

氏 名	リン 樹 海
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2415 号
学位授与の日付	平 成 16 年 9 月 24 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	Study on Simulation Algorithm of Borehole Radar for Well Logging and its Application to Antenna Design (物理検層におけるボアホールレーダのシミュレーションアルゴリズムとその アンテナ設計への適用に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 芦 田 讓 教 授 松 岡 俊 文 教 授 朝 倉 俊 弘

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、ボアホール周辺の地層を高精度で判別する簡便かつ効率的なボアホールレーダのデータ処理方法を開発することを目的として、円筒座標系を用いて、ボアホール内での電磁波動伝播をシミュレーションする高速かつ高精度の擬似スペクトル時間領域差分法 (Pseudo-Spectral Time Domain Method: PSTD 法) アルゴリズムを開発した。また、開発した手法を用いてボアホールレーダのアンテナから発生する電磁波の放射特性をシミュレーションし、その結果が理論によるものと一致することを確認し、本手法が新しいボアホールレーダのアンテナシステムの設計に有用であることを示した。

本論文は6つの章から構成されており、それぞれの章の概要を以下に示す。

第1章では、これまで行われてきたボアホールレーダの研究の経緯、現在の研究の状況、問題点を説明し、本研究の目的と範囲を示している。そして、これらの問題点を解決するための送受信器配置、およびデータ処理法について説明している。また、本論文の構成と内容についても述べている。

第2章では、ボアホールレーダで用いられる電磁波動を記述する基本的な方程式、構成方程式、境界条件について述べ、その有効な数値計算手法である時間領域有限差分法 (Finite-Difference Time-Domain Method: FDTD 法) の概念、長所、安定条件、波形の入力条件、計算領域周囲の完全吸収条件について、数値計算例を示しながら説明している。また、時間領域有限差分法の効率性および精度についても評価している。

第3章では、開発した擬似スペクトル時間領域差分法を用いて、ボアホール内の電磁波の伝播現象をシミュレートするアルゴリズムについて述べている。この手法は時間領域差分法を基本とし、空間微分には高速フーリエ変換を用いており、大規模なシミュレーションや逆問題を解く場合に、計算の格子数と計算機の記憶容量の軽減に対して有効であることを示している。また、孔井のような構造では、本手法により格子の分割がより適切にできるために、円筒座標系での定式化は、ボアホールレーダの解析には適切であり、本手法は複雑な地層構造に対しても電磁波動伝播のシミュレーションを行うことができることを示している。さらに、本手法を用いて泥水、孔径、ボアホール周辺の地層が電磁波伝播とボアホールの分解能に与える影響についても検討している。

第4章では、ボアホールレーダのデータが、信号と背景ノイズの境界においてフラクタル次元が大きく変化することに着目し、バリエンスフラクタル次元法 (Variance Fractal Dimension Method: VFD 法) を用いた初動走時の読み取りの手法について述べている。ボアホールレーダの解析において、電磁波到達の初動走時を精度よく求めることは、地層の電磁波速度、ひいては導電率と誘電率の解析にとって重要な要素であるが、本手法により、高速かつ正確に電磁波の初動を検出できることを確認している。また、ボアホールレーダデータから得られた比誘電率検層カーブを用いて、孔井周辺の体積含水率が計算できることを示し、計算された体積含水率は比抵抗検層カーブとよく調和していることを確認している。

第5章では、開発した高精度なシミュレーションアルゴリズムを用いて、各種のボアホールレーダのアンテナ設計に資する放射パターンの計算を行い、理論によるものと一致することを確認している。このことは、本手法がボアホールレーダの

アンテナ設計に適用できることを示すものである。

第6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、坑井内物理検層で用いられるボアホールレーダに関して、データ取得の最適化、適切なデータ処理法の確立に資するために、高速シミュレーションアルゴリズムを開発するとともに、それをボアホールレーダのアンテナ設計に適用したものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

- (1) 擬似スペクトル時間領域差分法を用いて、ボアホール内の電磁波の伝播現象をシミュレーションするアルゴリズムを開発した。この手法は時間領域差分法を基本とし、空間微分には高速フーリエ変換を用いており、大規模なシミュレーションや逆問題を解く場合に、計算の格子数と計算機の記憶容量を低減させることに對して有効であることを確認した。
- (2) ボアホールレーダの解析において、初動走時を求めることは、伝播速度、ひいては導電率と誘電率の解析にとって重要な要素である。ここでは、ボアホールレーダのデータは、信号と背景ノイズにおいてその挙動が大きく変化することに注目し、バリエーションフラクタル次元法を用いて初動走時の読み取りを行った。本手法により、高速で、かつ正確に電磁波の初動を検出できることを確認した。
- (3) 開発したシミュレーションアルゴリズムを用いて、各種のボアホールレーダのアンテナ設計に資する放射パターンの計算を行い、理論によるものと一致することを確認した。このことは、本手法がボアホールレーダのアンテナ設計に適用できることを示すものである。

以上、本論文はボアホールレーダの高速シミュレーションアルゴリズムを開発し、数値データおよび現場データに適用し、その有効性を確認するとともに、それをボアホールレーダの最適なアンテナ設計に適用したものであり、ボアホールレーダのデータ取得、データ処理およびシステム設計に對して、學術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文の内容は博士（工学）の學位論文として価値あるものと認める。また、平成16年7月30日、論文内容とそれに関連した事項について試問した結果、合格と認めた。