

氏名	Lee, Changhyun (李昌鉉)
----	-------------------------

(論文内容の要旨)

本論文は、坑井内での弾性波探査データ (VSP (Vertical Seismic Profiling)、RVSP (Reverse Vertical Seismic Profiling)、坑井間地震探査法) に対して、映像点変換法 (IP 変換) を用いた高精度な地下反射面のイメージング技術の開発を目的としたものであり、シミュレーションデータや現場において取得されたデータに対して、新しく開発された手法を試みた結果をまとめたものであって、5 章からなっている。

第 1 章は序論であり、坑井内での弾性波探査の説明や応用に関する概要を示し、本研究の背景と目的について述べている。

第 2 章では、映像点変換法を各探査手法に対応した形で定式化を行っている。映像点変換法は Cosma (1996) によって 2 次元 VSP 探査に対して提案されたが、本章においては 3 次元 RVSP の場合に対する映像点変換法の定式化が行われている。また、3 次元 RVSP に対して、映像点変換法の一般化された GIP (Generalized IP) 変換が新しく提案され、簡潔にまとめられている。

第 3 章では、映像点変換法の特徴を検討するために幾つかの 2 次元および 3 次元地下モデルに対し、シミュレーション手法を用いて検討を行っている。2 次元地下モデルでは、簡単な 2 層水平モデルから、傾斜を有する 1 つの断層面モデル、2 つの断層面モデル、さらに多数の傾斜層モデルについて、ショットギャザーデータを作成し、映像点変換によって IP 領域ではある特定の点に集中することを示した。またこの特徴を利用して、強い雑音を含むデータに対しても、IP 領域では信号と雑音の分離が容易になることを示した。IP 領域において、反射波を直接波や回折波などから分離し、その後逆変換によって反射波のみを含むデータの再構成が可能であることを示した。次に、異なる傾斜を持つ 2 つの断層を含む 3 次元地下モデルに対し、受振器を地表において放射型に配置した場合の 3 次元 RVSP 探査を想定してシミュレーションを行い、このデータを用いて従来の映像点変換を適用した。その結果、各測線毎で映像点の原点から反射波の IP 点までの距離が不変であり、IP 点の受振測線での位置のみが変化することが分かった。またこの特徴を利用した全測線データを、ある仮想的な測線に変換する新たな変換法 (Generalized IP 変換法) を考案した。GIP 変換法においては、断層の走向と直交する測線のみで反射波の IP 点が集まり、他の測線では集中しないことが分かった。また、以上の検討結果から実用上十分な精度で、映像点変換法が利用できることを示した。

氏名	Lee, Changhyun (李昌鉉)
----	-------------------------

第4章では、実データに対しての適用可能性を検討する為に、3次元RVSPデータとマルチオフセットVSPデータ、さらに坑井間探査法データを用いて反射波のイメージング法の検討を行った。

3次元RVSPデータは、岐阜県瑞浪市において、超深度地下の研究の為に掘削されている縦坑を利用してデータの測定が行われた。掘削工事に伴うダイナマイト発破を発振信号として利用し、RVSPデータの測定が行われ、このデータを用いてGIP変換を行った。取得されたデータはデータの品質が悪く、このデータのみからは断層面の走向を決めることは難しい状況であった。そこで、既存の他の調査結果（地表地質調査、各種地下探査）によって断層の走向方向を推定した。次に推定された走向方向に直交する方向に対してGIP変換を行い、さらにIP中点マッピングによって断層のイメージを得た。得られた断層イメージが、既存の情報による推定された断層面の位置と充分良く一致していることが分かった。

マルチオフセットVSPデータの取得は、韓国の研究所が掘削した坑道内で行われた。2つの水平トンネルの底面において、ダイナマイトを震源として利用し、1つの坑井で受振を行った。観測された記録は、坑井内の水を伝播するチューブ波が強く、反射波が良く確認できなかった。しかしながらIP変換を用いて、ノイズ（チューブ波、マルチプル反射波）をIP領域で分離し、逆変換を用いて除去することが出来た。また、IP中点マッピング手法を適用し、反射面のイメージを得ることができた。この結果は、従来のイメージング法によってイメージされる位置とは異なっているが、反射面の位置の推定に関しては整合的な結果が得られた。さらに坑井での他の調査結果（坑井内カメラ）によって予想された破碎帯の位置と一致する結果が得られた。

坑井間地震探査は2つの坑井間を調査する手法のため、1つの坑井において発振を行い、他の坑井において受振を行う探査法である。現場の取得データから震源側の坑井で発生したチューブ波のような波形が強く、反射波の確認が難しい状況であった。震源側で発生した波は坑内水を伝播し、亀裂等の割れ目が多い部分で2次的に更に波が発生したと考えられる。従来の解析によって反射面のイメージが構成されたが、この構成イメージを元にしてシミュレーションを行い、シミュレーション結果に対して適用したIP変換の結果と、観測データに対するIP変換の結果を比較することによって、反射面のイメージングの妥当性を確認した。

以上の結果からIP変換法は様々な坑井内における弾性波探査の実データに対しての精度の高い解析手法であることが明らかとなった。

第5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。

氏名	Lee, Changhyun (李昌鉉)
----	-------------------------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、掘削坑井を用いて取得された VSP (Vertical Seismic Profiling) データ、RVSP (Reverse Vertical Seismic Profiling) データおよび坑井間地震探査法データに対して、映像点変換法 (IP 変換) を用いた高精度な地下反射面のイメージング技術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 映像点変換法を、2次元モデルシミュレーションデータに適用し、この変換法を用いたイメージング法の特徴と利用法を明かした。映像点変換法を用いてイメージングされた結果は、映像点領域において反射波は一カ所に集中し、他方、反射波以外のノイズ成分は映像点領域全体に分布することから、ノイズ成分の分離が容易であることが解った。さらにこの性質を利用することによって、ディップフィルタ、データミュート、波形分離の為にフィルタとして利用可能であることが解った。
- ② 現在まで、映像点変換法は2次元空間データに対してのみ構成されていたが、この理論を3次元空間データに対して拡張した。そしてRVSPデータに対して適用し、イメージング結果の精度について検討を行った。また地表において受振測線が放射型に配置されている場合の特徴を利用して、一般化された汎用の変換形式を提案した。これはある受振測線上のデータを別の測線に変換するものであり、一般化映像点変換法 (Generalized IP Transform) と呼ぶことにした。この変換法を用いて映像点が最も集中する測線をさがすことによって、反射面の走向方向が推定できることを示した。さらに新たなイメージング法として、映像点と震源位置の midpoint をマッピングする手法を考案し、この手法においても反射面の明確なイメージが得られことを示した。この手法を映像点 midpoint 法と呼ぶことにした。
- ③ 今回提案した新しいイメージング手法を、3種類の実データ (3D-RVSP データ, マルチオフセット VSP データ, 坑井間地震探査データ) に適用し評価を行った。まず映像点 midpoint のマッピング法と従来のイメージング法とを比較し、一致する結果が得られることを確認した。さらに坑井内探査データでよく現れるチューブ波の除去ができることを示し、特定の方向又は特定の地点から発生しているノイズを反射波から分離出来ることを示し、本手法のフィルタとしての利用法を確立した。

以上、本論文は、映像点変換法に関して現在の理論体系を整理し、新しい変換手法の提案を行い、さらに実データへの適用性を検討した。これにより坑井内反射波データの高精度な処理方法、及び新たなイメージング方法が確立したといえる。今後、これらの研究成果は土木・環境・防災のための地下調査技術の進展に多大に貢献することが期待され、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 20 年 8 月 13 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。