

微動観測による陸前高田市の地盤の S 波速度構造の推定*

岩手大学工学部 山本英和 ○朝田航 齊藤剛

1. はじめに

地震時の揺れは表層地盤の S 波速度構造に強く依存するため、被害の大小を予測するうえで S 波速度は重要な要因である。東北地方太平洋沖地震により岩手県の沿岸地域では大津波による甚大な被害が発生したが、地震動による被害は、その痕跡を確認することが困難なためほとんど報告されていない。2013 年現在、震災からの復興のため、すでに陸前高田市では防潮堤の建設、地盤の嵩上げ工事が始まっている。陸前高田市のような岩手県沿岸地域では、今後も地震により強震動を受ける可能性が高いため、地域ごとの地震時の「揺れやすさ」を知っておく必要がある。我々は、微動観測により地盤の構造を把握して、最終的には地域全体の地震動予測地図を作成することを目標としている。本研究では、単点微動観測を実施し、得られた微動の H/V のピーク周期分布から平野部の基盤深度分布を面的に把握する。および極小アレー観測を実施し、表層地盤の S 波速度分布を二次元的に把握する。

2. 微動観測

図 1 に、微動観測の全観測点の位置図を示す。黄色い点が単点観測、青い点が極小アレー観測、ピンクとオレンジの点がそれぞれ半径 20m と 60m の大アレー観測の位置を示す。被害があったところは海沿いや平野部で、観測は主にその地域で行った。測線 AB と CD は千田ほか (1984) の地質断面図に沿った測線である。海岸沿いの陸地は地震による地盤沈下のため観測ができなかったため、北側に平行移動させて新たに測線 A'B'を設定した。図 2 に、AB と CD の地質断面図を示す。赤く囲った部分は 20m アレー観測、60m アレー観測を行った観測点の地下断面である。本研究では、このボーリングデータに基づいた千田ほか (1984) の地質断面図に沿って測線 A'B'および測線 CD を設定して地下構造を調査し、解析結果を地質断面図と比較、検討した。

微動計は、白山工業株式会社製微動測定装置 JU310 を使用した。センサー部は航空電子製の加速度センサー感度 0.002039(V/Gal)の 3 成分加速度計、プリアンプ 5 倍、ロガー部に AD 分解能 24bit を有する LS8800 を内蔵する。センサー、ロガーが一体型でコンパクトであるため、野外で多数地点で測定する場合有効である。本調査では増幅率を 16 倍とした。観測条件として、サンプリング周波数は 200Hz、測定時間は単点観測で 15 分以上、アレー観測で 20 分以上とした。また、単点観測では GPS モードは OFF とし、アレー観測の場合は GPS で時刻を同期した。極小微動アレー探査は浅部地盤の S 波速度構造をするために長他 (2008) により提案され、最近適用事例が増えてきている。特に、CCA 等の特殊な解析法を利用すれば数十 m までの地盤探査が可能とされている。本研究では、中心に 1 台、半径 60cm の円周上に等間隔に 3 台微動計を配置して 4 台同時に微動を測定した。

* Estimation of S-wave velocity structures in Rikuzen-Takata City by microtremor observations by H.Yamamoto, W.Asada, and T.Saito

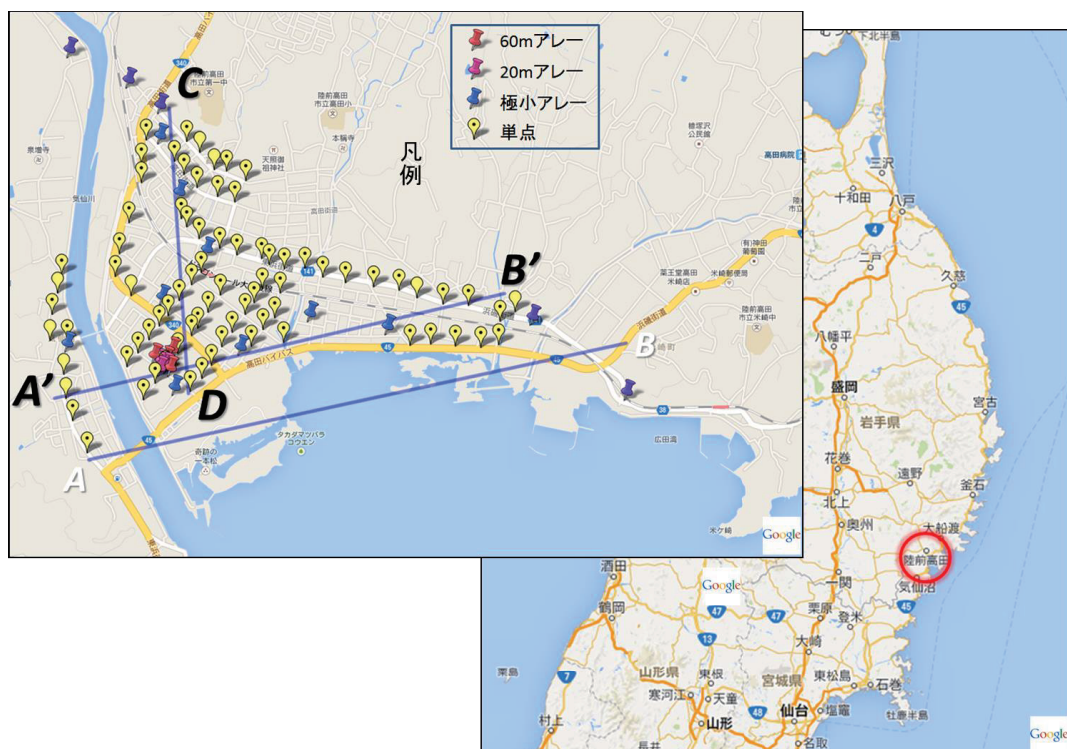


図1 陸前高田の地形と全観測点位置図

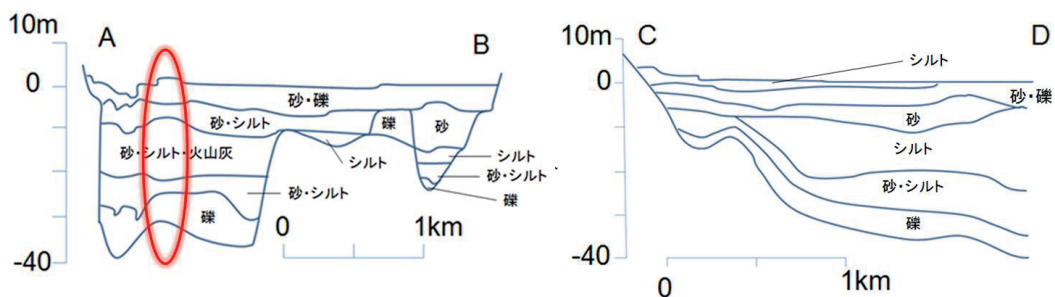


図2 断面AB, CDの地質断面図（基盤岩は主として花崗岩, 粘板岩である）

3. 微動のH/V

解析には、常時微動解析ツール TremorDataView（先名、藤原，1984）を利用した。測定した微動記録に 0.05~20Hz のバンドパスフィルタを処理し、区間 60 秒ごとにスペクトル、H/V を算出し、全区間で平均した。H/V ピークは 10Hz までの範囲で読み取った。図3, 図4, 図5にそれぞれ単点微動観測データを解析した3成分の加速度波形, 3成分のフーリエスペクトル, H/V スペクトルの例を示す。H/V は東西動, 南北動の合成スペクトルを上下動で除して得た。図5では 1.55Hz (0.645 秒) にピークを確認できる。全観測点でピーク周期を読み取った。

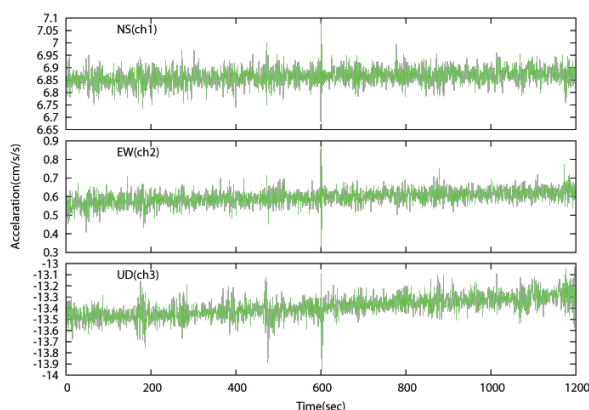


図 3 3 成分の波形

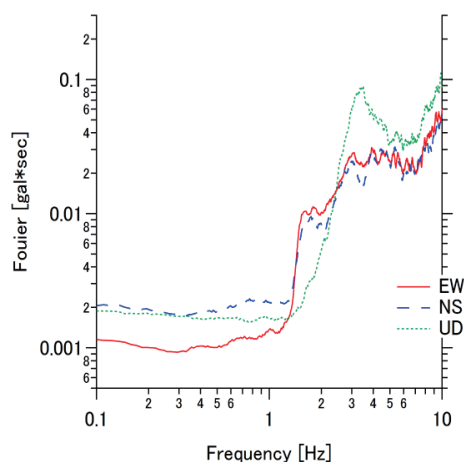


図 4 3 成分のフーリエスペクトル

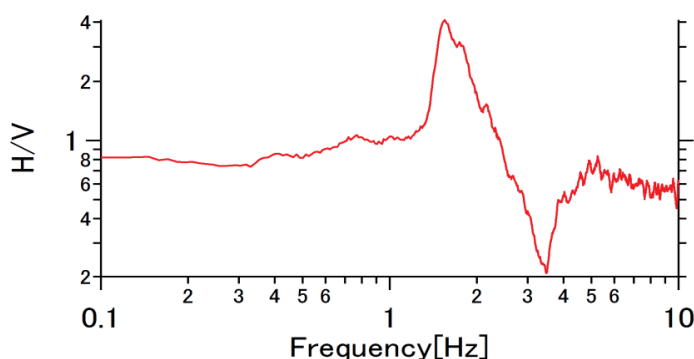


図 5 H/V スペクトル

図 6 に全観測点における微動の H/V ピーク周期分布とそのコンター図を示す。最大周期が 0.71 秒、最小周期が 0.11 秒を示している。長い周期が中央南部の気仙川河口付近に集まっており、北部、東部、西部にいくにつれて次第に周期が短くなっていることが確認できる。図 7、図 8 にそれぞれ測線 A'B'、CD (幅約 200m 以内) における H/V ピーク周期を示す。測線 A'B' では、一番西側で約 0.2 秒と短い周期を示し、気仙川を越えると約 0.7 秒と急激に周期が長くなる。東側では急激に周期が短くなり、一番東側では約 0.2 秒と短い周期を示している。測線 CD では、一番北側で約 0.2 秒を示し、南下するにつれて徐々に周期が長くなり一番南側では約 0.7 秒を示している。図 2 と図 7、図 8 を比較してみると、どちらも形が類似していることが見受けられる。よって、基盤深度と H/V ピーク周期の関係性として、基盤深度の浅いところでは周期が短く、基盤深度が深いところでは周期が長くなることが推定される。また、北側と東側、気仙川を挟んで西側では基盤深度が浅く、中央南部にかけて基盤深度が深くなっていることが推定される。

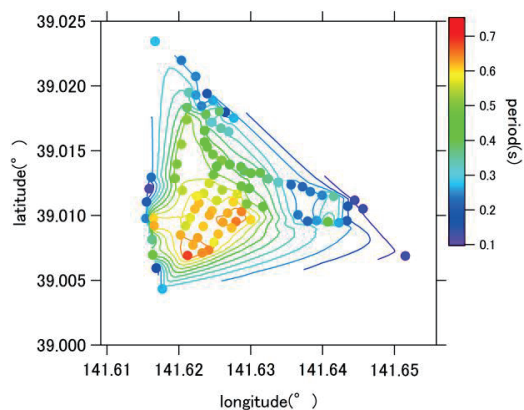


図 6 H/V ピーク周期分布とそのコンター図

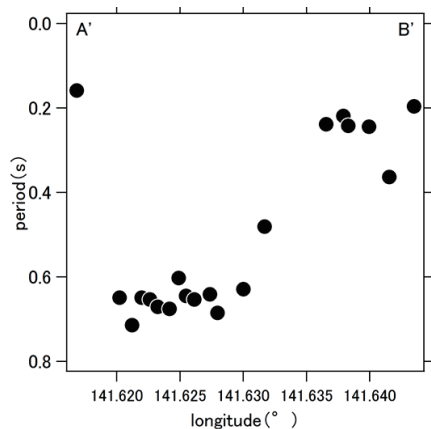


図 7 測線 A'B'における H/V ピーク周期

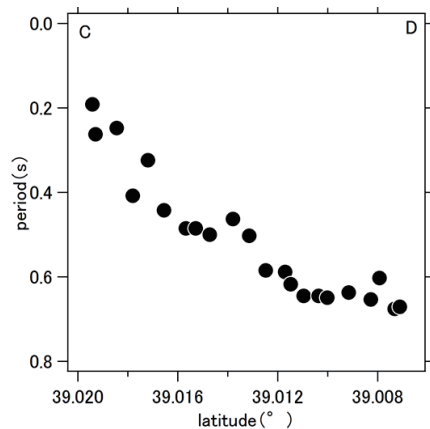


図 8 測線 CD における H/V ピーク周期

4. アレー観測による S 波速度構造の推定

アレー観測によって得たデータを空間自己相関法 (Aki, 1957) により周波数ごとの位相速度 (分散曲線) を算出する。データには同時に観測した 4 台の微動計の観測データの内、上下動成分のみを使用した。算出された位相速度分散曲線を満足するような S 波速度構造モデルを千田ほか (1984) の地質断面図を参考にして推定し、モデリングした。図 9 には、極小アレー、20m アレー、60m アレーの位相速度と推定した S 波速度構造モデルの理論分散曲線を示す。この 3 点は 200m 以内にあり、単点観測のデータもある点である。表 1、図 10 にそれぞれ S 波速度構造モデル、モデリングした推定される S 波速度構造を示す。図 9 の下限の直線はそれぞれ、最小地震計間隔の 2 倍を設定した。読取範囲は極小アレーが約 100 倍、20m アレーと 60m アレーが 3~4 倍まで読み取れる。図 10 の青線の S 波速度構造が 3 つのアレーを重ね合わせた場合で、赤線は極小アレーのみで推定したものである。極小アレーのみでは深度 20m までの S 波速

度構造を推定できるが、大アレーと組み合わせることによって深い深度まで推定できることを示している。図 2 で赤く囲った部分と図 10 を比較してみると、地盤の層ごとの境界がほぼ一致している。推定された S 波速度構造モデルは十分信頼性の高い結果を示した。

表 1 極小アレー、20m アレー、60m アレーを合わせた S 波速度構造モデル

	層厚 (m)	Vs (m/s)
1	5.0	130
2	5.0	150
3	10.0	170
4	5.0	200
5	5.0	500
基盤	∞	600

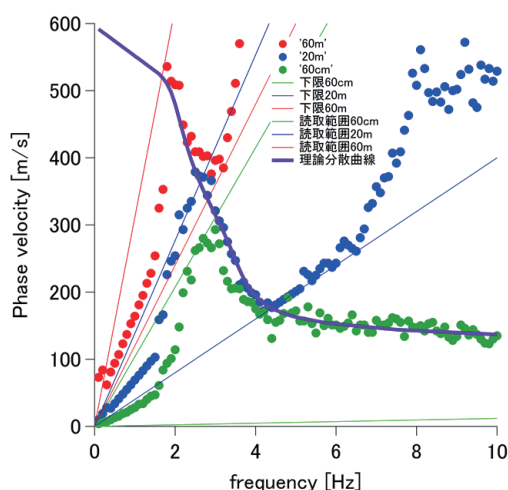


図 9 位相速度と理論分散曲線

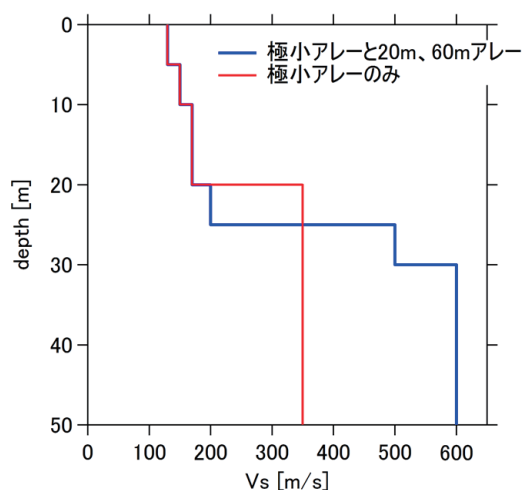


図 10 推定される S 波速度構造

図 11 は、測線 A'B' と CD に沿った極小アレー観測点において推定された S 波速度構造を示している。青線があるグラフは、図 10 と同一のものである。測線 A'B' については、測線の両端、西側と東側では基盤深度が浅く、中央部では基盤深度が深くなっている。図 2 の地質断面図 AB と比較すると、形が類似している。測線 CD については、図 2 の地質断面図では北から南にかけて徐々に基盤深度が深くなっているが、このモデルではそのような傾向は見られず、地質断面とははっきりとした関係性も現時点ではまだ確認することができていない。測線 CD については S 波速度構造のモデル推定の段階で、まだ修正、試行錯誤の余地がある。

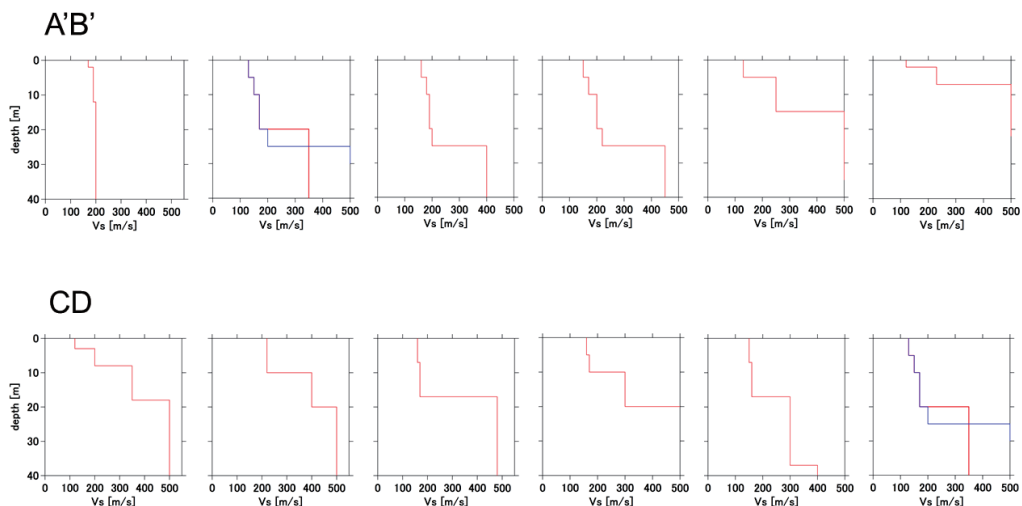


図 11 測線 A'B'および測線 CD に沿った微動アレー観測により推定された S 波速度構造

5.まとめ

本研究では、陸前高田市において単点微動観測によって H/V ピーク周期から基盤の深さ分布を面的に把握、およびアレー微動観測によって表層地盤の S 波速度分布を面的に把握した。その結果、北から南にいくにつれて H/V ピーク周期が長くなっていた。また、東から西にいくにつれて H/V ピーク周期が長くなり、気仙川を越えると急に短くなっていた。よって、北から南にかけては岩盤が次第に深くなり、西から東にかけては中央付近の基盤が深く両端が浅い、お椀型の構造をしていると推測される。この結果はボーリングデータに基づいた千田ほか(1984)の地質断面図と比較しても非常に類似していた。最深部の約 40m 程度の基盤深度を示す場所では、大きなサイズの微動アレーと極小微動アレーの観測結果を併用すれば、千田ほか(1984)の地質断面図と整合した結果を示す。全体として、研究結果と千田ほか(1984)の地質断面図を比較しても類似する結果となった。ただし、極小アレー観測のみによる S 波速度構造の推定については、まだ試行錯誤を重ねる余地がある。

参考文献

- 千田昇, 松本英明, 小原真一 (1984) 陸前高田平野の沖積層と完新生の海水準変化 東北地理 第 36 巻 第 4 号 pp. 232-239
- 先名重樹, 藤原広行 (2008) 常時探査観測ツールの開発 その 1 -常時微動解析ツール- 防災科学技術研究所研究資料 第 313 号 p.133
- Aki, K. (1957) Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Tokyo University, Bull. Earthquake Res. Inst. 25, pp.415-457
- 長郁夫, 多田卓, 篠崎祐三 (2008) 極小アレーによる新しい微動観測法: 浅部地盤平均 S 波速度の簡便推定 物理探査 61 pp.457-468