

地震探査の高度化研究

松岡俊文*

1. 研究の目的

屈折波を用いて地盤構造を推定する屈折法弾性波探査は長い歴史を有し、萩原の方法をはじめとして多くの手法が開発されている。しかし、これらの方法は現地で収録された波形から初動値を読み取り、この初動値に対して処理を進めてゆくというものであった。本研究では、収録された波形記録に、コンボリューションをはじめとする波形データ処理を施すことで萩原の方法と同様の解析を行うコンボリューション法について検討を行った。コンボリューションとクロスコリレーションの演算は、位相に着目すると、それぞれ時間領域での足し算と引き算に相当する。このため同一受振点に同じ境界面より到達した2つの波形記録にコンボリューションとクロスコリレーション演算を行うことで、萩原の図式解析法で用いるのと同等の解析を実施することが可能となる。

2. 研究の方法

屈折法弾性波探査の解析を行うにあたってコンボリューション法を使用する利点として次の3つが挙げられる。

①「萩原の方法」「トモグラフィー的な解析法」に代表される従来の屈折法弾性波探査においては、まず初動値を読み取った後に解析が開始される。このため解析結果の品質が、最初の作業に大きく依存し、解析途中において再度初動読み取り作業まで戻る場合が多い。萩原の方法においては、初動読み取りは解釈作業の一部とも考えられるが、トモグラフィー解析においては、走時データは正しいとして解析が始まるため、解析結果の品質に与える読み取り誤差の影響を評価することは困難である。一方ここで検討するコンボリューション法は、観測記録自体に屈折法探査の解析操作を実施していると考えることが可能である。このため観測波形の特徴を保存して処理が行われるため、処理結果を基に解析パラメータや、データ自体の品質に関しても吟味することが可能となる。

②最近屈折法弾性波探査において専ら利用されている「トモグラフィー的な解析」では、地盤の速度値が連続的に変化するように表現していることが多い。しかし、この表現法は萩原の方法などによる従来の使い慣れた屈折法弾性波探査結果の表現と相容れない。このため探査結果を吟味するうえで不便であるとの指摘もある。今回適用する手法では、地盤を速度の異なる層構造として表現するという手法に立脚しているため、蓄積されている既存の弾性波探査結果と対比することが可能となる。

③年のパソコン技術の発達により、かつての大型計算機を凌駕する計算能力を、一人一台使用することも可能となりつつある。また、主として反射法弾性波探査を目的としてではあるが、豊富な種類の波形処理を実施できる弾性波探査解析用ソフトパッケージも無料で配布されている。これらの計算機技術のハード・ソフト両面の進歩により、デジタル収録された波形記録に対して、波動論を基礎とする高度な波形処理を誰もが適用することが可能となった。本手法はこれら波形処理ソフトを使用するのに適したものである。

「萩原の方法」は、まず振源Aから受振点Xまで屈折波が到達するのに要する時間をTAXとする。次に振源Bから受振点Xまで屈折波が到達するのに要する時間をTBXとする。これらの走時の和から、振源Aから振源Bまで屈折波が到達するのに要した時間TABを引いた残りの1/2は、萩原の方法では遅れ時間(ディレイタイム)と呼ばれており、ここではexと表すことにする。この遅れ時間は、屈折境界面から受振点Xまでの距離(深度)Zxを第1層速度で割り、さらに臨界屈折角 θ のコサインを掛けたものとなる。臨界屈折角 θ は第1層速度と第2層速度が既知であれば、容易に求めることが可能である。通常はぎ取り法と呼ばれる解析法は、この原理に従ってZxの値を作図的に推定する手法である。

この「萩原の方法」の原理に従うが、解析は作図的に行わず、全てを観測データに対する計算機上でのデジタル信号処理で行うことを考える。デジタル処理では走時の情報は、データの位相情報として扱うことが出来るため、これは観測された初動波形の位相のみを解析対象としていると考えられる。デジタル信号処理において広く利用されているコンボリユーション演算では、2つの信号に対してこの演算を行うと、結果の信号は振幅スペクトルの積と同時に位相スペクトルは和の演算となっている。この考えを利用すると、振源Aに対する受振点Xの観測データと、振源Bに対する受振点Xの観測データをコンボリユーションすると、初動値がTAX+TBXの場所に表れる信号となる。別途読み取った往復走時TABを補正することで、この初動波形は萩原の方法でいう遅れ時間exの2倍と等価なものとなる。

次に第1層速度V1と第2層速度V2がわかれば、受振点Xから第1境界面までの深度が決定できることになる。そこで速度の推定方法を考える。まず第1層速度は、振源-受振点間距離を振源近傍の直達波の走時で割ることにより求めることが可能である。これは萩原の方法で通常利用されている手法である。第2層速度については、例えば萩原の方法においては「速度走時曲線」の傾きから求めている。そこで観測記録に対してデジタル処理を用いた速度走時曲線の推定法を考える。波形処理の一手法であるクロスコリレーションでは位相スペクトルの差が求まる。この性質を利用して振源Aで起振した各受振点の記録と、振源Bに対する各受振点の記録のクロスコリレーションを計算することで、容易に速度走時曲線を求めることが可能となる。

3. 得られた成果

以上の考えに従って、屈折法探査データに対してデジタル処理を行うと、はぎ取り法と同じ結果が得られる。本研究ではこの手法を土木構造物の建設に先立つ屈折法探査データに対して適用した（図1を参照）。コンボリユーション法は、屈折法弾性波探査の解析手法の中でも比較的歴史の浅い解析法で、まだその解析手順は確立されているという訳ではない。本研究では、ミュート処理により初動付近の波形を抽出し、コンボリユーション結合を行うという手順で時間断面を作成した。さらに、別々に求めた第1境界面と第2境界面をコンボリユーションすることにより、当初より想定していた三層構造の速度層断面を作成することが可能となった。弾性波探査結果の分解能は、収録された波形記録の波長と関連性があることは多く指摘されるところであるが、波長と分解能の関係については、本研究では十分には検討できてはいないが、今回の結果を見ると、将来的これらの関係に関してより詳細な議論が期待できそうである。

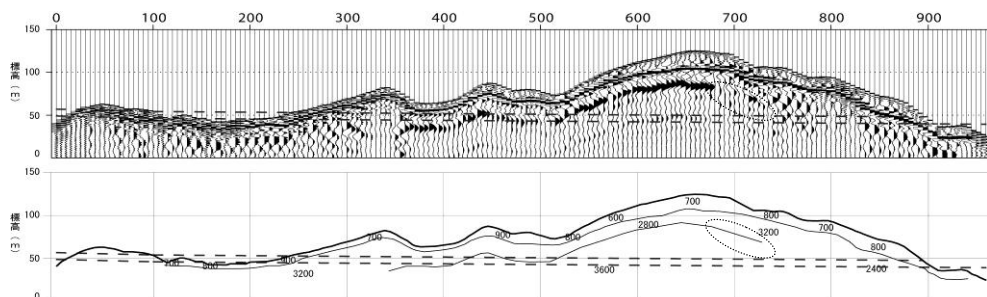


図1 今回開発した手法を山岳地帯における屈折法データに適用した結果。
2層構造の境界面と速度構造がよく推定されている。

4. 謝辞

本研究は、サンコーコンサルタント（株）により委託されたものである。関係各位の協力と助言に厚く感謝申し上げます。