

# 簡易微動アレー観測による大船渡市における平均S波速度の推定

## ー平均S波速度とアンケート震度との関係ー\*

岩手大学工学部 岡部陽介, 山本英和, 佐野剛

### 1. はじめに

2003年5月26日18時24分ころ、宮城県沖を震源とする地震が発生した。気象庁によれば地震の規模はマグニチュード7.0、震源は東経141.8°、北緯38.8°、震源の深さは70kmであった。岩手県内では大船渡市、衣川村、平泉町、室根村、江刺市で震度6弱を観測し、震源距離約130km程度の盛岡市でも震度5弱を観測した。

地震時の揺れは、震源のメカニズム、伝播過程、地盤の応答によって決定され、震源距離がほぼ等しくても狭い区域ごとに大きく異なることがある。現在、各市町村に震度計が配備され、ほぼリアルタイムで市町村ごとの震度分布は把握することができるようになってきているが、区域内での詳細な震度分布を知るためには住民個人に対するアンケートによる震度調査が最良である。過去に、我々は盛岡市域において、震度5程度の地震が観測されたときに、一万世帯以上の家庭を対象とした、詳細な震度調査を行ってきた。その結果を250mごとのメッシュで表示し、区域ごとの震度を算定し、震度の差異が地盤・地質構造の違いにより、ある程度説明できることを示してきた。我々は、震度6弱を観測し建物の被害も報告されている大船渡市においてもアンケートによる震度調査を実施した。また、震度の区域ごとの差異が生じる原因を調査するため、簡易微動アレー観測により表層地盤の平均S波速度を求め、震度分布と比較検討した。

### 2. アンケート震度

アンケート調査は大船渡市教育委員会の協力のもとに、市内の全小学校、全中学校の世帯を対象として実施した。アンケートは太田方式を用いた(太田ほか, 1998)。小学校の数は14校、対応するPTA総数は2,085人、中学校は8校、対応するPTA総数は1,302人である。大船渡市においては回収枚数2,454枚、回収率は72.5%、有効回答は1,852枚、有効回答率54.7%であった。大船渡市の全アンケートの震度の平均値は5.1であった。震度の差異を区域ごとに示すため250m区画を作成し、区画ごとに平均震度を算出した。大船渡市でデータが得られた区画数は475、平均震度は5.0、3枚以上アンケートの存在する区画数は212、平均震度は同じく5.1であった。最大震度は6.4、最小は4.1であった。図1に大船渡市におけるアンケート3枚以上の区画における震度分布を示す。大船渡市では、大船渡、盛、猪川、立根などの海岸近傍の低地および丘陵地で震度が大きい区域が分布し、区画数は少ないが日頃市などの内陸部、綾

\* Estimation of average shear velocities at Ofunato City by using conventional microtremor array technique ·Relation between average shear velocities and seismic intensity by questionnaire survey

by Yosuke OKABE, Hidekazu YAMAMOTO and Tsuyoshi SANO

里，越喜来などの半島部で震度が小さい区域が分布することが判明した。

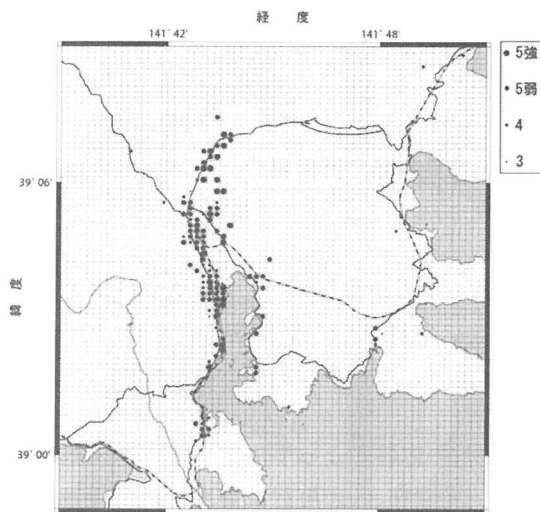


図1 大船渡市におけるアンケート震度分布

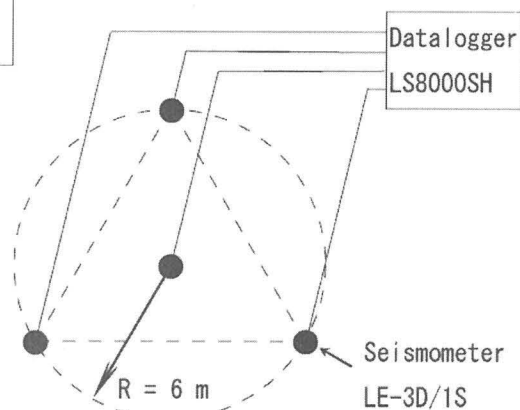


図2 微動アレー観測システム

### 3. 簡易微動アレー観測によるレイリー波位相速度と AVS への変換

微動アレー探査は、微動に含まれる表面波（主にレイリー波）の位相速度の分散関係に基づいて逆解析などの手段により地下の S 波速度プロファイルを推定する方法である。平均 S 波速度を推定するために市内 14 地点で微動アレー観測を実施した。図 2 に微動アレー観測システムを示す。レナルツ社製固有周期 1 秒速度計（LE-3D/1S）4 台を中心に 1 台、半径 6 m の円周上に等間隔で配置し、白山工業社製データロガー（LS-8000SH）にケーブルで接続し、サンプリング周期 5ms、約 20 分間上下動微動を計測した。このようなシステムを用いることにより、場所として 10m 四方程度の敷地があれば探査可能であり、公園や学校の校庭を探査場所として利用できる。

レイリー波の位相速度の解析には空間自己相関法を利用した。通常、微動アレー探査では位相速度の分散曲線を満足する水平成層構造モデルを逆解析から推定することが多いが、未知数が多いため他の地質的、地球物理学的条件を必要とする。そこで本研究では長尾・紺野（2002）の簡易法により、レイリー波の位相速度から直接平均 S 波速度（AVS）を換算する。波長 15m、30m および 40m の位相速度をそれぞれ AVS10、

AVS20 および AVS30 とした。観測詳細はほぼ同一の解析法である熊田ほか（2007）を参照されたい。一例として図 3 に盛町東町公園における観測位相速度を示す。実線が 40m、30m、15m の波長に相当する。位相速度と実線の交点から AVS を読み取っ

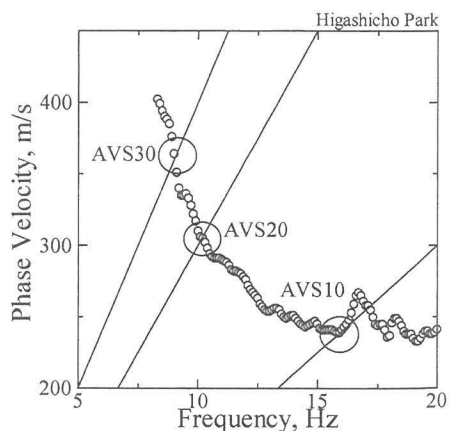


図3 位相速度と等波長線

た。図4に全地点で解析された位相速度を示す。サンアンドレアス公園やみどり公園などでは位相速度が 200m/s 以下と遅く、日頃市などでは有効な位相速度の周波数帯が高く、速度も大きいことがわかる。

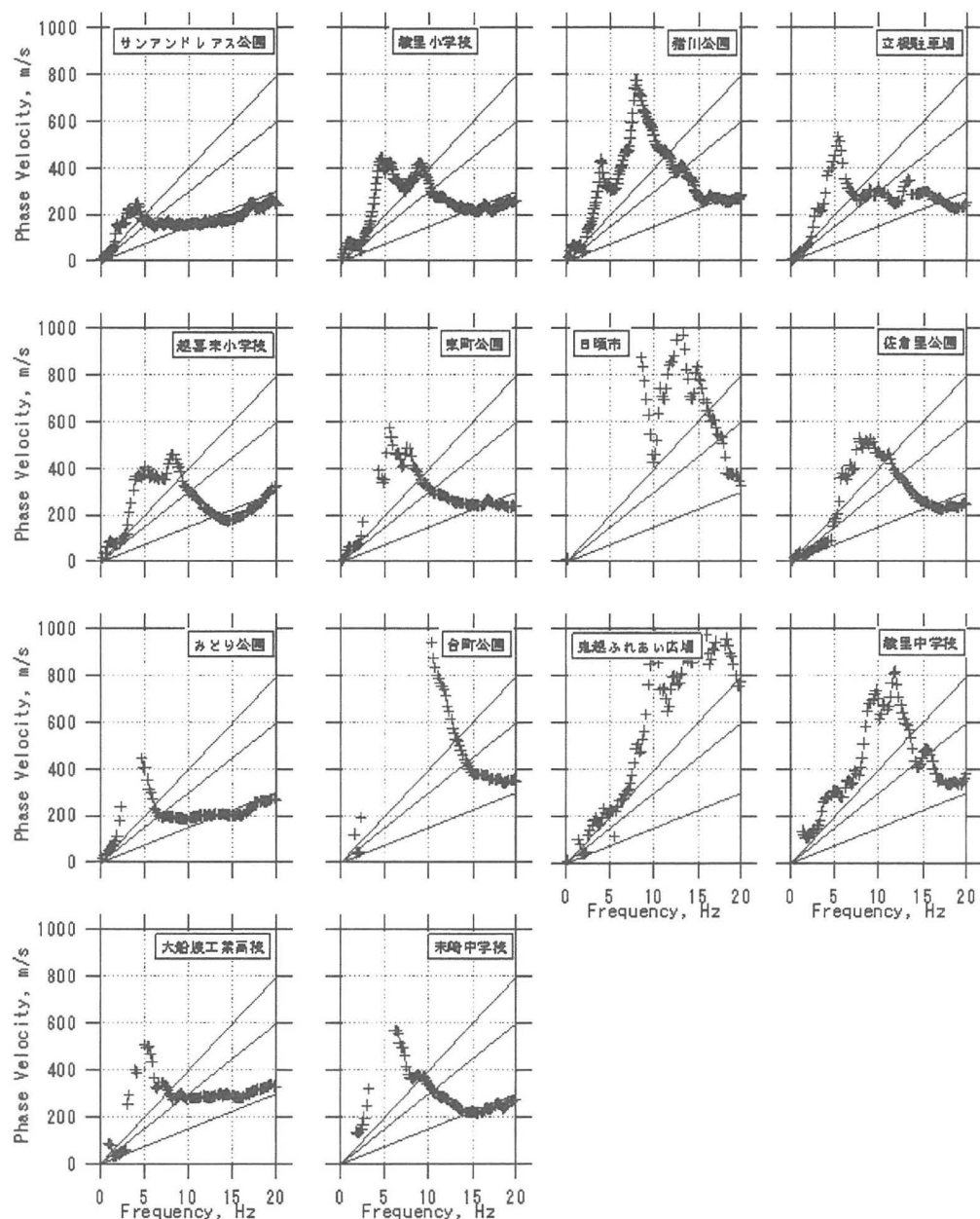


図4 大船渡市 14 観測地点での位相速度分散曲線。実線は上から順に 40m, 30m および 15m の等波長線を示す。長尾・紺野 (2002) によれば、それぞれ AVS30, AVS20, および AVS10 に相当する。観測された分散曲線と等波長線が交差する点で位相速度を読み取り、AVS とした。

表 1 に分散曲線から読み取った各地点の AVS を深さごとに示す。サンアンドレアス公園、立根駐車場、みどり町公園のように各深度で AVS がほとんどか変化しない地点は少なくとも 30m 程度は同じ地層が続くことが予想される。また、綾里小学校、猪川公園、越喜来小学校、日頃市グラウンド、佐倉里公園、みどり町公園、台町公園、鬼越ふれあい広場、綾里中学校、末崎中学校のように AVS10 と AVS30 で 2 倍程度異なる地点では浅い部分で地質が変化していることが予想される。

表 1 観測点一覧と推定された平均 S 波速度 (AVS)

場所	AVS10 (m/s)	AVS20 (m/s)	AVS30 (m/s)
サンアンドレス公園	-	166	185
綾里小学校	220	307	378
猪川公園	265	387	461
立根駐車場(市営住宅前)	259	288	286
越喜来小学校	197	295	366
東町公園	248	304	364
日頃市グラウンド	305	519	635
佐倉里公園	239	373	452
みどり町公園	204	204	233
台町公園	348	433	523
鬼越ふれあい広場	477	686	780
綾里中学校	355	454	550
大船渡工業高校	-	287	309
末崎中学校	232	312	374

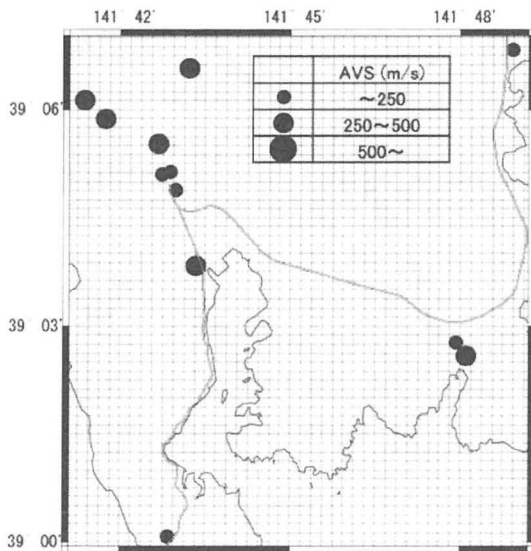


図 5 AVS10

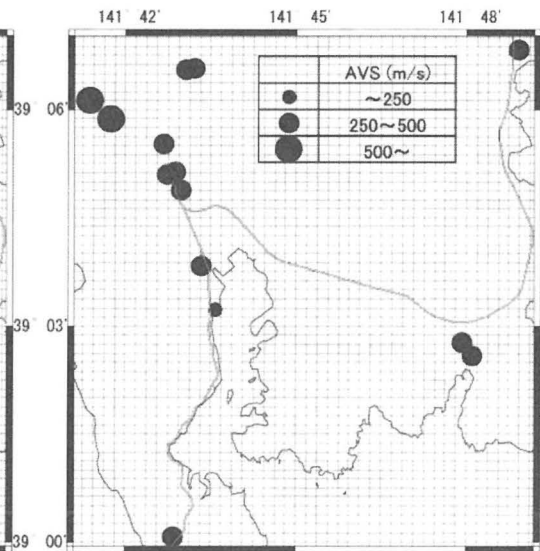


図 6 AVS20

図 5, 図 6, 図 7 に AVS10, AVS20 および AVS30 の空間分布をそれぞれ示す。概ね AVS10 は値が小さく、AVS20 もしくは AVS30 は値が大きいことがわかる。図 7 からサンアンドレアス公園などの平野部海岸付近で AVS30 が 185m/s と小さく、綾里中学校などの半島部もしくは日頃市、鬼越公園などの内陸部で AVS30 が 500m/s 以上と大きくなっているのがわかる。

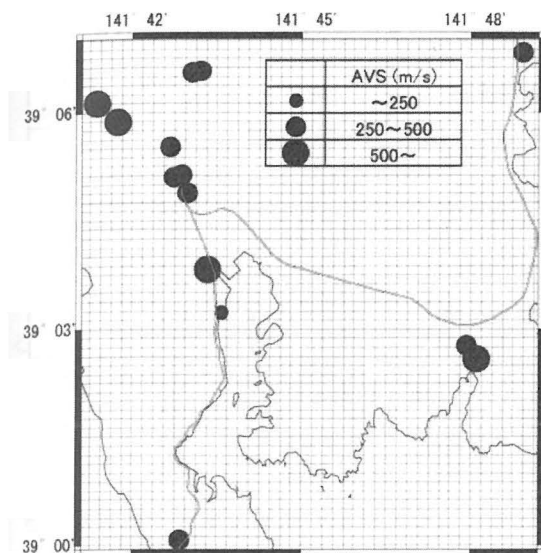


図7 AVS30

表2 震度とAVSとの相関係数

震度	AVS10	AVS20	AVS30
メッシュ	-0.12	-0.65	-0.68
100m	-0.61	-0.74	-0.70
150m	-0.08	-0.71	-0.71
250m	-0.26	-0.81	-0.82
300m	-0.11	-0.71	-0.75
400m	-0.20	-0.75	-0.78
500m	-0.11	-0.76	-0.80

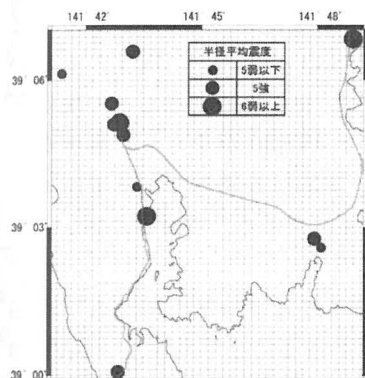


図8 半径 100m 平均震度

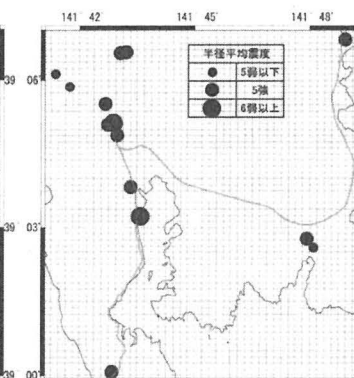


図9 半径 250m 平均震度

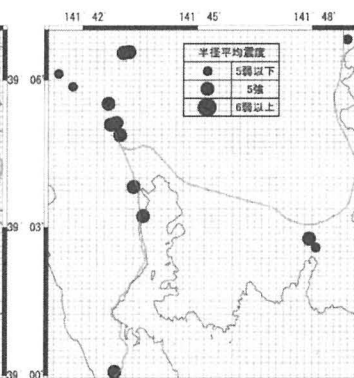


図10 半径 500m 平均震度

#### 4. AVS30 と震度との関係

大船渡市では地形の変化が大きいメッシュでの震度が観測点における揺れを必ずしも表現していない可能性がある。その影響を検討するため、観測点からある半径以内のアンケート震度をすべて平均した値を平均震度とした。ただし、半径が小さすぎると回答数が減少し、半径が大きすぎれば過度に震度が平均化されることが予想される。平均半径は 100m, 150m, 250m, 300m, 400m および 500m とした。例として、図8、図9、図10に半径 100m, 250m, 500m 平均震度をそれぞれ示す。

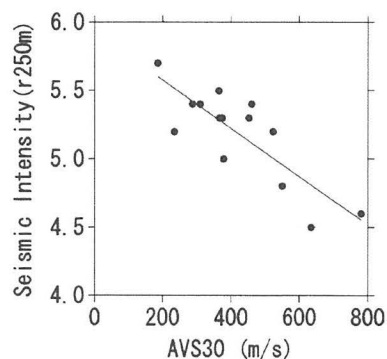


図11 AVS30 と半径 250m 震度との関係

このようにして得られた震度と AVS との相関を算出した。メッシュ震度もしくは平均震度と AVS との相関係数を表 2 に示す。いずれの場合でも AVS10 よりも AVS20 ないし AVS30 と震度との相関が大きいことがわかる。震度算出の平均半径の検討では AVS10 との相関が一番高いのは 100m 平均の場合、AVS20 および AVS30 では半径 250m であった。メッシュも 250m 区画で作成されているはずなのに半径 250m 平均震度のほうが相関が高い理由として微動観測点が必ずしもメッシュの真真中に位置していないことや、区域によっては狭い領域で地形や地質が大きく変わる大船渡市の特徴を示唆していると考えられる。一番相関が高かった AVS30 と半径 250m の相関係数は 0.82 と大きい値を示し、地震時の震度の増幅の程度が AVS30 と強い負の相関関係があることがわかる。震度と AVS30 との関係を図 11 に示す。図 7 の AVS30 分布と図 9 の半径 250m 平均震度分布から、震度が大きい観測点で AVS30 が小さく、震度の小さい観測点で AVS30 が大きくなる強い負の相関がみてとれる。また、表 3 に観測点ごとの地質と AVS30 や震度との関係を示す。一般に、堆積層が分布する場所で AVS30 が小さく、震度が大きい。一部、台町公園など地質図上では沖積に相当していても、実際は丘陵地である場所では AVS が大きく震度も小さい。また、岩盤が分布するところで AVS が大きく、震度が小さい。

##### 5. まとめ

大船渡市の 14 点で簡易微動アレー観測を実施し、レイリー波位相速度分散曲線から平均 S 波速度を換算し、アンケート震度との比較を行った。その結果、半径 250m 平均震度と AVS30 は強い負の相関を示すことが判明した。本研究の観測・解析は非常に簡便なものであるため地盤情報の少ない地方都市での地震危険度を推定するのに役立つと期待される。

##### 謝辞

簡易微動アレー観測は岩手大学工学部建設環境工学科地下計測学研究室の大学院生、学生に協力していただいた。大船渡市教育委員会にはアンケート調査に協力していただいた。記してここに謝意を表する。

##### 参考文献

- 熊田脩平, 山本英和, 佐野剛, 宮越亜矢子 (2007) 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, 東北地域災害科学研究 (掲載予定).
- 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.
- 太田裕, 小山真紀, 中川康一 (1998) アンケート震度算定法の改訂—高震度領域—, 自然災害科学, Vol.16, pp.307-324.

表 3 観測点ごとの地質、AVS30、震度との比較

観測場所	地質	AVS30 (m/s)	震度 (r250m)
サンアンドレス公園	沖積世砂礫	185	5.7
綾里小学校	泥岩	378	5
猪川公園	沖積世砂礫	461	5.4
立根駐車場	洪積世砂礫	286	5.4
越喜来小学校	輝緑凝灰岩	366	5.3
東町公園	沖積世砂礫	364	5.5
日頃市グラウンド	花崗岩質岩石	635	4.5
佐倉里公園	沖積世砂礫	452	5.3
みどり町公園	沖積世砂礫	233	5.2
台町公園	沖積世砂礫	523	5.2
鬼越ふれあい広場	花崗岩質岩石	780	4.6
綾里中学校	輝緑凝灰岩	550	4.8
大船渡工業高校	洪積世砂礫	309	5.4
末崎中学校	砂岩	374	5.3