

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*

岩手大学大学院工学研究科 ○宇部陽子
 岩手大学工学部 山本英和 齊藤剛

1. 緒言

平成 23 年東北地方太平洋沖地震と平成 23 年 4 月 7 日に発生した M7.1 の余震において、一関市では震度 6 弱を観測し、住宅などに被害があった。地震被害の原因を把握するために、一関市役所の協力を得て 3 月の本震と 4 月の余震の際のアンケート震度調査を実施した (山本ほか, 2012)。その結果, 市内で大きな揺れの差異が確認できた。地震時の揺れの差異は表層地盤の影響を強く受けるため, 浅部地盤 S 波速度構造を明らかにし, 実際の地震時の揺れの分布と比較することは重要である。

そこで, 長ほか (2008) で提案されているような小規模サイズの微動アレー探査を対象地域において高密度に行うことにより, 狭い範囲での表層地盤の変化についても明らかにできると考えた。また, 小規模サイズの微動アレー探査では, ボーリングなどによる調査が難しい街中のスペース, 例えば歩道や車の後ろといった狭い場所や入り組んだ場所でも調査が可能となる。本研究は, 小規模サイズの微動アレー探査を高密度に行うことにより, 浅部地盤 S 波速度構造の二次元的な変化を明らかにし, 超高密度震度アンケート震度調査から得られた空間的な震度分布と比較することを目的としている。

2. アンケート震度調査

対象地域を 250m のメッシュに区切り, メッシュ内のアンケート震度を平均し, そのメッシュの代表震度としたアンケート震度分布を図 1 に示す。個人差による震度の偏りを少なくするため, メッシュ内のサンプルが 3 枚以上のメッシュのみ有効とした。赤丸で囲んだ赤荻地区や山目地区は周囲に比べて相対的にアンケート震度の大きい地区で, 青丸で囲んだインターの東側の地区, 市役所の北側の地区は周囲に比べて相対的にアンケート震度の小さい地区である。相対的に震度の大きい地区と小さい地区とを比較すると, 震度階級で 3 から 4 段階程度の差異が認められた。

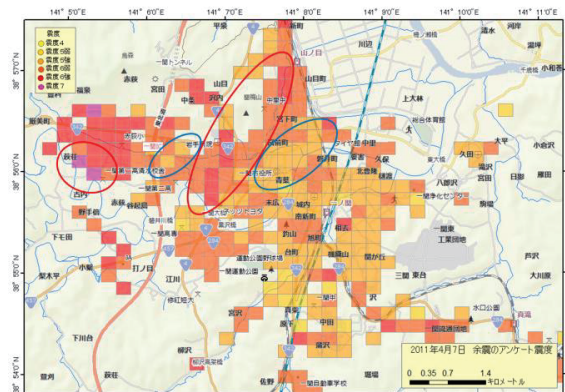


図 1 アンケート震度分布

* Estimation of S-wave velocity structures in Ichinoseki City by microtremor surveys using a miniature array by Yoko UBE, Hidekazu YAMAMOTO and Tsuyoshi SAITO

3. 極小微動アレー探査

観測は、アンケート震度調査を実施した一関市中心部で行った。微動観測に用いたアレーは中心に1台、半径60cmの円周上に正三角形型に3台、微動計を配置する形状である。使用した微動計は白山工業株式会社製微動観測装置JU310である。サンプリング周波数は200Hz、観測時間20分、全44地点で観測を行った。観測風景を図2に示す。また観測点A1-A44を図3に示す。東西方向に測線XX'、南北方向に測線YY'を設定した。



図2 観測風景

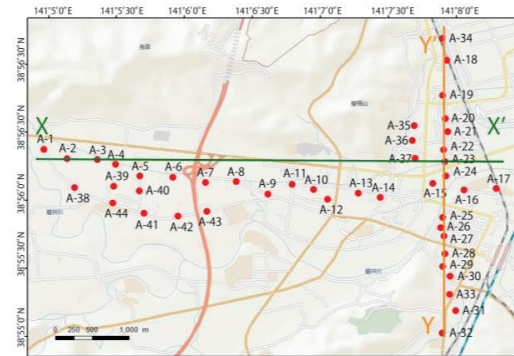


図3 極小微動アレー観測点

A-7におけるアレー観測から得られた上下動微動波形を図4に示す。

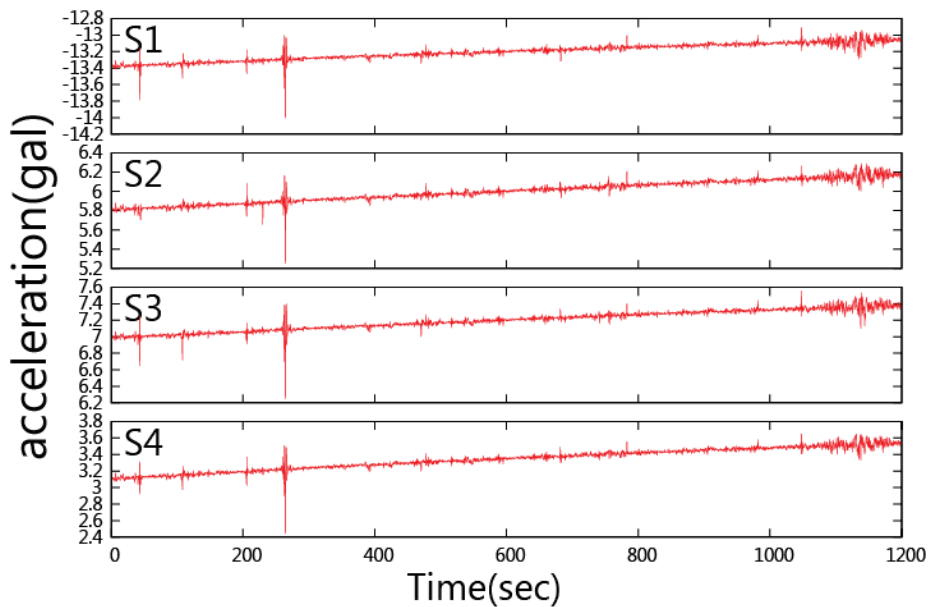


図4 観測波形 (A-7)

4. 位相速度

空間自己相関法 (Aki, 1957) を利用し、位相速度分散曲線を求めた。例として観測点 A-7, A-33 の位相速度分散曲線を図 5, 図 6 に示す。位相速度分散曲線の形状にかなりの違いが見られる。

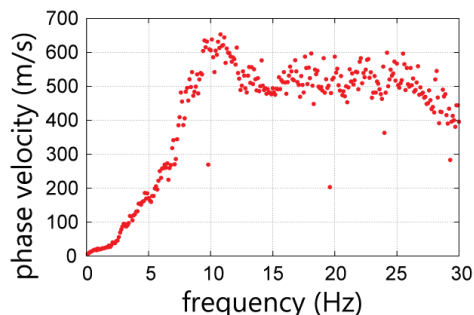


図 5 位相速度分散曲線 (A7)

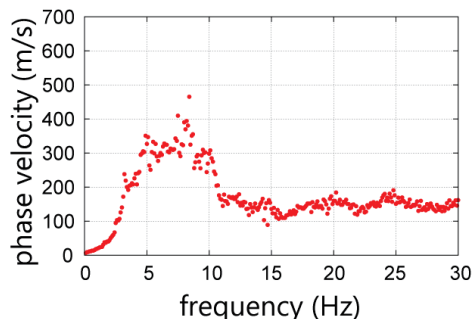


図 6 位相速度分散曲線 (A33)

5. 平均 S 波速度

長尾・紺野 (2002) の方法を参照し、位相速度から AVS10 を求めた。AVS10 と震度分布図を比較してみると、北側の山目地区では AVS10 が遅く、かつ震度は大きいことが分かる。西側の赤荻地区は AVS10 は速く、震度は大きくなっている。

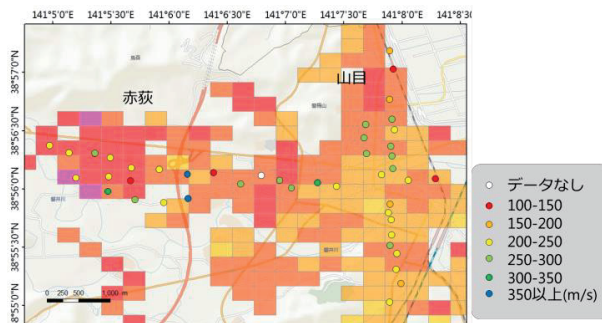


図 7 AVS10 と震度分布図

6. 疑似 S 波速度構造

各観測点において波長の 1/2 を深さとし、波長に対応する位相速度を S 波速度として疑似 S 波速度構造を求めた。横軸に疑似 S 波速度、縦軸に深さをとって疑似 S 波速度構造を表し、例として A-7 と A-33 を図 8, 図 9 に示す。A-7 と A-33 を比較してみると、深さ 5m 地点での疑似 S 波速度が A-7 では 280m/s 程度なのに対し A-33 では 150m/s 程度と差異が大きい。深さ 5m 地点での各観測点における疑似 S 波速度を 25m/s ごとに区切って色分けしたものを図 10 に示す。北部の山目地区、南部では疑似 S 波速度は遅くなっている。同様に深さ 10m 地点での各観測点における疑似 S 波速度を図 11 に示す。北部、南部ともに急に速度が変化していることが分かる。XX' ライン (図 3 参照) で疑似 S 波速度構造を表したものを図 12 に示す。西部の赤荻地区では震度が大きいところで疑似 S 波速度が遅く、震度が小さいエリアでは疑似 S 波速度が速くなる。しかしある地点を境に、疑似 S 波速度と震度の対応関係は明確ではなくなる。YY' ラインで疑似 S 波速度構造を表したものを図 13 に示す。北部から中央にかけては赤荻地区同様、震度が大きいところで疑似 S 波速度が遅くなっている。

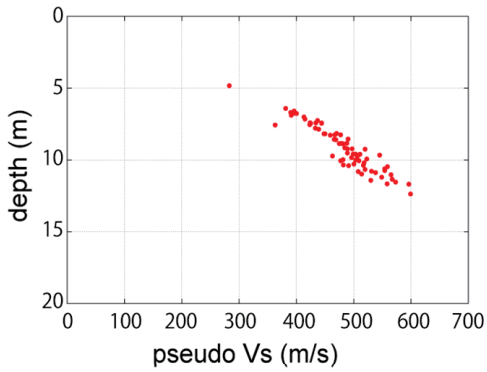


図8 疑似S波速度構造 (A-7)

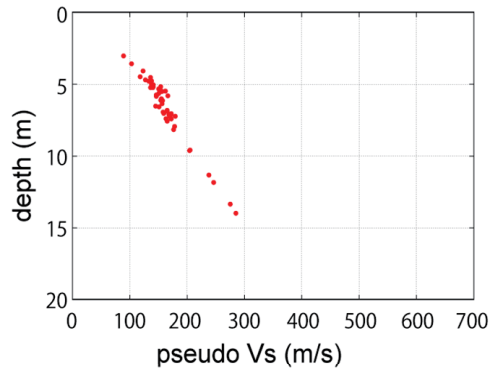


図9 疑似S波速度構造 (A-33)

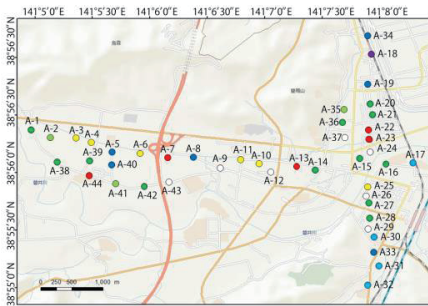


図10 疑似S波速度構造 (5m)

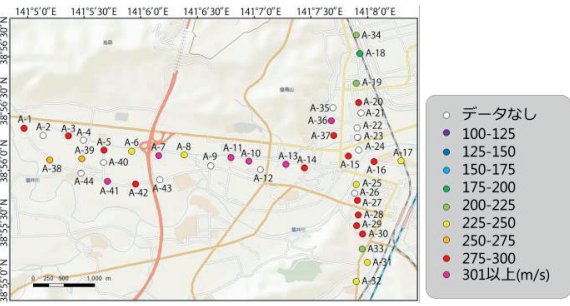


図11 疑似S波速度構造 (10m)

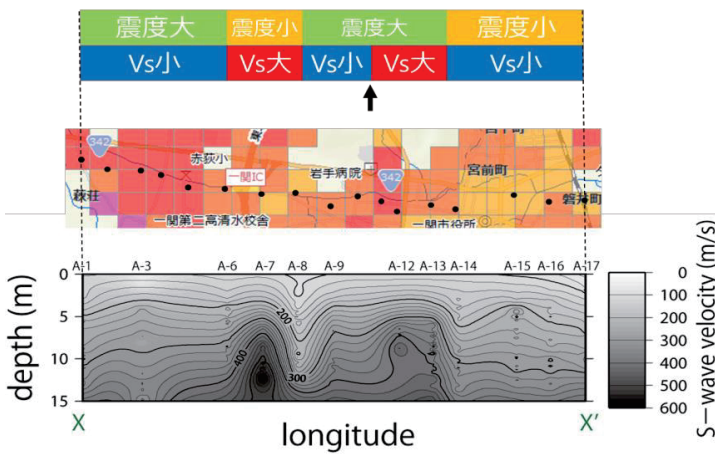
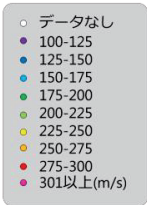


図12 疑似S波速度構造と震度の関係

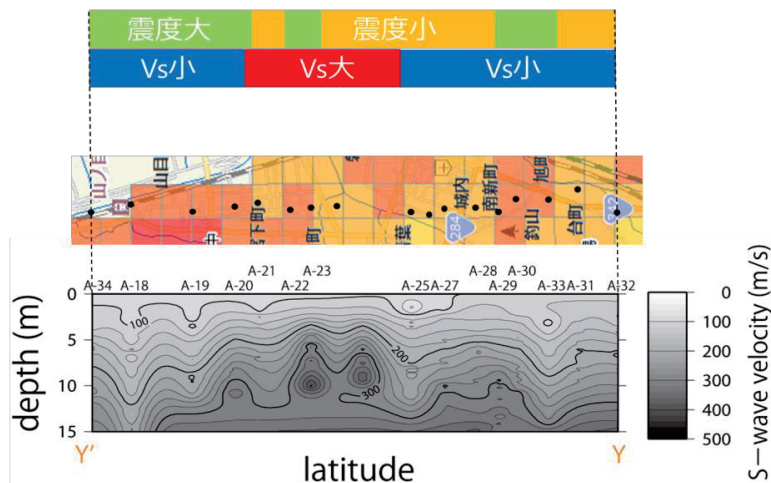


図 13 疑似 S 波速度構造と震度の関係

7. 推定 S 波速度構造

位相速度から表層 S 波速度構造の推定を行った。理論分散曲線が位相速度分散曲線に重なるように層構造を推定し、理論分散曲線が位相速度分散曲線と重なったらそれが推定 S 波速度構造である。A-7 における推定 S 波速度構造を図 14、A-33 における推定 S 波速度構造を図 15 に示す。これらの推定 S 波速度構造を XX' ラインで二次元断面として表したものを図 16 に示す。震度の大きい西部の赤荻地区で表層 3m 程度までに推定 S 波速度の遅い層が見られる。YY' ラインについて図 17 に示す。震度大きい北側の山目地区の表層 3m 程度までに推定 S 波速度が 100m/s 程度の層が見られる。

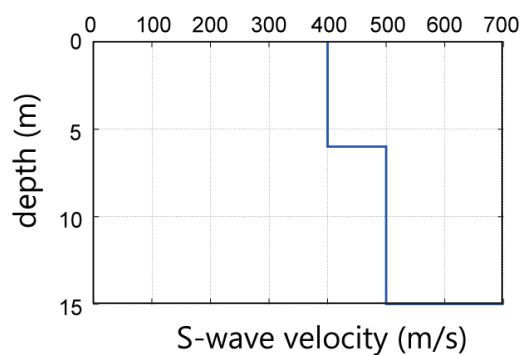


図 14 推定 S 波速度構造 (A-7)

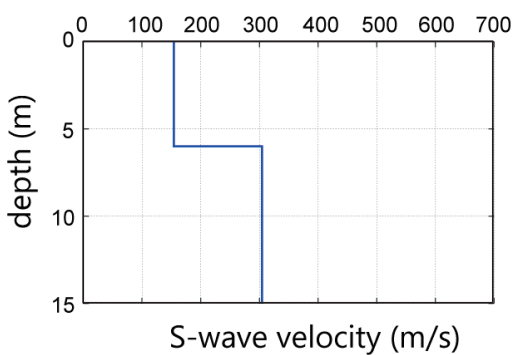


図 15 推定 S 波速度構造 (A-33)

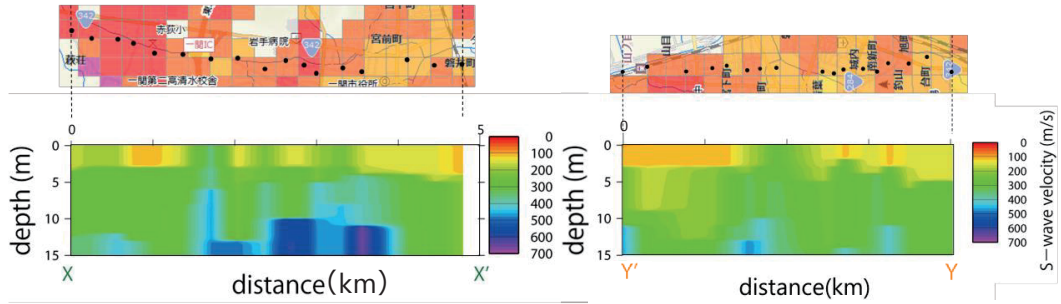


図 16 推定 S 波速度構造 (XX'ライン)

図 17 推定 S 波速度構造 (YY'ライン)

8. 結言

岩手県一関市において極小微動アレー探査をおこなった。長ほか (2008) で提案されているような小規模サイズの微動アレー探査を対象地域において高密度に行うことにより、表層地盤の変化について調べた。位相速度分散曲線を 5km 程度の狭い範囲において比較してみても差異が認められる。観測点ごとに深さ 10m までの平均 S 波速度を比較してみると、山目地区や南部など震度の大きい区域で極めて遅く、赤荻地区は速くなっている。疑似 S 波速度構造を見ると、西部の赤荻地区では震度が大きいエリアで疑似 S 波速度が遅く、震度が小さいエリアでは疑似 S 波速度が速くなる。北部から中央にかけては赤荻地区同様、震度が大きいところで疑似 S 波速度が遅くなっていますが、南部は特定の傾向は見られない。位相速度と理論分散曲線から算出した推定 S 波速度構造は表層~3m 程度で約 100~150m/s と非常に遅く、表層部分の地盤は非常に柔らかいことが推測できる。その地区はアンケート震度も比較的大きい地区と一致する。

謝辞

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

- (1)Aki, K. (1957) "Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors." Bull. Earthq. Res. Inst., No.35, pp.415-456.
- (2)長郁夫, 多田卓, 篠崎祐三, (2008) 極小アレイによる新しい微動探査法: 浅部地盤平均 S 波速度の簡便推定, 物理探査, 61, 457-468.
- (3)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.
- (4)Wessel, P. and W.H.F.Smith, (1998) New, improved version of generic mapping tools released, EOS Trans. AGU, 79, 579
- (5)山本英和, 齊藤剛, 大河原正文, 宇部陽子, 齊藤良平, 一戸欣也, 菊池薫 (2013) 東北地方太平洋沖地震とその余震を対象とした岩手県一関市における超高密度アンケート震度調査, 東北地域災害科学研究集会, 第 49 巻, pp. 35-40