

浅部 2 次元 S 波速度構造推定を目的としたリニアアレイで観測された 短周期微動の地震波干渉法解析 —岩手大学構内における試み—*

岩手大学 山本英和 佐々木恭輔 齊藤剛

1. はじめに

最近、浅部地盤の S 波速度を探索するために、地震波干渉法という新しい手法が提案されている。これは常時微動記録の相互相関関数を長時間重合すると 2 地点間のグリーン関数が得られるものである。(例えば, Shapiro and Campillo, 2004)。Nishida et al(2008)は、Hi-net の傾斜計で記録された常時微動を解析し、地震波干渉法に基づいて日本全域の S 波速度トモグラフィーを実施した。ただし、この研究では長周期の解析を行った深部の S 波速度構造であり、地震工学的に重要な浅部での探査事例はまだ数多くない。そのため、本研究では、短周期微動を利用して浅部の 2 次元 S 波速度構造探査の新たな手法開発を目的に、Pan et al(2016)を参考に、3 成分微動計の直線配置による長時間の微動測定を実施し、地震波干渉法解析により、上下動および水平動の波動伝播が確認できるかどうかを試みた。もし、波動伝播が明瞭に観測されるなら、直線配置という実務的には労力が少ない配置で、2 次元的な構造探査への展開が開ける可能性が出てくるのが期待される。

2. リニアアレイによる微動観測

岩手大学理工学部のグラウンドにおいて、長さ 100m の測線を南北に設定し、南端を 0m 地点、北端 100m 地点とした。微動計は白山工業株式会社製の 3 成分加速度計 JU310 を 11 台使用した。微動計間隔は 10m である。サンプリング周波数は 200Hz である。また、0m 地点が No.1、100m が No.11 となるように順番に名前をつけ、観測点 No.1 から No.11 の向きを正、No.11 から No.1 の向きを負とした。JU310 の場合、ch1 が radial 方向、ch2 が transverse 方向、ch3 が UD 方向となる。観測は平成 28 年 10 月 15 日の 9 時 25 分から 14 時 25 分を実施した。図 1 は観測点配置図である。図 2 に 10 時 25 分から 10 時 54 分までに観測された 3 成分加速度波形を示した。上から下に No.1、No.2 と並んでいる。また、図 3 に図 2 と同時刻で、それぞれの観測点の ch1、ch2、ch3 のスペクトルと H/V スペクトル比を示した。図 2、図 3 から、波形、各方向のスペクトル、H/V スペクトル比は場所による差異がなく、形状が類似しているため、今回の微動観測データの質が良いことが確認できた。

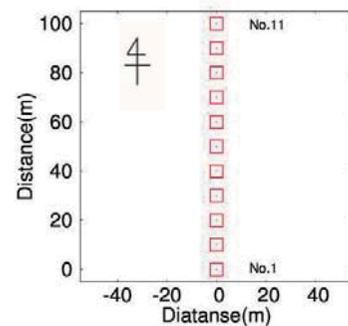


図 1 観測点配置図

* Seismic interferometry analysis of short-period microtremors observed with a linear seismometer array for estimating two-dimensional shallow S-wave velocity structures - An experiment in a ground of Iwate University - H. Yamamoto, K. Sasaki and T. Saito

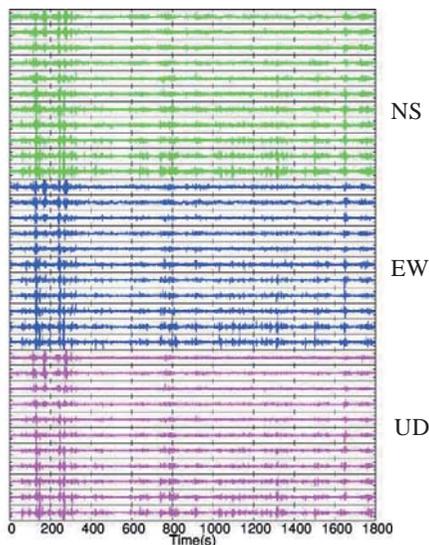


図2 観測された3成分加速度波形 (10時25分から10時54分)

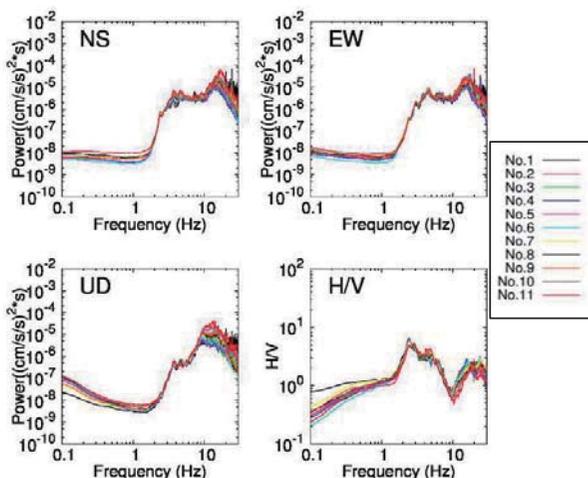


図3 観測された3成分スペクトルと H/V スペクトル比(10時25分から10時54分)

3. 重合相互相関解析

基本解析区間を 20.48 秒とし、FFT によるスペクトル解析により相互相関関数を計算する。Bensen et al. (2007)の解析方法に習い、観測された微動に対して周波数規格化、二値化をおこなってからそれぞれの成分に対して相互相関関数を計算し、重合した。図4にNS方向の相互相関関数の重合時間の比較を示す。この図から、今回の観測では、相互相関関数は約30分以上重合することで、位相が明瞭となることが分かる。次に、図5に全観測時間である9時25分から14時25分の5時間重合した相互相関関数の全組み合わせを距離ごとに並べた。この図から、100mの距離で特徴的な位相のラグタイムがtransverse(EW)方向では約0.5秒であるのに対して、radial(NS)方向、UD方向では、約0.3秒であり、transverse方向のラグタイムが長いことが分かる。このことからtransverse方向の伝播速度が遅いことが予想される。

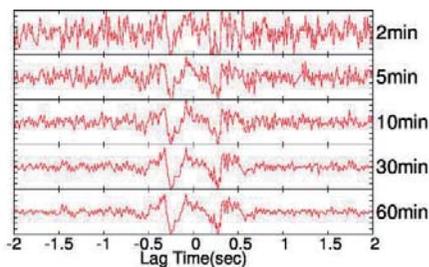


図4 NS方向の相互相関関数の重合時間の比較

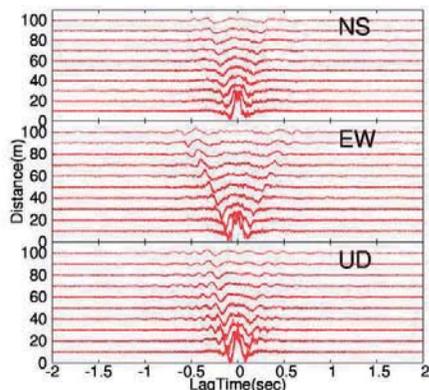


図5 距離ごとの全組み合わせ相互相関関数

4. 群速度の推定

Dziewonsky et al. (1969)の解析方法に習い、マルチプルフィルタ解析を行い、群速度の推定を行った。例として観測点 No.1 と No.10 の群速度を図 6 に示す。plus が本研究の正の方向、minus が負の方向である。各方向ごとに比較すると、群速度が EW 方向では 200m/s より少し遅く、UD 方向では、200m/s より少し速く、NS 方向では 300~400m/s である。成分によって群速度が異なっている。また、NS、UD 方向では、周波数によって正負方向で群速度が若干異なっていた。次に、SN 比を図 7 に示す。SN 比は、狭帯域フィルタ波形の包絡線の最大値をラグが十分大きい平均自乗振幅で除したものである。EW、UD 方向では、低周波数から高周波数まで負の方向の方が信頼できる値であることが分かる。NS 方向に関しては、周波数によって SN 比が正方向の方が高い場合や負方向のほうが高い場合があることや、他の方向に比べ、SN 比が低いことが分かる。

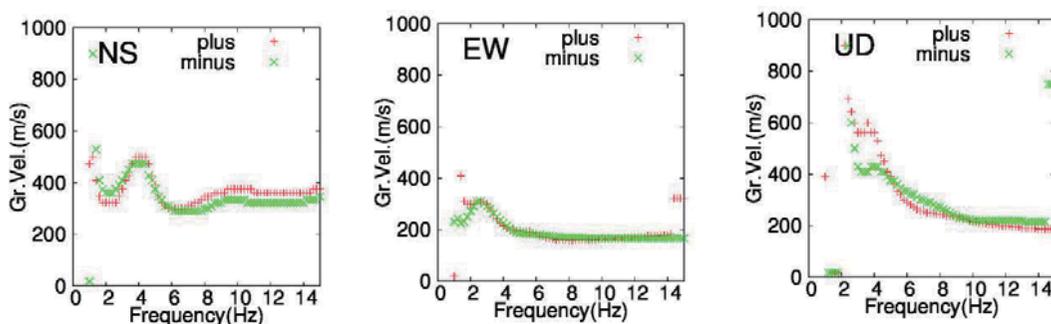


図 6 観測点 No.1 と No.10 における観測された群速度

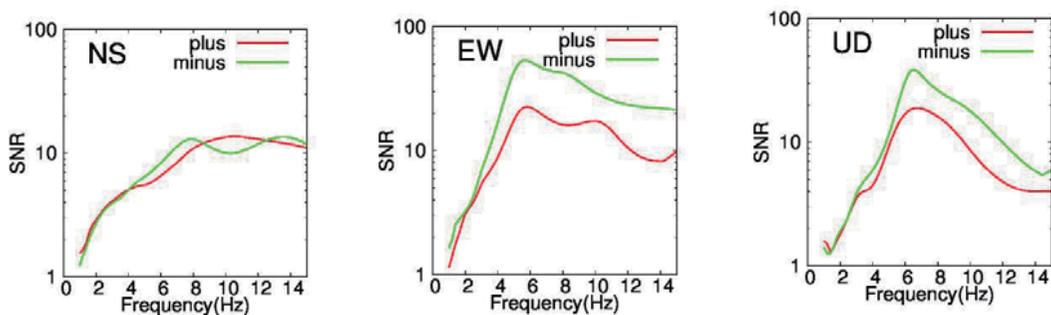


図 7 観測点 No.1 と No.10 における SN 比

5. 既存のモデルから計算した群速度と観測群速度の比較

山本(2000)による S 波速度モデルと、このモデルから計算した群速度を図 8 に示す。また、SN 比が 10 よりも大きいものを使った観測群速度と計算群速度を比較したものを図 9 に示す。EW 方向は観測値と計算値がほぼ一致していた。しかし、NS 方向と UD 方向では観測値が計算値よりも少し速くなっていた。

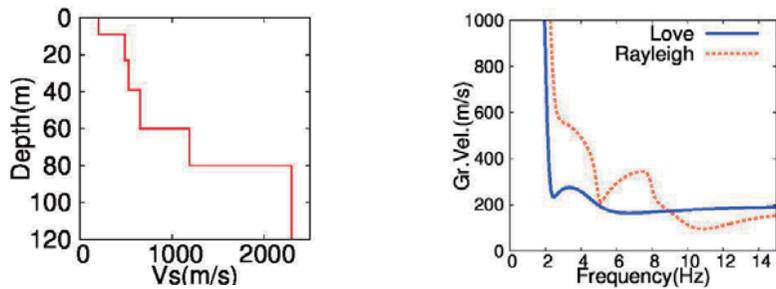


図 8 山本(2000)による S 波速度モデルと計算された群速度

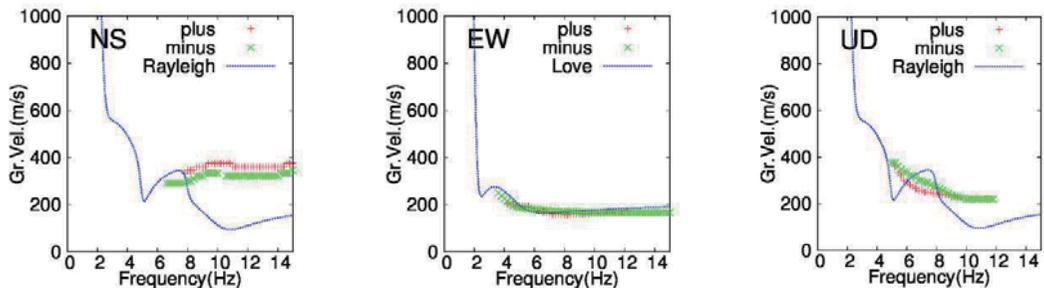


図 9 観測された群速度と(SN>10)と計算された群速度の比較

6. 観測点間距離ごとの群速度の比較

計算値に近い EW 方向の SN 比が高い負の方向の同じ距離ごとに分散曲線を重ね合わせ、図 10 に示した。各距離ごとに比較すると、観測点間距離 50m のとき、高周波数で場所により群速度が少し違っているが、全体的に見ると、どの観測点間距離でも場所による群速度のずれがほとんどないことがわかる。

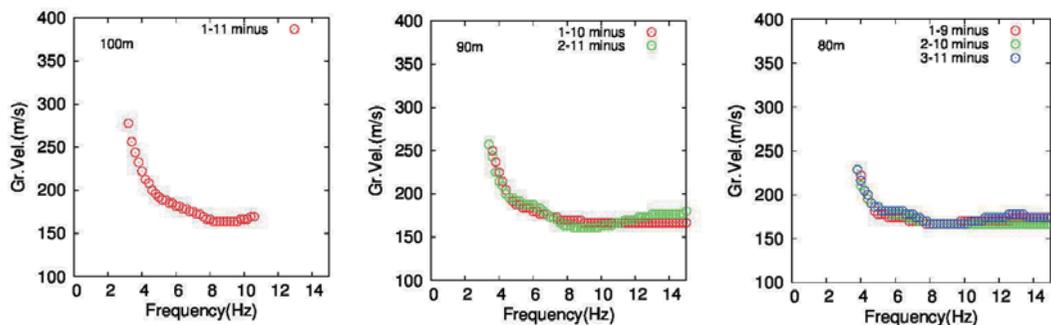


図 10 EW 方向の負方向における観測点間距離ごとの群速度

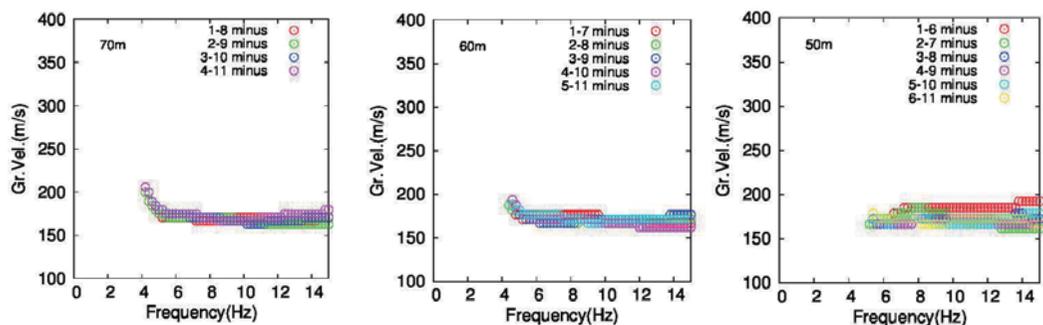


図 10 続き

図 11 に EW 方向の負方向における観測点間距離ごとの SN 比を示した。観測点間距離が短くなるにつれて、SN 比のピークの周波数が高くなっていることが分かる。また、観測点間距離が同じ場合でも、場所によって、SN 比のピークの周波数が異なっていることも分かる。

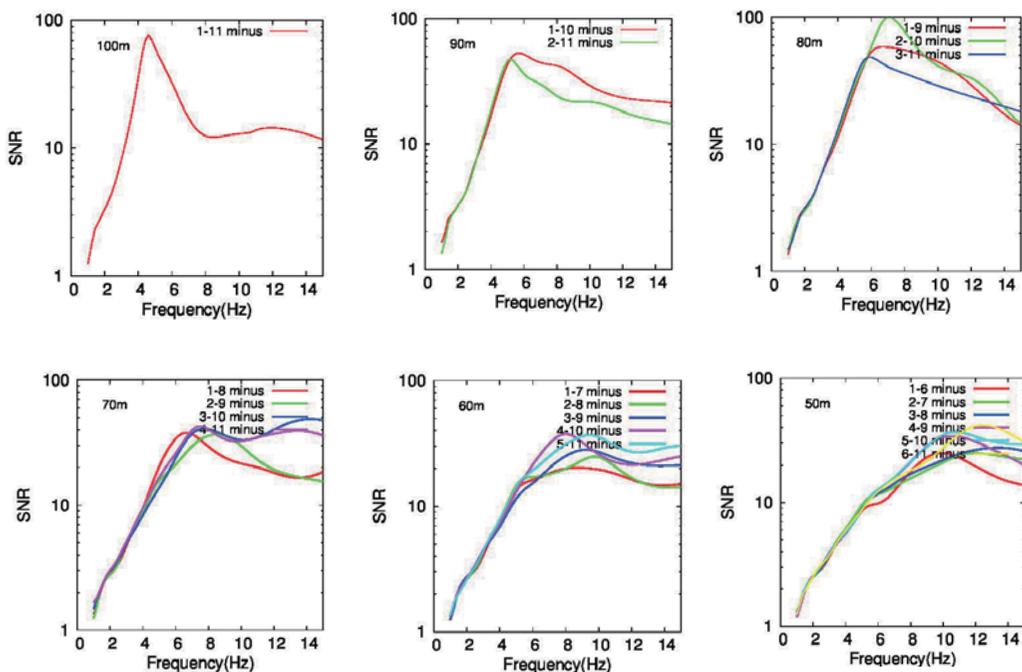


図 11 EW 方向の負方向における観測点間距離ごとの SN 比

7. 考察

重畳相互相関解析では、波動の伝播を確認することができた。正負の方向で位相を観察する

と、負の方向の特徴的な位相の伝播がはっきりとしている。これは、振動源に偏りがあるため、微動の主な振動源が岩手大学工学部グラウンドの北側にある国道4号線であるためだと考えられる。また、重合時間が十分でないことも考えられる。

群速度の推定では、例として No.1 と No.10 のペアで比較したが、特に NS 方向で SN 比が最高でも 10~15 であり、正しい群速度の推定が難しかった。それに対して、EW 方向では、SN 比が 10 より大きい周波数範囲が広いうえに、ピークの SN 比は 50 を超えていて、既存モデルから計算したものと比較でも分かるように正しい群速度の推定ができたと考えられる。これは、振動源の方向に偏りがあり、群速度の推定に影響を及ぼしたためであると考えられる。山本ほか(2017)では、FK スペクトル解析により、微動の到来方向が北西-南東であることが示唆されている。そのため、直線配置の方向や間隔を修正することで、よりよい結果が得られるのではないかと考える。

今回の観測では2次元変化を検出するために直線上に多数の微動計を設置して群速度を推定したが、結果として同一周波数ならばほぼ同程度の速度が得られた。このことから岩手大学工学部グラウンドはほぼ均質な構造であることが予想できる。

謝辞

(国研) 防災科学技術研究所から微動計をお借りしました。記してここに謝意を表します。

参考文献

- Bensen, G.D., M.H. Ritzwoller, M.P. Barmin, A.L. Levshin, F. Lin, M.P. (2007), Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, *Geophys. J. Int.*, 169, 1239-1260.
- Dziewonski, A., S.Bloch, and M. Landisman(1969), A technique for the analysis of transient seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 427-444.
- Nishida, K., H. Kawakatsu, and K. Obara, (2008), Threedimensional crustal S wave velocity structure in Japan using microseismic data recorded by Hi-net tiltmeters, *J. Geophys. Res.*, 113, B10302, doi: 10.1029/2007jb 005395.
- Pan, Y., J.Xia, Y.Xu, Z.Xu, F.Cheng, H.Xu, and L.Gao(2016), Delineating Shallow S-Wave Velocity Structure Using Multiple Ambient-Noise Surface-Wave Methods: An Example from Western Junggar, China, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 106, pp. 327-336, doi: 10.1785/0120150014.
- Shapiro, N.M. and M. Campillo(2004), Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07614, doi:10.1029/2004GL019491,2004.
- 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*, 53, 153-166.
- 山本英和, 平賀証人, 齊藤剛, 金崎慶次, 佐藤史佳(2017), 岩手大学でアレー観測された三成分微動記録への地震波干渉法解析の適用可能性について, *東北地域災害科学研究*第 53 巻, 掲載予定