

Waveform inversion による盆地構造の境界面形状の推定（その5）----- 3次元問題の場合 -----

Waveform inversion for the boundary shape of the basin structure (5) ----- 3D case -----

青井 真[1]

Shin Aoi[1]

[1] 防災科研

[1] NIED

地震動シミュレーションを行う際の1つの大きな問題は、どのようにして地下構造モデルを構築するかであるが、多くの地域において地下構造に関する情報は不十分であるのが現状である。一般的には、汎用的に入手可能な地質や重力異常の分布をもとに、微動探査や屈折法・反射法探査、ボーリング探査の結果が入手可能な場合にはそれらを考慮して地下構造モデルを構築する。さらに、中規模の地震の観測波形を考慮して試行錯誤により構造モデルを改善することもある。兵庫県南部地震以降、K-NET や KiK-net に代表されるような全国に均質な地震観測網が作られ、面的に地震波形データが取得されるようになった。これらのデータを用いることにより、フォワードモデリングによる試行錯誤的な方法ではなく、逆問題として地下構造の推定を行うことができると考えられる。

本研究は、堆積盆地や平野構造のように地震波速度のコントラストが大きな境界面をもつ構造における、不連続面の深さ分布に着目した三次元地下構造推定のための波形インバージョン法を提案である。これは、境界面形状波形インバージョン (Aoi et al., BSSA, 1995, 1997) の三次元の構造への拡張である。計算量の多い三次元問題に対応するため、フォワードモデリング手法として境界要素法(BEM)ではなく有限差分法(以下、FDM)を使用した。これにより、各領域が均質媒質でない場合にも対応可能になる。盆地内で観測される波形に最も影響を与える要因の1つである不規則境界面の形状をパラメータに選ぶことにより、構造の自由度を減らすことができる。さらに、主に観測点直下の情報を持つ直達波(実体波)だけでなく、不規則構造により2次的に生成された表面波(深さ方向の情報をもち水平方向に伝播)を含む全波形を用いるため、適切な初期モデルが与えられている場合には限られた観測点数のデータから構造を推定することが可能となる。地震動シミュレーションに必要な地下構造モデルを構築することが主目的であるが、使用目的に合致した周期帯の地震波データを用いて推定を行うことは大きなメリットといえる。

不連続面の深さを推定する領域を小矩形で分割し、各矩形内では一定値をとる boxcar 関数を基底関数として採用する。推定する不連続面の深さは、基底関数により展開することにより、盆地の堆積層の深さ分布を直接パラメータ化する。観察方程式を最小二乗法の意味で最も満たすようにモデルパラメータを決定することで、各矩形内の平均的な基盤面の深度を推定するが、観察方程式は非線形方程式であるため高次項を省略することにより線形化した観察方程式を特異値分解法により、残差が一定値に収束するまで反復して解く。この方程式を解くためには、感度関数(微分波形)が必要となるが、解析的に求めるのは困難であるため、各基底関数に関して1格子分堆積層が深いモデルから得られる波形との差をとることにより数値的に得る。また、計算の安定化および計算量の節約のため、パラメータ数を徐々に増やす階層化手法を用いる。3次元構造の場合、2次元の場合に比べパラメータ数が多いため、階層化手法が非常に有効である。

下図は、本手法の有効性を実証するために行った数値実験の結果である。上段の図は、図中に赤丸で示した20観測点の3成分合成波形を用いてインバージョンにより推定された基盤深度のコンター図および断面であり、図(a)-(c)はパラメータ数を6, 24, 96と増やしていった場合の各階層において収束した解を示している。また、図(d)は各イタレーションにおける残差を示している。96個のパラメータを用いて最終的に得られた解は、正解とほぼ一致しており、フォワードモデリング手法としてFDMを使用した3次元境界面形状インバージョンによる盆地構造の推定が有効であることが示された。

謝辞：計算には科学技術庁防災科学技術研究所および東京大学地震研究所のスーパーコンピュータを使用しました。

