

漸近波線理論と有限差分法を用いた弾性波動のハイブリッドシミュレーション

Hybrid wavefield estimation using asymptotic ray theory and finite difference method

伊豆原 渉 [1]; 三ヶ田 均 [2]; 真田 佳典 [3]; 芦田 譲 [4]

Wataru Izuhara[1]; Hitoshi Mikada[2]; Yoshinori Sanada[3]; Yuzuru Ashida[4]

[1] 京大院・工; [2] 京大大工; [3] JAMSTEC; [4] 京大大・工・社会基盤

[1] Dep. Civil & Earth Engineering, Kyoto Univ.; [2] Kyoto Univ.; [3] JAMSTEC; [4] Dept. Civil & Earth Res. Eng, Kyoto Univ.

物理探査学において、様々な地下構造に対して合理的かつ正確に波動伝播を把握することは非常に重要なことである。複雑な地下構造に対する波動伝播の問題の理論解は現在でも知られていないが、近年では何らかの近似を用いてこれらをコンピュータによるシミュレーションで行うことが一般的になり、そのための種々の計算手法が開発されている。その代表的なアプローチ方法としては、純数値的方法と幾何学理論による方法などがある。

これらの計算手法はそれぞれ異なった長所と短所を持ち合わせており、目的や対象とする地盤構造などに応じて最良の手法を採用することが望まれる。純数値的手法は弾性波動方程式を直接数値的方法で解くもので、有限差分法 (FDM) や有限要素法 (FEM) が代表的に挙げられる。なかでも、有限差分法 (FDM) はアルゴリズムも簡単で良好な精度を持つことや、複雑な速度変化等任意の速度構造に対応できるなどの利点を持ち、比較的よく使われる手法である。しかし、海水部分を持つ構造や伝播速度の遅い層を浅部にもつ構造をモデリングする際のシミュレーションにこの手法を用いると、効率の面で不十分な点が出てくる。まずは、グリッド分散現象といい、震源波形の1波長に含まれるグリッドの数が少ない場合に波形の乱れが生じることを指す。波長は位相速度に比例するので、海水や浅部の位相速度が深部の地層のそれよりも低いことを考慮すると、差分計算のグリッドはそれにあわせて細かくとらなくてはならないことになる。また、海水部分を持つ構造の場合、その海水部分の差分計算はまさに不必要であり、大水深の場合はこの計算時間が見過ぎがたい。さらには、地下構造が大きくなるにつれて有限差分法でのフォワードモデリングは、計算機のメモリと時間をより必要とし、大型計算機での計算が必要となったり、短時間でのシミュレーションが難しくなる。

高周波数の波、つまり波長が不均質性のスケールよりずっと小さい場合には、幾何光学の理論が適用される。これは、屈折法や走時曲線を用いた全地球的内部構造の決定など、1970年代から80年代にかけて最も広く用いられてきた方法である。波線理論によるモデリングは地下構造モデルが大きくなっても比較的短時間での計算が可能である。また、波線を伝わるP波、S波を選択できるということも波線理論の利点といえる。しかし波線理論の計算にも有限差分法同様欠点がいくつか挙げられる。複雑な構造に対して適用が難しいこと、すべての波を表現できないことなどがある。

本研究はこの二つの手法、波線理論と有限差分に着目し、それぞれ単独の手法では効率が悪い、もしくは差分法では領域が大きすぎて計算できないモデルに対してより効率的に計算を可能とすることを目標とし、そのために波線理論と有限差分を結合しそれぞれの長所を生かしたハイブリッドシミュレーションを行った。上記したモデルの例の一つとしては、先に述べたように大水深を持つ構造に対する計算があげられる。その他には、浅部に簡単かつ速度の遅い構造で、深部により複雑な構造を持つようなモデルに対してもこのハイブリッドシミュレーションは有効であると考えられる。また、本研究のように波線理論と弾性波動伝播シミュレーション等の波動理論を組み合わせる際には、両者の接する面での境界条件の設定が、極めて物理的に整合性が確立された上で成り立つことであることを認識すべきである。