

氏 名	あら い えい いち 荒 井 英 一
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2370 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 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 資 源 工 学 専 攻
学位論文題目	時間領域電磁探査法のインバージョンと探査能力に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 芦 田 讓 教 授 花 崎 紘 一 教 授 松 岡 俊 文

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では1次元から3次元までの時間領域電磁探査法 (TDEM法) インバージョン手法を開発し、数値解析および実探査データ解析を行い、その精度や実用性を検討した。また、TDEM法の探査能力を考察するために、TDEM法のモデリング手法を有限要素法を用いて開発し、地下の誘導電場の時間に応じた拡散の様子をシミュレーションした。さらに、2次元、2.5次元及び3次元感度分布を作成し、探査対象を効率良く捕らえるための送受信配置を考察した。

本論文は7つの章から構成されており、その概要を以下に示す。

第1章では、TDEM法の解析技術の現状や問題点を整理し、解析技術の高度化の必要性について説明している。

第2章では、本研究で適用したTDEM法のインバージョンアルゴリズムの基礎理論として、1次元インバージョンのモデリングに用いた水平多層構造の厳密解、高次元インバージョンに用いた局所非線形近似による積分方程式法、比抵抗プロックの比抵抗修正値の計算に用いた平滑化制約付き最小二乗法について述べている。

第3章では、インバージョンの計算時間短縮や精度向上のために採用・導出したアルゴリズムについて述べている。インバージョン計算で最も時間のかかる散乱テンソルおよびヤコビアン行列の計算については、高次元モデリングでの磁場 z 成分を計算するための式を導電率で偏微分したフレシェ微係数の厳密解を変形して、フレシェ微係数の計算効率を高める方法を考案した。また、平滑化制約付き最小二乗法計算での平滑化係数の選択手法として用いたLカーブ規準について考察し、Lカーブ規準によるラフネスが平滑化をしない場合の解によるラフネスとほぼ一致すること等を数学的に説明している。

第4章では、開発したインバージョン手法の計算精度を検討するために、幾つかの比抵抗モデルを用いて、モデリング計算およびインバージョン計算に対する数値試験を行い、高次元モデリングおよびインバージョン手法ともに十分な解析精度を有することを確認している。

第5章では、開発した2.5次元及び3次元インバージョン手法の実用性を検討するために、オマーン国の銅鉱床と淡路島野島断層上で取得したTDEM法の実探査データを解析している。オマーン国銅鉱床について、鉱体がその中心範囲で10～20 Ω -mの低比抵抗値として再現され、その形状もボーリング結果とほぼ調和的である。一方、母岩は100 Ω -m程度の比抵抗値で再現され、ボーリング調査による既存の地質データ等と整合的な比抵抗分布を再現している。3次元インバージョンについては、鉱体の位置に加えて比抵抗値も良く再現され、母岩の比抵抗値も100 Ω -m程度とよく再現されており、推定される鉱体の形状もボーリング結果と調和であることを確認している。

さらに、淡路島野島断層については、2.5次元インバージョン、3次元インバージョンともに、花崗岩類を高比抵抗値に、断層破碎帯を花崗岩類よりも低い比抵抗値を示す範囲として再現している。特に、3次元インバージョンでは野島断層の北北東から南南西への走向方向をよく再現している。

第6章では、TDEM法の探査能力について考察している。まず、無限長線電流源により地下で発生する電場の時間変化をシミュレーションするための2次元モデリング手法を有限要素法を用いて開発し、それを用いて電場の時間変化をシミュ

レーションした結果、TDEM法はバックグラウンド構造が高比抵抗でその中の低比抵抗体を探査対象とする場合に有効な手法であることを確認している。また、感度分布を作成してそれを考察することにより、時間に応じて測定値に影響を与える地下の位置が変化していく様子を確認している。

第7章では、結論として本研究を総括するとともに、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、世界的に1次元インバージョンが主流である時間領域電磁探査法（TDEM法）の解析について、1次元、2次元、2.5次元および3次元でのインバージョンプログラムを開発し、それらに対する数値試験及び実探査データ解析を行って、その実用性を示したものである。さらに、TDEM法で効率良く地下情報を取得するための送受信配置など、TDEM法の探査能力についても考察している。その主な成果は、以下のとおりである。

- (1) 時間領域電磁探査法における1次元から3次元までのインバージョン手法を開発した。1次元インバージョンのモデリングには水平多層構造に対する厳密解を、2次元、2.5次元および3次元インバージョンのモデリング手法には、現実的な計算時間でインバージョン計算を行うことができる積分方程式法の近似法（局所非線形近似による積分方程式法）を用いた。比抵抗ブロックの比抵抗値の修正には、非線形問題に対する平滑化制約付き最小二乗法を用い、平滑化係数の最適化にはLカーブ規準を採用した。
- (2) 特に2次元、2.5次元及び3次元インバージョンについては、散乱テンソル及びヤコビアン行列の計算効率を高めるためのアルゴリズムを考案し、計算時間の短縮を達成した。また、Lカーブ規準の妥当性を数学的に説明した。
- (3) 開発したインバージョン手法の妥当性を評価するために、幾つかの比抵抗モデルから作成したモデリングデータをインバージョンした結果、各次元のインバージョン手法ともに精度よく比抵抗モデルを再現していることを確認した。また、オマーン国の銅鉱床と淡路島野島断層上で取得したTDEM法実データを、2.5次元及び3次元インバージョン手法で解析した結果、再現された比抵抗分布は既存の地質データと調和的であり、十分に実用的であることを明らかにした。
- (4) TDEM法の探査能力を考察するために、電磁場送信源からの電磁場の拡散をシミュレーションするためのモデリング手法を有限要素法を用いて開発し、測定時間の early time での測定値には主に探査対象の形状についての情報が含まれ、それ以降での測定値には探査対象の比抵抗や大きさについての情報が含まれるなど、測定時間に応じた取得情報の違いを指摘した。また、2次元、2.5次元及び3次元感度分布を作成して、探査対象を捕らえる上で効率的な送受信配置を検討した。

以上、本研究はTDEM法の高次元インバージョン研究が世界的にほとんど行われていない現状において、実探査データを十分に解析することができるTDEM法の高次元インバージョン手法を開発して、TDEM法の解析技術を高精度化を実現するとともに、TDEM法の探査能力について詳細に考察することにより、TDEM法の特長について新見解を得た。したがって、本論文は、高次元のTDEM法解析の実現に対して、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

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2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。