

アレイ式CSMT法システムについて（その１）

田 中 啓 二

１．はじめに

アレイ式CSMT法とは、物理探査法のうち電磁誘導現象を利用した電磁探査法の一つである。

電磁探査法には磁場のみを測定する方法（Electro-Magnetic法）と、電場と磁場を測定する方法（Magnetotelluric:MT法）があり、本手法は後者に含まれる。MT法は地磁気・地電流法と呼ばれ、地球上で発生する磁気嵐・雷等の自然信号を利用し、磁場及び電場を測定することにより地下構造を探索する方法であり、石油・地熱等の広域かつ深部（地下数km以深）の探索に用いられている。近年、MT法の短所である自然信号の不安定性をなくす方法として、人工的に大地に大電流を流し安定性のある信号を得る方法（Controlled Source MT法）が考案され、探索深度が地表下1kmまでを対象とした金属鉱床・地熱・温泉等の探索に多く用いられている。さらに、詳細な地下構造を可視化し、かつ探索深度を数kmに増加させる技術として、新エネルギー・産業技術総合開発機構によりアレイ式CSMT法が開発された。本手法は金属鉱床・地熱・温泉調査のみならず、トンネル調査・岩盤調査等の土木分野に適用されている。なお、本手法の開発は「サンシャイン計画」の一環として平成2年度～平成5年度の4年間実施されたもので、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託により大手開発株式会社が実施している。

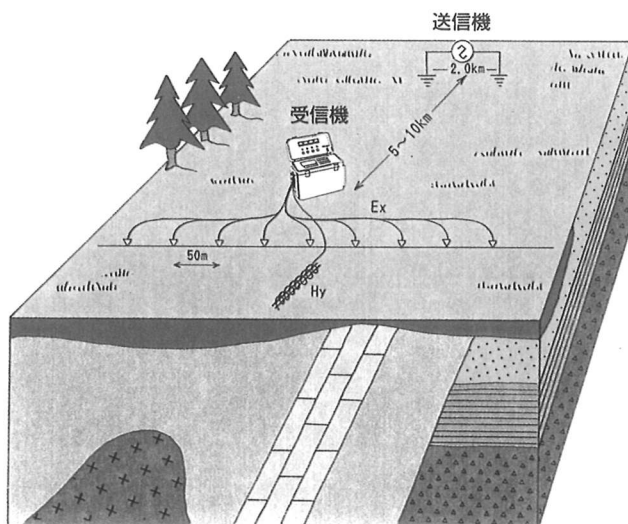
以下、本稿にはアレイ式CSMT法の特徴・探索システムの概要及び探索実施例について記述する。

２．アレイ式CSMT法の特徴

アレイ式CSMT法は、従来から一般的に行われている1点毎のCSMT法測点を線上に連続的に配列（アレイ）、信号を受信するものである（第1図）。

従来のCSMT法及びMT法は、離散点で測定することが多いため、一般に測点密度が粗く、小規模な比抵抗の変化を補足するにはやや難点があった。それに対してアレイ式CSMT法では、電場を重複させ細かく測定することにより、小規模な比抵抗構造の探索精

度が飛躍的に向上した。さらに、今回開発された探査システムではMTデータもアレイ式に効率的に取得できるため、CSMT法及びMT法両データの2次元ジョイント・インバージョン解析を行うことにより、CSAMT法の探査限界を越えた深度2,000m以上の探査が可能となった。



第1図 アレイ式CSMT法調査概念図

3. 探査システムの概要

開発された探査システムは、アレイ式CSMT法及びアレイ式MT法測定機能を有し、データを取得する探査装置とそのデータを処理・解析するソフトウェアで構成されている。

3. 1 探査装置

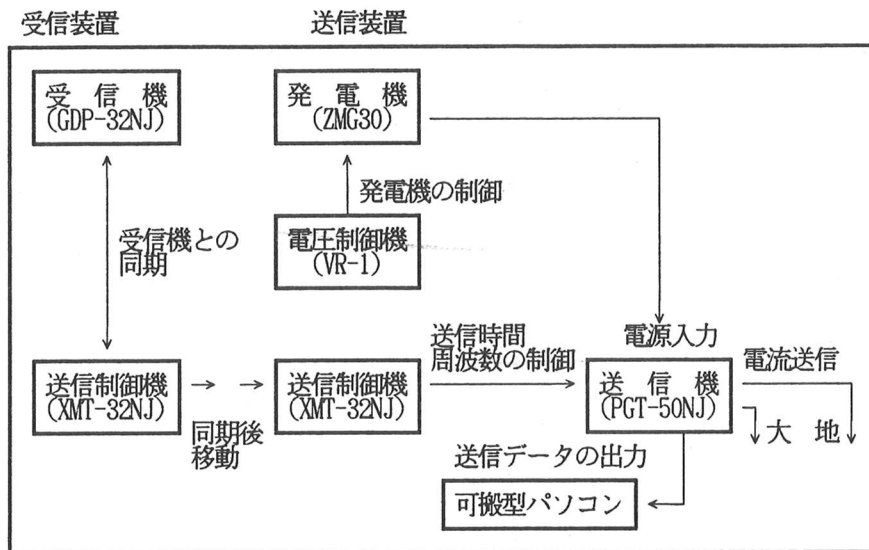
探査装置は、アレイ式CSMT法では送信装置と受信装置から成り（第2図）、アレイ式MT法では受信装置のみである。

受信機は、可搬型の小型軽量機で、多測点のデータが同時に取得でき、CSMT法の測定並びにMT法の測定が可能である。送信機も小型軽量がなされ、しかも全自動で最大1200V、50Aの出力ができる。

アレイ式CSMT法では、送・受信機は同一の時間スケジュールにより、送・受信の操作が自動的に行われる。受信機では測定の開始時刻、周波数の切り換え時刻、反復回数等を、送信機では、周波数毎の最適な電圧・電流値を設定し、安定した信号を送信すること

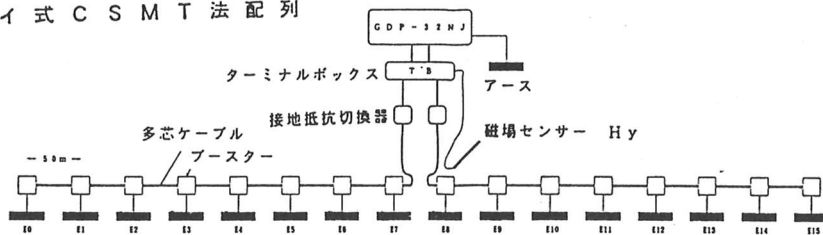
ができる。

その他の主な機器として、ZONGE社の発電機並びに磁場センサーを使用する。

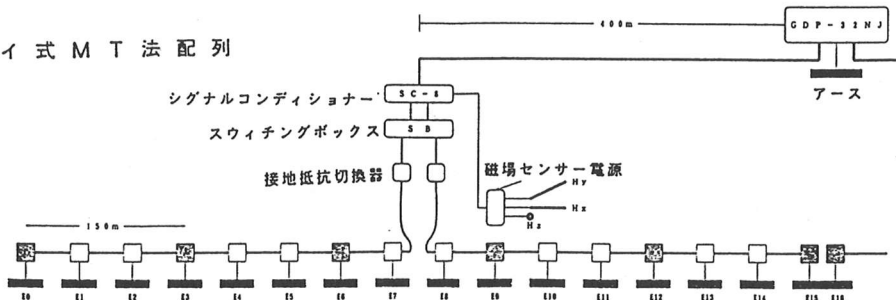


第2図 アレイ式CSMT法測定システムの基本構成

アレイ式CSMT法配列



アレイ式MT法配列



第3図 アレイ式CSMT/MT法受信システム図

アレイ式MT法では、受信した磁場・電場をフィルター処理し増幅するシグナルコンディショナー並びに磁場センサーを使用する（第3図）。

測定能率は、調査地域の地形条件にもよるがおよそ3日で1アレイ（CSMT30点、MT10点）の測定が可能である。

3.1.1 受信機の特徴

本機は、CSMT法並びにMT法の測定機能を持ち、最大16チャンネルについて、直流～8kHzまでの広い周波数帯に対応した測定が可能である。また、全てのチャンネルに対して最大2,048ポイント／周期のサンプル・レートによるA/D変換が可能であり、特に位相を取り扱う測定に適している。

3.1.2 送信機の特徴

本機は、送信制御器XMT-32NJと同期して矩形波、休止波を送信でき、組み込まれた操作プログラムにより自動送信ができる。出力電流は最大50Aで、周波数毎に予め設定された電流値（±0.2%以内の安定度）を送信することができる。

入力電源には、ZONGE社の発電機ZMGシリーズ（400Hz、3相、115V）を用いる。

3.1.3 測定方法

アレイ式CSMT法の測定では1アレイにつき基本的に50m間隔に16個の電位電極を埋設し、その傍に電場信号電送中のノイズの混入を少なくするブースターをそれぞれ設置する。また、アレイの中央部に測線と直交方向に磁場コイル（インダクションコイル）を設置する。

各電位電極で受信した電場成分は、多芯ケーブルにより接地抵抗切換器に入力され、また、磁場成分（ H_y ）は磁場コイルで受信され、ターミナルボックスを通して受信機に入力される。

アレイ式MT法の測定では、CSMTの電場間隔の3倍に当たる150m毎の電場信号（ $E_{x1} \sim E_{x5}$ ）及び測線と直交方向の磁場成分（ H_y ）はシグナルコンディショナーに入力される。反対側のアレイからの信号も同様にセットされ、両側のアレイからの信号は、受信ケーブルにより受信機まで電送される。

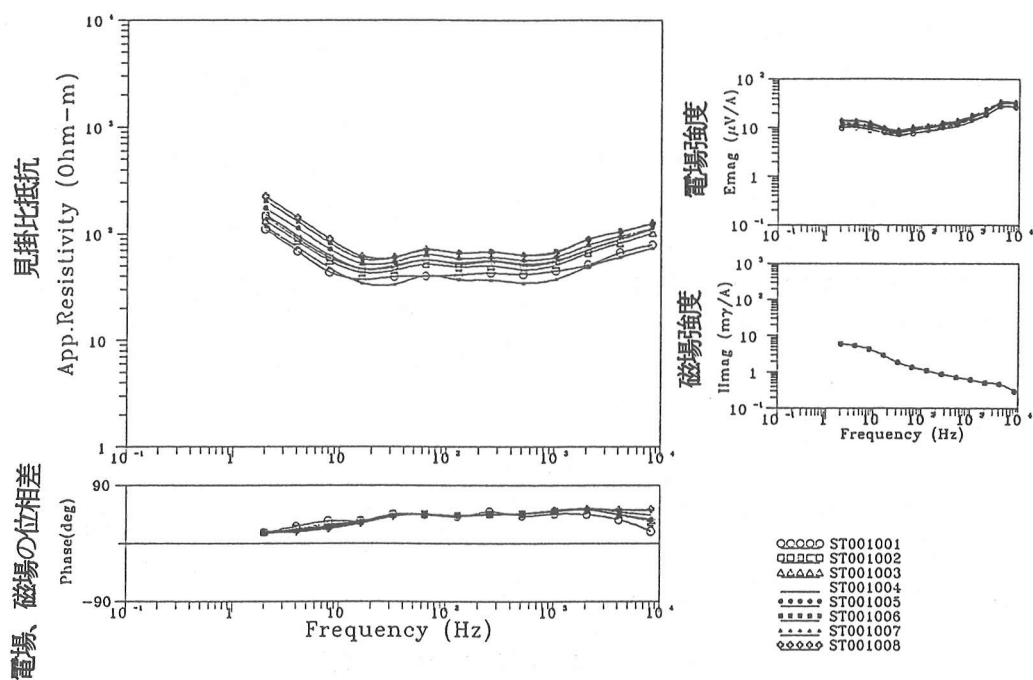
3. 2 データ処理・解析

データ処理・解析は、測定データの編集・処理ソフトウェアと、2次元インバージョン解析を行うソフトウェアとに分けられ、これら処理ソフトにより、データ処理から処理結果の表示・出力等をメニュー形式で効率的に行うことができ、さらにデータの品質管理が容易にできる（第4図、第5図）。

2次元解析では、地形の起伏、検層データ等を考慮して解析することができる。

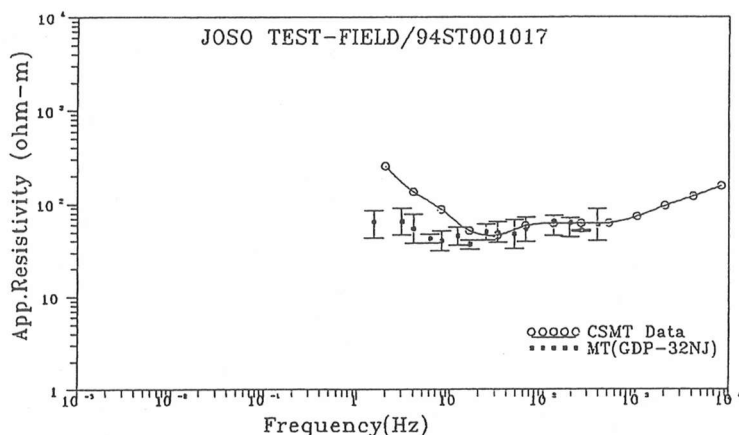
3. 実 施 例

茨城県には常総テストフィールドと呼ばれる物理探査の試験地域があり、現在まで各種の物理探査やボーリング調査が工業技術院地質調査所を中心に実施されている。アレイ式CSMT/MT法調査は、過去に地質調査所がCSAMT法調査を実施した箇所で行った。CSMT法の見掛け抵抗曲線を第4図に示す。本図は1アレイの中の8測点を同時に表示したもので、図の左上が見掛け抵抗、左下が電場及び磁場の位相差、右上が電場強度、右下が磁場強度を示しており、横軸を周波数にとって描かれている。

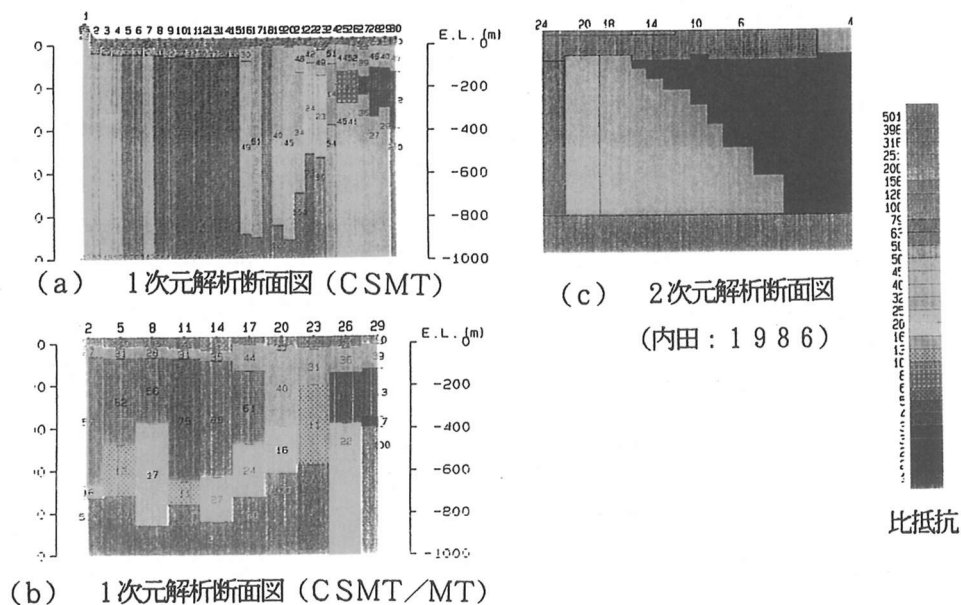


第4図 見掛け抵抗一周波数曲線

第5図はCSMTデータとMTデータの見掛け比抵抗一周波数曲線である。MTデータはエラーバー付きで表示している。CSMTデータは16Hz付近を最低値として左上がりの曲線を描いており、ニアフィールド領域にあたるため、CSMTデータをMTデータに置き換えて新たな見掛け比抵抗一周波数曲線を作成し、解析に用いている。



第5図 CSMT/MT法見掛け比抵抗一周波数曲線



第6図 1次元/2次元解析断面図

第6図は、CSAMT法の2次元解析断面図（内田1986）とアレイ式CSMT/MT法1次元解析断面図を対比したものである。図の右上は2次元解析断面図で、測点18～14の中間付近に右下がりの比抵抗不連続線が存在し、不連続線の右側は $3\Omega\cdot m$ の低比抵抗層が分布すること、深度約800m以深に $100\Omega\cdot m$ の比抵抗層が広がっていることを示している。図の左上はアレイ式CSMT法のみでの1次元解析結果で、浅部の低比抵抗層は検出しているが、低周波数のデータがニアフィールド領域に入っているため、深部の高比抵抗層は一部しか認められない。図の左下は、CSMTデータとMTデータを合わせた1次元解析断面図で、深部の高比抵抗層を検出している。

このように高密度に測定を行うことにより、地形の起伏が緩い地域では1次元解析結果のみでもある程度地下構造を推定できることがわかる。

4. ま と め

アレイ式CSMT法探索システムは、現在新エネルギー・産業技術総合開発機構及び新エネルギー財団による地熱開発促進調査に用いられ、深度2,000m以上の深部地下構造調査に対する有効な探索手法として確立されつつある。本稿ではアレイ式CSMT法の探索システムを中心に述べたが、次回（その2）は地熱調査地域における探索例を中心にして本手法の有効性を述べる。

最後に資料を利用させていただいた新エネルギー・産業技術総合開発機構及び地質調査所の担当者各位に感謝いたします。

<参考文献>

服部 旭・田島俊雅・賀来 学・田中啓二・笹田政克・米田吉宏：アレイ式CSMT法の開発－研究開発の概要と機器の開発－、物理探査学会第88回学術講演会論文集

服部 旭・田島俊雅・賀来 学・田中啓二・笹田政克・米田吉宏：アレイ式CSMT法の開発－南茅部及び仙岩における探索例－、物理探査学会第88回学術講演会論文集

内田利弘・村上 裕・田中信一・小川康雄：常総北部地域におけるシュランベルジャ法とCSMT法の2次元解析、物理探査第39巻4号

（大手開発幀）