

## 微動アレー探査による北上市における S 波速度構造の推定\*

岩手大学大学院工学研究科 ○熊田脩平

岩手大学工学部 山本英和, 佐野剛

### 1. はじめに

本研究の探査地域である北上市は北上低地帯中央部に位置し、北上低地西縁断層帯のうち北西部に花巻断層帯、南西部に出店断層帯が存在し、活断層が動いて内陸地震が発生した場合、大きな被害が予想される地域である（岩手県、2000）。我々は北上市の約 100 地点において 1 点 3 成分常時微動測定を実施し、微動の H/V がレイリー波の振幅比で説明可能と仮定して、おおまかな基盤深度の空間分布を推定した（鷺坂ほか、2007）。

しかし地震時の強震動を予測する上で、深さ 30m までの S 波速度を平均した、AVS30 や基盤深度の空間分布といった三次元的な地下構造を知る必要がある。詳細な地下の情報を得ることで、模擬地震動を入力し、地盤の応答計算が可能となり、地震時の被害を想定することができる。

そこで本研究では北上市において、低コストかつ短時間で探査が可能となる 1 点 3 成分常時微動観測で得られる H/V データを多数点で利用し、微動アレー探査をコントロールポイントで実施することで S 波速度構造東西断面の推定をおこなう。

### 2. 微動アレー観測

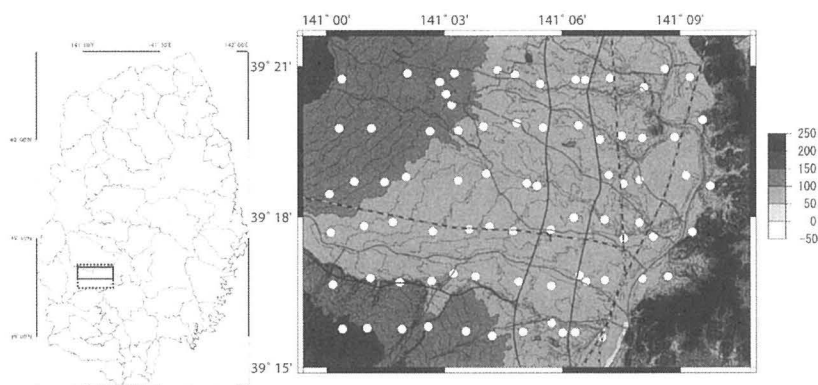


図 1 左図は岩手県地図。図中の実線の四角は本研究における探査の範囲に対応する。

点線四角が右図の鷺坂ほか(2007)の範囲に対応する。北上市の標高と○は観測点を示している。

\* Estimation of S-wave velocity structures at the area of Kitakami City, Iwate Prefecture by using microtremor array technique  
by Shuhei KUMATA, Hidekazu YAMAMOTO and Tsuyoshi SANO

図 1 と図 2 に研究対象地域を示す。また、推定されたモデルとボーリングデータを比較する目的で、深度 100m 以上の PS 検層データがある基盤強震ネット花巻南(微動アレー観測点 a)で探査をおこなった。同時に浅部の PS 検層データがある強震ネット北上(微動アレー観測点 d)においても探査をおこなった。

微動測定に使用した機材を以下に示す。微動計として、レナルツ社製固有周期 5 秒 3 成分速度型振動計 LE-3D5s を複数台使用し、収録機として、白山工業(株)製データロガーLS-8000SH を使用した。一箇所における微動の測定時間は約 30 分間から 1 時間。サンプリング周波数は 100Hz と 200Hz を観測点によって選択した。

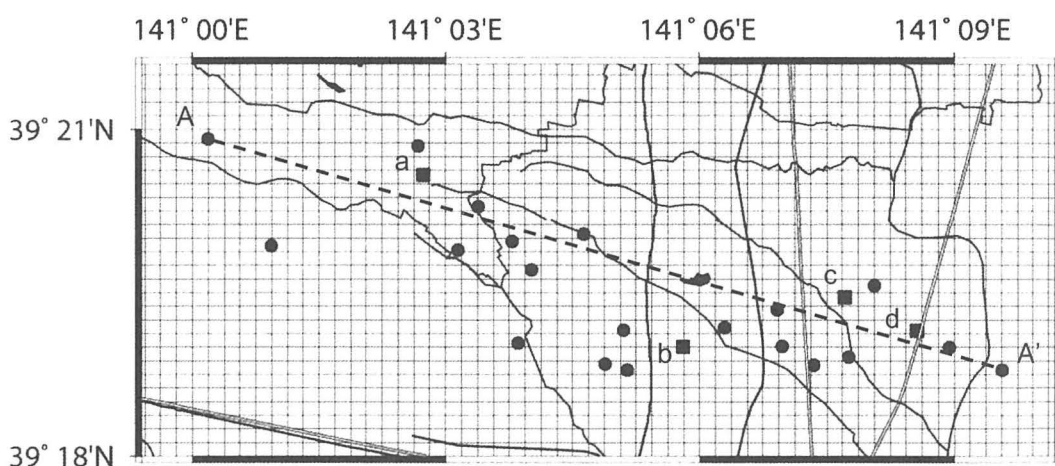


図 2 東西断面図 A～A'、全長は約 14Km。図中の四角は微動アレー観測点。丸は 1 点 3 成分常時微動観測点に対応する。

- a・・・基盤強震ネット花巻南 (Iwth20)
- b・・・北上流通センター付近
- c・・・黒沢尻工業高校グラウンド
- d・・・強震ネット北上 (Iwt012)

### 3. 解析

測定された 3 成分(東西動、南北動、上下動)の微動の波形から、FFT によるスペクトル解析により各成分のパワースペクトルを算出する。ただし、15 分の測定時間の中で車両の通行などによるノイズが混入している測定地点も多々存在していたため、以下の手順でスペクトル解析を実施した。測定時間を 5.12 秒ずらした 40.96 秒を基本とする解析区間に分割し、それぞれパワースペクトルを算出した。こうして得られた東西動と南北動の相乗平均から水平動のスペクトルを算出し、それを上下動のスペクトルで除して、最終的には 2 乗根をとることにより微

動の H/V スペクトルを算出した。

各地点で微動の H/V スペクトルからピーク周波数を読み取り、逆数をとることによりピーク周期とした。複数ピークが存在するところでは基本的には大きなピークを読み取った。その図を図 3 として示す。

ピーク周期は、北上川流域で約 0.1 秒から 1 秒程度、東部から西部にかけて 1 秒から 3 秒まで徐々に長くなった。図 3 より微動の H/V のピーク周期が、大局的には東部から西部に向かって徐々に大きくなっていることが示された。このことからピーク周期が地下構造、とりわけ基盤の構造に影響を受けていることが予想される。

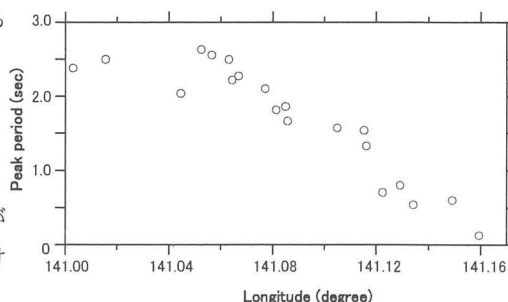


図 3 微動の H/V スペクトルのピーク周期の経度方向の変化

レイリー波位相速度の算出には空間自己相関法を利用した。上記の区間に分

割し FFT によりスペクトルを算出し、平均中心と円周上の各点に対応する距離に対応する方位平均された複素コヒーレンシー（空間自己相関係数）および円周上の各点どおしで得られる距離に対応するものを、同時にそれぞれの 0 次のベッセル関数に適合し、位相速度を求めた。

ラブ波位相速度の算出については山本ほか（2009）を参照されたい。

#### 4. 解析結果による標準モデルの推定

まず微動アレー観測点 a（基盤強震ネット花巻南）のボーリングデータを図 4-1 として示す。観測点 a ではボーリングデータの地下構造に加えて、さらに深部を探索で求めた 7 層＋基盤の詳細なモデルを推定した（山本ほか、2009）。しかし他の微動アレー観測点において 7 層＋基盤のモデルを適応させるためには未定数が多くなり、難しい。そこで  $V_s$  が近い値の層を同一化することで 4 層＋基盤という新しいモデルを推定した。H/V スペクトル、レイリー波位相速度、ラブ波位相速度において観測値とモデルとの比較を行う。黒丸は観測データを示し、実線は推定（4 層＋基盤）モデル、破線は詳細な（7 層＋基盤）モデルの曲線を示す。それを図 4-2、4-3、4-4 において示す。

観測データに対して詳細なモデルの破線、推定モデルの実線が観測のデータを十分に満たしていることから、推定モデルが実際の地下構造と遜色ないと考えられる。

また鷲坂ほか（2007）の結果から北上市の基盤深度が南北方向の変化は顕著ではなく、東西方向だけに変化している。そこで、微動アレー観測点 a において推定した地下構造を標準のモデルとする。そして西部から東部にかけて同一の土質 ( $V_s$ ) が堆積しており、各層厚のみが変化していると考えらることで、他の微動アレー観測点 b、c、d 点においても標準モデルの層厚のみを変化させて地下構造を推定した。その際、観測点 d では強震ネット北上のボーリングデータを浅部において利用し、 $V_s$  も変化させて地下構造を推定した。

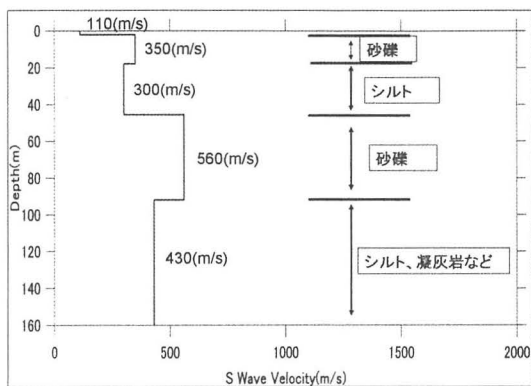


図 4-1 基盤強振ネット花巻南、ボーリングデータ

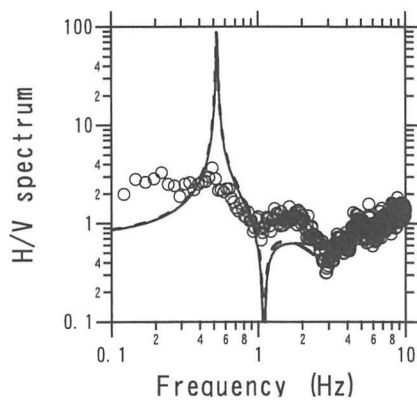


図 4-2 H/V スペクトル比

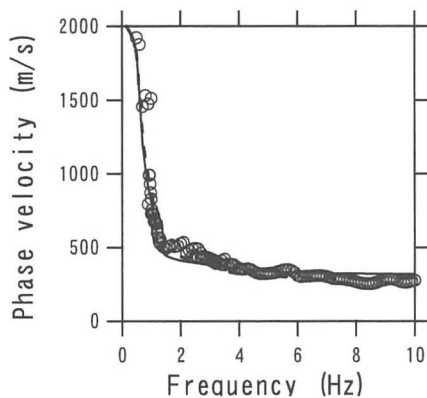


図 4-3 レイリー波位相速度

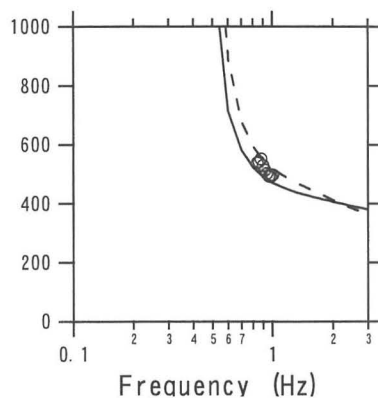


図 4-4 ラブ波位相速度

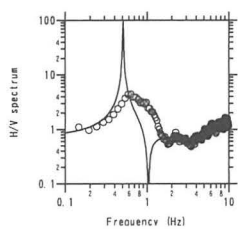


図 6-(1)

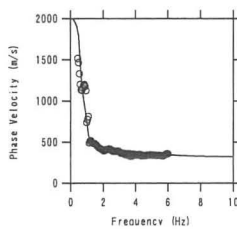


図 6-(2)

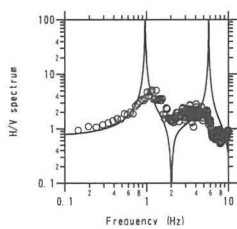


図 7-(1)

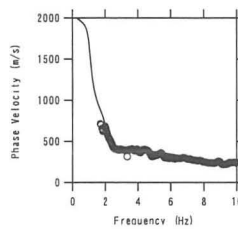


図 7-(2)

図 6 観測点 b における H/V スペクトル比 (1) とレイリー波位相速度 (2)。

図 7 観測点 c における H/V スペクトル比 (1) とレイリー波位相速度 (2)。

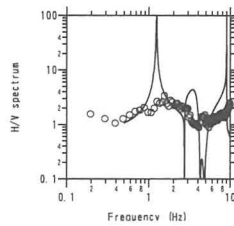


図 8- (1)

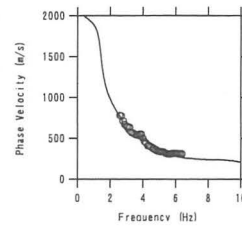


図 8- (2)

図 8 観測点 c における H/V スペクトル比 (1) とレイリー波位相速度 (2)。

以上より微動アレー観測点の地下構造を推定した。それを並べて比較する。

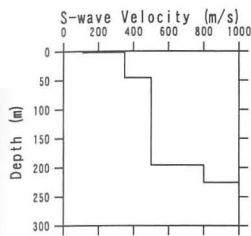


図 9-a

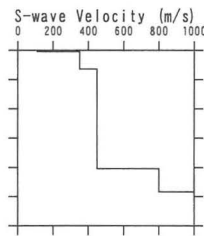


図 9-b

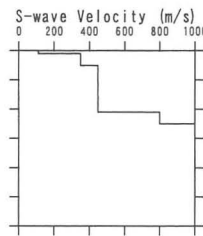


図 9-c

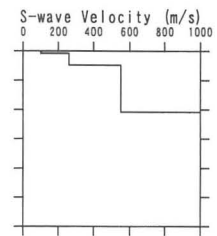


図 9-d

図 9-a、b、c、d 微動アレー観測点 a、b、c、d の地下構造。

以上の微動アレー観測点を東西に補完する。H/V スペクトル比が基本モードレイリー波で表現可能と仮定して基盤深度を推定する。ここでレイリー波振幅は、先ほど推定した 4 層 + 基盤の計 5 層モデルと仮定して算出する。必要なパラメータは各層と基盤の、層厚、S 波速度、P 波速度、密度である。このうち P 波速度と密度は、S 波速度から換算する。さらに基盤の層厚は無限大とし、各層の S 波速度は標準モデルの値を用いて基盤の S 波速度を 2200 m/s と決定する。微動アレー探査から地下構造を推定したときと同様に変数を各層の層厚のみとしている。

最寄りの微動アレー観測点の地下構造を 1 点 3 成分観測点に反映させ、レイリー波の振幅比で計算されるピーク周波数と観測された微動の H/V スペクトル比のピーク周波数とが一致するように補完して、北上市における A~A' 断面の S 波速度構造を推定した。微動 H/V のピーク周波数と計算されたピーク周波数が一致していることも確認した。それを図 10 として示す。S 波速度構造東西断面図を図 11 として示す。基盤の標高が A~A' 間において西部から中央部にかけてなだらかになっており、中央部から東部にかけて極端に浅くなっている。また層厚が一番変化している層は  $V_s$  を 450 m/s とした層である。

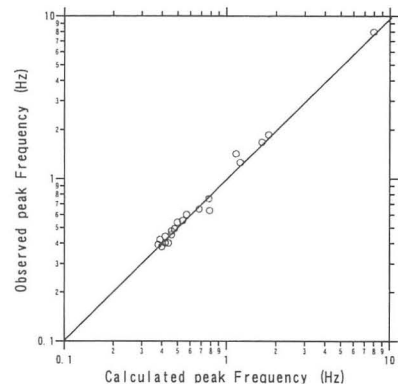


図 10 ピーク周波数の比較

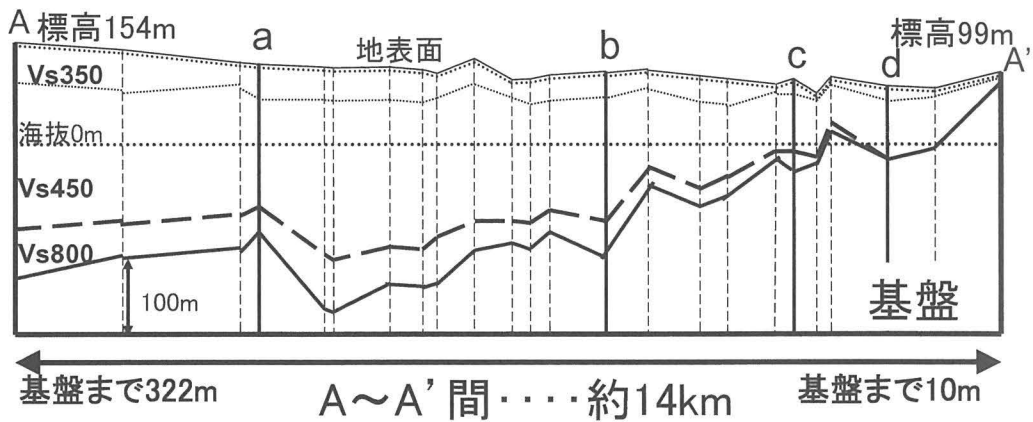


図 11 岩手県北上市における S 波速度構造東西断面

## 5. まとめ

本研究によって基盤の標高が A～A' 間において西部から中央部にかけてなだらかになっており、中央部から東部にかけて極端に浅くなっていることがわかった。また層厚が一番変化している層は  $V_s$  が 450m/s の層であることもわかった。

将来的には解析データを利用し、北上市全域の三次元構造モデルを推定することで、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。

## 謝辞

微動の測定・解析には岩手大学工学部建設環境工学科地下計測学研究室の学生の協力を得た。記してここに謝意を表する。

## 参考文献

- (1) 岩手県 (2000) : 岩手の活断層, p.25.
- (2) 鷺坂詩織, 山本英和, 佐野剛 (2007) : 微動の H/V スペクトル比を利用した岩手県北上市の基盤深度の推定, 東北地域災害科学研究, 第 43 巻, pp. 45-50
- (3) 山本英和, 戸田真澄, 佐野剛 (2009) : 3 成分微動アレー観測で推定されるラブ波位相速度の信頼性に関する検討, 東北地域災害科学研究(掲載予定)
- (4) 斎藤正徳, 梶沢宏之 (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, 第 46 巻, 4 号 pp.283-298