

レイリー波・ラブ波位相速度と H/V を利用した

GAインバージョンによるS波速度構造の推定に関する研究*

岩手大学大学院 ○郷右近友貴

岩手大学工学部 山本英和, 佐野剛

1. はじめに

地震災害の被害予測のためには三次元的に地下構造を考慮する必要がある。広範囲の探査によって、H/V のピークを用いて基盤深度や平均 S 波速度を推定する方法がある。しかし、一部地域においては周辺に比べ揺れが極端に大きかったり小さかったりする場合もあり、そのような地点においてはさらに詳細な地下構造を推定する必要がある。ボーリングによる PS 検層から地下構造を求めても良いが、広い範囲を深部まで掘削するのはコスト面や環境に配慮する場合望ましくない。本研究はそのような地点において、3成分微動アレー観測を行い、従来されてきたレイリー波だけでなくラブ波や H/V を同時に解析に利用することで、掘削することなく詳細な地下構造を得るための研究である。

2. 3成分微動アレー観測と解析

3成分微動アレー観測を行うことで、上下動成分からはレイリー波位相分散曲線が、水平動成分からはラブ波位相速度分散曲線が、また水平動と上下動のパワー比から H/V がそれぞれ得られる。レイリー波位相分散曲線について、最小自乗法を用いて理論曲線とのフィッティングにより地下構造を推定する方法が一般的であるが、次のような問題点がある。地震計を配置する上で、アレー半径が限定されるためフィッティングに利用できる周波数帯が制限されることがあげられる。低い周波数帯での位相速度が得られないので、特に深部の情報が不足することになり地震基盤の深さを推定することはできず、またその上部にあたる地下構造も正確に推定されるとは言えない。そこで本研究では、レイリー波位相速度と H/V との同時解析を試みた。前述したとおり、H/V のみでもおおまかな基盤深度を推定することは可能で、特に深部の情報を持っていると考えられるので、レイリー波位相速度分散曲線と H/V を同時に満たす地下構造モデルが推定できればより実際の地下構造に近いモデルが得られると考えられる (山本ほか, 2007)。

$$res = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{obs(i) - cal(i)}{obs(i)} \right|}{n} \quad \dots (1) \quad Fitness = \frac{1}{1 + res} \quad \dots (2)$$

* GA inversion of S-wave velocity structures by using phase velocities of Rayleigh and Love waves and microtremor H/V

By Yuki GOHKON, Hidekazu YAMAMOTO and Tsuyoshi SANO

3. 遺伝的アルゴリズム(GA)によるインバージョン

位相速度や H/V から地下構造を推定するような、非線形問題では GA を用いるのが適当であると考えられる。層数と層厚を固定し、各層に対する S 波速度を推定した複数のモデルから得られる、それぞれの理論曲線との残差を計算することで推定ができるからである。それぞれの残差 (res) とフィッティングの評価としての Fitness は式(1)・(2)から求めた。obs は観測波形から求めた位相速度や H/V、cal は推定された地下構造モデルから計算される位相速度や H/V である。n はデータ数である。今回は 0.1Hz ごとに計算を行った。H/V は特にピーク周波数を考慮できればよいので、レイリー波位相速度の Fitness を 90%、H/V の Fitness を 10% とした。Fitness の良いモデルから次世代のモデルを推定するようにプログラムを作成した (Carroll, 2001)。表面波の位相速度やレイリー波の振幅比の計算は斎藤(1979)斎藤ほか(1993)のプログラムを利用した。個体数や世代数などは数値実験から、一つの解析に対し 100 個体 200~300 世代で乱数を変えて複数パターン行うのが良いことが解った。また、複数段階の逆解析により探索範囲をしぼる場合 20 個体ほどにしても十分な解が得られた。

4. 数値実験

図 1 の太線で示される仮想地下構造モデルに対しての数値実験を行った。モデルから得られる H/V の理論曲線 (図 2) とレイリー波位相速度 (図 3) を、観測波形から求めたものとしてのモデルへの回帰実験である。半径 50m のアレーを展開したものとしてレイリー波位相速度曲線の 6.0Hz 以下は削除してある。GA インバージョンに用いる乱数は 3 パターン用意しそれぞれ 1 世代につき 100 個体、300 世代の計算を行なった。図 1 に細線で示した結果は、もとの地下構造モデルに最も良く回帰したモデルである。レイリー波位相速度と H/V との平均 Fitness は 0.9533 であるが、全ての計算結果中、最も高いものではない。現実的には複数個の解の候補から最終的な解を選ぶ必要がある。そこで用いることができるのが図 4 で示されるラブ波位相速度である。解の候補を探索する上では計算時間を短縮するためにも考慮しなかったが、解の候補のなかでラブ波まで考慮した場合、Fitness が最も良い値になったモデルが最も良く回帰したモデルとなった。

5. 観測データへの適用

岩手大学工学部グラウンドにおける微動観測データに、本研究の手法を適用し地下構造を推定した。中心を含む正七角形の 3 成分微動アレー観測を半径 15、45m

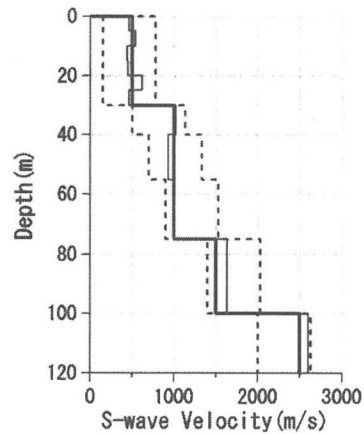


図 1 仮想地下構造モデルと回帰モデル

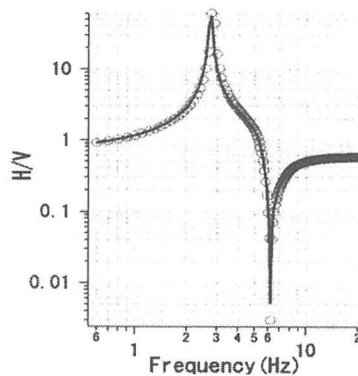


図 2 H/V

の2回行った。サンプリング間隔は0.01秒、観測時間は約34分間である。観測から得られたレイリー波位相速度曲線、H/V、ラブ波位相速度を図5、図6、図7に示す。ラブ波の位相速度は山本(2000)に基づいて算出した。レイリー波位相速度とH/Vを用いてGAインバージョンを行った。逆解析は3段階行い探索範囲をしばっていった。最終的には20個体、200世代の逆解析を図8の点線で示される探索範囲で、乱数を変化させ3種類行った。図8の実線は計算結果の中で最もFitnessが良かったモデルである。レイリー波位相速度、H/Vのみであれば同程度のFitnessを持つモデルも複数存在したが、図7に示されるラブ波位相速度を考慮した場合、ほかのモデルは著しくFitnessが下がるという結果となった。このことから図8のモデルが最良のものであると言える。また、図9で示されるとおり、45mまでのボーリングデータと比較してみても十分に満たしていると言える。

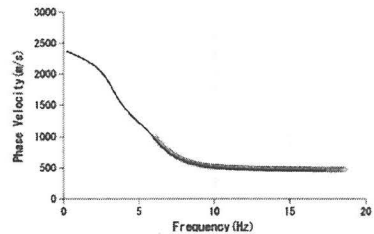


図3 レイリー波位相速度曲線

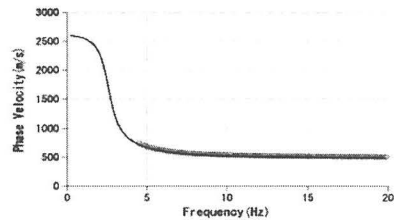


図4 ラブ波位相速度曲線

6. まとめ

微動アレー探査において、従来行われてきたレイリー波位相速度のみによる逆解析よりも、H/Vを同時に考慮して逆解析を行うことで、基盤深度を含めた地下構造モデルの推定が可能になった。GAを用いることで解の候補が複数存在することになるが、ラブ波位相速度を含めFitnessを評価することで最良解を選出することができた。現時点では計算時間が膨大となるのでラブ波位相速度の残差はGAインバージョンには含めていないが今後この点を改良する余地が残されている。将来的には解析データを増やし、広域の三次元構造モデルと併用することで、さらに詳細な地震被害の予測に役立てられることが期待される。

参考文献

- ・山本英和、貝沼敬太、小淵卓也、佐野剛(2007) 盛岡市域の3成分微動アレー探査によるラブ波位相速度分散曲線の推定 社団法人 物理探査学会 第116回(平成19年度春季) 学術講演会講演論文集, pp. 21-24.
- ・Carroll, D.L.(2001), FORTRAN Genetic Algorithm (GA) Driver, <http://cuaerospace.com/carroll/gatips.html>
- ・斎藤正徳(1979) 成層構造に対する反射率、表面波分散曲線の計算Ⅰ. 液体中の音波、弾性体中のSH波 物理探査学会誌 第32巻 5号 pp.209-220
- ・斎藤正徳、柁沢宏之(1993) 成層構造に対する反射率、表面波分散曲線の計算Ⅱ. レイリー波の計算 物理探査学会誌 第46巻 4号 pp.283-298
- ・山本英和(2000) 3成分微動アレー観測によるLove波の位相速度の推定の試み 物理探査学会誌 第53巻 第2号 pp.153-166

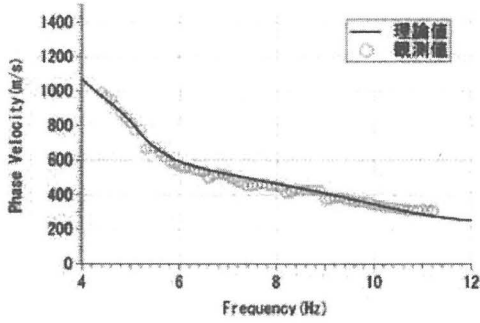


図5 岩手大学工学部グラウンド
レイリー波位相速度

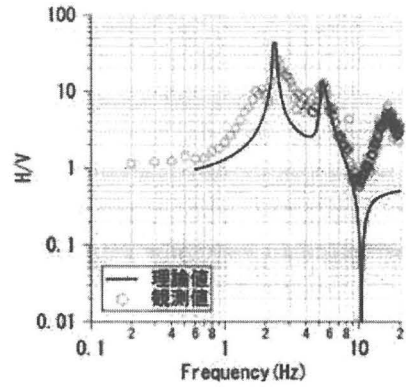


図6 岩手大学工学部グラウンド
H/V

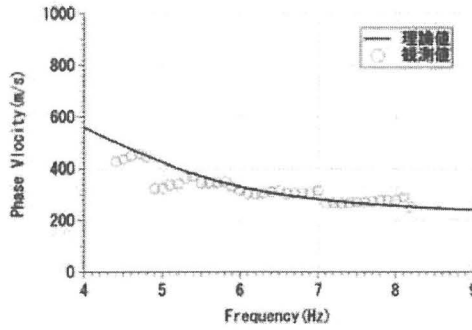


図7 岩手大学工学部グラウンド
ニ波位

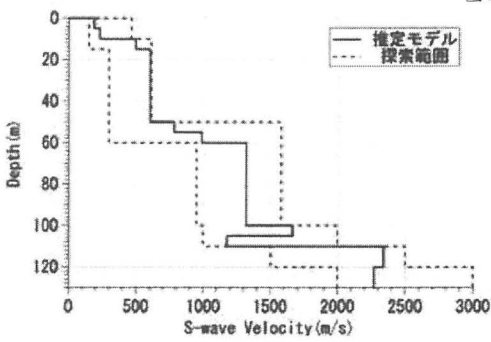


図8 推定されたS波
速度構造モデル

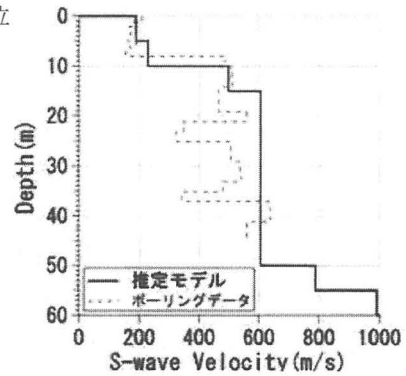


図9 ボーリングデータ
との比較