

# 微動観測記録に基づく輪島市および珠洲市における三次元地下構造モデルの推定 Estimation of 3D Subsurface Structure Models in Wajima and Suzu Cities Based on Microtremor Observation Records

○山中宏起・松島信一・長嶋史明・伊藤恵理・川瀬博

○Hiroki YAMANAKA, Shinichi MATSUSHIMA, Fumiaki NAGASHIMA, Eri ITO, Hiroshi KAWASE

The objective of this study is to estimate the subsurface structures of the urban areas of Wajima City and Suzu City, Ishikawa Prefecture, and to clarify the factors contributing to the extensive building damage caused by the 2024 Noto Peninsula earthquake. For this purpose, microtremor observation was conducted in the two cities. Microtremor Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios (MHVRs) were calculated from the observed records, revealing that MHVRs of many observation sites in Wajima City show clear peaks in the low-frequency range (0.3-0.8 Hz) and the intermediate-frequency range (0.8-4.0 Hz). Similarly, in Suzu City, peaks appear at many sites in the low-frequency range (0.3-0.9 Hz) and the intermediate-frequency range (0.9-5.0 Hz). The subsurface structures were estimated using the MHVRs and Rayleigh wave phase velocities derived from the microtremor records.

## 1. はじめに

令和6年能登半島地震では、強い揺れにより多くの建物が倒壊するなど甚大な被害が発生した。特に石川県輪島市や珠洲市の市街地において建物被害が甚大であったが、その分布は複雑であり、被害要因の解明は今後の防災対策の策定に資するものとする。本研究では、大被害の要因を解明するために、両市街地で常時微動観測を実施し、その観測結果に基づいて地下構造の推定を行った。

## 2. 観測概要

輪島市および珠洲市の市街地における地下構造を推定するため、図1および図2に示す地点において単点微動観測と微動アレイ観測を実施した。輪島市では単点微動観測を77地点で実施し、微動アレイ観測については大アレイ1箇所、中アレイ2箇所、小アレイ2箇所の計5箇所で観測を行った。珠洲市では単点微動観測を計52地点で実施し、微動アレイ観測については大アレイ1箇所、中アレイ2箇所の計3箇所で観測を実施した。各アレイは7点同時計測とし、アレイ形状は可能な限り正三角形に近づくように地図上で予め読み取った緯度経度に微動計を設置した。図1および図2には微動計を設置したアレイ観測点の頂点を結んだ三角形を示す。

## 3. 水平上下スペクトル比とレイリー波位相速度 観測記録から、微動水平上下スペクトル比（以

下、MHVR）とレイリー波位相速度を算出した。なお、レイリー波位相速度の解析には微動解析コードBIDO (version3.2)<sup>1)</sup>を使用し、各アレイサイズに応じた振動数範囲の位相速度を繋げたものを最終的なレイリー波位相速度とした。

MHVRについて、輪島市では多くの観測点で低振動数帯(0.3~0.8Hz)と中振動数帯(0.8~4.0Hz)にピークがみられた。また、珠洲市では多くの観測点で低振動数帯(0.3~0.9Hz)と中振動数帯(0.9~5.0Hz)にピークがみられた。

レイリー波位相速度について、輪島市では最終的に約0.6~10Hzにおいて概ね安定した結果が得られたのに対し、珠洲市では特に大アレイについてコヒーレンスの値も小さく、不安定な結果となった。

## 4. 地下構造の推定

輪島市および珠洲市それぞれにおいて、得られたMHVRとレイリー波位相速度を用いてインバージョンを行った。インバージョンにはHV-Inv<sup>2)</sup>を用いた。

輪島市では、まず東側の小アレイの中心点でのMHVRとレイリー波位相速度を両方用いた同時インバージョンを行い、その結果を用いて全地点共通の各層速度を設定した。そして、各地点のMHVRに対して、速度は共通のものに固定し層厚のみを変動させたインバージョンを行った。なお、輪島市でのインバージョンにおける初期地盤構造

モデルの設定には、既往の研究<sup>3)</sup>で示された推定 S 波速度構造を目で読み取ったものを参考にした。東側の小アレイの中心点における同時インバージョン結果の S 波速度構造を既往研究<sup>3)</sup>とともに図 3 に示す。本研究のモデルは層数が 1 層多いが、本研究の第 3,4 層と既往研究<sup>3)</sup>の第 3 層を同一層とみなすと、S 波速度に差が見られる層は複数あるものの、層厚は類似した構造となっていることが分かる。

珠洲市でも同時インバージョンを試みたものの、観測された MHVR と位相速度の双方を十分に再現するモデルを得ることが困難であったため、MHVR のみを用いたインバージョンを行う。なお、珠洲市でのインバージョンにおける初期地盤構造モデルの設定には、地震ハザードステーション (J-SHIS)<sup>4)</sup>の深部地盤データを参考とする。

今後は、インバージョンによって各地点の S 波速度構造を求めた後、各層の下面深さを補間することで三次元地下構造モデルを推定する。

## 謝辞

本研究では、微動観測の実施にあたり、京都大学防災研究所の松島・長嶋研究室の学生(周宇廷、Thinzar Yadanar、按田悠)ならびに京都大学防災研究所技術室の吉川昌宏氏に多大なご協力を受けた。また、京都大学防災研究所の林宏一教授より速度地震計 McSEIS-AT(3ch)を借用した。本研究は、東京大学地震研究所ー京都大学防災研究所拠点間連携共同研究一般課題型研究の支援を受けた。ここに記して深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 長郁夫(2025): 微動解析コード BIDO. 地質調査総合センター研究資料集, no. 771, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 1p
- 2) García-Jerez A., Piña-Flores J., Sanchez-Sesma F., Luzon F., Perton M. (2016). A computer code for forward calculation and inversion of the H/V spectral ratio under the diffuse field assumption, *Computers&Geosciences*, 97, 67–78
- 3) 堀川晴央, 杉山長志, 馮少孔, 徳丸哲義(2010): 新潟および奥能登地域における微動アレー探査, 平成 21 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告(地質調査総合センター速報 No.54), pp.89–93
- 4) 防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>

ン J SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>

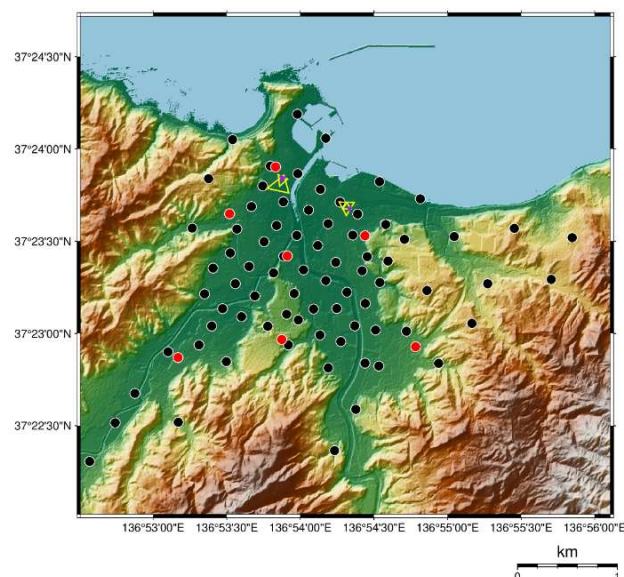


図 1 観測点配置(輪島市)  
(国土地理院 DEM5A を元に加工して作成)

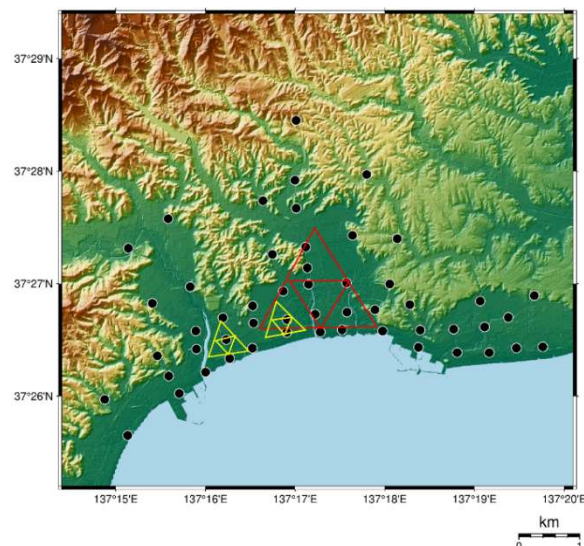


図 2 観測点配置(珠洲市)  
(国土地理院 DEM5A を元に加工して作成)

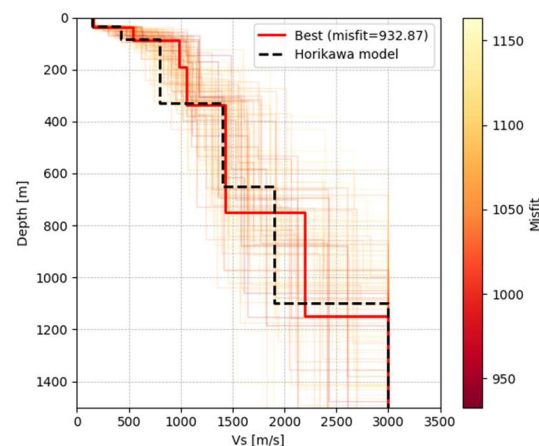


図 3 同時インバージョン結果(輪島市)  
(点線は参考にした文献<sup>3)</sup>の速度構造)