

解説

地中障害物の探査方法 電磁誘導法と地中探査レーダの違い

パッション・アダム

高千穂産業(株)
貿易部取締役貿易部長

1 はじめに

日本およびアジア各地域で急速に進む都市化に伴い、水道管、電力ケーブル、通信回線などの地下インフラがますます混雑してきています。道路掘削の際に埋設された光ファイバや水道管を損傷すると、様々な都市サービスの停止が発生し、また施工業者には高額な罰金および損害賠償が発生します。また、ガス管や電力ケーブルに誤って接触すると機器の損傷、最悪の場合には作業員の死傷事故につながる恐れもあります。こうした理由から重要な地下インフラを損傷から守ることは道路を掘削する施工業者にとって非常に重要な要素となっています。

さらに、近年では塩化ビニル製の水道管、ガラス製の光ファイバ回線、ポリエチレン製のガス管など、従来の探査技術では検出し難い非金属性の素材の使用が増えています。こういった様々な障害物を正確に検出するには多様な手法を併用することが必要不可欠です。

現在、主に使用される技術は地中探査レーダ(Ground Penetrating Radar：以下、GPR)と電磁誘導法(Electromagnetic Induction：以下、EM)の二手法があり、これらの技術の目的は共通していますが、それぞれに長所と短所があります。本稿では、両技術の基本原理解説し、それぞれの利点と具体的な使用事例を紹介します。

2 GPR(地中探査レーダ)

2.1 原理解説

GPRは超高周波(通常100MHz～2GHz)のパルス波を地中に送信します。この信号の伝搬速度は通過する媒質の電気的特性(比誘電率)により変化します。この比誘電率とは物質ごとに異なり、どれだけ電気を蓄え易いかという値です。たとえば、信号は水中よりも氷中を速く透過します。周囲と大きく異なる材質の対象物に当たると、跳ね返ってくる信号の強度が変化し、画面に表示される波形にこの変化が反映されます。レーダを移動させながら複数の反射波を比較することで、波形に放物線のパターンが現れます(図-1)。地域によって土壌の電気特性が異なりますが、平均値を利用すれば埋設物の深さや大きさの推定も可能です。

2.2 GPRの長所と短所

この技術の長所は塩化ビニル管、高密度ポリエチレン(HDPE)、ヒューム管など、素材問わずに検出が可能です。加えて、木の根や空洞など、ケーブルや管路以外の障害物の検出も可能です。一方で、いくつかの短所もあります。周囲の土壌と比誘電率が近いもの、たとえば粘土含有の多い土壌に陶管が埋まっている場合、レーダではほとんど検出できません。また、雨、地下水の位置、粘土や塩分の含有度などの環境要因によって性能が大きく左右されます。測定日では晴天で水道管が

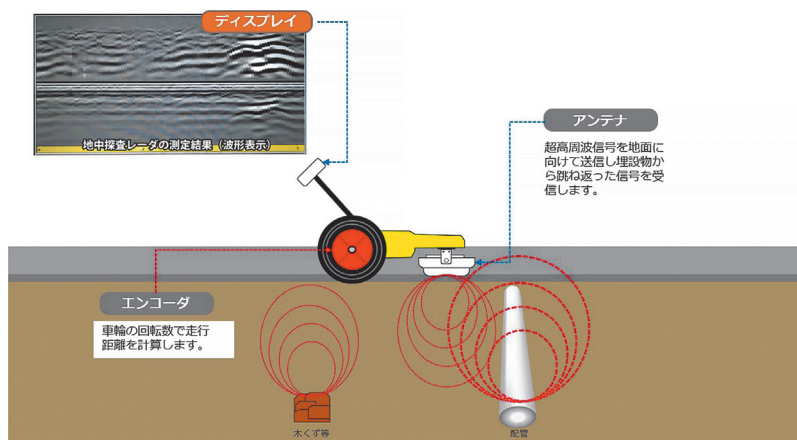


図-1 GPR（地中探査レーダ）の概要

検出されたのに対し、降雨後に測定したら検出不能になってしまったケースもあります。

さらにGPRには測定可能範囲には制限があります。眼鏡には近視用と遠視用のレンズがあると同じように、GPRのアンテナも目的に応じて周波数が異なります。原理的には、100MHz以下の低周波は約5mまで深く到達しますが分解能が低いため、小さな探査対象物を検出できません。逆に、1GHz以上の高周波は小さな対象物を検出できますが、測定可能範囲は50cm未満になります。多くのレーダ探査機は、バランスを取るために200～400MHzの中間帯域を使用しており、これにより直径10mm程度の対象物を検出でき、深度範囲はおよそ2mとなります。しかし、周波数問わず、土壌が水で飽和している場合、信号は急激に減衰し、探査測定範囲が大幅に縮小されます。

2.3 GPRの導入事例

2023年9月～2024年2月の間、宮城県にてGPRを用いた地下障害物の検出試験を実施しました。通信業界において電柱立替工事の際、オーガ掘削前に1.5mの深さまで手掘りで埋設物の有無を確認することが義務付けられていますが、この試験では、GPRが試掘の代替手段として有効かどうかを検証しました。

GPRで49箇所の探査を行い、障害物が無い場合は手掘りせずオーガ掘削を実施し電柱を設置しました。GPR探査による障害物がある場合は従来どおりに手掘りを行いました。

結果は以下のとおりです。

- ・ GPR探査で障害物なしと判定→実際には障害物なし【33箇所】（33箇所中29箇所はオーガ掘削、4箇所は手掘り掘削）
- ・ GPR探査で障害物ありと判定→実際には障害物なし【12箇所】（試掘の結果、丸石や樹木の根等が出現）
- ・ GPR探査で障害物ありと判定→実際には障害物あり【4箇所】
- ・ GPR探査で障害物なしと判定→実際には障害物あり【0箇所】（結果的に49箇所中0件）

手掘り作業を回避できたのが29箇所あり、従来の試掘方法とGPRによる作業時間の比較では、GPRを使うことで1日の作業を半日以内で完了できることが確認されました。上記の判定結果により、事故防止のための手段としてGPRは実用的であると判断できました（写真-1、2）。



写真-1 電柱立替工事前のGPR探査



写真-2 GPR探査と試掘の所要時間の比較の様子

3 EM(電磁誘導法)

3.1 原理解説

電磁誘導法とは、送信機器から探査対象のケーブルや管路に電流を流すことで、対象物から電磁界を発生させ、受信器でこの電磁界を検出する技術です(図-2)。これにより、特定のケーブルや管路の位置と深度を高精度で測定できます。探査対象物に直接接続できない場合や位置が不明な場合でも、送信器に搭載している発信コイルから強力な電磁波を地中に送信することで地下のパイプやケーブルに誘導電流を発生させることができます。この誘導電流を受信器にて検出することで、位置と深さを特定できます。

3.2 EMの長所と短所

EMの長所はGPRに比べ環境や土質を問わず、探索対象物を正確に測定することができます。逆にEMの

最大の短所は、電気を通さない素材(プラスチックやコンクリート)には使用できず、そして空洞などの障害物も検出できない点です。とはいえ、非金属製の物でも様々な方法を用いることでEMロケータによって検出することが可能です。例えば、ポリエチレン製のガス管には「ロケーティングワイヤ」と呼ばれる細い線が取り付けられており、これはEMロケータで位置を特定できるように設計されています。同様に、光ファイバには「テンションメンバ」と呼ばれる金属製の棒が含まれており、これもEMロケータで検出することができます。さらに、プラスチック製の配管に小型の送信プローブや導電性のある通線機を挿入し、マンホールから送信器に接続することで位置を測定することが可能です。これらの方法を使用することで、ほとんどの埋設物を高精度で位置と深さを測定できます。簡単にいえば、EMロケータは高精度で特定のパイプやケーブルの位置測定する用途に適しており、GPRは素材問わず、あらゆる地中物の存在確認には適していますが、測定結果を解読するには専門的な知識が必要となります。

3.3 EMの導入事例

都市部では地下配管の施工や補修を行う際にはスペースが限られているため、掘削範囲を最小限に抑える必要があります。2023年末頃、川崎市内の交通量の多い場所での地下埋設管路補修工事に伴う、道路閉塞回避するための方策についての問い合わせがありました。そのため、管路内に導電性のある通線機を挿入し

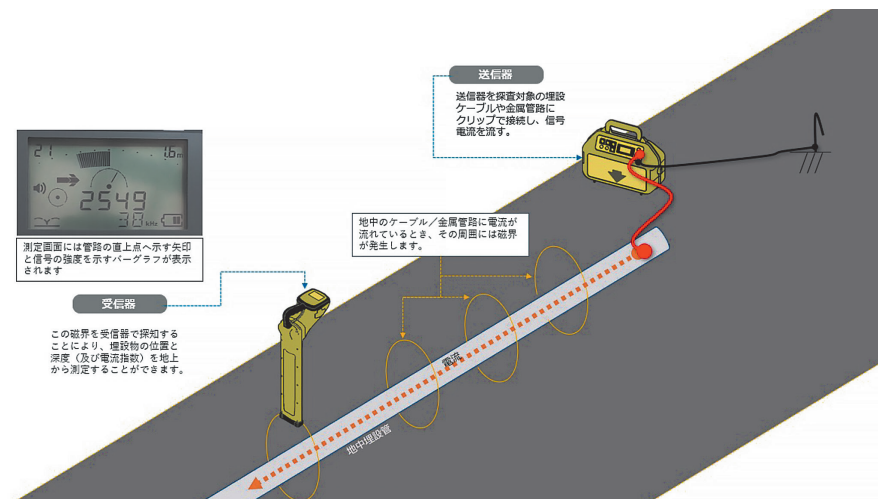


図-2 EM(電磁誘導法)の概要



写真-3 EMによる管路の追跡調査の様子

地上から管路の経路を追跡しました（写真-3）。しかし、川崎のような大都市では、ガス管、水道管、電力ケーブルなどが輻輳しながら埋設されています。この場合レーダではどの埋設物を検知しているのかを正確に特定することが難しくなるため、EMロケータが必要となります。ただし、EMロケータを使用しても配管同士があまりにも近い場合には、誤って隣接する管やケーブルに信号が誘導されてしまう可能性があります。

この問題を解決するために、電流方向測定（Current Direction：以下CD法）と呼ばれる技術を使用しました（図-3）。これは、各線における電流が流れる方向を測定する手法です。理論上では探査対象となる配管では常に送信器から遠ざかる方向に電流が流れますが、他の誘導された配管やケーブルでは電流がアースに戻ろうとするため、逆方向に流れます。この手法を用いることで対象となる正しい配管を特定し、不要な掘削を避けることができ、道路の閉鎖を防ぐとともに時間とコストの節約にもつながりました。

4 おわりに

一見すると、GPRとEM技術は同じ目的を果たしているように見えますが、実際にはそれぞれの原理や使用ケースは全く異なります。繰り返しになりますが、EMロケータは特定のインフラ設備の位置と深度を高精度に測定するのに適しており、GPRはEMでは検出できない非金属

性も含めて幅広い地中物の検出に適しています。

ただし、それぞれに欠点もあり、GPRは操作に専門知識を要し、環境要因の影響を大きく受けます。一方、EMは比較的簡単に使えますが、空洞や水漏れといったリスクには対応できません。

「どちらが優れているか」と尋ねられることが多いですが、答えは「両方を併用するのが最善」です。これは病院がMRIとCTのどちらを導入すべきかという問いと同様に両方が必要です。EMのみ使用すると非金属性の配管を見逃すリスクが生じます。一方GPRのみですと土質や環境により検出できない場合があります。片方しか装備しないと事故を招く恐れがあり、それぞれの役割に応じて活用することが推奨されます。両方併用するとコストが一見高く見えるかもしれませんが、事故による罰金や機器損傷の損失は、それをはるかに上回るものが多いです。



図-3 CD法（電流方向測定）の概要

○お問い合わせ先

高千穂産業(株) 営業部・貿易部

〒462-0041 愛知県名古屋市中区浪打町1-44

Tel : 0587-22-5303 Fax : 0587-22-5877

E-mail info@takachiho-sc.co.jp

https://www.takachiho-sc.co.jp