

深部地殻構造を明らかにするための長大展開反射法データによる屈折トモグラフィの高度利用：日本国内の地殻構造調査における事例 Advanced use of refraction tomography using long-spread reflection seismic data for exploring deep crustal structure

白石 和也^{1*}, 阿部 進¹, 佐藤 比呂志², 岩崎 貴哉²
Kazuya Shiraishi^{1*}, Susumu Abe¹, Hiroshi Sato², Takaya Iwasaki²

¹(株)地球科学総合研究所, ²東京大学地震研究所

¹JGI, Inc., ²Eathquake Research Institute, the University of Tokyo

(1) 近年の深部地殻構造探査

近年、有線テレメトリー受振システムと独立型データ収録システムを併用することにより、陸域及び浅海域における長大かつ稠密な受振測線の展開が可能となった。また、発震については、陸上では機動性の高いパイプレータと大葉量ダイナマイト、海上ではエアガンを利用して、稠密反射法データと屈折法データの効率的な同時取得が実現した。

これまで、深部地下構造（深度 10 ~ 20 km 程度）を対象として、測線長が 50km を超える長大展開反射法地震探査による大規模地殻構造調査が行われ、深部の地殻構造が明らかとされてきた。この成果に大きく寄与した技術には、長大オフセット領域の深部反射波の利用に加え、反射法データと屈折法データの両方を利用した高密度な屈折走時トモグラフィ解析が挙げられる。本講演では、長大展開反射法のデータ取得および屈折トモグラフィ解析の高度利用についてこれまで日本国内で実施した事例を交えて示す。

(2) 深部地殻構造探査における標準的な調査スペック

測線長 50km を超える長大展開反射法における標準的な調査スペックを記述する。受振については、海域では 25m 間隔（海底着底ケーブル固有）、陸上では 50m 間隔と千以上の受振点を稠密に設置する。反射法の場合には発震点から概ね 15km 以上の展開を確保し、屈折法の場合には全域固定展開によりデータ収録する。発震については、反射法の場合、陸上では大型パイプレータ 4 台により 150m ~ 250m 間隔で発震を行い、海上のエアガンは 25m または 50m の間隔で発震を行う。屈折法の場合、陸上は 100kg 以上の大葉量ダイナマイト発震と大型パイプレータ 4 台による 100 スウィープ以上の多重発震を組み合わせ、海上では 30 回以上のエアガン多重発震を行い、約 5km 間隔の高エネルギー発震記録を取得する。

(3) 長大展開反射法データに基づくトモグラフィ解析

解析に利用する初動走時データは、稠密な発震の反射法データと少数ながら高品質の屈折法データのすべてについて、可能な限り発震点から遠くまで目視により手動で読み取りを行い作成する。屈折初動走時トモグラフィ解析は、この観測走時データを入力として、初期速度モデルに対して有効な全ての発震点と受振点について波線追跡により走時計算を行い、計算走時と観測走時の差が小さくなるように速度モデルを更新する。走時残差が十分に収束するまで走時計算と速度モデル更新を繰り返し、地下の P 波速度分布を推定する。

(4) 初期モデルランダム化によるトモグラフィ解析結果の評価

非線形性が大きく初期モデルへの依存性の高いトモグラフィ解析なので、解の不確実性を評価するため初期モデルランダム化によるモンテカルロ不確実性解析を行う。稠密にデータ収録が行われ高密度な走時データを利用するため、初動読み取り誤差に比べて初期モデルへの依存度の方が解へ与える影響は大きいと考えられる。そこで、ある条件下でランダムに生成した 100 以上の初期モデルに対してトモグラフィ解析を実施し、モデルの各点においてすべてのトモグラフィ結果を平均化することにより統計的最適な速度モデル（平均速度モデル）と不確実性の空間分布として平均値からのばらつき（標準偏差分布）を得る。少ない波線が偏在して解が不確定になりやすい場所や速度構造の急変する場所において、初期モデルの違いによる解析結果の相違が現れ、比較的高い標準偏差値が分布する。

(5) カスケードトモグラフィによる速度モデルの再決定

上記の初期モデルランダム化を実施すると、速度構造の急変する場所で初期モデルへの依存度が高いため、標準偏差が相対的に高い値を示すとともに、平均化による速度構造の空間的平滑化の傾向が見られる。この問題への対処として、多数のトモグラフィ結果の平均化から得られた速度モデルを最尤な初期モデルとして使用し、再度トモグラフィを実施することで速度構造を再決定する。この際、初期モデルに利用した速度構造は既に走時残差が十分に収束した状態であることがほとんどなので、再計算の際には比較的少ない更新回数で速度モデルの微調整を行うことがねらいである。これにより平滑化されて曖昧となった速度境界の復元が期待される。実際、この方法でなされる速度更新は標準偏差の値が比較的高い部分に対応する。

キーワード: 反射法地震探査, 屈折トモグラフィ, モンテカルロ不確実性解析, カスケードトモグラフィ
Keywords: reflection seismic, refraction tomography, Monte Carlo uncertainty analysis, cascade tomography