

地中レーダを用いた地中埋設管探索のフィールド検証実験

鹿島建設(株) 正会員 ○沖永貴子
鹿島建設(株) 正会員 平野裕之
鹿島建設(株) 正会員 露木健一郎

1. はじめに

都市部の工事や既存施設の改良・増設などで地盤の掘削を行う際には、埋設物の位置確認が必要となるが、詳細な図面など十分な事前情報を得られないことも多く、掘削作業中に埋設物を損傷する事故は後を絶たない。地中レーダ等の計測機器を用いた調査が事前に行われる場合もあるが、実現場においては、土質や水分、締固め度合いなど、埋設物と地中レーダの間に存在する媒質がもつ電気的特性の不均質性から、明瞭な反射像が得られずに解釈が曖昧になることがある。このため、様々な不確実性のある中でいかに計測の信頼性を確保し、適用可能な範囲を明確化するかが課題となっている。

そうした課題に対して、埋設物の検知漏れリスクを低減させる方策として、埋設物の形状を3次元的に捉えることが可能なマルチチャンネル型レーダと、周波数が低く地盤内への電磁波浸透深さが大きい深部探査型レーダに着目し、それらの性能検証を実施したので報告する。

2. マルチチャンネル型レーダの性能検証

実際の地盤には、舗装や埋戻し土の他、転石や木片など電気的特性の異なる様々な物体が含まれ、それらからの不要反射波（クラッタ）と埋設管の区別が困難となることがある。また、地中レーダの測線に対して平行に近い埋設管では、明瞭な双曲線状の反射波が検出されないことから、検知漏れが生じやすい。

埋設管の検知漏れを防ぐために、測線を狭間隔あるいは格子状に設け、各測線で得られた2次元（鉛直断面）のデータを組み合わせて3次元データを作り、埋設管の特徴である空間的な連続性を把握する方法が考えられる。しかし、1対の送受信アンテナからなる通常の地中レーダを用いた場合、測線長の増加から、調査時間とコストの増大という問題があった。近年、多数の送受信アンテナを内蔵するマルチチャンネル型の地中レーダが開発され^{例えば1)}、1回の走査で3次元の反射像をとらえられることから注目されている（図-1）。今回、市販のマルチチャンネル型レーダ（表-1）を使用して、実地盤内に埋設されている管の検知性能を検証した。検証では表-2に示す管類が埋設された舗装道路面を探索した。実験の結果、概ね深さ1.0～1.5m以浅の管については、埋設管の特徴である連続的な反射像をとらえることができた（図-2）。また、対象場所の測定（8m×11m範囲を8測線）に要した時間は20分未満で、従来の1対の送受信アンテナからなる地中レーダで格子状に測定する場合と比べ半分以下の時間であった。



図-1 通常のレーダ（左）とマルチチャンネル型レーダ（右）による測線設定の違い

表-1 マルチチャンネル型レーダの主な仕様

中心周波数[MHz]	600
送受信アンテナ数	32
アンテナ寸法[cm]	120×57
探査幅[cm]	96
質量[kg]	75
バッテリー駆動時間[H]	6

表-2 主な計測対象

深さ[m]	埋設物
0.0～-0.2	マンホール蓋
-0.5～-0.8	電力線、通信線
-0.8～-2.0	トレンチ跡
-2.0～	雑排水管

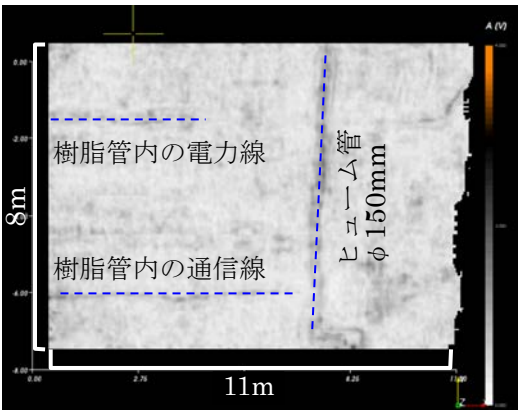
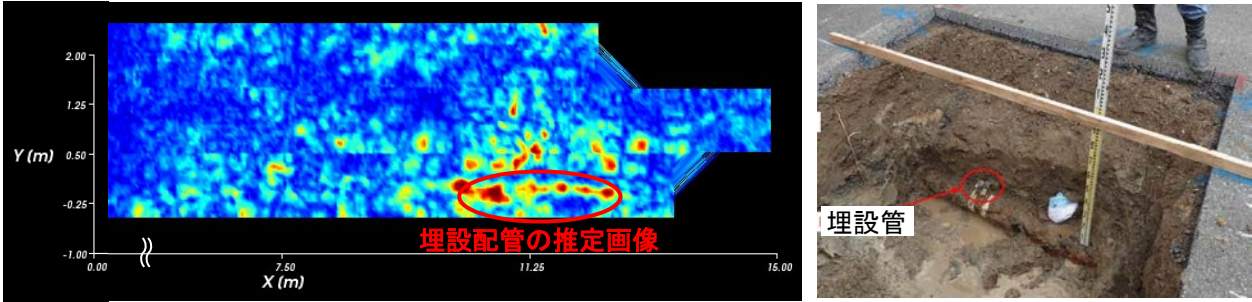


図-2 マルチチャンネル型レーダで取得された3次元反射像に対するGL-0.6mでの水平スライス画像

キーワード 地中レーダ、埋設管、マルチチャンネル、低周波、都市土木
連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株) 土木管理本部 TEL03-5544-0533

さらに、埋設管が推定された箇所での延長上で試掘による検証を行ったところ、深さ 1.0～1.5m までの管については良好な一致を確認した（図－3）. それ以上の深い埋設管は検知できなかった. また、試掘の後で埋め戻しを行った場所では強い不要反射波（クラッタ）が見られ、それらは締固め度の異なる土の境界で生じたと推定された（図－4）.



図－3 試掘を伴う箇所での探索結果（左：GL-0.9m での水平スライス画像）と試掘結果（右）

3. 深部探索型レーダの性能検証

深さ 1.5m 以上の埋設管も存在することから、レーダの探索深度は数 m 以上あることが望ましいが、埋設管調査で一般に使われる地中レーダ（中心周波数：数百 MHz 以上）を使用した場合、日本国内の地盤では 1～1.5m 程度が探索深度の限界であることが多い. これは主として地盤の電気的特性とレーダの送受信電磁波の周波数の関係によるものと考えられる.

今回、一般的な都市土木用の地中レーダより周波数の低い深部探索型のレーダ（表－3）を用いて、1.5m 以深の埋設管に対する検知性能を確認した. 調査対象の埋設管は、深さ 3.5～4.0m、直径 2.3m の下水道管（断面は円形）である. 探索結果を図－5 に示す. 図より、深さ 4m 付近に埋設管の反射波が明瞭な双曲線としてとらえられていることが分かる. 1.5m 以上の深さにある埋設管の探索に、一般的な地中レーダより低周波型のレーダを使用することの有効性を確認できた.

4. おわりに

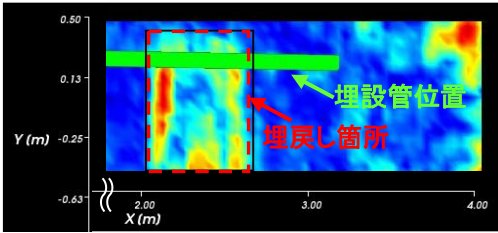
埋設物の形状を平面的・立体的に捉えることが可能なマルチチャンネル型レーダと、深部探索型レーダに着目し、その性能検証を実現場の埋設管を対象として実施した結果、以下が確認された.

- ・マルチチャンネル型レーダ：1～1.5m 以浅の範囲で良好な検知性能が確認され、3 次元的な埋設管の配置を推定可能なことから、地盤の不均一性に起因する検知漏れリスクの低減に有効であると考えられる.
- ・低周波型の深部探索レーダ：3～4m 深さの埋設物に対して有効性が確認され、一般の埋設物調査で用いられる周波数のレーダと比べて、より深部の埋設物に対する検知漏れリスク低減に有効である.

今後の課題として、地中レーダ探索の限界や信頼性は、現地で実施しなければ分からない現状を指摘できるが、地盤の電気的特性の簡易な測定と組み合わせるなど、より客観的にそれらを定める技術の開発が待たれる.

参考文献

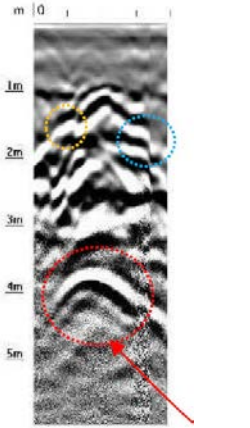
1) Sato, M., Doi, K. and Takahashi, K. (2013):Advanced GPR for archaeological survey, Proc. IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. pp.1395-1398.



図－4 埋戻し土と地盤境界面での強い反射

表－3 深部探索
レーダの仕様

中心周波数 [MHz]	80
送受信アンテナ数	2
アンテナ寸法 [cm]	140×70
探索幅 [cm]	96
質量 [kg]	23



下水道管の反射像
図－5 低周波型
レーダで検知された
深部の埋設管