

## 簡易微動アレー観測による盛岡市域の平均S波速度分布<sup>1</sup>

岩手大学工学部 熊田脩平, 山本英和, 佐野剛  
岩手大学大学院工学研究科 宮越亜矢子

### 1. はじめに

地震時の揺れは震源、伝播特性だけでなく、地盤の地震応答特性によって大きく影響を受けるため、都市部のS波速度構造を把握することは地震動や危険度予測をする上で重要である。特に最近の研究では地表下30m深度までの平均S波速度が地盤の地震増幅率と良い対応を表すことが報告されている。地下構造の情報を得る手段としてボーリング掘削または資料の収集などが挙げられるが地方都市では非常にデータが少ないことが多い。また反射法などの大掛かりな探査も行われていないことが多く詳細な地下構造はほとんど把握されていない現況にある。

S波速度を把握するために、表面波探査や微動アレー探査などがある。最近、マルチチャンネルの表面波探査が数多く実施されるようになってきたが、人力の震源のため探査深度は20m程度である場合が多い。我々は過去に盛岡市において短周期微動のアレー観測により浅部の地下S波速度構造を幾つかの地点で推定した(山本ほか, 1998)。三成分微動を測定することによりレイリー波だけでなくラブ波の分散関係も利用した探査も試みた(山本, 2000)。その結果、盛岡市の約10地点において50m深度程度までの地下S波構造を把握できたが、まだまだ観測データが少ない。

地下構造の探査精度を上げるために微動アレー観測を実施する場合、地震計の個数が限られているときには、アレーの展開密度をあげる必要がある。ただし、都市部では探査場所が限られていて最終目標である市域の面的なS波速度の分布を得るためには非常に手間がかかる。よって本研究では非常に簡便な観測・解析手法を用いて、多数の地点でできるだけ短時間で平均S波速度の面分布を得ることを試みる。そうして得られた平均S波速度(AVS)と過去の研究で得られている盛岡市域の詳細震度分布との比較検討も行う。

### 2. 微動アレー観測によるレイリー波位相速度の推定

微動アレー探査は、常時微動を複数の地震計で観測することにより、微動に含まれる表面波

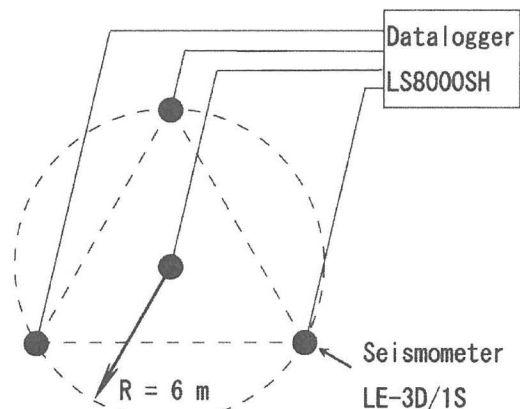


図1 観測システム

<sup>1</sup> Average S-wave velocity mapping at Morioka area by using conventional microtremor array technique

by Shuhei KUMATA, Hidekazu YAMAMOTO, Tsuyoshi SANO and Ayako MIYAKOSHI

の位相速度の分散関係を利用して地下 S 波速度構造を推定する方法である。本研究では、地盤の増幅率に対応がよいとされる深度 30m までの AVS を推定するために、図に示すように、中心に 1 台、円周上に等間隔に 3 台、計 4 台地震計を配置した。微動アレー探査ではさまざまな地震計間隔を設定すれば浅い構造から深い構造まで探査可能であるが、一箇所において多種の地震計間隔の測定を実施すれば時間がかかるだけでなく、測定の敷地も制限される。よって AVS の空間分布を短時間の測定で得るためにはできるだけ簡便な観測方法が必要とされる。そこで地方都市でも対応できるように、微動アレー観測の場所として学校の校庭、小さい公園、駐車場などを想定し、10m 四方程度の敷地でも測定できる観測方法を採用した。測定地点を図 2 に示す。盛岡市、滝沢村の公園などを中心に全 29 地点で簡易微動アレー測定を実施した。表 1 に測定場所の地質を示す。北西部では岩手山起源の段丘堆積物、なだれ堆積物などが分布し、北東部、東部では岩盤が分布する。南部では砂礫が分布する。

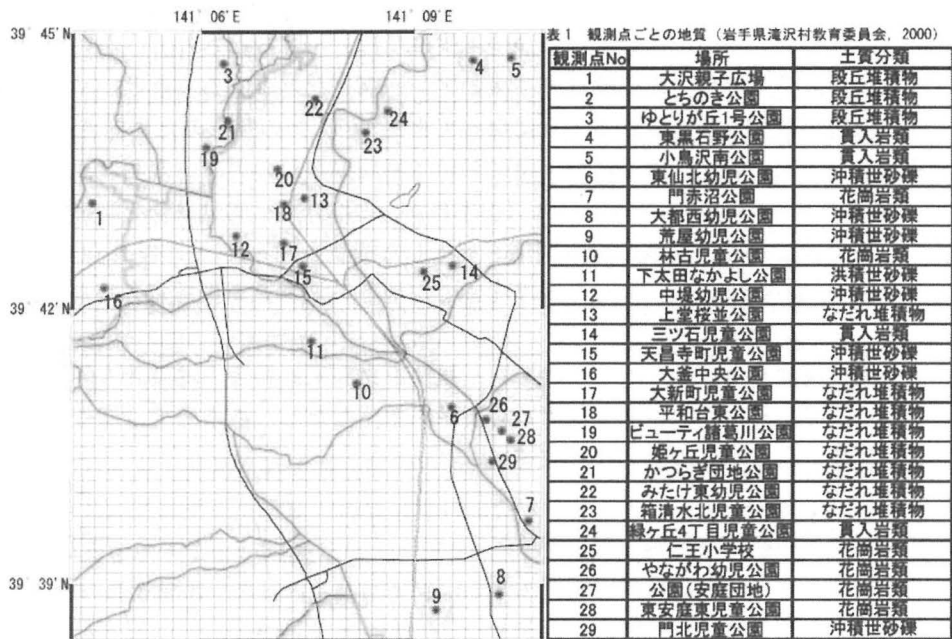


図 2 観測点分布およびその地質

測定に使用した地震計はレナルツ社製固有周期 1 秒 3 成分速度計 LE-3D/1S (感度 4 V/(cm/s)) を上下動成分のみ収録した。収録器として白山工業 (株) 製 LS-8000SH を使用した。サンプリング周期は 5ms, 上下動のみを 4ch に同期させ収録した。収録時間は約 20 分とした。また、同時に同社の 5 秒計で上下, 南北, 東西動の 3 成分微動も約 15 分測定した。

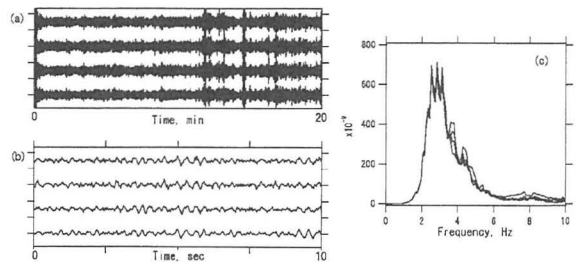


図 3 (a) 20 分間の上下動微動波形, (b) 波形拡大図 (10 秒間), (c) パワースペクトル

例としてゆとりヶ丘 1 号公園で測定した上下動微動のアレー記録を図 3 に示す。車両の通行によるノイズ以外はほぼ定常な微動を測定していることがわかる。拡大波形およびスペクトルとも同じ形状であることがわかる。

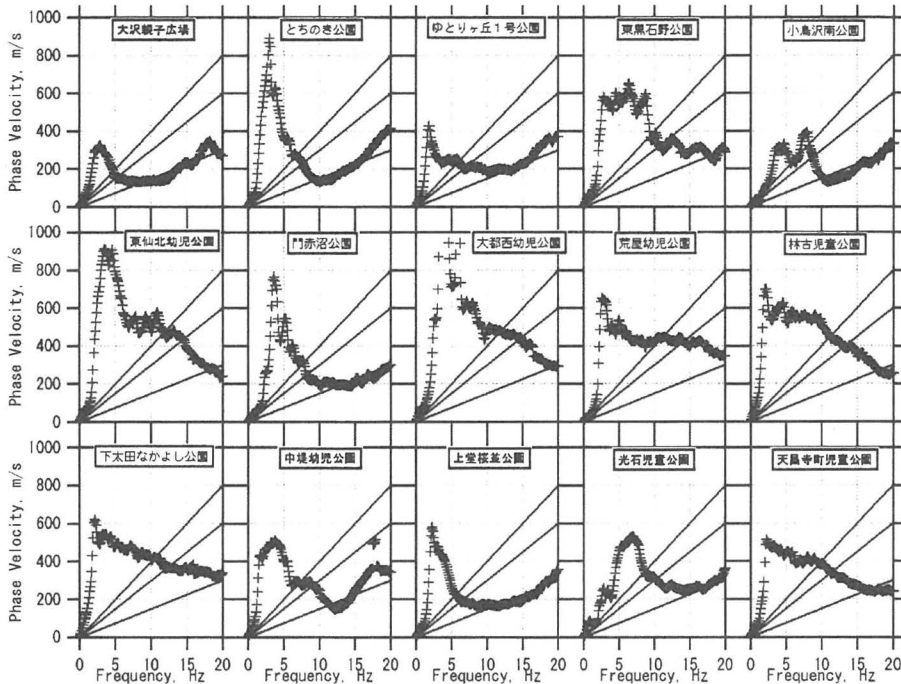


図 4(a) 位相速度分散曲線と等波長線。

位相速度の解析には空間自己相関法を利用した。空間自己相関法では、通常地震計間隔の 10 倍程度の波長まで位相速度を検出可能であるため、今回設定した地震計配置では 60 から 100 m 程度の波長までの検出が期待される。概算で半波長相当の深度の情報に対応するならば、30m 深度までの平均 S 波速度推定には十分であることが期待できる。測定された微動を 5.12 秒ずつずらした 10.24 秒ごとの区間に分割し 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。また、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ジングが生じない最短地震計間隔の 2 倍、すなわち 12m 以上とした。長波長限界は観測点により異なるが結果として 5 倍から 10 倍程度となった。

図 4 に全 29 地点の位相速度分散曲線を示す。次節で AVS を換算するために必要な、波長 40 m, 30m, 15m 直線も同時に示している。位相速度が上記の波長でほとんど値が変化しない場所では基盤の深度が深く、位相速度の変化が大きい場所では浅い場所に基盤があることが予想される。図 4 から盛岡市域では場所により分散曲線の形状、すなわち地下構造が大きく異なることが予想される。

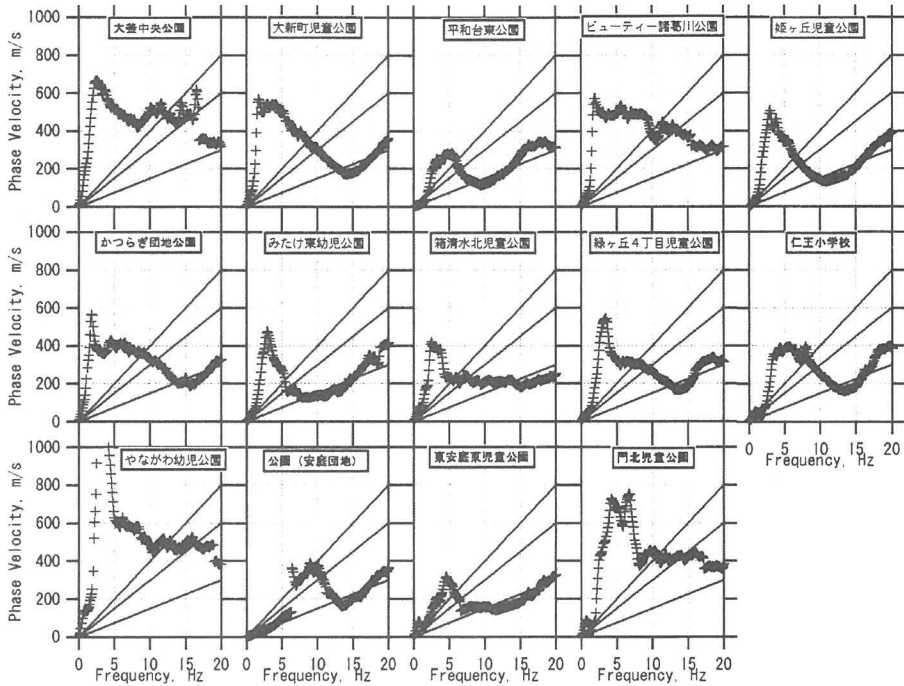


図4(b) つづき

表2 推定された AVS10, AVS20 および AVS30

場所	AVS10(m/s)	AVS20(m/s)	AVS30(m/s)
大沢親子広場	131	153	193
とちのき公園	143	215	251
ゆとりが丘1号公園	179	201	211
東黒石野公園	250	310	372
小鳥沢南公園	153	257	324
東仙北幼児公園	267	406	443
門赤沼公園	175	239	281
大都西幼児公園	294	373	414
荒屋幼児公園	-	371	381
林古児童公園	261	387	433
下太田なかよし公園	-	353	386
中堤幼児公園	153	221	254
上堂桜並公園	152	180	214
三ツ石児童公園	245	286	339
天昌寺町児童公園	244	311	346
大釜中央公園	-	373	395
大新町児童公園	187	277	321
平和台東公園	124	164	186
ビューティ諸葛川公園	285	327	359
姫ヶ丘児童公園	146	209	250
かつらぎ団地公園	207	260	290
みたけ東幼児公園	115	165	200
箱清水北児童公園	179	195	209
緑ヶ丘4丁目児童公園	171	233	263
やながわ幼児公園	-	407	439
公園(安庭団地)	175	237	274
東安庭東児童公園	133	179	218
門北児童公園	-	346	360
仁王小(平均)	173	255	293

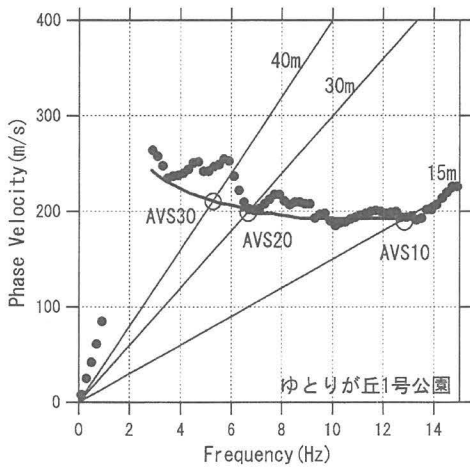


図5 位相速度分散曲線から AVS の算出例。分散曲線のばらつきが大きい場合にはスムージングを施し、その曲線と各波長線との交点の位相速度を読み取った。



### 3. 盛岡市域における平均 S 波速度分布

長尾・紺野（2002）によれば、波長 15m, 30m および 40m のレイリー波位相速度がそれぞれ深度 10m, 20m および 30m までの平均 S 波速度に対応すると報告されている。図 5 の実線は下から波長 15m, 30m, 40m に相当する。実線と位相速度の交点からそれぞれの AVS を読み取った。位相速度分散曲線のばらつきが大きい場合、手動でスムージングを施し、その曲線との交点を読み取った。表 2 に各深度の AVS を示す。各深度の AVS がほぼ同じ場合、表層が厚く、AVS が大きく異なる場合、浅い場所で地質が変化することが予想される。図 4, 図 5, 図 6 に AVS10, AVS20 および AVS30 の空間分布をそれぞれ示す。岩手山起源の段丘堆積物、なだれ堆積物などが分布する北西部では AVS30 は小さく、岩盤が分布する北東部では AVS30 が大きい。砂礫が分布する南部でも AVS30 が大きい。

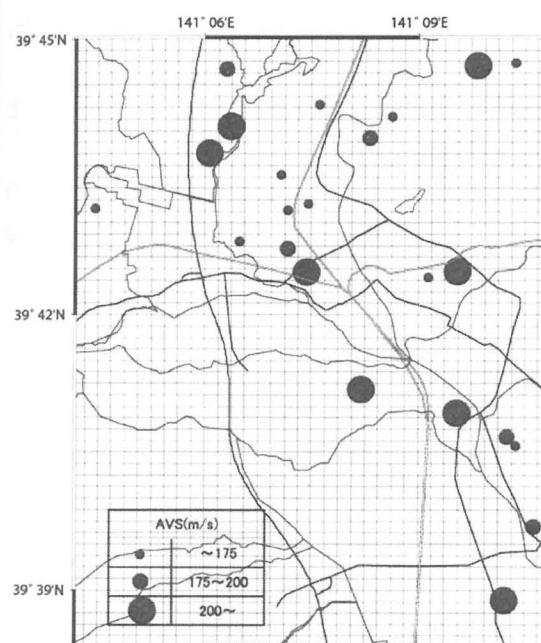


図 6 AVS10

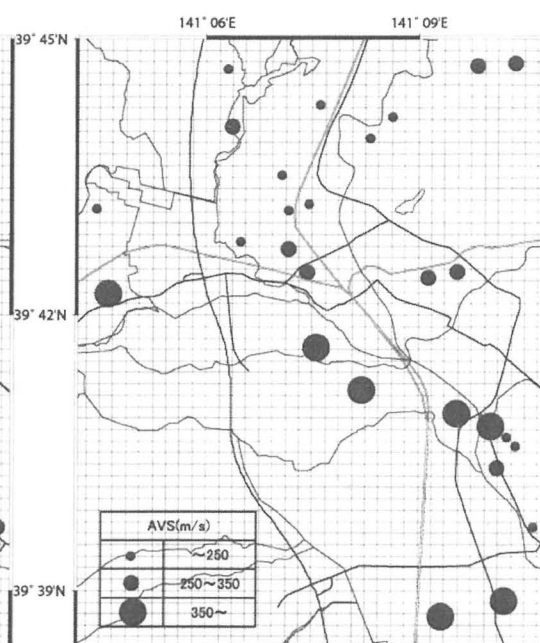


図 7 AVS20

盛岡市域では震度 5 程度を観測した際、1 万世帯を超えるアンケート調査により複数の地震で詳細震度分布が得られている（例えば、佐野ほか、2004）。図 9 に 250m 区画ごとの詳細震度分布を示す。2003 年宮城県沖の地震時の盛岡市域におけるアンケート震度と AVS との比較の結果、震度の大きい場所では平均 S 波速度は小さく、震度の小さい場所では平均 S 波速度が大きいことがわかった。

### 4. まとめ

盛岡市域の 29 地点において簡易微動アレー観測を実施し、空間自己相関法を用いてレイリー波の位相速度を算出し、長尾・紺野（2002）の手法を用いて平均 S 波速度を換算し、空間分布を得た。その結果、岩手山起源の火山碎屑物が厚く堆積する市域北西部では比較的平均 S 波

速度が遅く、基盤岩が分布する市域北東部中心部や洪積世の砂礫が堆積する市域南部では平均 S 波速度が速いことがわかった。平均 S 波速度とアンケート震度との比較の結果、震度の大きい場所では平均 S 波速度は小さく、震度の小さい場所では平均 S 波速度が大きいことがわかった。本研究の探査方法は非常に簡便であるため、他地域でも同様な探査が可能と考えられる。

#### 謝辞

簡易微動アレー観測には岩手大学工学部地下計測学研究室の大学院生、4 年生の協力を得た。記してここに謝意を表す。

#### 参考文献

- 岩手県滝沢村教育委員会 (2000) 岩手山の地質—火山灰が語る噴火史—, pp.234.
- 長尾毅, 紺野克昭 (2002), 常時微動アレー観測に基づく表層地盤の平均 S 波速度推定精度に関する研究, 土木学会論文集, No.696/I-58, pp. 225-235.
- 山本英和 (2000), 3 成分微動アレー観測による Love 波の位相速度の推定の試み, 物理探査, Vol.53, No.2, pp. 153 - 166.
- 山本英和, 吉田芳則, 小渕卓也, 齋藤徳美, 岩本鋼司 (1998), 短周期微動のアレー観測による盛岡市域の地下構造の推定, 物理探査, Vol.50, No.1, pp. 70-76.
- 佐野剛, 山本英和, 齋藤徳美, 齋藤裕輔 (2005) アンケート方式による 2003 年 5 月 26 日の宮城県沖の地震における盛岡広域圏, 大船渡市における詳細震度分布, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S046-P003.

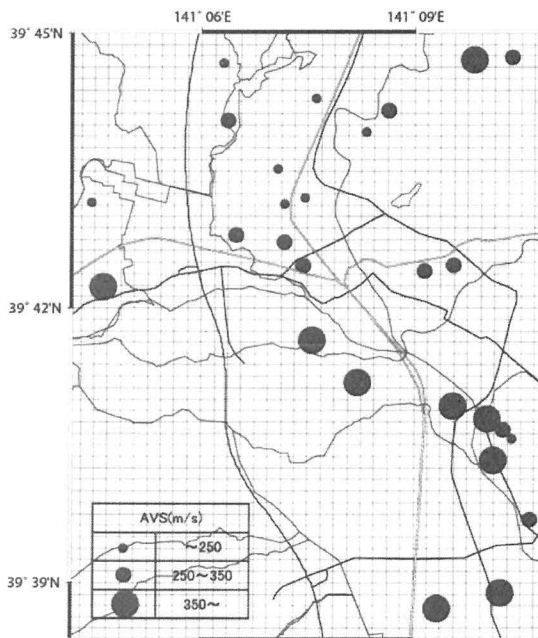


図 8 AVS30

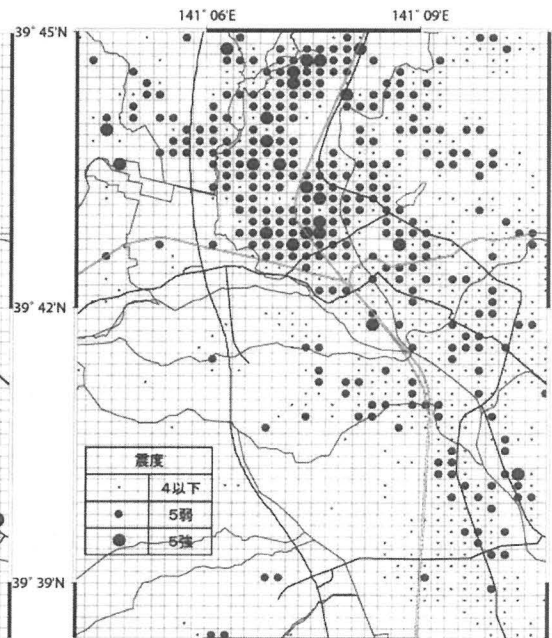


図 9 2003 年宮城県沖の地震時の震度分布