

表面波探査および簡易微動アレー探査による盛岡市域の平均 S 波速度

— 平均 S 波速度と詳細震度分布との関係 —*

岩手大学工学部 岡田浩幸、山本英和、佐野剛

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。そのため、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。最近の研究では地下 30m 程度までの平均 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。

我々は、過去に、4 台の地震計からなる微動アレー探査により盛岡市域における速度構造を推定した（熊田ほか（2007））。図 1 に微動アレー探査の観測システムを示す。アレー半径 6m で上下動のみを収録した。位相速度の解析には空間自己相関法を利用している。空間自己相関法では、通常地震計間隔の 10 倍程度までの位相速度を検出可能であり、60m 程度の波長の検出が期待される。

この測定条件では、地下 20m、30m の平均 S 波速度を推定することが可能である。しかし、地下 10m 以浅の平均 S 波速度の推定には精度が落ちてしまう。

近年、地盤探査の中でもコストが低く、環境に対する負荷が少ない探査方法が開発・改良されているが、その中で、地盤の極浅部（深度 20m 程度まで）における 2 次元構造を簡便に推定することを目的とした表面波探査がある。表面波探査は、カケヤの強打や重錘落下などの人工起振により発生させた表面波を複数の受振器で測定し、地下の S 波速度構造を推定する。

本研究では、地下 10m 以浅の浅部構造探査が容易である表面波探査を使用し、表面波探査の結果を微動アレー探査の結果に加え、盛岡市域における表層地盤の平均 S 波速度を深度ごとに求めた。また、地域ごとの震度の差異の原因を調べるため、平均 S 波速度と 2003 年の宮城県沖の地震時のアンケート震度分布とを比較する。

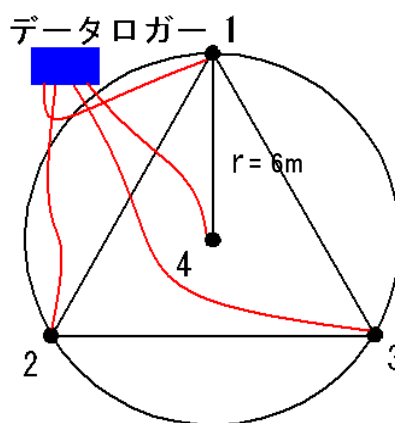


図 1 微動アレー探査の観測システム

* Estimation of average S-wave velocities at Morioka City by using surface wave microtremor array survey -Relation between the average S-wave velocities and seismic intensities by questinary survey- by Hiroyuki OKADA, Hidekazu YAMAMOTO and Tsuyoshi SANO

2. 表面波探査による平均 S 波速度の推定

本研究は、熊田ほか (2007) の測定場所の中から 10 点、そして新たに都南中央公園を加え、計 11 点を測定場所とした。図 2 に観測地点を示す。

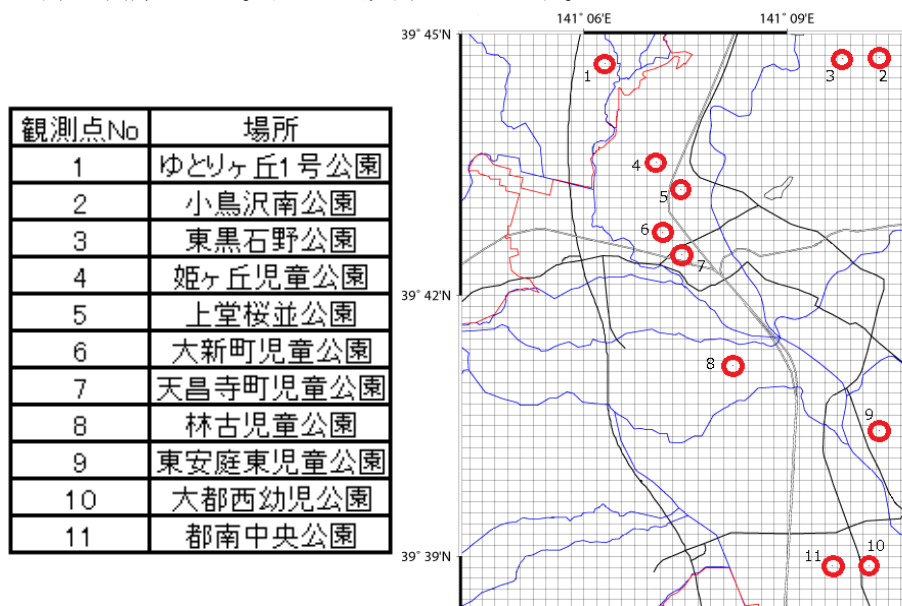


図 2 観測地点の分布

測定には、応用地質(株)の高精度表面波探査を使用した。図 3(a)に探査方法の模式図を示す。高精度表面波探査は、多数の受振器で測定された波形の相関をとることで解析精度を向上させ、簡便に 2 次元解析を行うことができる。測定では受振器 24 個を使用し、直線上に等間隔に並び、受振器および両端にある受振器の外側の計 25 ヶ所をカケヤで叩き、表面波を発生させた。測定器として応用地質(株)の McSEIS - SXW(XP 版)、受振器は速度型地震計・固有周波数 4.5Hz ジオフォン 24 個を使用した。例として、図 3(b)に上堂桜並公園で表面波探査を行った際の位相速度分散曲線の結果、図 3(c)に解析結果の 2 次元 S 波速度構造の図を示す。

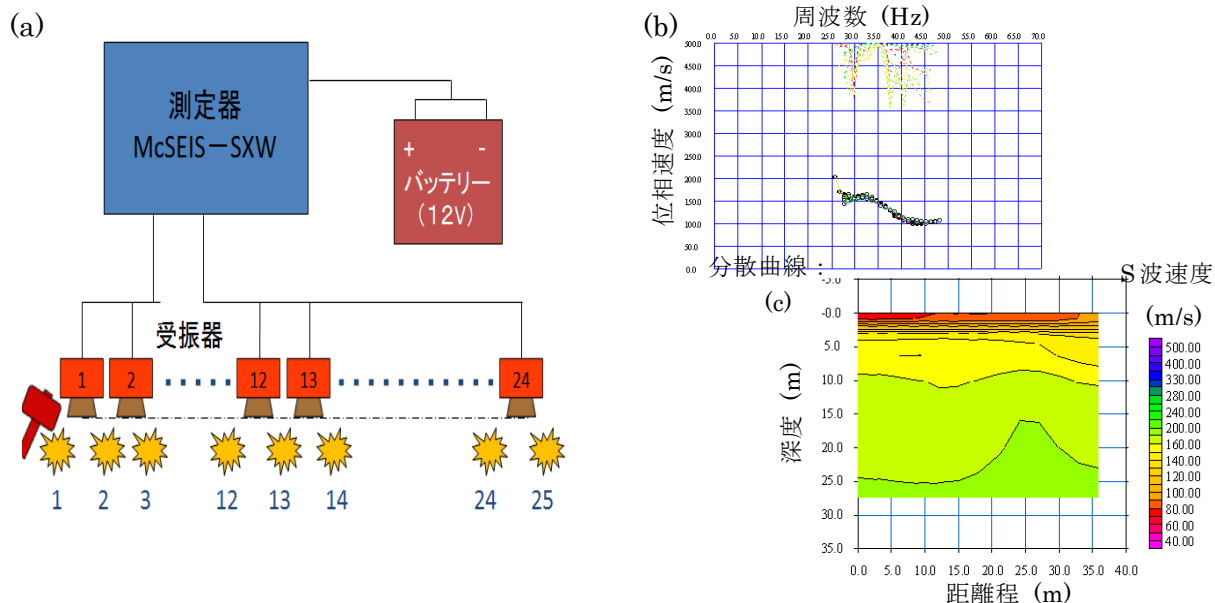


図 3 (a)探査方法の模式図, (b)位相速度分散曲線の例, (c)2次元 S 速度構造の例

表面波探査の位相速度分散曲線と微動アレー探査の位相速度分散曲線から、表層地盤の深度ごとの平均 S 波速度を求めた。例として、図 4 に上堂桜並公園における表面波探査と微動アレー探査の位相速度分散曲線を示す。

平均 S 波速度の換算方法として、長尾・紺野 (2002) の方法を使用した。長尾・紺野 (2002) では、波長 15m、30m、40m のレイリー波位相速度がそれぞれ深度 10m、20m、30m の平均 S 波速度 (AVS10、AVS20、AVS30) に対応すると報告している。図 4 の斜線が波長 15m、30m、40m に相当する。今回は AVS20、AVS30 には微動アレー探査の位相速度、AVS10 に表面波探査の位相速度のデータ群から平均的な値を抜粋して使用した。

図 5 に全観測点の位相速度分散曲線、表 1 に AVS10、AVS20、AVS30 の一覧を示す。ゆとりヶ丘 1 号公園や上堂桜並公園、東安庭東児童公園では AVS10 から 30 にかけての変化が小さく、小鳥沢南公園や東黒石野公園では AVS10 から 30 にかけての変化が大きかった。

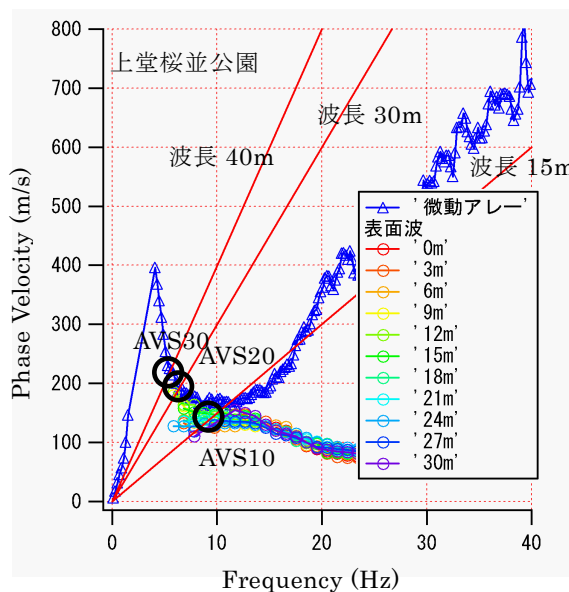


図 4 表面波探査と微動アレー探査の位相速度分散曲線の例および AVS の算出例

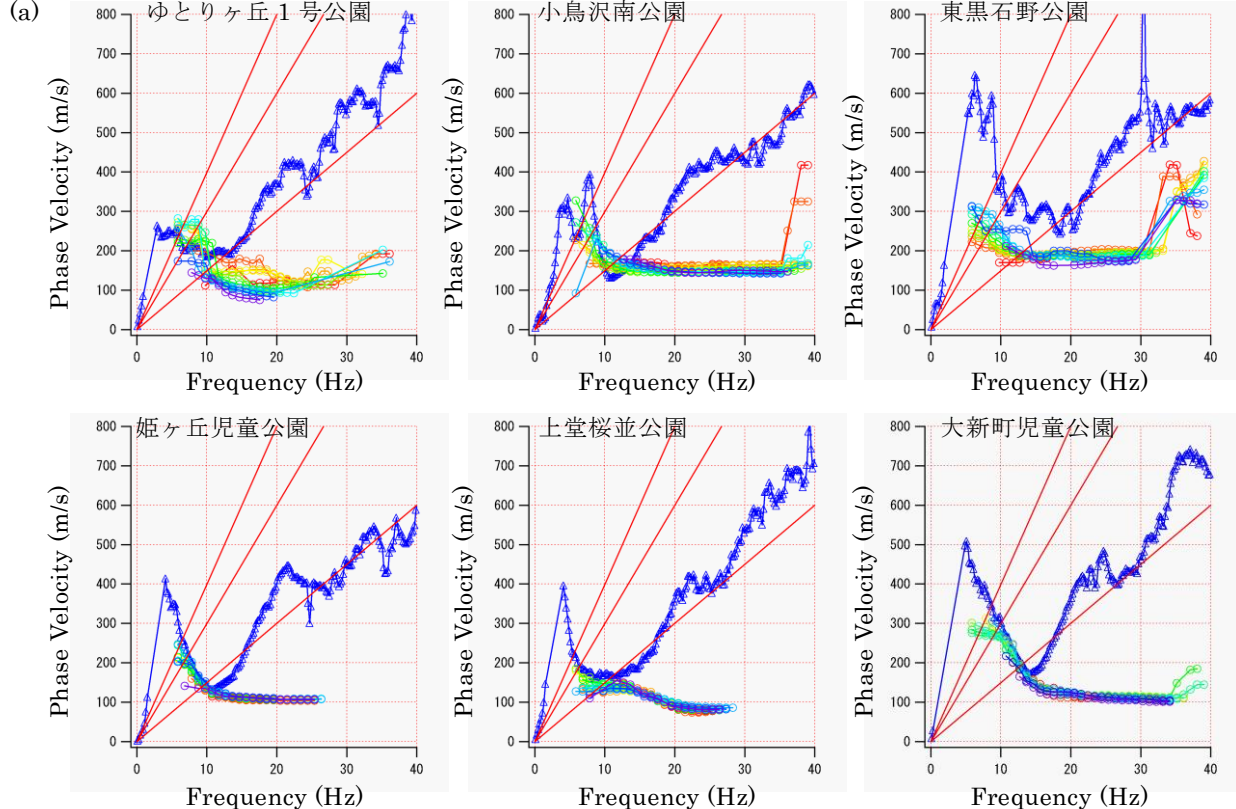


図 5 (a) 表面波探査と微動アレー探査の位相速度分散曲線と等波長線

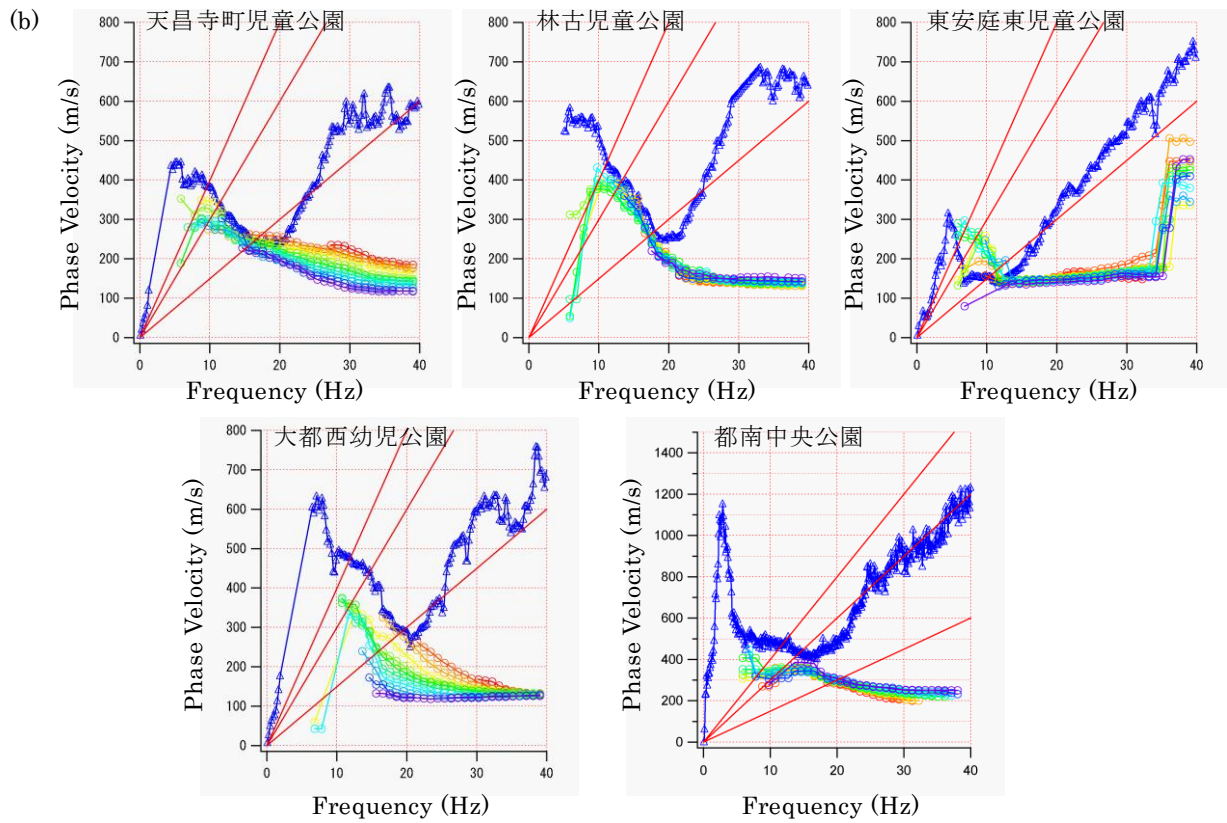


図 5 (b) つづき

表 1 推定された AVS, AVS20 および AVS30

場所	AVS10 (m/s)	AVS20 (m/s)	AVS30 (m/s)
ゆとりヶ丘1号公園	149	201	211
小鳥沢南公園	166	257	324
東黒石野公園	192	310	372
姫ヶ丘児童公園	141	209	250
上堂桜並公園	137	180	214
大新町児童公園	190	277	321
天昌寺町児童公園	236	311	346
林古児童公園	258	387	433
東安庭東児童公園	170	179	218
大都西幼児公園	239	373	414
都南中央公園	296	390	420

図 6(a), (b), (c)に AVS10, AVS20, AVS30 の分布図を示す。北西部では平均 S 波速度の値が低く、反対に南東部では高くなっている。北東部では AVS10 から 30 にかけての変化が大きかった。AVS の空間分布は、北西部では岩手山起源の段丘堆積物やなだれ堆積物など、南東部には砂礫、北東部では岩盤の地質に対応していることが考えられる。

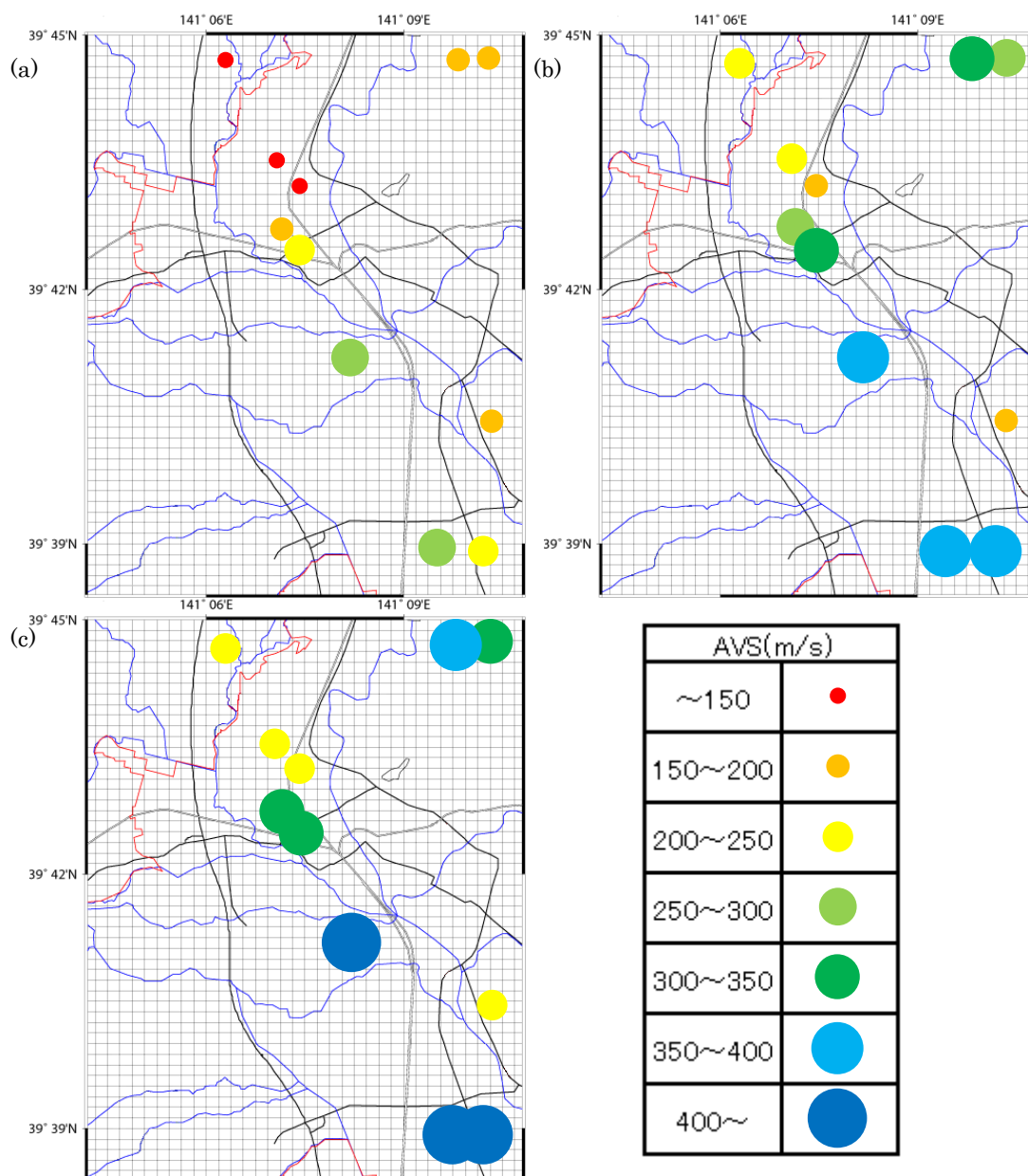


図6 AVSの分布図, (a)AVS10, (b)AVS20, (c)AVS30

3. AVS とアンケート震度分布の比較

平均 S 波速度の結果をアンケート震度分布と比較した。アンケート震度には、2003 年の宮城県沖の地震を対象として調査した山本ほか（2005）のデータを使用した。信頼できるだけのデータ数を確保するため、観測点の周囲のアンケート震度を平均した値を震度とする。AVS10、20、30 と観測点の半径 100、150、200、250、300、400、500m 以内の平均震度との組み合わせの中で相関係数を算出した。表 2 に平均震度と AVS との相関係数の一覧を示す。今回の結果では、AVS20 や AVS30 より AVS10 の相関が高くなった。一番相関が高い

表 2 震度と AVS との相関係数

震度	AVS10	AVS20	AVS30
100m	0.12	0.10	-0.07
150m	-0.43	-0.27	-0.27
200m	-0.66	-0.51	-0.50
250m	-0.60	-0.49	-0.48
300m	-0.57	-0.48	-0.49
400m	-0.64	-0.60	-0.61
500m	-0.63	-0.59	-0.60

のは AVS10 と半径 200m 震度の組み合わせであった。図 7 に AVS10 と半径 200m 震度の関係を示す。震度が大きい観測点で AVS が小さく、震度の小さい観測点で AVS が大きくなる負の相関となっている。相関係数の値は -0.66 であった。

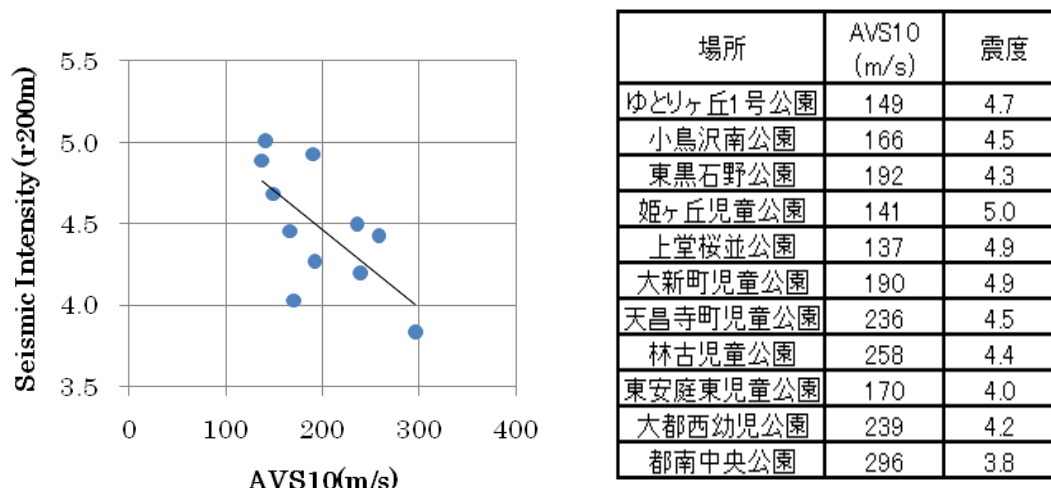


図7 AVS10 と半径 200m 震度との関係

4. まとめ

盛岡市域の 11 点で表面波探査を実施し、微動アレー探査の結果に加え、位相速度から平均 S 波速度を換算した。北西部では平均 S 波速度の値が低く、反対に南東部では高い結果となった。北東部では AVS10 から 30 にかけて変化が大きくなった。

また、平均 S 波速度と 2003 年の宮城県沖の地震時のアンケート震度との比較を行った。その結果、AVS10 と半径 200m 震度の組み合わせが最も強い負の相関を示した。このことから、まだ 2003 年の宮城県沖の地震の場合に限られるが、盛岡市域の地盤増幅特性は地下 30m よりも浅い地盤が強く影響していたことが考えられる。

謝辞

盛岡市役所および滝沢村役場には表面波探査の便宜を図っていただいた。探査には岩手大学工学部建設環境工学科地下計測研究室の学生に協力していただいた。記してここに謝意を表す。

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第 43 巻, pp.39-44

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, 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, 社団法人物理探査学会第 112 回学術講演会論文集, pp.180-183.