

解説

推進測量システム

電磁波とCCDカメラの活用



はまだ じゅうろう
濱田 十郎

ヤスダエンジニアリング(株)
技術開発部長

1 はじめに

電磁波およびCCDカメラを活用した最近の測量技術とその理論を誌面の許す限り説明したいと思います。

都市圏の地下は、高度成長と共にインフラ整備された、上下水道のほか電力、通信、ガスおよび地下交通システム等の地下構造物が輻輳して埋設され、これらを構築するために設けられた仮設のH型鋼や鋼矢板が多数残置されております。推進工法やシールド工法での施工にこれらが大きな障害と

なっております。この問題を解決するために、電磁波による前方探査装置（ミリングモール工法に搭載）による金属障害物の探査を行い、残置されたH型鋼や鋼矢板を掘進機のカッターで切削除去する工法の開発を行いました。

発進到達の立坑が小型化されるなかで、到達精度を確実なものにするという要望からGPS電磁波誘導測量装置（ジャット工法、ミリングモール工法に搭載）の考案いたしました。

CCDカメラセンサ（ジャット工法に搭載）は小口径管推進で曲線、長距離の

しかも坑内での測量というニーズに答えるためのものでした。

以上3種類の計測方法を紹介いたします。

2 前方障害物探査の方法（ミリングモール工法搭載）

2.1 探査原理

電磁探査にとって重要な原理は電磁誘導です。電磁誘導とは変化する磁場の中に導電体（金属物）を置けば、その物体に誘導起電力が発生すると云うものです。変化する磁場とは、磁石を動かすこと、あるいは電磁石（コイル）に交流を流すことで発生させることができます。導電体に発生した誘導起電力は誘導電流を誘発します。また、電流の流れはかならず磁場を発生するため、誘導電流は、さらなる二次的な磁場を発生します（図-1）。

ここで電磁石（コイル）から発した磁場を一次磁場、導電体から誘発した磁場を二次磁場と呼びます。すなわち、もし、掘進機前方に障害物がなければ、この二次磁場の発生がないわけであり、逆に障害物、特に金属などの障害物であれば二次磁場が発生することになります。

時間変化する磁場（一次磁場（同相））→大地に誘導起電力（離相）が発生→大地に誘導電流が流れる→誘導電流により磁場（二次磁場（離相））が発生

* 誘導電流や二次磁場（二次場（離相））は地下の比抵抗構造の情報を含む。

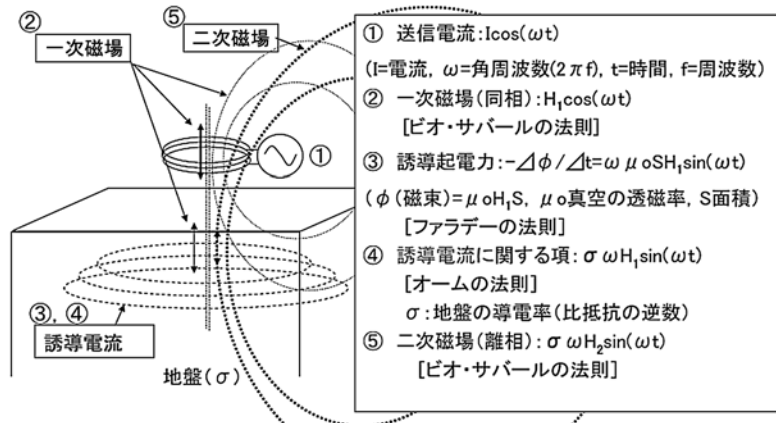


図-1 地中の比抵抗情報の原理

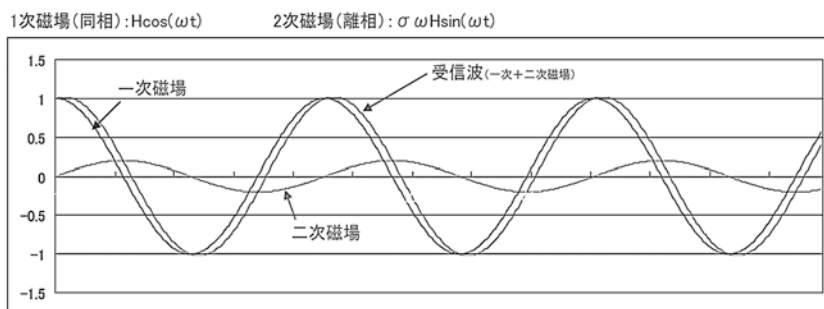


図-2 受信波と一次磁場、二次磁場

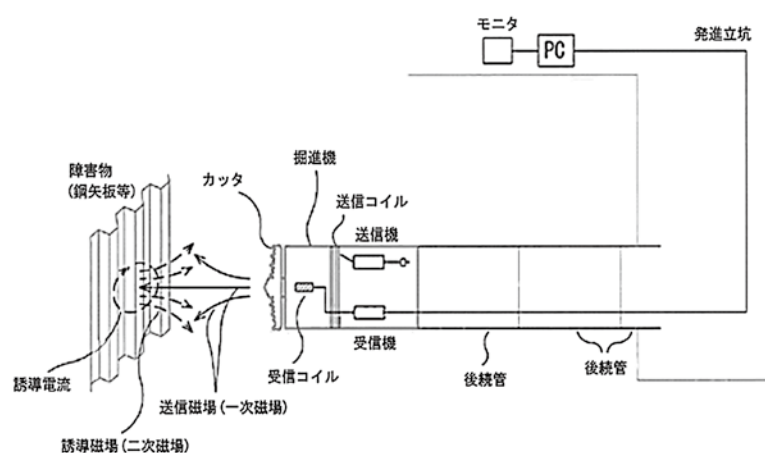
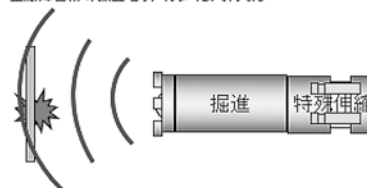
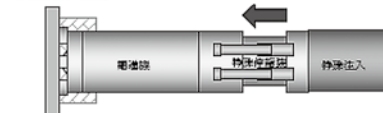


図-3 前方探査システム概要図

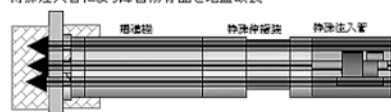
① 金属障害物の探査をリアルタイムで行なう



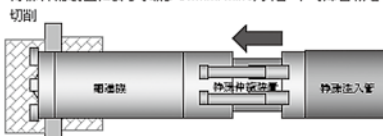
② 特殊伸縮装置によって低速度(最少0.1mm/min)のスピードで障害物に接近



③ 特殊注入管により障害物背面を地盤改良



④ 特殊伸縮装置によって最少0.1mm/minのスピードで障害物を切削



⑤ 障害物通過後、切削断面の抵抗を抑制するため固結滑材を周囲に注入

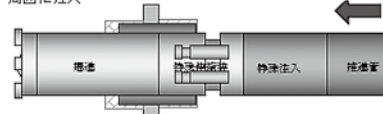


図-4 ミリングモール工法施工過程

2.2 障害物により発生した二次磁場の分離

障害物の存在を見極めるためには、二次磁場の存在を分析する必要があります。ただし、実際の現場では、一次磁場と二次磁場は混在した状態で存在し、センサにて受信されます(図-2)。さらに、障害物の存在を示す二次磁場は一次磁場に比較して著しく小さいため微弱な二次磁場の分析には特殊な分析技術が必要となります。開発した装置は、それを可能とするため、高分解能を備えた測定装置としています。例えば、受信機には24bitのアナログデジタル変換機(=電圧を224個の数値化に置き換えコンピュータに取り込む)を用いており、一次磁場と二次磁場との間に大きな強度差があっても二次磁場を分離できるようにしています。

次に、受信した波形から一次磁場が

ら二次磁場を分離する方法としては、一次磁場と二次磁場の性質の違いを利用しています。その性質の違いとは、図-1の③の誘導起電力にあります。ここで、例えば、一次磁場を $\cos(\omega t)$ とすると誘導起電力はその時間微分 $(-\Delta\phi/\Delta t)$ であり $\sin(\omega t)$ の関数となります。よって、一次磁場と二次磁場の分離には、受信波形から $\cos$ 成分と $\sin$ 成分を分離すれば良いわけです。その分離には、波形処理によく用いられるフーリエ変換を用います。

フーリエ変換では、 $\sin$ の同一の周波数の波を掛け、足し合わせ、平均することで $\sin$ の振幅強度、すなわち障害物から発生した二次磁場の強度を求めることができます。また、 $\cos$ に同一の処理を行えば一次磁場の強度を求めることもできます。開発装置は、これらを用いて波形を分析し、前方の障害物を解

析し探知します。

2.3 障害物探査の実際

掘進機内に装備した送信機と送信用の電磁石(以下、コイル)(掘進機本体をコイルの鉄芯にしている)によって、掘進機前方に交流磁場を送信します(図-3)、その磁場が鋼矢板などの金属障害物に当たって、誘導電流を起こします、その誘導電流から、二次磁場が発生し、その二次磁場を掘進機中に埋め込んである受信コイルが感知します。受信機によって受信された磁場を増幅、AD変換し、コンピュータで計算処理してモニタに表示する仕組みです。

2.4 ミリングモール工法施工過程

障害物探査、地盤改良、障害物切削撤去機能を装備したミリングモール工法の施工過程は(図-4)のようになります。