

F1-16

## VRS 受信機と DMI を備えた地中レーダによる埋設物と空洞の 3 次元比較

### 3D comparison of buried objects and cavities using ground-penetrating radar equipped with VRS receiver and DMI

○諏訪喬祐<sup>1</sup>, 山口裕哉<sup>2</sup>, 室井和弘<sup>2</sup>, 岩上弘明<sup>3</sup>, 佐田達典<sup>4</sup>, 李勇鶴<sup>4</sup>

\*Kyosuke Suwa<sup>1</sup>, Yuya Yamaguchi<sup>2</sup>, Kazuhiro Muroi<sup>2</sup>, Hiroaki Iwakami<sup>3</sup>, Tatsunori Sada<sup>4</sup>, Yonghe Li<sup>4</sup>

Abstract : Ground-penetrating radar (GPR) technology for detecting buried objects is indispensable in underground infrastructure construction, as it helps prevent damage to existing utilities. In this study, depth-specific positional data for the target area were generated based on electromagnetic wave reflection intensity obtained from ground-penetrating radar measurements linked to VRS (a type of network RTK-GNSS) and a Distance Measuring Instrument (DMI). By synthesizing these data in three dimensions, a 3D comparative model was constructed to evaluate buried pipes and voids. The results demonstrated that the measurement data closely matched the design drawings of the buried pipes with high precision.

#### 1. はじめに

地中レーダは、地中に照射した電磁波が埋設管から反射することを利用して、画像判読により埋設管の深度を測定する。

佐田ら<sup>[1]</sup>は、ネットワーク型 RTK-GNSS の一種である Virtual Reference Station (VRS) 測位と Distance Measuring Instrument (DMI) に連動した地中レーダを用いて埋設管と空洞の外形を世界測地系の 3 次元座標データとして取得し、3 次元化した設計図面と合成する研究を行った。本研究では、本システムによる取得データと設計寸法の精度比較を行うことを目的とした。

#### 2. 実験概要

##### (1) 実験場所と計測装置

実験は、2025 年 6 月 5 日 10 時~14 時、静岡県富士市にある一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所内の地下埋設物模擬ヤードにて実施した。使用した地中レーダは GUIDELINE GEO 社の MALA MIRA COMPACT である。レーダユニット本体の重量は 42kg、電磁波の周波数は 500MHz であり、計測幅は 60cm で一度に 30 チャンネルでの計測が可能である。

本体にはレーダユニット、VRS 測位用 GNSS 受信機 (Trimble R2)、パソコン、DMI が搭載されている。Figure1 に本試験で使用した地中レーダの外観を示す。

##### (2) 実験内容

試験ヤードは縦 18.5m、横 7.5m の長方形であり、各種の管と発泡スチロールが埋設されている。本実験では計測装置を押しながら 0.3m 間隔で横方向に 32 往復して短形エリア全域を計測した。地下埋設物ヤードと計測状況を Figure2、図面と走行軌跡を Figure3 に示す。



Figure1. Appearance of MALA MIRA COMPACT



Figure2. Test yard and measurement conditions

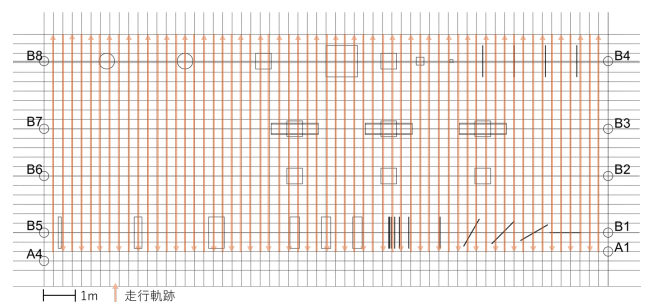


Figure3. Location map of buried pipes and cavities and travel path diagram

### 3. 解析方法

#### (1) レーダ反射強度画像と位置データの取得

埋設管と空洞に見立てた発泡スチロールの概形を 3 次元比較するにあたり、GUIDELINE GEO 社の解析ソフトウェア MALA Vision を使用した。このソフトウェアは **Figure4** に示すように深度別にレーダ反射強度平面画像を表示できる。**Figure4** は埋設管と空洞が存在する深度の反射強度値の平面分布を示しており、黒色は反射強度値が低く、蛍光色は高い。したがって蛍光色部分は埋設管または空洞の可能性があり、蛍光色部分の外形にソフトウェア上でマーキングをおこない、十進法度単位の経緯度と深度のデータとして取得する。

**Figure5** に反射強度平面画像にマーキングした様子を示す。

#### (2) 3次元比較モデルの生成

MALA Vision, Python, および Auto CAD を使用し、埋設管と空洞の 3 次元可視化を試みた。(1)で取得した経緯度データを深度毎に Python コードを用いて平面直角座標系 (8 系) の位置データに変換した。得られたデータを深度毎に同じ座標系で作成した CAD 図面上に投影し、深度毎に合成することで 3 次元化された比較画像を作成した。

### 4. 解析結果

**Figure6** にレーダ反射強度画像をもとに作成した埋設管と空洞の三次元比較モデルを示す。白線が埋設物の形状であり、赤色の印が取得した位置データである。

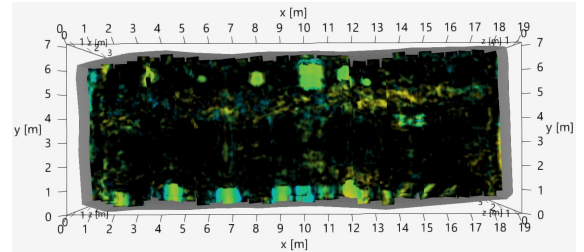
**Figure6(a)**の平面図では、計測データと図面寸法における縦横方向の計測誤差を比較することができた。ほとんどの埋設物は形状の範囲内に点が収まっているが、平面図右上の細い管状の埋設物は検出することができなかった。

**Figure6(b)**の縦断面図では、高さ方向の計測誤差を比較できた。縦横方向と同様に、ほとんどの埋設物は形状の範囲内に点が収まっている。しかし、深度 1.5m 以下に位置する埋設物に関しては縦方向に 1m 以上の計測誤差が生じ、取得できる点群数も少なかった。このことから、深度が大きくなるほど計測誤差が拡大することが考えられる。また、マーキングした点群が広く分布した原因としてデータ加工時の反射強度の閾値が大きすぎたことが原因と考えられる。したがって、反射強度の閾値を調整する必要がある。

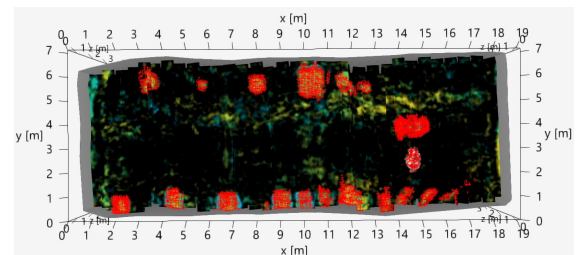
### 5. まとめ

本研究では、VRS と DMI に連動した地中レーダの計測で得られた電磁波の反射強度をもとに、位置データを作成し、それらを合成しモデル化することにより、

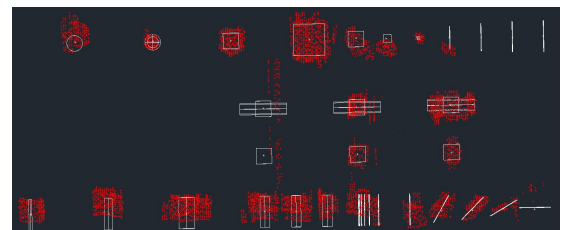
埋設管と空洞の計測データと図面寸法の比較を実施した。その結果、モデルは平面方向にはほぼ正確であったが、深度方向にはバラツキがみられた。今後の課題として、3次元比較モデルを作成する上で、手動での解析作業のマニュアル化をおこない比較データの精度をさらに向上させる必要がある。



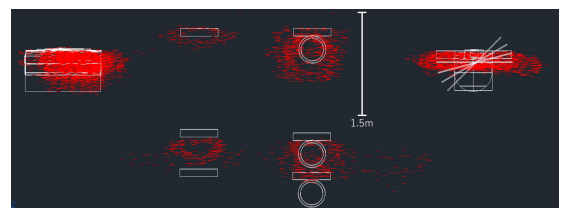
**Figure4.** Reflection intensity image (Depth:0.50m)



**Figure5.** Reflection intensity image with marking (Depth:0.50m)



(a) Plan view



(b) Section view

**Figure6.** 3D comparative model

### 6. 参考文献

[1] 佐田達典, 下瀬川雄也, 山口裕哉, 室井和弘, 本郷恵莉, 岩上弘明 諏訪喬祐: VRS 受信機と DMI を備えた地中レーダの反射強度画像による地中埋設管と空洞の 3 次元可視化, 土木情報学シンポジウム講演集, vol.50, pp.109-112, 2025.