

# 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

岩手大学 山本英和, 平賀証人, 齊藤剛, 金崎慶次  
岩手大学大学院工学研究科 佐藤史佳

## 1. はじめに

地震時の揺れやすさを評価するためには地盤の S 波速度構造を把握する必要がある。地盤の S 波速度を推定するには微動アレー探査が用いられることが多い。また、最近 2 点で観測された常時微動の相互相関関数を長期間重合することによりグリーン関数が得られるという地震波干渉法解析が盛んに試みられている。長周期領域では得られたグリーン関数のマルチプルフィルター解析 (Dziewonsky et al, 1969) により表面波の群速度を得ることに成功し、群速度トモグラフィなどの成果が出されている (例えば, Nishida et al, 2008)。本研究では、微動アレー探査を用いて測定した微動記録に地震波干渉法解析を適用し、浅部地盤探査へ干渉法の適用可能性を調査することを目的とし、通常の探査より若干長めの測定時間である数時間程度の微動アレー記録に対し重合相互相関関数を算出し、群速度を求め、微動アレー記録から S 波速度構造探査の情報量を増やすことについて可能性を調査する。

## 2. 微動観測

図 1 に岩手大学理工学部グラウンド内での観測地点を示す。No.1 を中心とし、No.1 から No.2 へ方向を磁北に設定した。中心に 1 台、半径 15m の円周上に正三角形型配置で 3 台、半径 45m の円周上に正五角形型配置で 5 台の計 9 台を設置した。使用した微動計は白山工業株式会社製の三成分加速度計 JU310 である。サンプリングは 200Hz とした。本観測は 2016 年 10 月 24 日 9:50~17:50 と 31 日 9:30~17:30 に実施した。

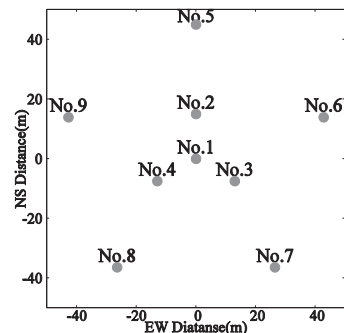


図 1 観測点位置

## 3. 相互相関関数の計算と重合

ノイズの影響の軽減と周波数範囲の規格化を目的とし、観測される上下動微動に前処理として二値化、スペクトルホワイトニングを行った (Bensen et al., 2007)。前処理を行ったデータを FFT 処理によりクロススペクトルを算出し、相互相関関数を計算した。EW, NS 成分から radial, transverse 成分を計算し、RR, TT, ZZ の三成分についてそれぞれ周波数 1.0Hz から 40Hz のバンドパスフィルタを施し、相互相関関数を重合し、グリーン関数を導出した。重合した時間は

\*Applicability of seismic interferometry analysis to array records of three-component microtremors observed in Iwate University by M.Hiraka, H.Yamamoto, T.Saito, K.Keiji and F.Sato

30分、1時間、2時間、3時間、8時間、16時間とした。図2に示す通り、8時間重合した相互相関関数と16時間重合した相互相関関数を比較すると16時間重合したものがよりノイズが軽減されていたため、今回は16時間重合した相互相関関数を用いて群速度の推定を行った。

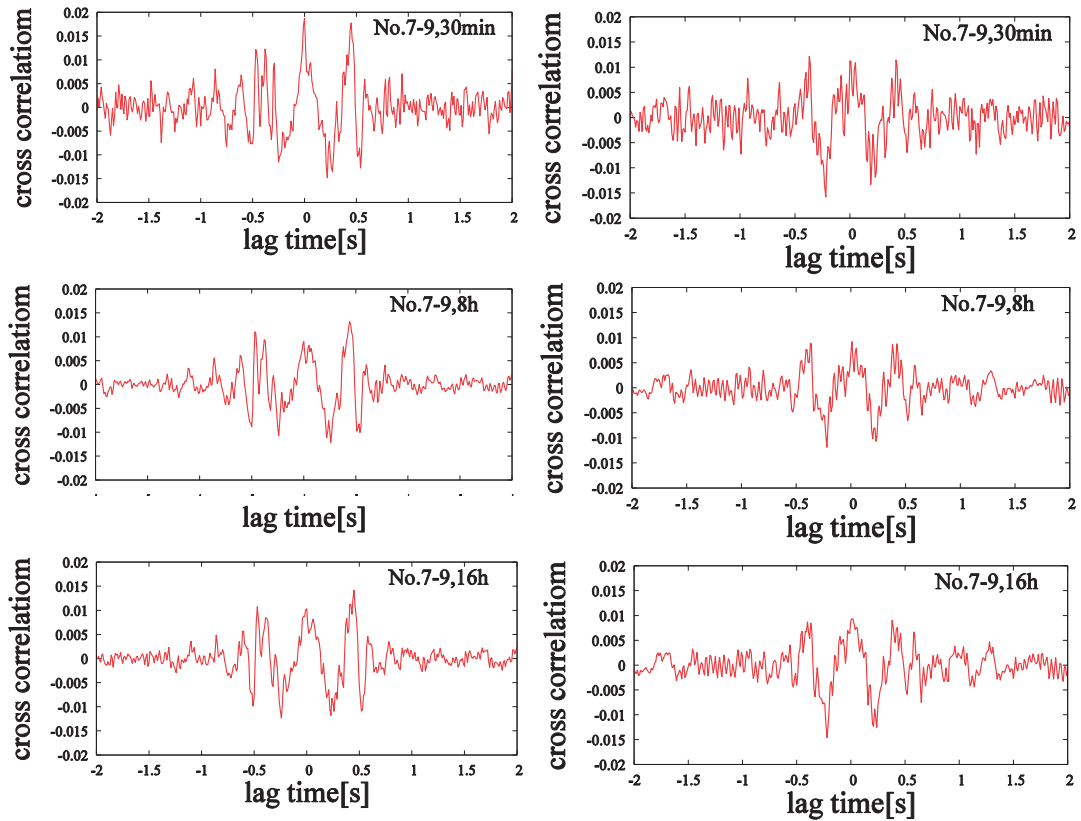


図2 No.7-9間の重合相互相関関数(左側がRR成分、右側がTT成分)

#### 4. 群速度の推定

相互相関関数のマルチプルフィルター解析を行い、包絡線を規格化し最大値の時間遅れを読み取ることで群速度を算定した。また、信頼性の高い群速度の周期範囲を定量的に検証するためにSN比を用いた。包絡線のピーク時の振幅を全体の8割から10割の区間における平均値絶対振幅のノイズで除すことにより周期ごとにSN比を算出した。また、SN比が10以上を信頼性の高い群速度と判断し、閾値を10として検討を行った。今回、3成分微動計を使用し群速度の算定を行ったが、図3に示す通り5から10Hzの周波数帯での群速度のうちSN比10以上の方位角ごとの群速度を比較するとRR成分において方位角ごとに群速度が異なり、ZZ成分に

おいてどの値も近かった。そのため今回は、Rayleigh 波の例として RR 成分，Love 波の例として TT 成分に関して検討を行うこととした。

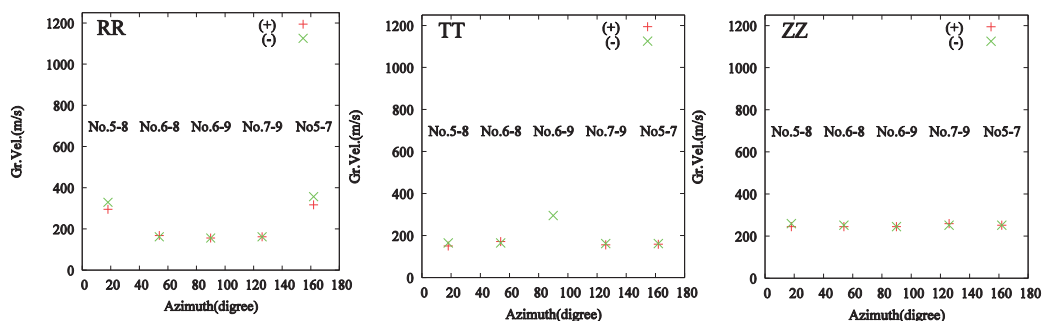


図 3 8Hz における方位角ごとの群速度分布

組み合わせによって得られた群速度に違いが見られたため、観測点間距離が等しく方位角の異なる場合、方位角が等しく観測点間距離の異なる場合のそれぞれについて比較検討を行った。また、群速度の妥当性を評価するため、図中の青線で示されている山本(2000)により推定された S 波速度構造モデルから計算された群速度と比較を行った。図中の赤点で示される+は、観測点番号の数字の小さい方から大きい方への向きでの群速度を表し、緑点で示される-はその逆の向きによる群速度を表す。

まず方位角の違いに着目し比較した。南北方向の例として方位角  $18^\circ$  である No.5 と No.8 の二点間と、東西方向の例として方位角  $126^\circ$  である No.7 と No.9 の二点間において、RR 成分について比較した。図 4 に示す通り計算群速度よりも No.5 と No.8 の二点間ではやや速く、No.7 と No.9 の二点間では同程度の値を取った。TT 成分については図 5 に示す通りどちらの群速度も計算群速度と近い値を取った。

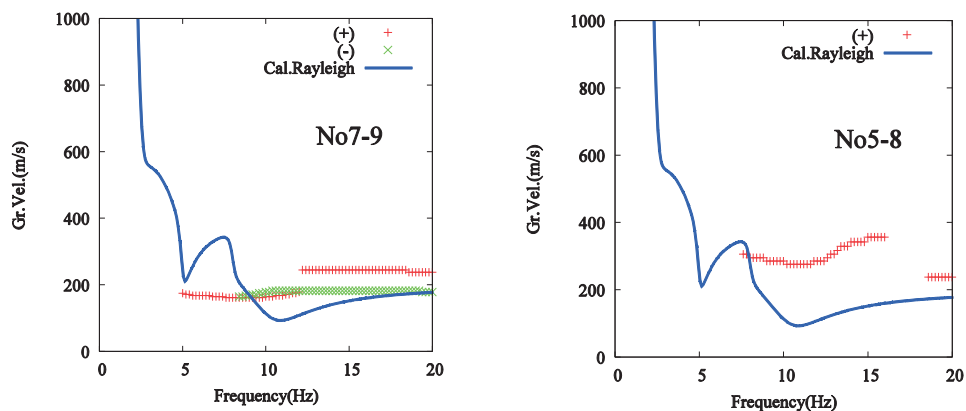


図 4 RR 成分における SN 比 10 以上の群速度と計算群速度

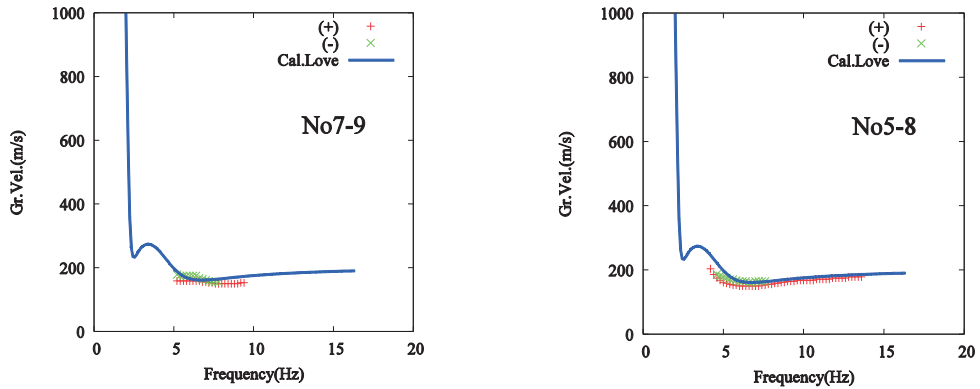


図5 TT成分におけるSN比10以上の群速度と計算群速度

次に、No.7とNo.9の2点間での群速度がより計算群速度の値に近かったため、この測線間をNo.4で2つに分け、2つの異なる距離の組み合わせを用いて、観測点間距離の違いによる群速度の変化についてRR成分に絞って比較検討を行った。方向に一貫性を持たせるため、今回はNo7からNo.4の向き、No.4からNo.9への向きを+とした。RR成分において図6に示す通り距離37mであるNo.4とNo.9の二点間と距離49mであるNo.4とNo.7の二点間において、どちらも計算群速度に近似した値を取ったがNo.4とNo.7の二点間の方が計算群速度により近い値をとった。

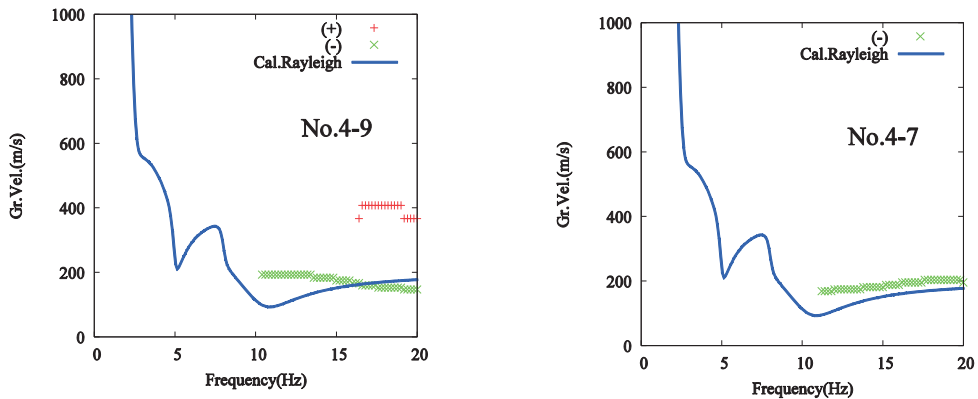


図6 RR成分におけるSN比10以上の群速度と計算群速度

以上の結果より、RR 成分において南北方向の観測点の組み合わせでは群速度が速くなり、東西方向の観測点の組み合わせではより計算群速度と近い値を取ることが分かった。また観測点間距離の検討より、短い距離であっても方位角が南北方向であれば計算群速度と近い値を取ることが分かった。微動の到来方向に偏りがあることが推測されるため、微動源の偏りを確かめ、より正確な群速度を求めるために、斎藤(2007)による手法である周波数波数解析(FK スペクトル)法を用いて微動の到来方向を調べた。FK スペクトル法では、FK スペクトルの最大値を示す波数からどのような波数ベクトルを持つ波がどの方向から到来しているかを把握することが出来る。群速度を算出するために用いた 16 時間重合した時間帯と同一の時間において微動アレー記録の FK スペクトルを算出し、微動の到来方向を推定した。

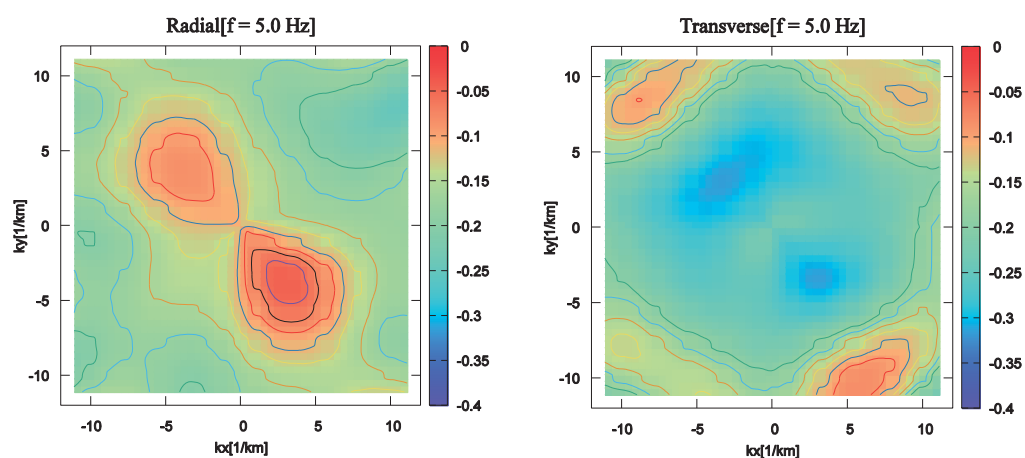


図7 5HzにおけるFKスペクトルの16時間分平均(左からRadial成分, Transverse成分)

図7に示す5HzのFKスペクトルより、Radial成分のFKスペクトルにおいて北西方向と南東方向から強い微動が到来していることが確認できる。方位角 $18^\circ$ であるNo.5とNo.8の組み合わせにおいて群速度が速くなり、方位角 $126^\circ$ であるNo.7とNo.9の組み合わせにおいて群速度が妥当な値となることの裏付けとなった。また、Transverse成分において全方位から微動が到来していることが確認でき、方位角の違いによる群速度の変化がないことの裏付けとなった。従って、RR, TT成分において計算群速度と近似した値を取ったNo.7とNo.9の組み合わせが最も妥当な群速度であったと言える。

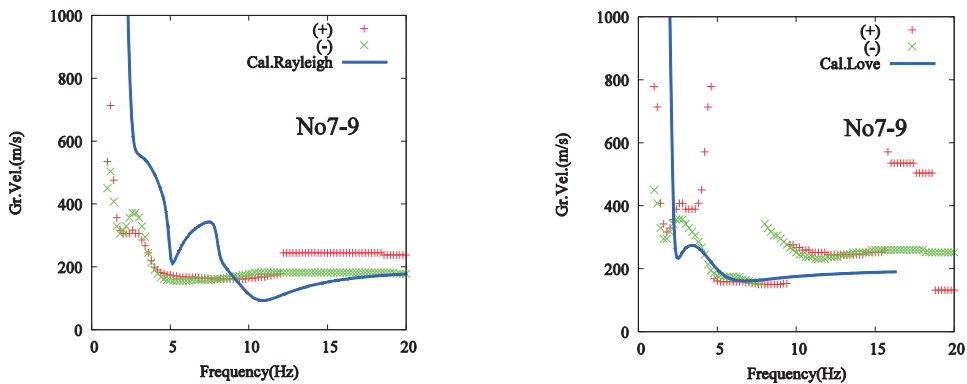


図8 No.7 と No.9 の組み合わせにおける群速度(左から RR 成分, TT 成分)

## 5. まとめ

通常の地震波干渉法よりも若干長めの数十時間の相互相関関数を重合させることで、2 地点間のみでの Rayleigh 波, Love 波の群速度分散曲線を得ることが可能であった。5 角形配置にし、角度の違うそれぞれの組み合わせについて検討することで、群速度のバイアスは微動源の偏りに起因していることが分かり、あらかじめ微動源の偏りが想定される場合は微動源に対し直交する観測点配置をすることにより、より精度の高い群速度分散曲線を求めることが可能であることが分かった。TT 成分において高周波数帯で群速度が推定された理論群速度よりも速い値を取ったが、SN 比が 10 未満であったため 16 時間以上の重合をすることにより推定理論群速度に近づくことが想定される。

今後、推定された理論群速度と今回求められた群速度分散曲線を比較しながら、より正確な群速度を求めていくことについて検討を行う。

## 謝辞

(国研) 防災科学技術研究所より微動計 JU310 をお借りしました。記して感謝致します。

## 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.
- 齋藤正徳 (2007), 水平二成分アレーを用いた縦波・横波成分の分離, *物理探査*, 60, 297-304.
- 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.