

## 岩手県久慈市における微動観測による地盤の S 波速度構造の推定\*

岩手大学工学部 山本英和, 石川拓弥, 齊藤剛

### 1. はじめに

岩手県沿岸北部に位置する久慈市は、地震調査研究推進本部による海溝型地震の長期評価によると三陸沖北部を震源とする M8.0 前後の 50 年地震発生確率が 50% と他地域に比べ非常に高く、地震防災対策を重視すべき都市である（地震調査研究推進本部, 2015）。地盤の揺れやすさを評価するためには表層の S 波速度分布を正確に評価する必要がある。

都市部における地盤の S 波速度を測定するのに最近は微動アレー探査が使用される（例えば、山本ほか 2014, 宇部ほか 2014）。これは微動アレー記録から表面波の位相速度を計算し、地盤 S 波速度モデルを算定する手法である。長ほか(2008)は、地震計間隔を数十 cm 程度に設定する極小アレーを提案し、機動性の高い測定を都市部において多地点で面的に実施することによる地震防災のためのマイクロゾーニングに効果的な手法を提案した。本研究では長ほか(2008)にならって、久慈市において 34 地点で微動アレー測定を実施し表層地盤の S 波速度を推定することを目的とした。ただし、検出可能な波長が短い極小アレーでは悪条件下では増幅率算定に重要な地下 30m 平均 S 波速度まで推定できない可能性がある。そのためいくつかの地点で追加の数十 m サイズの通常の微動アレー測定も実施し、総合的に評価することとした。

### 2. 微動観測

図 1 に微動観測地点を示す。赤で示される地点が半径 60cm の極小アレー、黄色で示される地点が半径 20m のアレー、緑で示される地点が半径 40m のアレー、青で示される地点が半径 60m のアレーである。極小アレーでは 34 地点を測定した。また、地下 30m 深度 S 波速度まで推定できない可能性を考慮して、半径 20m アレーで 3 地点、半径 40m アレーで 1 地点、半径 60m アレーで 6 地点を測定した。また、本研究では東から測線 AA', BB', CC' を設定した。

BB' 測線上の北部にある久慈病院において半径 60cm, 20m, 40m, 60m のアレーを用いた観測を行った。この観測点を B-2 地点とする。

微動計は、白山工業株式会社製の微動測定装置 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

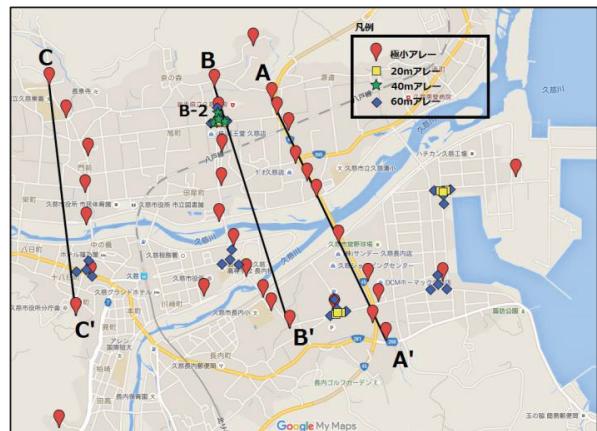


図 1 観測点位置

\* Estimation of S-wave velocity structures in Kuji City by microtremor observations by H.Yamamoto, T.Ishikawa, and T.Saito

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、野外において多数地点の測定をする場合は有効である。本研究では原則として増幅率を 16 倍とした。観測条件として、サンプリング周波数は 200Hz、測定時間は極小アレー観測で 15 分、半径 20m, 40m, 60m のアレー観測で 30 分とした。極小微動アレー探査は浅部地盤の S 波速度構造を推定するために長ほか(2008)により提案され、最近適用事例が増えている。特に、CCA 等(長ほか 2008)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。図 2 に微動計配置を示す。丸印がセンサーの位置である。本研究では、中心に 1 台、半径 60cm, 20m, 40m, 60m 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。

### 3. 微動の H/V

図 3 に B-2 地点で得られた微動波形を示す。これは、3 成分の加速度波形で、上から南北動成分、東西動成分、上下動成分である。測定した微動記録に 0.1Hz~20Hz のバンドパスフィルタを処理し、区間 40.96 秒毎にスペクトル、微動の H/V を算出し、全区間で平均した。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。H/V ピークは 10Hz までの範囲で読み取った。図 4 に B-2 地点の H/V スペクトルを示す。図 4 から 1.1Hz(0.909 秒)にピーカーを確認できる。全観測点でピーカー周期を読み取った。

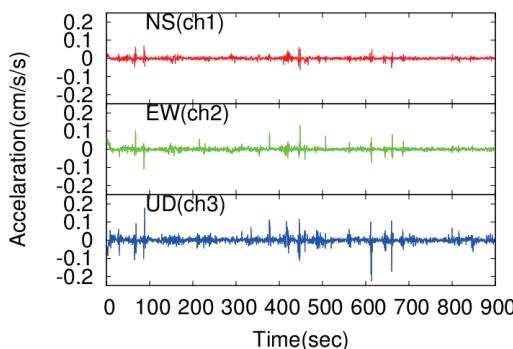


図 3 3 成分の波形

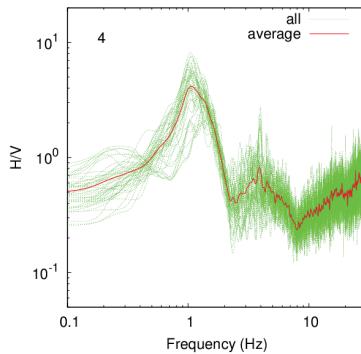


図 4 H/V スペクトル

図 5 にそれぞれ測線 AA', BB', CC'における H/V ピーク周期を示す。測線 AA'では、北側で約 0.75 秒、南側で約 0.3 秒とやや短い周期を示し、中央部では約 1.1 秒前後とやや長い周期を示す。また、中央部でも久慈川附近ではやや周期が短くなる特徴がある。測線 BB'では、北側で約 0.5 秒、南側で約 0.6 秒とやや短い周期を示し、中央部では約 0.9 秒前後とやや長い周期を示す。測線 CC'では、北側で約 0.4 秒、南側も約 0.4 秒とやや短い周期を示し、中央部では約 0.8 秒とやや長い周期を示す。この 3 測線は共通して北端と南端で周期が短く、中央部で周期が長くなる特徴があることがわかる。図 6 に全観測点における微動の H/V ピーク周期分布を示す。最大周期が 1.09 秒、最小周期が 0.23 秒を示している。長い周期が測線 AA'の中央部に集まっており、そこから東部、西部、南部、北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 5,

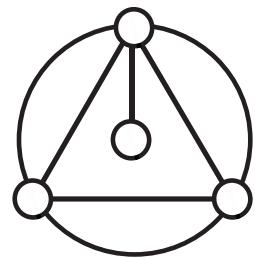


図 2 微動計配置

図6より、西から東にかけて周期が徐々に増加していることがわかる。このことより久慈の地下構造は、南北は丘陵地に囲まれているので基盤が浅く、西から東にかけて基盤が次第に深くなるお椀型の構造であることがわかる。

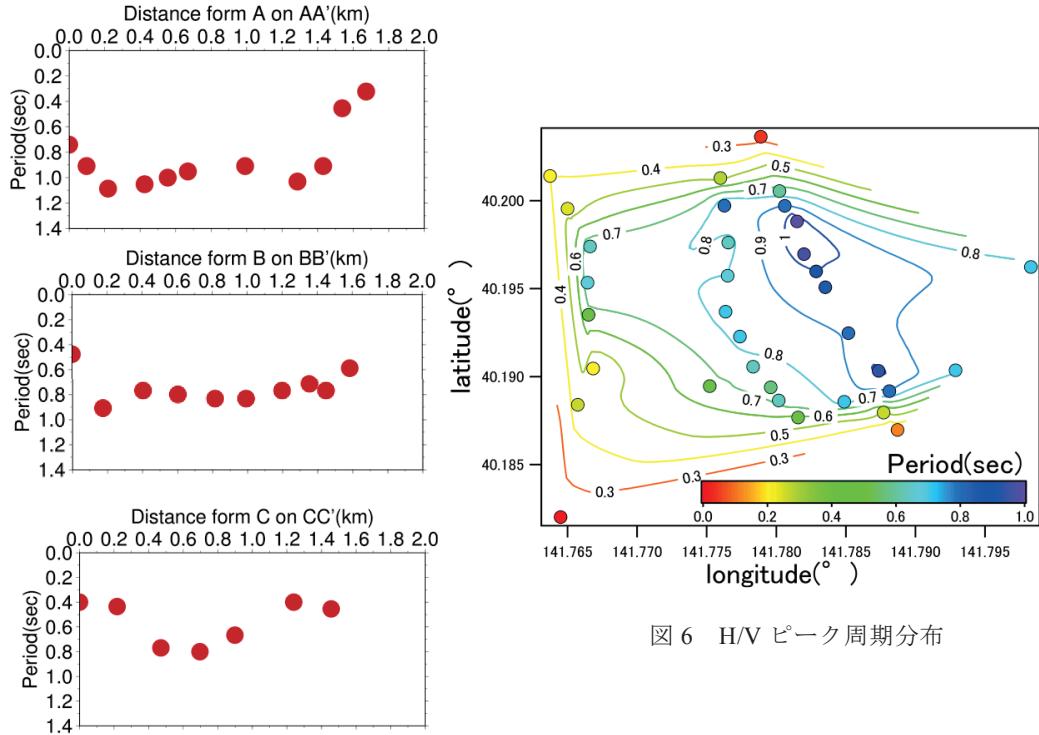


図5 各測線のH/Vピーク(上からAA', BB', CC')

#### 4. アレー観測によるS波速度構造の推定

図7にB-2地点における半径60cmアレーで得られた上下動成分の波形を示す。この4つの波形が極めて類似していることから、この波形を解析に用いることができると判断する。

空間自己相関法(Aki, 1957)によりアレー観測によって得たデータから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台の微動計の上下動成分のみを使用した。図8にB-2地点の極小アレ

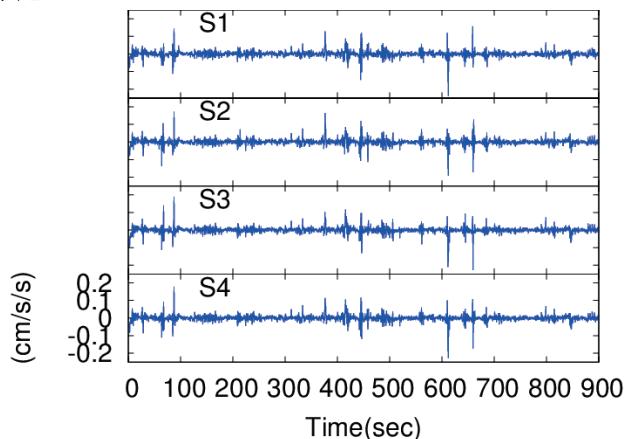


図7 B-2地点における波形

一, 20m アレー, 40m アレー, 60m アレーの位相速度分散曲線と推定した S 波速度構造モデルから計算される理論分散曲線を示す。図 8 からは、高い周波数帯では速度が約 100m/s と遅く、低い周波数帯では速度が速くなることがわかる。図 9 に B-2 地点の極小アレー, 20m アレー, 40m アレー, 60m アレーの H/V スペクトルと、推定した S 波速度構造モデルの理論 H/V スペクトルを示す。図 9 からは、極小アレー, 20m アレー, 40m アレー, 60m アレーの H/V スペクトルが全て類似しているため、解析に用いることができると判断した。図 8, 図 9 から、観測して得られる位相速度分散曲線と理論分散曲線が類似し、観測して得られる H/V スペクトルのピークの山と谷と理論 H/V スペクトルのピークの山と谷に合う条件を持った S 波速度構造モデルを作成する。図 10 に推定される S 波速度構造モデル、表 1 に S 波速度構造モデルのパラメータを示す。

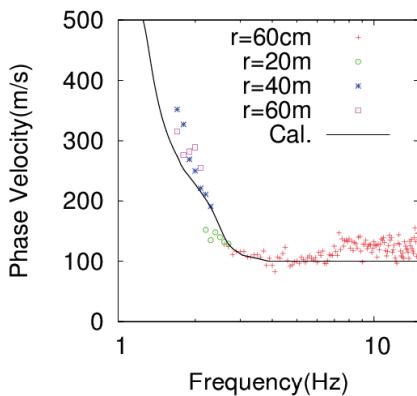


図 8 各位相速度と理論分散曲線

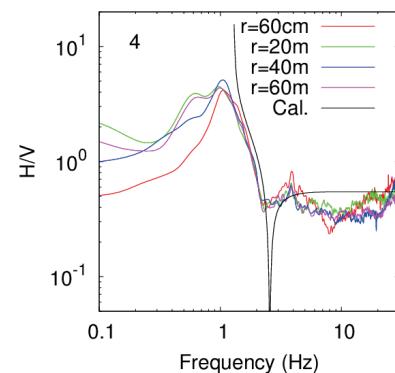


図 9 H/V スペクトル

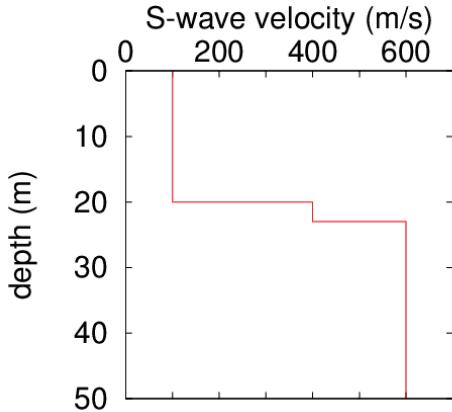


図 10 推定 S 波速度構造モデル

表 1 推定 S 波速度構造のパラメータ

	層厚(m)	Vs(m/s)
1	20	100
2	3	400
基盤	$\infty$	600

表層の S 波速度は 100m/s という遅い速度であることから、観測点 B-2 付近は比較的柔らかい地盤が厚いということがわかる。B-2 地点以外の観測点においては、久慈市内において物性が同じであるという前提条件のもと、B-2 地点の S 波速度構造モデルを参照し、Vs の値を変えずに、

表層の層厚のみを変えて推定した。その条件で、位相速度が観測値に合わない場合にのみ、Vsを変更する。図11に測線AA'に沿ってS波速度構造モデルを並べた図、図12に測線AA'上のボーリングデータを並べた図、図13に測線BB'に沿ってS波速度構造モデルを並べた図、図14に測線CC'に沿ってS波速度構造モデルを並べた図を示す。

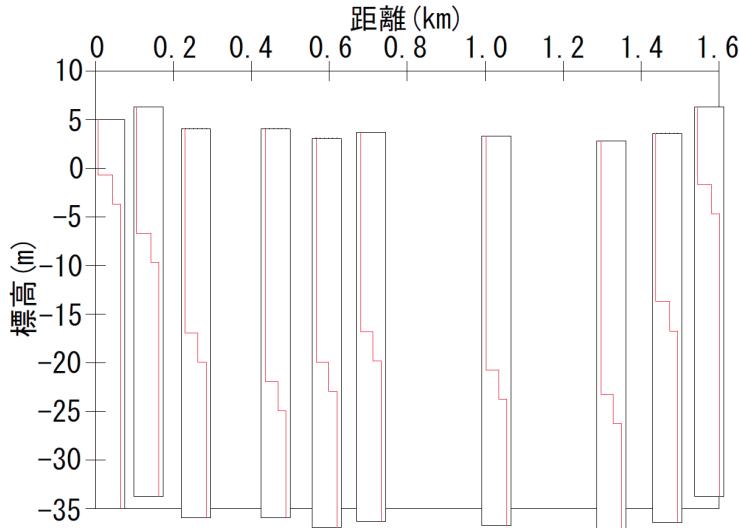


図11 測線AA'のS波速度構造モデル

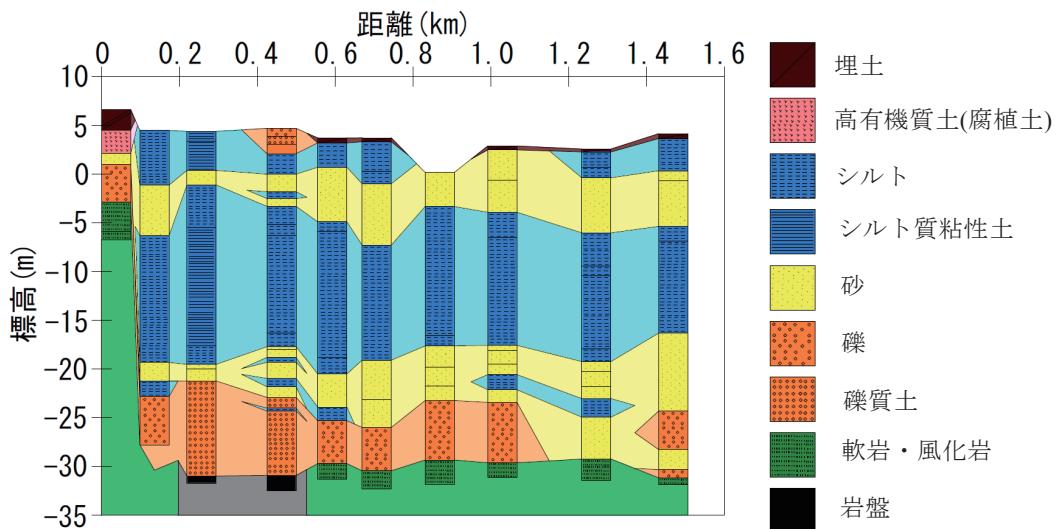


図12 ボーリング図

測線AA'、BB'、CC'の全てにおいて、南北の基盤が浅く、中央部の基盤が深いことが分かる。測線AA'においては、ボーリングデータと比較した際、北側の丘陵地では共に基盤が浅く、中央部でも共に基盤が深いという共通点が見られる。

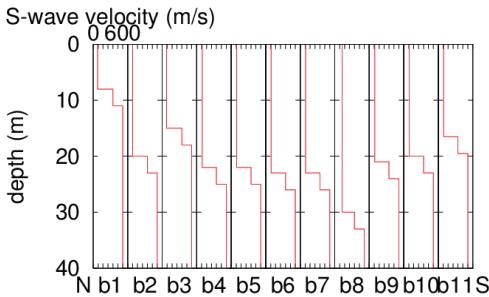


図 13 測線 BB' の S 波速度構造モデル

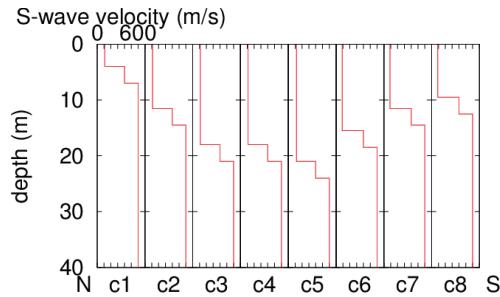


図 14 測線 CC' の S 波速度構造モデル

## 5.まとめ

本研究では、久慈市において微動観測によって 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、H/V ピーク周期の分布図からは、北部と南部は周期が短く、中央部では、西から東にかけて周期が徐々に増加していることがわかる。S 波速度構造モデルからは、表層 Vs が約 100m/s と非常に遅い堆積層が分布していることが明らかになった。また、久慈市の地下構造は、南北が丘陵地に囲まれているので基盤が浅く、西から東にかけて基盤が次第に深くなるお椀型の構造であることが推測される。推定 S 波速度構造モデルとボーリングデータは大まかにしか一致しなかつたので、細部の調整を今後の課題とする。

## 謝辞

防災科学技術研究所より微動計 JU310 をお借りしました。記して感謝致します。

一部の図の作成には、GMT(Wessel and Smith, 1998)を用いました。記して感謝致します。

## 参考文献

- Aki,K. (1957) Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthquake Res. Inst. 25, pp. 415-457.
- 長郁夫, 多田卓, 篠崎祐三 (2008) 極小アレイ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.
- ジオ・ステーション防災科学技術研究所(2015) : <http://www.geo-stn.bosai.go.jp>(閲覧日 2015 年 12 月 1 日)
- 地震本部ホームページ(2015) : <http://jishin.go.jp>(閲覧日 2015 年 12 月 1 日)
- 地震ハザードステーション(2015) : <http://www.j-shis.bosai.go.jp>(閲覧日 2015 年 12 月 1 日)
- 宇部陽子, 山本英和, 齊藤剛 (2014) 極小微動アレー探査による岩手県一関市の地盤の S 波速度構造の推定, 東北地域災害科学研究, 50, pp. 25-30.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith(1998), New improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 79, 579.
- 山本英和, 朝田航, 齊藤剛 (2014) 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, 東北地域災害科学研究, 50, pp. 19-24.