

氏 名	ジャムヒル サファニ Jamhir Safani
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2735 号
学位授与の日付	平 成 19 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 社 会 基 盤 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	SURFACE WAVE DISPERSION MODELLING BY FULL - WAVEFIELD REFLECTIVITY AND INVERSION FOR SHALLOW SUBSURFACE IMAGING (フルウェーブリフレクティビティ法による表面波分散モデリングと浅部地下 イメージングのための逆解析)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 岡 俊 文 教 授 芦 田 讓 教 授 岡 二 三 生

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、近年地盤強度の調査手法として多用される表面波探査法の高精度化手法の開発に関する研究の成果をまとめたもので、8章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的が述べられている。また、論文構成の概要が述べられている。

第2章では表面波の特性および利用用途に関してまとめられている。地震防災や土木開発、物理探査工学における表面波の利用が紹介されている。従来の表面波探査法では、表面波の単純な現象のみが利用される場合が多く、高次モードやラブ波などはあまり利用されてこなかったことが指摘されている。

第3章では、はじめに、Mullerの全P-SVおよびSH波動場のショットギャザーシミュレーション手法がレビューされている。本論文ではこの計算手法を応用し、レイリー波とラブ波の分散計算シミュレータの開発を行っている。これを用いて、様々な震源波形による表面波伝播解析と、その結果として得られる分散曲線の計算例を示している。これを基に、震源波形の検討を行い、Berlage波形を用いると、より適切な分散曲線が得られることを明らかにした。

第4章では、従来のマトリックス法を基礎とした表面波解析手法がレビューされている。これには3つの主要なトピックスが含まれている。ひとつは、変位-応力ベクトルの固有値問題であり、次は、ラブ波とレイリー波の振動原理である。また、著者によって行われた、ラブ波とレイリー波の位相速度の偏微分項の解析解の導出が行われている。この解析解は、第6章で論じられる、ラブ波とレイリー波の逆解析問題において重要となる。

第5章では、数値計算と、フィールド調査データを用いて、分散の観測に関する議論が展開されている。開発された波動場シミュレータの評価には、ラブ波とレイリー波の分散曲線が高精度で計算可能な全SHおよびP-SV波動場解析法を用いている。深度にともない部分的に岩盤強度が弱まるような、均質でない速度モデルを含む、数種類の表層速度モデルを設定し、シミュレータの精度の検討を行っている。また数値計算において、平面波の変形による分散曲線の解析や分散処理、ラブ波とレイリー波の分散曲線の比較、全SH波動場解析法と従来のP-SV解析法との利点や限界、等に関する評価検討を行っている。フィールド調査においては、はじめに、SH波およびP-SV波の生成方法を実際に示している。次に、様々な地盤状態に対して同時発生するラブ波とレイリー波の分散曲線結果の特性を分析している。さらに、フィールドで取得された分散データと、フィールドと同様な条件設定下の数値計算による分散データに同種の特性が含まれており、これに関して検討を加えている。

第6章では、本研究において開発したラブ波を用いた分散インバージョン手法の概要が述べられている。この新手法は、SH波動場の反射解析手法を基礎とし、O'Neillにより開発された全P-SV波動場インバージョン手法の拡張であり、レイリー波の分散インバージョンが可能となっている。ラブ波とレイリー波の分散データに用いられる新しいジョイントインバージョンアルゴリズムは、前述のSHおよびP-SV波動場の振動波形解析手法に基づいている。特に、ここで開発された

ジョイントインバージョンアルゴリズムは、横波速度を評価するためにレイリー波とラブ波の分散データが同時に逆解析される手法であることが示されている。レイリー波とラブ波の各データの独立インバージョンは、異方性媒質の計測の際に有効である。そのため、ジョイントインバージョンと独立インバージョンの選択判断が重要となる。提案しているインバージョンアルゴリズムの検討のために数値計算によるテストを行っている。提案手法の限界や、その限界に対処する方法が議論されている。最後に、フィールドデータのインバージョン結果とボアホール検層結果および柱状図が比較され、本研究で開発された手法の有効性が示されている。

第7章では、新潟県松代地区の泥火山地域で調査された、表層横波速度プロファイルの2次元分布のイメージング結果が示されている。そのプロファイルは、ランドストリーマを用いて計測されたレイリー波分散データのみを使用してインバージョン解析されたものである。本章のはじめの部分で、ランドストリーマにより取得された生データと処理データに関し、従来のピック埋設型ジオフォンによる記録との比較検討が行われている。この結果、ランドストリーマの優位性が示されている。2次元プロファイルの作成手法も簡単に示されている。また、表面波探査のデータ取得方法、処理方法、インバージョン方法、結果解釈方法に関しての検討が行われている。調査地域の地下速度の2次元分布は高い精度であり、テスト掘削調査および電気探査結果と整合的であった。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、表面波を用いた浅層構造イメージングの高精度化に関する研究と探査手法の開発を目的としたものである。得られた結果の概要は以下の通りである。

- ① 代表的な表面波として、レイリー波とラブ波が知られているが、このうちラブ波に関して、フルウェーブリフレクティビティ法を適用し、新しい分散曲線の計算手法を提案した。この手法の適用性に関して、シミュレーションテストを行い、その有効性を示した。さらにラブ波の分散曲線を評価する際、S波依存性を表現する偏微分項の解析解を導出した。これによって、ラブ波のインバージョンを高速に行える道を開いた。
- ② 通常の表面波の解析においては、基本モードのみが用いられてきた。しかしながら、フルウェーブリフレクティビティ法を用いることで、基本モードばかりでなく、高次モードの情報も利用するインバージョン手法の適用が可能となった。そのため、高次モードを利用する解析手法の開発を行った。さらにシミュレーションテストと、フィールドデータに対して、開発された手法を適用することによって、その有効性を確認した。
- ③ レイリー波の分散曲線は、表面浅層部のSV波の速度に依存しているが、ラブ波はSH波の速度に依存している。このため、同一地点のデータに対して、レイリー波を用いたインバージョンと、ラブ波を用いたインバージョンを各々適用し、場所によってはこれらの2種類のS波速度に差違があることを見いだした。また、レイリー波とラブ波の分散曲線を利用して、ジョイントインバージョン手法の開発を行った。
- ④ 本論文で開発された手法を、新潟県十日町市室野地区に見られる、泥火山地域に適用し、その浅部地下構造を明らかにした。

以上、本論文は、表面波を用いた地下構造探査技術において、ラブ波を利用する解析手法の道を開くと同時に、その適用性に関して、実フィールドテストを含む検討を加え、その有効性を示した。この手法は今後、土木・環境・防災のための地下浅層構造のイメージング技術の進展に寄与することが期待される。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19年1月25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。