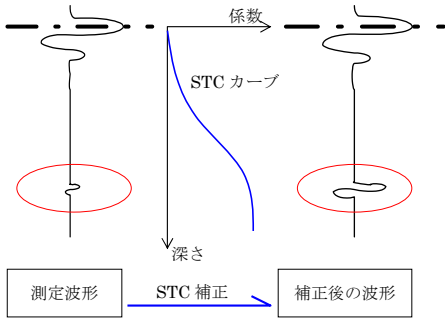


図-2 STC 補正概念図

4. 画像詳細解析

実際に埋設物及びその配置場所が既知の測定画像について、パラメータを変化させることで各パラメータの特性を確認し、効果的な評価手法の提案を行った。

(1) 比誘電率の検討

電磁波の特性から、路盤の比誘電率を変えることで実際の埋設物位置と表示位置について検討した。比誘電率を変えた波形画像を図-3に示す。比誘電率を高くすると、反応が浅い位置に表示される。埋設物位置と反応位置を比較すると、当日の土質は比誘電率 10 程度であることがわかる。

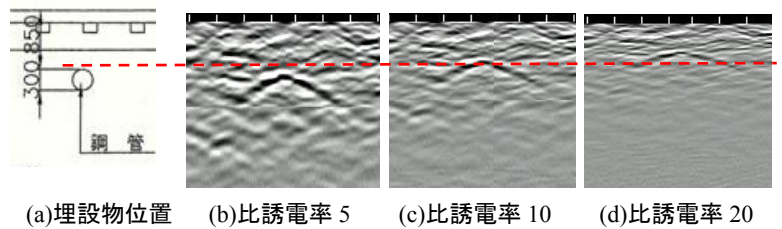


図-3 比誘電率を変化させた際の画像表示

したがって、対象物の深度を正確に把握するには、適正な比誘電率を設定することが重要である。

(2) 画像強度・STC による視認性向上

実際に埋設物が存在するが反応が出ていない箇所について、画像強度・STC の調整を試みた。図-4 は同一区間について画像強度を高くしたものであり、反応が見られなかった箇所に反応を読み取ることができる。したがって、画像強度・STC を調整することで、反射強度の弱い反応を新たに読み取ることができることがわかった。

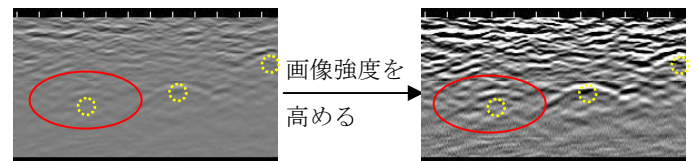


図-4 画像強度調整による反応箇所の確認

(3) 物性と波形パターンについて

図-5に示すように、理論上、電磁波は比誘電率の高い物質から低い物質の境界で反射した場合「白・黒」と表示され、逆の場合は「黒・白」と表示される。この特性から、波形と埋設物の関係性について確認した。その結果、図-6に示すように、(a)塩ビ管（比誘電率 3.5）では白基調のパターンとなり(b)鋼管（比誘電率 ∞ ）では黒基調のパターンとなっている。その中で、(c)発砲スチロール（比誘電率 1.03）のように、①部は白基調で現れているが、②部は一部のみ白基調となっている。これは特殊な形状によることに起因すると考えられる。

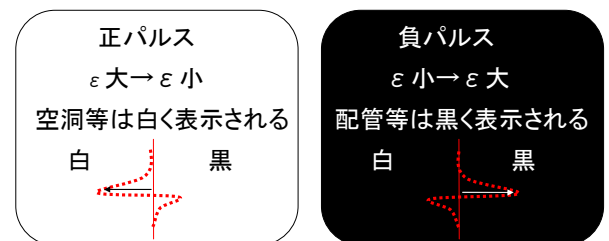


図-5 電磁波反射特性

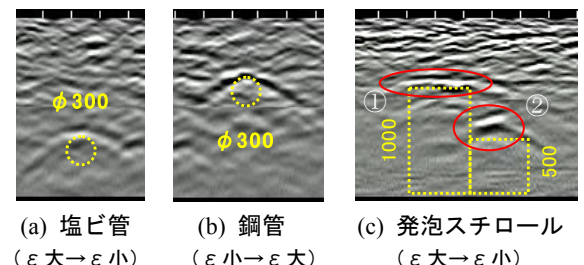


図-6 物性と波形パターン

(4) 効果的な判定手法の提案

以上の解析結果から、効果的な判定手法は次の通りである。

- ①波形画像を確認し、画像強度・STC を調整して反応波形を明瞭に浮き出させる。
- ②その波形パターンから、反応物体の物性（比誘電率大小）を判断し、比誘電率が小さいと判断されたものを空洞・緩み・その他異物と判断する。
- ③路盤の適切な比誘電率を設定して画像表示させ、正確な位置を把握する。

5. まとめ

本論文では、パラメータの特性を確認し、それを利用した効果的な判定手法を提案することができた。今後は、測定データを蓄積し、各パラメータ特性を組合せた解析を行っていくことで、より効果的な判定手法を模索する。また、路盤の比誘電率の設定手法の確立等を行い、判定精度を向上させていく必要がある。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，平成 16 年 6 月
- 2) 波場，斉藤：可搬型線路下空洞探查装置の開発，土木学会第 64 回年次学術講演会，平成 21 年 9 月