

## 台湾東部におけるアレイ微動観測に基づく地盤構造推定

## Subsurface Velocity Structure Estimation Based on Microtremor Array Measurements in Eastern Taiwan

○周 宇廷・松島信一・長嶋史明・饒 瑞鈞・吳 澄峰・小穴温子・宮腰 研

○YuTing CHOU, Shinichi MATSUSHIMA, Fumiaki NAGASHIMA, RueyJuin RAU, ChengFu WU, Atsuko OANA, Ken MIYAKOSHI

Subsurface velocity model is essential for simulating the observed strong ground motion. To understand the relationship between the source model and the surface rupture that occurred during the 20220918 Taitung earthquake in southeastern Taiwan, three microtremor arrays (G020, F042, and EYUL) were conducted around the source area. First, microtremors were recorded from 5 to 21 hours with array geometries ranging from 20 to 3548 m. Then, high-resolution frequency-wavenumber method was applied to the microtremor recordings. As a result, phase velocities of approximately 0.4 to 3 km/s were obtained in a wide frequency range of 0.45-9 Hz for G020 array, 1.7-10 Hz for F042 array, and 0.4-6 Hz for EYUL array. Finally, inversions utilizing phase velocity and microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio were performed for each array. As a result, three subsurface velocity models from shallow to depths of few kilometers were obtained (2920m, 404m, and 1957m for G020, F042, and EYUL array, respectively).

## 1. はじめに

2022 年台湾南東部において、0917 ( $M_L=6.6$ ) 地震および 0918 ( $M_L=6.8$ ) 地震が発生した。0918 地震により地表地震断層が出現し、断層近傍の観測点において長周期パルスや永久変位が観測された。このような特徴を強震動シミュレーションで再現するには、地震発生層以浅の層での断層運動を考慮する必要がある。本研究は強震動予測において、断層モデルの地震発生層以浅への拡張を課題として、震源破壊過程同定や強震動予測に用いられる、震源域周辺の地盤構造の同定を目的とする。常時微動観測記録から求めた位相速度や水平上下スペクトル比 (MHVR) 等を対象としてインバージョンにより速度構造を推定した。

## 2. 常時微動観測

本研究では 2022 年 9 月 18 日 Taitung 地震 (鹿谷郷) によって地表地震断層が生じた震源域周辺において、三つの地震観測点 (G020、F042、EYUL) 近傍で常時微動アレイ観測を行った。微動観測には速度型三成分 4.5 Hz geophone HG-6 と DiGOS 製データロガー DATA-CUBE<sup>3</sup> を使用し、観測点ペア距離 20 m から最大 3548 m のアレイで 5 時間から 21 時間観測した。また、観測に使われた geophone の固有周波数は 4.5 Hz であるが、instrument

response を修正することにより 0.2 Hz まで微動レベルの波を正確に観測できる<sup>1)</sup>。

## 3. 解析

## 3. 1 Rayleigh 波位相速度

本研究では、high resolution frequency-wavenumber (HRFK) 法<sup>2)</sup>に基づき、観測された常時微動から Rayleigh 波の位相速度を推定する。まず、観測記録から計算周期の 50 倍の長さで波形を切り出し、一つのセグメントとする。次に、4N 個のセグメントを一つの時間枠とし、平均 cross spectral matrix と FK spectrum を計算し、位相速度を推定した (N はアレイ内の観測点数)。各時間枠で推定された位相速度の全体的な分布を鑑みて目視で外れ値を取り除き、周波数ごとの平均位相速度を計算した。その結果、G020、F042 と EYUL アレイではそれぞれ 0.45-9 Hz、1.7-10 Hz と 0.4-6 Hz までの周波数域で 0.4-3 km/s 程度の位相速度を推定した。

## 3. 2 MHVR

MHVR を求めるために、まず観測された常時微動を 40.96 秒ごとの時間枠に切り、anti-triggering (STA/LTA=1s/30s) で瞬間的なノイズを含む時間枠を除外した。時間枠の両端に cosine taper をかけ

フーリエ変換を行い、フーリエスペクトルを 0.1 Hz の Parzen smoothing で平滑化し、最後に水平成分と上下成分のスペクトル比を取った。時間枠ごとの MHVR の平均を求める際に、観測時には雨や風が強かった時間帯があったため、その影響を避けるために一時間ごとの平均 MHVR を確認し、MHVR が不安定な時間帯を取り除いた。

### 3. 3 速度構造推定

本研究では計算された位相速度と MHVR を用いて、2段階のインバージョンを行い、アレイごとの速度構造を推定した。まず、位相速度だけを用い、インバージョンを行った。対象地域に地層の数や深さが分かる先験情報がなかったため、layering ratio 手法<sup>3)</sup>を用いて、アレイごとに層数や拘束条件が異なる五つのパターンのインバージョンを行った。次に、五つのインバージョンの最適解を初期モデルとして用いて各層の  $V_S$ 、 $V_P$ 、層厚を変数として MHVR と位相速度のジョイントインバージョンを行い、五つのインバージョン結果を得た。得られた五つのインバージョンモデルを用いて地震動の拡散波動場理論に基づき理論地震水平上下スペクトル比 (EHVR) を計算し、観測 EHVR と比較して最適解を選択した。その結果、G020、F042 と EYUL アレイでそれぞれ深さ 2920 m、404 m、1957 m までの速度構造が得られた。

### 謝辞

現地での観測には台湾国立成功大学と京都大学の学生の協力を得た。記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) Lin, C. J.: 短周期陣列儀器測試報告, Taiwan Earthquake Research Center Newsletter, No. 29, pp. 1-3, 2020. (in Mandarin)
- 2) Capon, J.: High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis, Proceedings of the IEEE, Vol. 57, No.8, pp. 1408-1418, 1969
- 3) Cox, B. R., & Teague, D. P. (2016). Layering ratios: a systematic approach to the inversion of surface wave data in the absence of a priori information. Geophysical Journal International, 207(1), 422-438.
- 4) Lin, C. W., Liu, Y. C., Chou, P. S., & Lin, Y. H.: Recent development of active fault investigations of Taiwan. Bull Centr Geol Surv, 34, pp.1-40, 2021.

(in Mandarin)

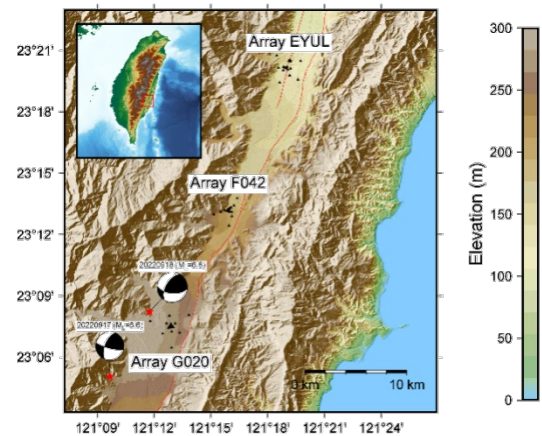


図1 常時微動アレイ分布。▲は各アレイの観測点分布、★は0917と0918地震の震央（震源メカニズムはAutoBATS CMTより）、赤線は活断層<sup>4)</sup>の位置を示す。

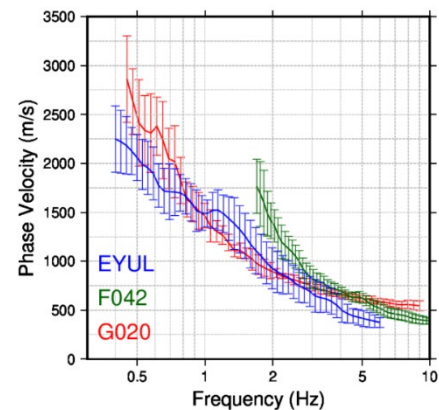


図2 HRFK法に基づいて推定した Rayleigh 波位相速度。赤、緑、青はそれぞれ G020、F042、EYUL アレイの幾何平均位相速度と幾何標準偏差を示す。

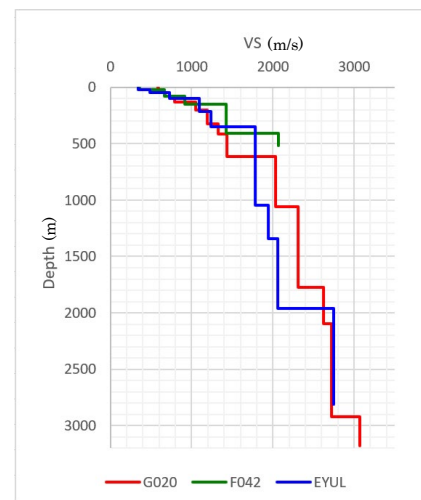


図3 推定された S 波速度構造。