

氏 名	たか くら しん いち 高 倉 伸 一
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第 3787 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	高密度電気・電磁探査法による比抵抗構造の調査と解釈に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 芦 田 讓 教授 松 岡 俊 文 教授 大 津 宏 康

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高密度電気・電磁探査法の精度や分解能の向上を図り、高密度電気・電磁探査の資源・土木・防災・環境分野など種々な分野への実用化を目的に、Ⅰ) 手法の理論とシミュレーション結果による高密度測定の検討、Ⅱ) 比抵抗データの解釈技術に関する研究、Ⅲ) 高密度電気・電磁探査のケーススタディ、Ⅳ) 比抵抗モニタリングとシステム開発の結果をまとめたもので、14章からなっている。

第1章では、電気・電磁探査法の概要をまとめ、詳細な比抵抗構造を求める高密度電気・電磁探査法が種々な分野に適用できることを述べるとともに、調査目的に合った高密度測定の適用法や比抵抗構造の解釈法が確立していないという問題点を示し、研究目的を概観している。

第2章では、比抵抗法電気探査の理論や測定・解析法をまとめ、高密度測定で使用される各種電極配置について数値実験や野外実験によって評価を行った。そして、電極配置によって探査深度や解析精度・分解能が異なることを示し、実際の探査では調査の目的や調査地の状況によって最も効果的な電極配置を選択することが必要であり、想定される比抵抗構造に対して数値実験を実施することが有効であることを指摘した。また、電極間隔を変えたダイポール・ダイポール配置にウエナ配置を組み合わせると、ノイズや横方向にある構造によって生じる偽像の発生を抑え、比較的深部まで分解能や精度の高い比抵抗構造が得られることを示した。

第3章では、MT法電磁探査の理論や測定・解析法をまとめ、測点配置と探査能力・精度・分解能の関係を数値実験によって検討した。そして、測点配置を密にするほど高い分解能が期待でき、地表付近に不均質な構造がある場合には測点間隔が粗いと偽像が湧生しやすいことを示し、MT法の高密度測定は正確な比抵抗構造の詳細な解析に有効であることを確認した。また、偽像を抑えて解析精度を向上させるためには、測点を広い範囲に配置することが必要であり、測定モードの選び方が重要であることを示した。

第4章では、CSAMT法の信号源となる接地電線が作る電磁場強度の計算を行い、信号源からの距離と電場・磁場の強度の関係やニアフィールドについて検討した。そして、送信源から垂直方向になる領域の E_x （接地電線の方向の電場）と H_y （ E_x と直交する方向の磁場）がもっとも大きな信号強度を示すこと、送信－受信間の距離がスキンドープスの4～6倍以上にならないとファーフィールドにならないこと、ファーフィールドでは E_x と H_y の強度は距離の3乗に比例して減衰することを示した。また、一つの測線に沿って電場を連続的に観測するアレイ式CSAMT法が効率的な精密調査の方法であることを示した。

第5章では、アーチーの式などこれまでに提案されている岩石の比抵抗に関する実験式を検討し、岩石の比抵抗をアーチーの式で説明することには限界があり、過剰導電性を考慮した並列回路モデルで説明する方が現実的であることを示した。また、比抵抗値には多くの物性に関与することや、それらの物性は温度や圧力など岩石周辺の環境によって変わることから、ある物性の分布を比抵抗構造から推定するためには、その他の物性に関する先験的な情報が必要であり、既知情報や仮定し

た条件を考えながら、実験式の適用限界を考えることの必要性を指摘した。

第6章では、粘土鉱物を含む試料の比抵抗を測定するシステムを開発し、特性の異なる7種類の粘土鉱物を含む人工試料の比抵抗を測定した結果を示した。そして、粘土鉱物をもつ物理的・化学的・力学的特性と比抵抗値とを比較・検討し、試料の比抵抗値は含有される粘土鉱物の種類や量によって大きく変わること、粘土鉱物の過剰導電性は粘土鉱物の表面および層間に形成される電気二重層の大きさに深く関連すること、比抵抗値は陽イオン交換容量や全比表面積とも関連すること、膨潤度や液性限界および塑性指数の大きな粘土鉱物ほど大きな過剰導電性をもつこと、比抵抗と内部摩擦角との間に相関があることを明らかにした。

第7章では、基礎試錐「東頸城」および基礎試錐「仁賀保」の坑井データを用いて、新潟および秋田油田地域の石油貯留岩や根源岩となる新第三系岩石の比抵抗値を各種物性と比較した。当該地域の新第三系岩石の比抵抗は続成変質で生じた粘土鉱物に大きく左右され、スメクタイト帯では低く、イライト／スメクタイト混合層帯、イライト帯、緑泥石帯になるにつれて高くなることを確認した。そして、電気・電磁探査によって石油貯留層のキャップロックとなるスメクタイト帯の位置や、続成変質の進行に伴って生成される粘土鉱物帯の分布が推定可能であることを示し、さらに比抵抗とビトリナイト反射率との相関が高いことから、地下深部の石油熟成度の推定の可能性を指摘した。

第8章では、MT法の国内石油探査への実用化を目的として開発した技術を、フィールド実験によって実証した。その結果、ノイズレベルの高い油田地域でもファーマートリファレンス法を適用することで測定が可能となること、MT法の2次元解析で得られた比抵抗断面は坑井データや地震深査データとも整合的であり、第5～7章の成果に基づいて石油地質学的解釈ができること、アレイ式MT法は従来のMT法と比較すると、測定効率、データ処理効率、データの品質、深度1～2 kmまでの分解能において有利であることを確認した。

第9章では、青森県恐山噴気帯、鹿児島県大霧地熱地域、北海道無意根～豊羽地熱地域、熊本県阿蘇カルデラの四つの地熱系で実施した高密度電気・電磁探査のケーススタディを紹介し、それぞれの地域の比抵抗構造とその解釈結果を示した。深部の比抵抗構造を詳細に求める高密度電気・電磁探査法は深部熱水系や熱源の把握を可能とすることから、潜頭性鉱床や深部地熱の探査に適しており、鉱量や地熱資源量の評価も可能であることを指摘した。

第10章では、兵庫県淡路島北部地区と長野県茶臼山地すべり地で実施した高密度電気・電磁深査について示し、断層破碎帯や地すべり面を含む比抵抗構造を求め、地下構造中の不均質な部分や岩盤強度の弱い領域の推定に高密度電気・電磁探査法が有効であることを明らかにした。そして、探査深度、測定効率、解析分解能、探査コストなどが異なる高密度電気・電磁探査法を目的に応じていくつか組み合わせれば土木・防災調査のための有効な調査法になることを指摘した。

第11章では、高密度電気探査法を用いた比抵抗モニタリングの原理をまとめ、比抵抗変化から推定可能である地下構造の変化について検討した。そして、3ヵ所の調査地域で実施した比抵抗モニタリングの事例を示し、比抵抗モニタリングが地下における水分や温度の時間および空間変化を非破壊に把握できる方法として有効であることを実証した。

第12章では、効率的な高密度電気探査や比抵抗モニタリングを実現させるために考案した分割式双方向型多芯ケーブルを説明し、その利点および実施例を示し、本ケーブルによって効率的な高密度電気探査やその繰り返し測定が実施できることを実証した。

第13章では、深部比抵抗・自然電位モニタリングの実現のために開発した高出力多チャンネル電気探査装置について説明した。そして、鹿児島県大霧地域で実施した実証試験によって、本装置によって高品質の比抵抗や自然電位のデータが効率的に安定して取得できること、任意の時間に様々な電極配置の測定を繰り返すことが可能であること、現地のノイズにあわせて測定パラメータの変更やローパスフィルタの追加もできるなど本装置の汎用性が高いことを示した。

第14章では結論として本研究を総括し、各章における結果を取りまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高密度電気・電磁探査法の精度や分解能の向上および実用化を図るため、電極配置や測点配置に関する検討および比抵抗構造の解釈に関する考察を実施するとともに、実際に高密度電気・電磁探査法を種々な分野のフィールド調査に適用してその有効性を検証し、さらに比抵抗モニタリングへの適用や効率的な測定を実現させるシステム開発を実施した結

果をまとめたもので、その主な成果は以下の通りである。

- (1) 比抵抗法、MT法、CSAMT法の理論を検討し、また代表的な地質構造モデルを想定した数値シミュレーションを実施し、電極配置や測点配置による精度や分解能および探査深度について検討し、調査目的に適した効率的な高密度測定の方法を示した。
- (2) 岩石の比抵抗に関する実験式の検討を行い、岩石の比抵抗に影響する種々の要因について整理した。また、岩石・土壌の比抵抗を測定するためのシステムを開発し、比抵抗に大きな影響を与える粘土鉱物を含む試料の比抵抗を測定し、粘土鉱物がもつ物理・化学・力学的特性と比抵抗値との関係を明らかにした。さらに坑井データを用いて比抵抗値と各種物性との比較を行い、比抵抗構造の解釈に必要な新たな知見を得た。
- (3) 高密度電気・電磁探査法を石油、熱水金属鉱床・地熱、土木・防災など種々な分野のフィールド調査に適用した。得られたデータから詳細な比抵抗構造を解析し、地表地質、坑井、他の物理探査などのデータを利用して、その解析結果の妥当性を検証するとともに、それぞれの分野の調査目的に合わせて地下構造を解釈し、高密度電気・電磁探査法の有効性を評価した。
- (4) 比抵抗構造の時間的変化を求める比抵抗モニタリングの研究を行い、高密度電気探査の連続観測や繰り返し測定によって、地下における水飽和度や温度等の時間的変化のモニタリングが非破壊に実施できることを示した。また、効率的な高密度電気探査や比抵抗モニタリングを実現するためのシステムを開発した。

以上、本論文は高密度電気・電磁探査法の効率的な測定法や比抵抗構造の正確な解釈法の技術を確立し、それらの技術を用いて地下構造を高精度・高分解能で解明できること、および地下構造の時間的変化を捉えられることを実証した。その結果、高密度電気・電磁探査法の、地下資源の開発や地下空間の有効活用の促進、地下水・土壤汚染などの環境問題の解決、地震火山災害の防止などの調査への効果的活用の可能性を拓いたものである。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。