

微動アレー探査による岩手県奥州市における S 波速度構造の推定*

岩手大学工学部 ○澤木俊哉, 山本英和, 佐野剛

1. はじめに

地震防災において地下構造を明らかにすることは、地震が起こった際の揺れや被害予測を行う上で重要である。S 波速度構造の推定に有効である微動アレー探査は常時微動を利用するため、震源の制約が無く都市部に適した探査法であるといえる。本研究の対象である岩手県奥州市は平成 20 年岩手・宮城内陸地震で被害を受けた地域であるが、S 波速度データが十分に得られていない。本研究では微動アレー探査を当該地域の 4 地点で実施し S 波速度構造を推定する。また、同時に得られる H/V を併用することで詳細な推定を行う。

2. 微動アレー観測

図 1 に奥州市内での微動アレー観測点を示す。観測点は、西側から順に①胆沢区作屋敷周辺、②水沢区佐倉河周辺、③江刺区愛宕小学校周辺、④江刺区江刺第一中学校の 4 地点とする。南西 - 北東断面となる X-X' 断面の全長は約 10.5km となる。円上に配置された地震計の様子(アレー)の例を図 2 に示す。今回の観測では、同時に 4 台の地震計を利用する中心を含む正三角形型アレー(図 2a)と、同時に 5 台の地震計を利用する中心を含まない正五角形型アレー(図 2b)を用いた。アレーサイズは円の半径、 r で示される。微動計はレナルツ社製の LE-3D/5s を、収録器には白山工業製の LS-8000SH を使用した。測定開始直前に GPS により時刻同期を行った。

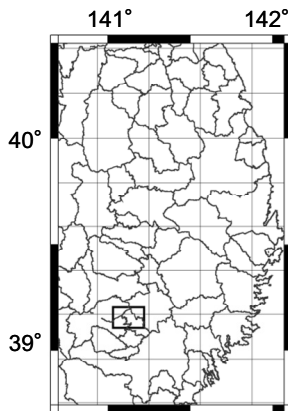


図 1a 観測範囲

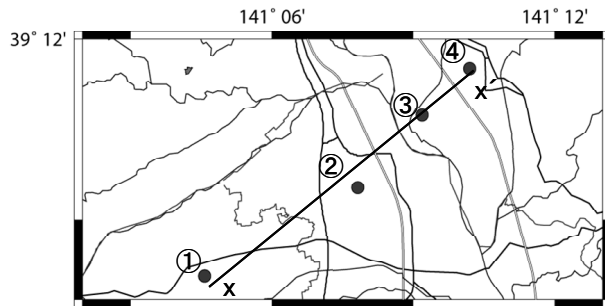


図 1b 微動アレー観測点

* Estimation of S-wave velocity structures at the area of Oshu City, Iwate Prefecture by using microtremor array technique
by Shunya SAWAKI, Hidekazu YAMAMOTO and Tsuyoshi SANŌ

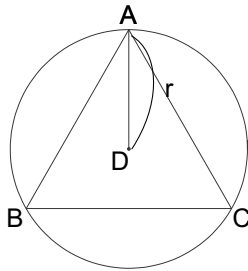


図 2a 中心を含む正三角形型アレー

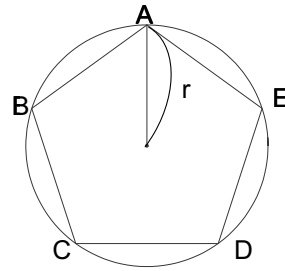


図 2b 中心を含まない正五角形型アレー

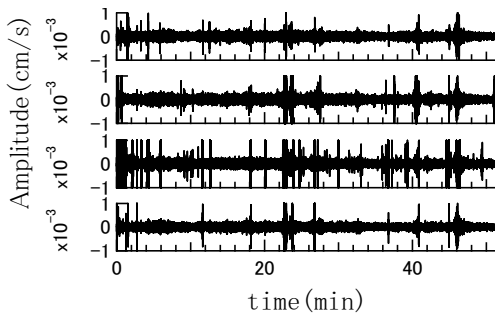
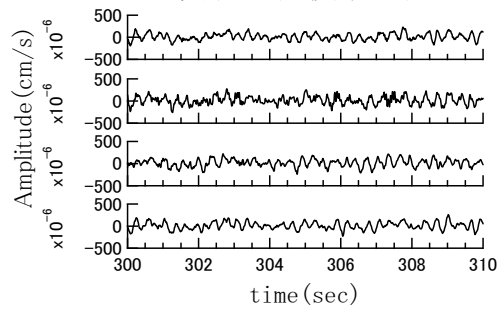


図 3a 観測された波形例



3. S波速度構造の推定

まず、観測された常時微動の上下動から位相速度を各アレーごとに算出する。位相速度の算出には微動を 40.96 秒づつずらした 81.92 秒、または 20.48 秒づつずらした 40.96 秒ごとの区間に分割し、空間自己相関法や周波数-波数法を利用する。位相速度の解析可能な波長範囲として、短波長限界は空間エイリアシングが発生しない最短地震計間隔の 2 倍とし、長波長限界は最長地震計間隔の 4 倍とした。異なるアレーごとに算出された位相速度が、低周波から高周波へ連続するように当該地点の位相速度分散曲線を決定する。ハスケルのマトリクス法により、位相速度の分散関係を満足するように、2 ないし 3 層の水平層モデルを仮定し、各層の S 波速度と層厚を推定する。さらに、微動の水平動と上下動の比となる H/V を算出して、この H/V が基本モードレイリー波の振幅比を満足するように、層モデルを微調整する。図 3 に、観測点①で実施した 30m アレーの常時微動の波形例と FFT により算出されたスペクトル例を示す。

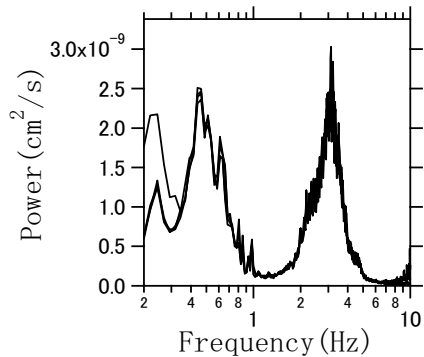


図 3b パワースペクトル

図4に観測点①における観測結果を示す。この観測点では、中心を含む正三角形型アレーにより、アレーサイズ6m、30m、95m、280m、700mの観測を5展開実施した。サンプリング間隔は6mアレーで5ms、それ以外のアレーで10msとした。位相速度は0.27Hzから5.6Hzの周波数帯で、440m/sから2100m/sで得られた。この観測点ではS波速度構造を3層のモデルで推定した。1層目は V_s 460m/s、層厚100m、2層目は V_s 770m/s、層厚500m、基盤は V_s 2600m/s、基盤深度は600mである。

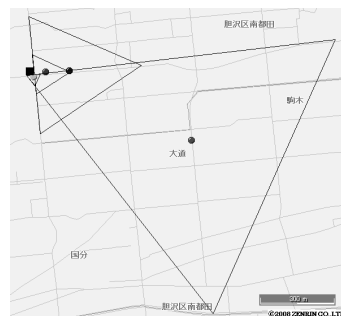


図4a 胆沢区作屋敷周辺でのアレー配置

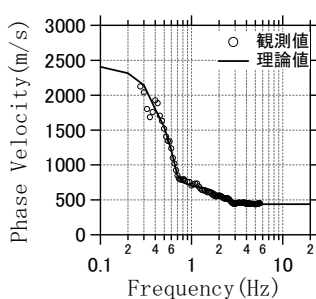


図4b 観測点①での位相速度

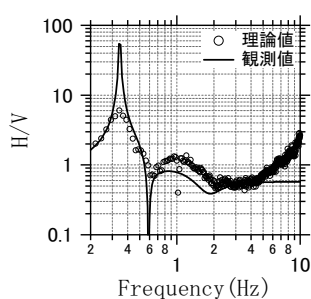


図4c H/V

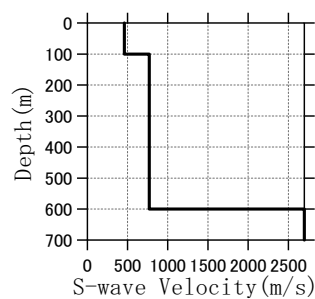


図4d S波速度構造

図5に観測点②における観測結果を示す。この観測点では、中心を含む正三角形型アレーにより、アレーサイズ100m、300m、650mの観測を3展開実施し、サンプリング間隔は全観測で10msとした。位相速度は0.53Hzから2.4Hzの周波数帯で、500m/sから2300m/sで得られた。この観測点ではS波速度構造を3層のモデルで推定した。1層目は V_s 500m/s、層厚175m、2層目は V_s 770m/s、層厚100m、基盤は V_s 2600m/s、基盤深度は275mである。

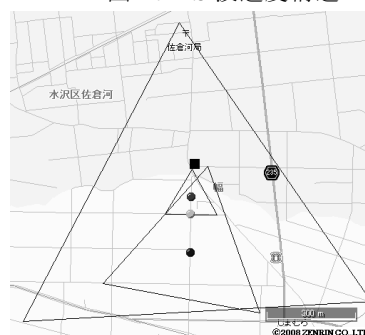


図5a 水沢区佐倉河周辺でのアレー配置

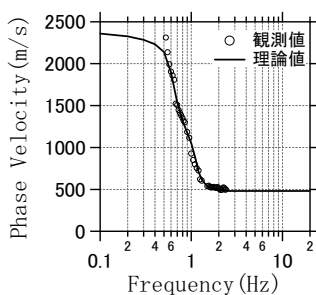


図5b 観測点②での位相速度

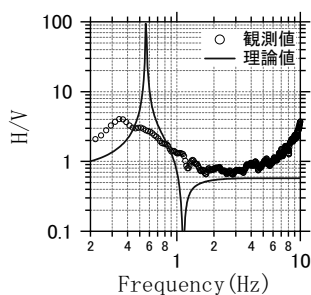


図5c H/V

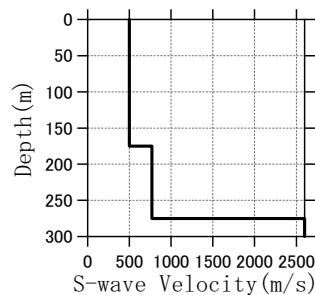


図5d S波速度構造

図 6 に観測点③における観測結果を示す。この観測点では、中心を含む正三角形型アレーにより、アレーサイズ 6m、18m、100m、300m の観測を 2 展開実施し、サンプリング間隔は 6m・18m アレーで 5ms、100m・300m アレーで 10ms とした。位相速度は 1.25Hz から 3.5Hz の周波数帯で、380m/s から 900m/s で得られた。この観測点では S 波速度構造を 2 層のモデルで推定した。1 層目は $V_s385\text{m/s}$ 、層厚 120m、基盤は $V_s2600\text{m/s}$ 、基盤深度は 120m である。

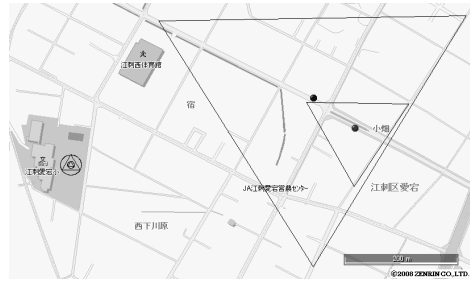


図 6a 江刺区愛宕小学校周辺でのアレー配置

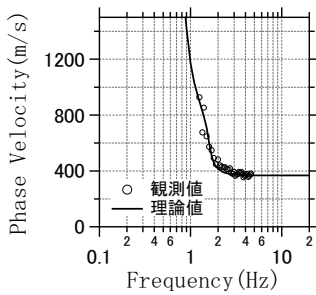


図 6b 観測点③での位相速度

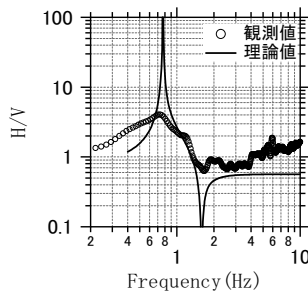


図 6c H/V

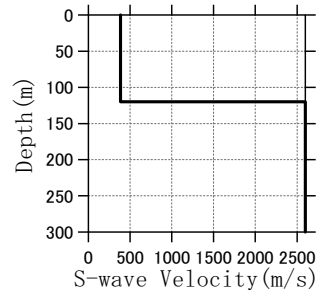


図 6d S 波速度構造

図 7 に観測点④における観測結果を示す。この観測点では、中心を含まない正五角形型アレーにより、アレーサイズ 6m、18m、54m の観測を 3 展開実施し、サンプリング間隔は 6m・18m アレーで 5ms、54m アレーで 10ms とした。位相速度は 2Hz から 16Hz の周波数帯で、250m/s から 1200m/s で得られた。この観測点では S 波速度構造を 3 層のモデルで推定した。1 層目は $V_s250\text{m/s}$ 、層厚 9m、2 層目は $V_s470\text{m/s}$ 、層厚 77m、基盤は $V_s2600\text{m/s}$ 、基盤深度は 86m である。

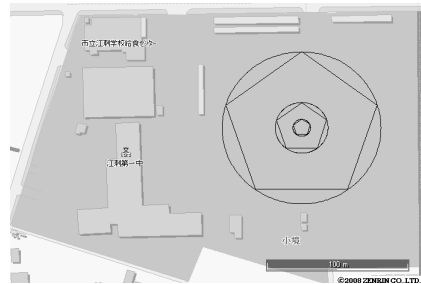


図 7a 江刺区江刺第一中学校でのアレー配置

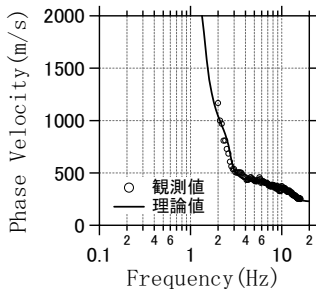


図 7b 観測点④での位相速度

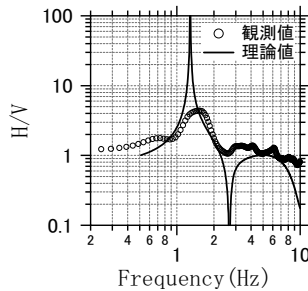


図 7c H/V

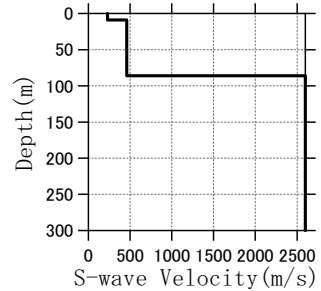


図 7d S 波速度構造

図 8 は、各観測点ごとに算出された位相速度の分散曲線を示す。S 波速度構造を各観測点で解析した結果、表層の S 波速度の値が全地点で約 400 から 500m/s であることから、奥州市において、ほぼ同種の地層が南西部から北東部にかけて、層厚のみを変化させて堆積していると考えられる。

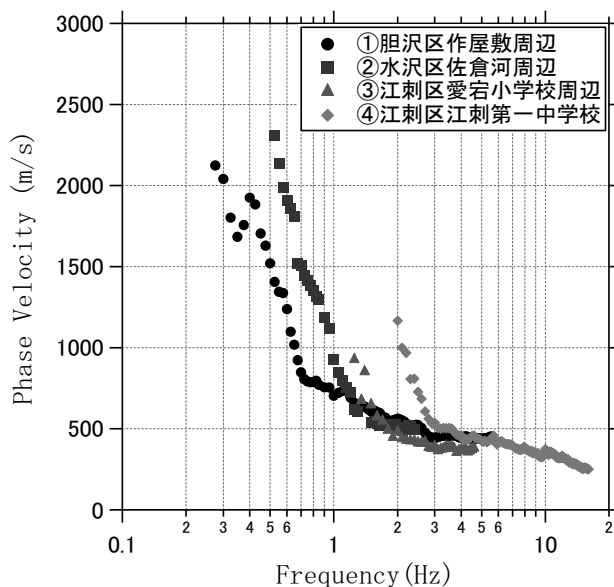


図 8 各観測点ごとに算出された位相速度

図 9 では、各観測点ごとに推定された S 波速度構造を比較する。南西部から北東部にかけて、基盤深度が浅くなっていく様子がわかる。

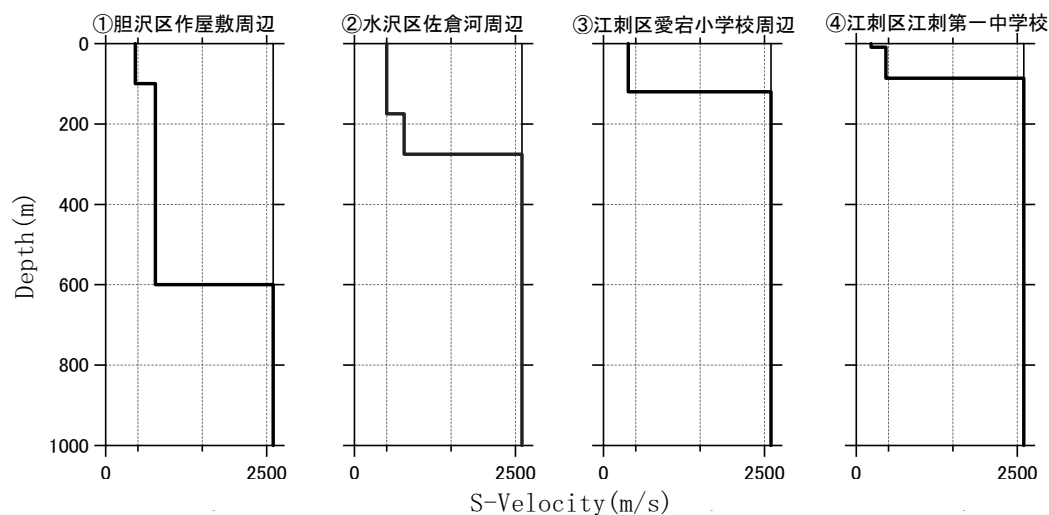


図 9 各観測点で推定した S 波速度構造図

図 10 は観測点ごとに推定した S 波速度構造を利用して作成した、奥州市における地下断面図である。南西部には $V_s770\text{m/s}$ の厚い層があるが、北東部に向かうにつれて薄くなっている。北東部には表層に $V_s250\text{m/s}$ の薄い層があると考えられる。

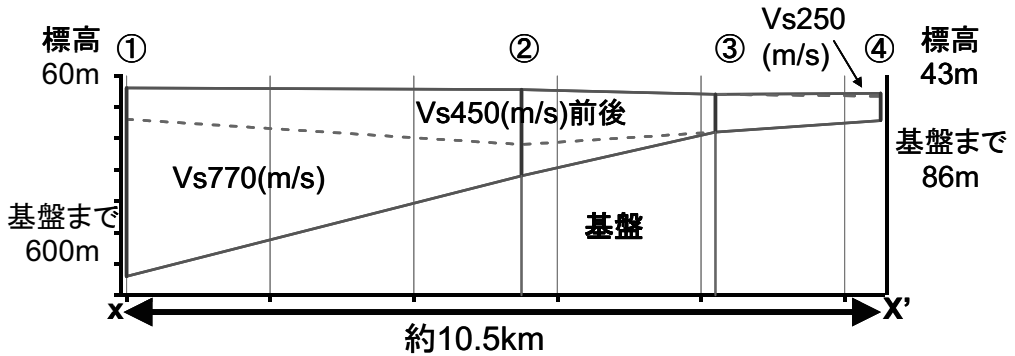


図 10 岩手県奥州市における X-X' 地下構造断面図

4. まとめ

岩手県奥州市内で微動観測を行い、2 ないし 3 層のモデルにより S 波速度構造を推定した。奥州市の地下構造は南西部から北東部にかけて基盤深度が浅くなる傾向がある。また、南西部には $V_s770\text{m/s}$ の厚い層があり、北東部の表層には $V_s250\text{m/s}$ の薄い層があることがわかった。

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（畠山和也，平出愛実，藤田将季）の協力を得た。記してここに謝意を表す。

参考文献

- (1) 熊田修平, 山本英和, 佐野剛, 宮越亜矢子 (2009): 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, 東北地域災害科学研究, 第 45 巻, pp. 99 - 104.
- (2) Haskell, N.A. (1953): The dispersion of surface waves on multilayered media, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 43, pp. 17-34