

解説

電磁波利用による、掘進機機内から障害物の検知と掘進機の誘導の方法

はまだ じゅうろう
濱田 十郎

ミリングモール協会
技術委員

1 はじめに

大都市部の地下には、上下水道、電力、通信、ガスおよび地下交通システム等のインフラが輻輳して埋設されており、これらを構築した時の仮設H型鋼や鋼矢板が多数残置されています。推進工法やシールド工法で地下インフラの再構築をする際、これらが障害となる場合が多くなっています。

この問題を解決するためにミリングモール工法が開発されました。

本工法は①探査技術：推進掘削する前方の金属障害物を推進しながらの探査②改良技術：障害物の前面

あるいは背面を掘進機内部から地盤改良③切削技術：金属障害物を粉々に切削④誘導技術：掘進機を立坑所定位置へ誘導の4つの新技術を搭載した掘進機により、今日まで多くの金属障害物を切除去去し、実績を挙げています。

これら開発技術のうち、本稿では主に、①の掘進機内から電磁波による前方探査装置による金属障害物の有無や位置の探査技術、④の電磁波を利用して、掘進機が確実に到達立坑の決められた位置に到達するGPS電磁波誘導測量について、その原理を含むシステムについての技術を紹介しします。

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。

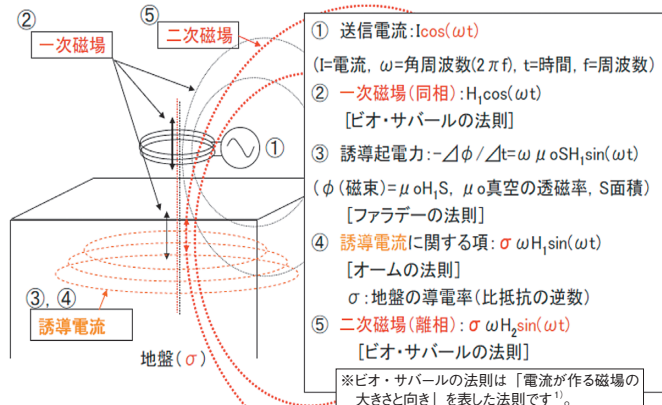


図-1 地中の比抵抗情報の原理

2 前方障害物探査の方法

2.1 探査原理

ミリングモール工法の探査システムの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いうものです。変化する磁場とは、磁石を動かすこと、あるいはコイルに交流電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、電流の流れは必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)。

ここでコイルから発生した磁場を一次磁場（図-2）、導電体から誘発され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く、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（図-3）。コイルの芯に鉄などの磁性体を入れると磁場の強度が大きくなります。このため電磁石には磁心に鉄がよく用いられています。

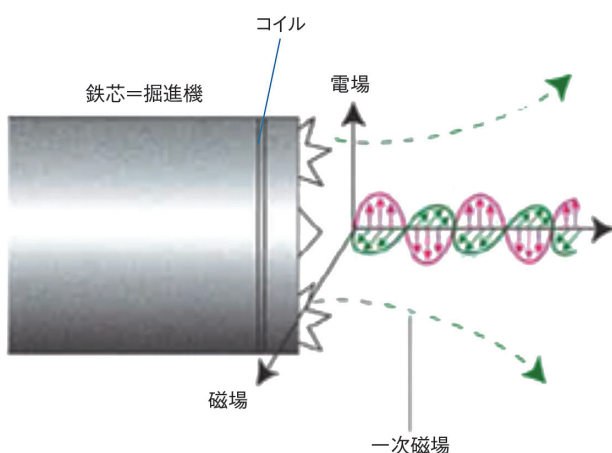


図-2 電磁波送信 一次磁場

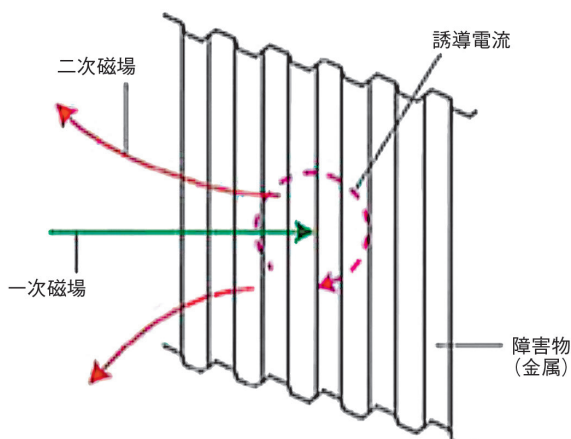


図-3 誘導電流と二次磁場

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 2^{24} 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か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。フーリエ変換は関数を正弦波・余弦波に分解する変換です。今回の場合、受信波を一次磁場（余弦波）、二次磁場（正弦波）に分解します。

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。

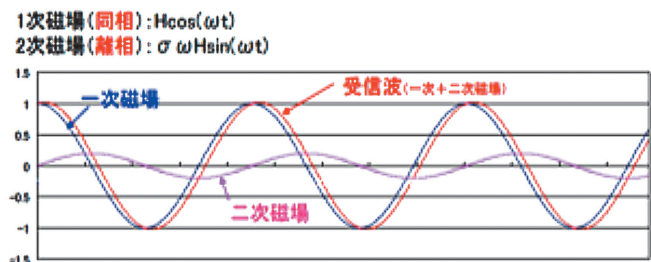


図-4 受信波と一次磁場

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、受信コイルにて受信されます（図-4）。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

2.3 障害物探査の実際

(1) システムの概要

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-5）。