

## 微動アレイ探査による盛岡市域における S 波速度構造の推定 - 稠密極小アレイ観測と大規模アレイ観測 - \*

岩手大学工学部 多田光希, 大場星也  
岩手大学理工学部 山本英和 齋藤剛

### 1. はじめに

都市の地震ハザード評価のためには特定の地域の浅部の S 波速度構造を面的に調査する必要がある。今回調査対象の盛岡市では過去の複数の地震時の高密度アンケート震度調査から都市内の数 km の狭い範囲内で体感震度が 1 ないし 2 程度異なり、それが地盤增幅率の影響であることが山本ほか(2005)で示唆されている。本研究では、新たに開発された浅部探査専用の装置を用いて稠密極小アレイ探査を実施し、盛岡市域の地震ハザードに有用な S 波速度構造分布を得ることが目的である。また同時に、やや長周期まで対象とした大規模アレイ探査を実施し、盛岡市のやや深部の S 波速度構造の推定を試みる。

### 2. 微動観測

稠密極小微動アレイ観測には 4DGeoTeK による GDAQ-4S を使用した。本装置は、中心に 1 台、半径 60cm の円周上に 3 台、等間隔に配置された 4 台の固有周波数 4.5Hz のジオフォーンで測定を行う。サンプリング周波数は 500Hz と設定した。極小アレイ探査地点では微動の H/V スペクトル比を得るために単点微動観測も同時に実施している。単点観測は白山工業社製の微動計 JU310 を使用した。サンプリング周波数は 200Hz である。大規模アレイ探査の場合は、センサーにはレナルツ社製 LE-3d/5s を、データ収録には白山工業社製のデータロガー LS8800 を使用した。サンプリング周波数は 100Hz である。アレイ半径は 30m, 100m, 400m, 1000m である。Anupap et al. (2018) では、岩手大学周辺の盛岡市中心部において微動アレイ探査を行った。本研究ではその領域の西部の青山地区と南部の本宮地区で測定を行った。図 1 に極小アレイ観測点および大アレイ観測点を示す。

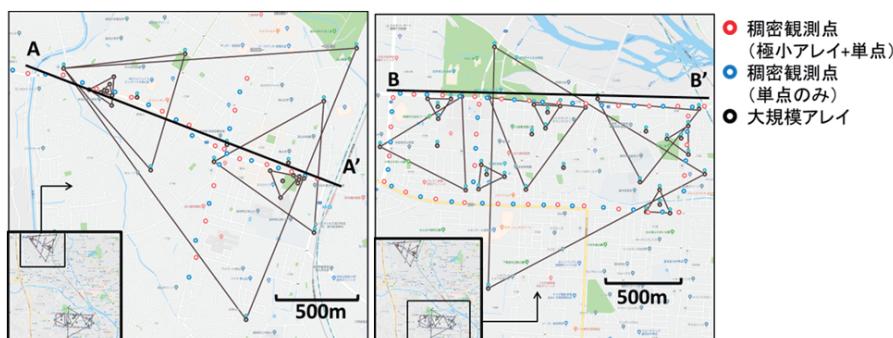


図 1 観測点位置 (左) 青山地区 (右) 本宮地区

青山、本宮地区に浅部の S 波速度構造の推定の考察に用いる測線 AA' および BB' を設けている。

\* Estimation of S-wave velocity structures in Morioka area by using microtremor array survey – Observation using miniature arrays and one using large size arrays -by K.Tada, H.Yamamoto, S.Ohba and T.Saito

### 3. 微動の H/V スペクトル比

位相速度解析の前に、単点微動記録から H/V スペクトル比を計算し、ピーク周期分布を求めた。大アレイでは 4 点同時に微動を測定しているため、それぞれ単独にスペクトルを計算した。図 2 に微動のスペクトルおよび H/V スペクトル比の例を示す。H/V スペクトル比のピーク周波数を読み取り、その逆数からピーク周期を算定した。図 3 に大アレイの微動記録から得た H/V スペクトル比ピーク周期分布を示す。図 3(a) の青山地区では周期は大局的には東から西にかけて約 0.2 秒から 1.5 秒と長くなっている。また、図 3(b) からわかるように本宮地区でも同様の傾向が周期約 0.4 秒から 1.4 秒で見られた。したがって青山と本宮地区どちらも西に行くにつれて基盤深度が深くなっていると考える。しかし観測点間隔が密になると場所によって周期が急に異なる地点が一部見られた。これは H/V の形状が複数ピークを示すことに起因すると考えられる。そこで複数ピークがみられた地点において、低周波数帯の第 1 ピークと高周波数帯の第 2 ピークに分けて考察する。図 4 に稠密観測点における第 1 ピーク周期分布を示す。まず第 1 ピーク周期を読み取った場合、(a) の青山地区と (b) の本宮地区両方で大アレイ観測時の微動記録から得たピーク周期分布の傾向と類似していることが分かった。図 5 に稠密観測点における第 2 ピーク周期分布を示す。次に第 2 ピーク周期を読み取った場合、こちらも (a), (b) 両地区である地点から西に向けて短い周期の第 2 ピーク周期が認められていたことが分かった。

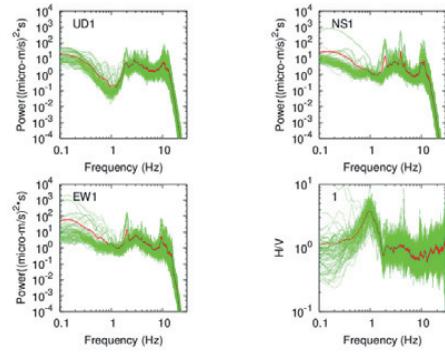


図 2 微動のパワースペクトルと H/V スペクトル比の例

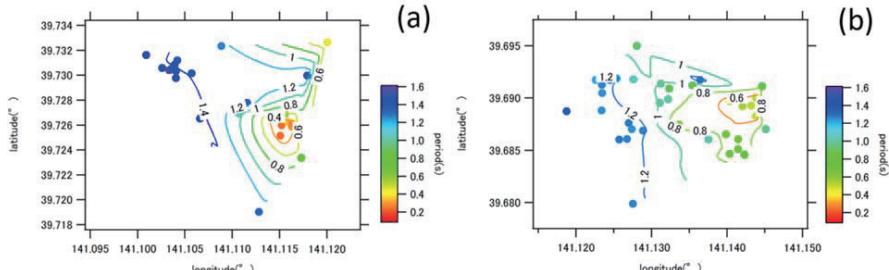


図 3 大アレイの微動記録による H/V ピーク周期分布 (a)青山地区 (b)本宮地区

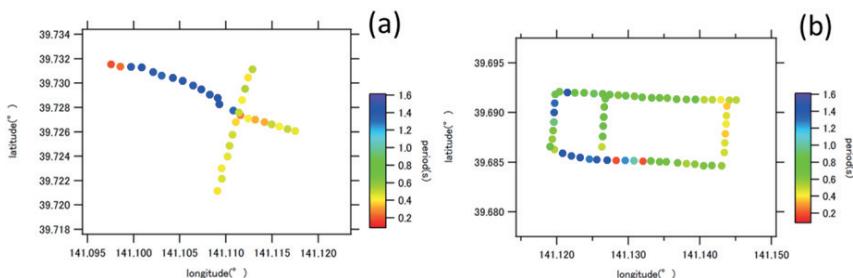


図 4 稠密観測の微動記録による H/V 第 1 ピーク周期分布 (a)青山地区 (b)本宮地区

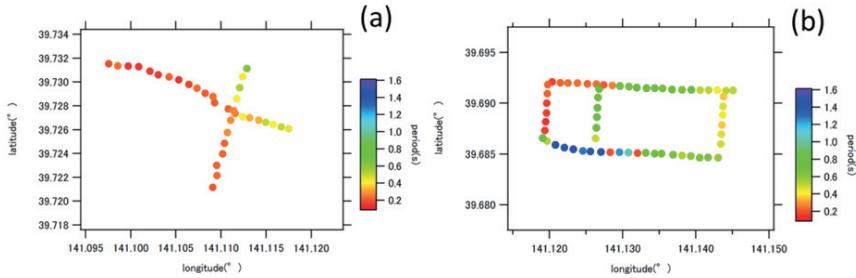


図5 濃密観測の微動記録によるH/V第2ピーク周期分布 (a)青山地区 (b)本宮地区

#### 4. 大アレイの微動記録によるS波速度構造の推定

大アレイの微動記録により、やや深部のS波速度構造を試みる。空間自己相関法(Aki. 1957)により、上下動アレイ微動から周波数ごとの位相速度分散曲線を算出した。観測値から得られた位相速度分散曲線からやや深部のS波速度構造の推定を行った。その際、推定された計算値と観測値の位相速度分散曲線が一致するように構造モデルの推定を行った。また同時にH/Vスペクトル比のピーク周期の一一致も行い、信頼性を得た。図6に青山地区西部の計算値と観測値の位相速度分散曲線とH/Vスペクトル比を示す。

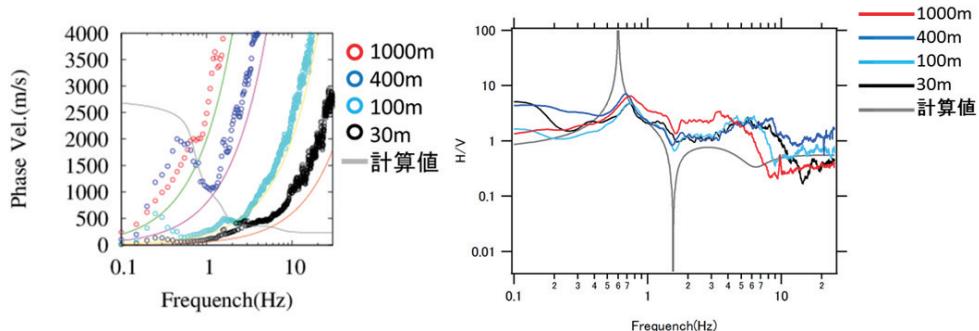


図6 大アレイ微動観測における計算値と観測値の比較 (左)位相速度分散曲線 (右)大アレイ中心でのH/Vスペクトル比

こうして得られたやや深部のS波速度構造を図7に示す。本研究では、対象地域を青山地区は西部と東部に、本宮地区は西部と中央部、東部の計5つに分類して考察を行った。

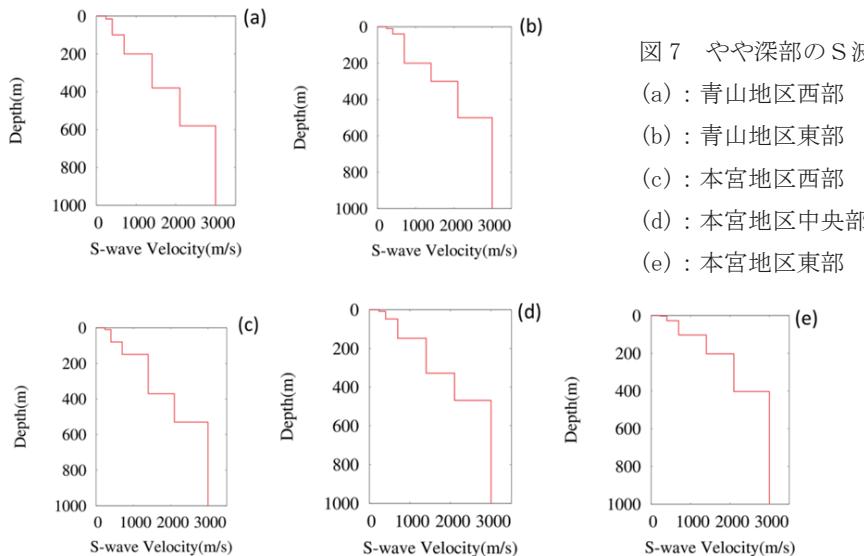


図 7 やや深部の S 波速度構造  
(a) : 青山地区西部  
(b) : 青山地区東部  
(c) : 本宮地区西部  
(d) : 本宮地区中央部  
(e) : 本宮地区東部

基盤深度として  $V_s=2100\text{m/s}$  の層に注目する。青山地区では  $V_s=2100\text{m/s}$  の層に達するまでに東部より西部の方がおよそ 80m 深い結果となった。また同様に、本宮地区でも  $V_s=2100\text{m/s}$  の層に達するまで東部より中央部はおよそ 125m 深く、西部はおよそ 170m 深い結果となった。この結果、青山地区と本宮地区両方で基盤深度が東から西にかけて深くなることが推測された。これは大アレイの微動記録による H/V スペクトル比のピーク周期分布が大局的に東から西にかけて長くなる傾向と一致している。

## 5. 稠密極小アレイの微動記録による S 波速度構造の推定

次に、稠密極小アレイの微動記録による浅部の S 波速度構造の推定を試みる。大アレイ時と同様、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した。観測値から得られた位相速度分散曲線から浅部の S 波速度構造の推定を行った。その際、推定された計算値と観測値の位相速度分散曲線が一致するようにモデルの推定を行った。また同時に、単点微動の H/V スペクトル比のピーク周期の一一致も行い信頼性を得た。図 8 に稠密観測点の計算値と観測値の位相速度分散曲線と H/V スペクトル比の例を示す。

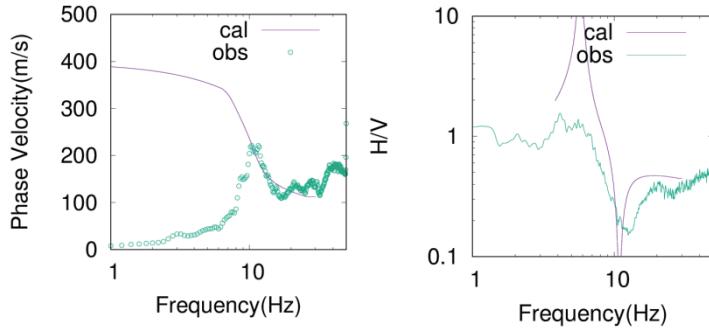


図 8 濃密微動観測における計算値と観測値の比較 (左)位相速度分散曲線(右)H/V スペクトル比

こうして得られた浅部の S 波速度構造を図 9 に示す。本研究では、青山地区の東西方向に測線 AA' と本宮地区北部の東西方向に測線 BB' を設け、考察を行った(測線の場所については図 1 を参照)。ただし、Vs=400m/s に達する深さの違いから青山地区の測線 AA' は深さ 20m とし、本宮地区的測線 BB' は深さ 10m としている。また、考察を行う際見やすくするために色による識別を行った。赤色に近いほど速度が遅く、青色に近いほど速度が速いことを表している。その図を図 10 に示す。

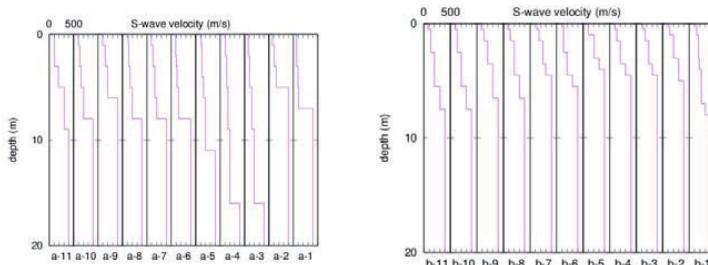


図 9 浅部の S 波速度構造 (左)青山地区測線 AA' (右)本宮地区北部測線 BB'

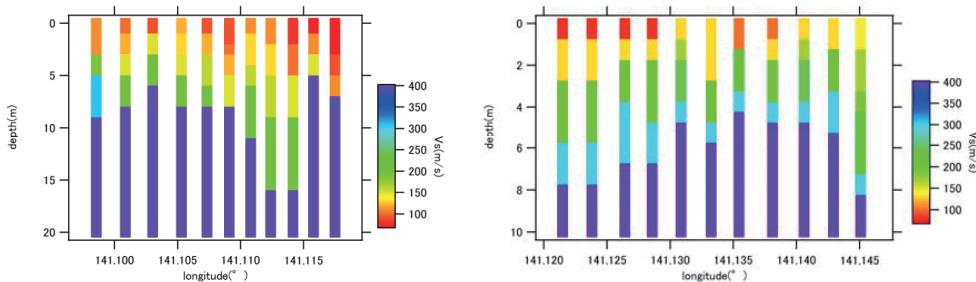


図 10 浅部の S 波速度構造(色による識別) (左)青山地区測線 AA' (右)本宮地区北部測線 BB'

青山地区の測線 AA' では東から 3 番目と 4 番目の地点から西に向けて Vs=400m/s の層が次第に浅くなる部分が見られた。この傾向が青山地区の濃密観測点の第 2 ピーク周期分布の同地点の傾向に類

似していることから浅部の S 波速度構造が稠密観測点の第 2 ピーク周期分布と相関があるのではないかと考えている。しかし、本宮地区の北部の測線 BB' では第 2 ピーク周期分布との相関が確認されていないため、今後も結果と考察について詰める必要がある。

## 6. 考察とまとめ

大アレイ観測によるやや深部の S 波速度構造の推定と H/V スペクトル比のピーク周期分布による対象地域の概要の把握から、青山地区、本宮地区どちらも東から西に向けて基盤が深くなる推測できた。今回推定された S 波速度構造を J-SHIS の深部構造の同地区との比較を行ったところ、各層の速度構造はおよそ同じような結果となった（地震ハザードステーション、藤原ほか、2009）。しかし、どの地区でも J-SHIS の深部構造より全体的に速度構造が深い結果が出ていた。

また、稠密極小アレイ観測による浅部の S 波速度構造の推定と H/V スペクトル比のピーク周期分布による対象地域の概要の把握から青山地区と本宮地区で、または青山地区内、本宮地区内など場所によって浅部の S 波速度構造が変化していると推測できた。またその変化はある地点で急激に変化している部分も見られた。

大規模アレイ観測と稠密極小アレイを併用することでより詳細に地盤の S 波速度構造を推測することができた。本研究では対象地域で観測可能な大アレイの半径として 1000m, 400m, 100m, 30m を採用したが、浅部の速度構造の推定に地区によって可能であれば 10m サイズや 50m サイズなど半径の小さいアレイ観測も加えることで、より詳細に信頼性の高い S 波速度構造の推定が可能であると考える。

## 謝辞

大規模アレイ観測および稠密極小アレイ観測の際に、岩手大学工学部社会環境工学科 4 年 起田賢親、川村匡永、佐々木恵太氏に観測を手伝っていただきました。記して感謝いたします。

## 参考文献

- Aki, K.(1957) : Space and Time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors : Bull. Earthq. Res Ins., 35, 415-456.
- Anupap, W., H. Yamamoto, T. Saito (2018) : Estimation of S-wave velocity structures in Morioka area by dense microtremor array observations , 東北地域災害科学的研究, 第 54 卷, 217-222.
- 藤原広行・河合伸一・青井真・森川信之・先名重樹・工藤暢章・大井昌弘・はお憲生・早川譲・遠山信彦・松山尚典・岩本鋼司・鈴木晴彦・劉瑛 (2009) : 強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料 第 337 号.
- 山本英和, 佐野剛, 斎藤徳美, 斎藤裕輔, 佐々木俊之 (2005) : アンケート調査による 2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震における盛岡市域の詳細震度分布, 物理探査学会第 112 回学術講演会論文集, pp. 180 - 183.
- 地震ハザードステーション : <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>