

解

説

難敵異物

推進工法に適用可能な掘進機の前方障害物探査技術とは

す どう よしかず
須藤 佳一

アイエスエンジニアリング(株)
取締役技術本部長



1 はじめに

安全かつ効率的に推進工事を施工するうえで、埋設物や障害物の情報を事前に把握しておくことは非常に重要である。このような障害物を探査する技術として、深さ2～3m程度までの浅い領域では電磁誘導法や電磁波法（パルスレーダ）などを用いた地上からの探査が比較的有効に利用できるが、これらはより深い領域や探査対象物の大きさによっては適用が困難となる。こうした観点から、掘進機前方に存在する埋設物・障害物を、有効な距離から地中において掘進機自らが探知し、事前の回避などに結び付けることができる技術が求められている。

本文では、掘進機の前方障害物探査に適用できる可能性があるいくつかの技術について検討し、実用化を試みた例について述べる。

2 各種前方障害物探査技術

地上からの埋設物探査と異なり、前方探査では以下の点で制約を受ける。

- ①センサ設置場所に自由度が少ない
- ②センサのスキャンに自由度が少ない

③センサ部の大きさに制限を受ける

物理探査は、対象物に対する励起の有無によらず、探査対象物が発するエネルギーを検知・受信することで行うことがほとんどである。探査対象物へのエネルギーの励起とそのエネルギーの検知を効率よく行うためには、探査対象物と正対する面を利用してより多くエネルギーを検知するのが有効であるが、掘進機の場合、これを満足するのは掘進機の正面部分のみであり、その面積は極めて限定される。

次にスキャンの自由度であるが、基本的には掘進機自体と自らが推進してきたトンネル部分のみである。したがって、一個のセンサに対しては、先端の回転によるスキャンかトンネル部分（あるいは推進しながらの）線的なスキャンのみしか期待できない。

最後にセンサの大きさについて考える。センシングの効率を考えれば推進機械先端部近傍に搭載することが望ましい。しかしこの部分に到達するまでには各種機械が多く実装された部位を通り抜けねばならないことや掘進機の口径が限定されていることなどから、センサの大きさがかなり制限される。

上記3点以外でも、センシングの手

法によっては掘進機に搭載された各種の機械装置が発生する様々なノイズなどにも制約を受けることも容易に考えられる。

以上のような制約条件を踏まえ、前方探査技術として採用可能な技術として電磁誘導法、電磁波法（GPR）、振動解析法の3種類をピックアップした。探査技術の観点から、搭載時の能力は電磁波法が最も期待できるが、実際には推進機械の口径や工法などにより他の手法が有効な場合も考えられる。以下、エースモール工法で用いられる3種類の推進機械への適用を考慮し、各探査法の特性を活かした前方探査技術を開発したものについて述べる。

3 電磁誘導法による前方障害物探査

電磁誘導法は1次コイルにより交流磁界を発生させ、その中の磁性体が発生する誘導電流による磁界を、2次コイルにより検知する手法である。原理上、探知対象は磁性体に限定され、主に金属探知機として広く利用されている。センサは2つのコイルで形成され、コンパクトに作りやすい。このような点から、搭載を検討する掘進機の中で

は最も小口径である $\phi 100\text{mm}$ の掘進機（エースモールPC10）先端に実装することを考慮して検討を行った。

レンツの法則により、誘導による電流は誘導電流を生じさせる原因を妨げる方向に生じる。すなわち1次コイルが形成する磁界を妨げる方向に誘導電流による2次磁界が発生する。この誘導磁界を2次コイルで検出して磁性体の有無を探查する。

探查に当たっては磁性体に発生する渦電流を増大させることで感度の向上が図れるが、磁界の強さは距離の2乗に反比例する。また、高周波化は誘導電流を増加させる方向に作用するが、一方でインダクタンスの低下を招くため限界がある。このような点を考慮してコイルを設計し、図-1に示すような構造の電磁誘導による前方障害物（磁性体）探查装置を試作した。

探查性能としては、金属管路などに対し前方約50cmを実現したが、今回検討した中で最小口径の掘削機においても検知後にそのまま進路を修正し回避することは難しい状況であった。また、磁場がある程度広がるため、推進線上から離れた磁性体でも感知することが多い上に、今回の掘進機先端は回転などのスキャンができない構造であったため、障害物の方向も定められなかった。さらに掘進機前面に、原理上金属を用いることができずFRP樹脂を用いるため、磨滅などの損傷が激しく、耐久性に問題があった。

4 電磁波法による前方障害物探查³⁾

電磁波パルスを推進機械前方に入射し、主に比誘電率の違いによって反射してくるパルスを受信アンテナでとらえることによって前方の障害物を探知する。数m前方までの探查を考えたとき、最も波長の短い波を用いること

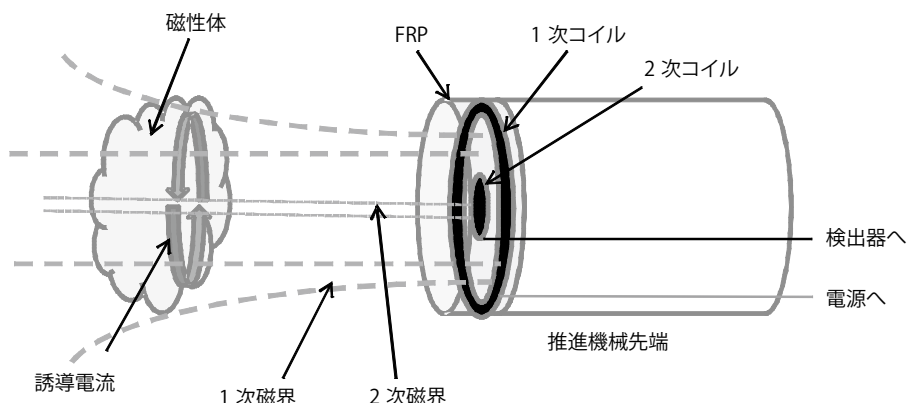


図-1 電磁誘導法による前方障害物探知装置の模式図

ができるため高分解能が期待できるが、その反面、信号レベルが低いという短所も持つ。障害物の材質を問わず分解能が高いなど、比較的近距离の探查能力に優れているため、この手法を用いてシールドマシン等の前方探查を実施している例^{1) 2)}もある。

電磁波法を適用するには、電磁波の到達距離を確保するために、分解能との兼ね合いで採用できる周波数の領域が限定される。周波数により搭載する電磁波法のアンテナの寸法はほぼ一義的に定まるので、搭載できる推進機械の口径はある程度の大きさが必要となる。また、電磁波法ではアンテナより前方に掘進機の部品（たとえばカッタビットなど）が存在すると探查が難しくなる。このため、圧入系の $\phi 300\text{mm}$ の掘進機（エースモールPL30系）を選択し、その前面への搭載を検討した。

地上からの電磁波法による計測では、地表面上を2次元的に利用してデータを収集し、電磁波法の悪い指向性や低い感度を補って探查画像を得る。しかし、2章でも述べたように推進機械の前方障害物探查ではセンサスキャンの自由度が少なく、この点を考慮する必要がある。対策としては先端の回転や首振りによるスキャンなどが



写真-1 電磁波法アンテナ取り付け状況

考えられるが、小口径管推進機械の場合、新たなメカニズムを搭載できる余地が少なく、無理な搭載は推進機械としてトラブルを招きかねない。

そこで、写真-1に示すようなアンテナ構造と推進軸方向のデータスキャンを採用し実験を行った。アンテナは中央部が送信用のアンテナで、角度をつけた両端部の素子が受信用のアンテナである。また、送信する電磁波パルスは中心周波数1GHzである。このアンテナを利用して受信したデータの一例を図-2に示す。横軸が推進軸方向の距離を示し、縦軸は推進機械前方の距離をあらわす。図中の線形の信号が障害物からの信号である。

障害物に衝突するか否かは次のようにして判断する。図-3は掘進機先端付近と障害物を模式的に示したもので