

輪島市内の 2024 年能登半島地震の臨時余震観測点における地下構造探査
 Subsurface Structure Survey at Temporary Aftershock Observation Sites in Wajima City
 Following the 2024 Noto Peninsula Earthquake

○神野達夫・重藤迪子・高井伸雄・津野靖士・山中浩明・小阪宏之・浅野公之・
 地元孝輔・是永将宏・三宅弘恵・山田伸之・松島信一

○Tatsuo KANNO, Michiko SHIGEFUJI, Nobuo TAKAI, Seiji TSUNO, Hiroaki YAMANAKA,
 Hiroyuki KOSAKA, Kimiyuki ASANO, Kosuke CHIMOTO, Masahiro KORENAGA,
 Hiroe MIYAKE, Nobuyuki YAMADA, Shinichi MATSUSHIMA

Microtremor array measurements and surface wave surveys were conducted to understand the ground amplification characteristics around the temporary aftershock observation and permanent stations in Wajima City, an area affected by the 2024 Noto Peninsula earthquake. The results showed that phase velocities of Rayleigh waves were obtained in the frequency range of approximately 0.3 to 30 Hz in the central part of the basin, reaching 2.7 km/s at 0.4 Hz. While the phase velocities in the high-frequency range in severe damage areas were around 100 m/s, in other areas they were around 200 m/s or higher, suggesting that the subsurface structure varies greatly depending on the location.

1. はじめに

令和 6 年能登半島地震 (Mw 7.5) の被災地の一つである輪島市街地には、防災科学技術研究所の K-NET 輪島観測点 (ISK003) と気象庁の輪島観測点 (JMA 輪島) が約 1 km 離れて設置されているが、両観測点における本震の地震動の周期特性には大きな差異があった。これは、第一義的には観測点直下の地盤構造による增幅特性の違いが影響していると考えられるが、2、3 次元的な地盤構造の影響も指摘されている¹⁾²⁾。これを受け、神野ほか³⁾、津野ほか⁴⁾は、輪島市街地における地盤震動特性を把握するために、2024 年 6 月から 12 月まで、当該市街地の 30 点で臨時の余震観測を行った (図 1)。その結果、建物被害の集中した地域ではそれ以外の地域に比べて後続波の励起が大きく、継続時間が長くなるなど、3 km 四方程度の比較的狭い地域内で地盤震動特性が大きく変化していた⁵⁾。

このような地震動の差異を検討する上で、各観測点の地盤構造は不可欠であるため、観測点周辺で微動アレイ探査や表面波探査を実施した。本報ではその概要と初期解析結果について報告する。

2. 観測および解析の概要

図 1 に地震観測点位置ならびに微動アレイ探査地点を示す。JMA 輪島と ISK003 を含む 32 点の地震観測点周辺では、NT06 と NT15 を除く 30 点で浅部地盤による地震動の增幅特性の検討のための小

さな微動アレイ探査 (小アレイ、半径 40 m ~ 極小) と 12 点 (JMA 輪島、ISK003、NT01、15 ~ 17、HU01、03 ~ 05、QU01 ~ 02) で表面波探査を実施した。前者は 2024 年 10 月 17 ~ 18 日、12 月 18 ~ 20 日、2025 年 9 月 26 ~ 27 日、後者は 2025 年 9 月 26 ~ 27 日に実施した。また、地震基盤からの地盤增幅特性を把握するための半径 580 ~ 50 m の微動アレイ探査も平野内の数地点で実施した (図 1)。

微動アレイ探査は、正三角形の頂点とその重心位置の計 4 点を基本とし、半径の異なる複数の正三角形を組み合わせた配置とした。機材は、Trillium Compact 20s (Nanometrics)、LE-3D/5s (Lennartz Electronic、現在は REFTEK)、JEP-6A3-10 (Mitutoyo、現在は日本システム工業、感度 : 10V/G) のそれぞれのセンサーと収録器として DATAMARK LS-8800 (白山工業)、VSE-15D (東京測振) と DATAMARK LS-7000XT (白山工業)、Geophone と LR8431 (HIOKI) を組み合わせた。なお、個々のアレイでは全て同一の組み合わせを使用している。サンプリング周波数は 100 Hz、あるいは 200 Hz とした。輪島市街地では各所で復旧工事が行われていたため、半径 200 m 以上のアレイは夜間または夕方に実施した。観測された記録の上下動成分に空間自己相関法⁶⁾を適用し、Rayleigh 波の位相速度を求めた。なお、解析長、平滑化のバンド幅はアレイ半径毎に設定した。

表面波探査では、受信機に GS-11D Geophone (Geospace、固有振動数: 4.5 Hz) を 24 個、収録器に Geode (Geometrics) を用いて、ハンマー起振による上下動を測定した。サンプリング周波数は 8 kHz、時間長は 2 秒とした。測線の端部および中央においてそれぞれ 5 回起振し、スタッキングして解析に用いた。解析には F-K 法 (Beam forming method)⁷⁾ を用い、求めた Rayleigh 波の位相速度を微動アレイ探査の結果と接続した。

3. Rayleigh 波の位相速度

得られた各観測点における Rayleigh 波の位相速度を図 2 に示す。なお、求められた最も速い位相速度が 1.0 km/s を超える HU02、QU01、HU04、NT15 について、HU02 は近傍の JMA 輪島での小アレイと表面波探査、および S1、QU01 は QU01 での小アレイと表面波探査、および S2、HU04 は HU04 での小アレイと表面波探査、および S4、M1、L、NT15 は NT15 での表面波探査と M3 を用いた。

(f) に示す HU04 では約 0.3~30 Hz の帯域で位相速度が得られ、3 Hz 付近より低周波数側で位相速度が速くなり、0.4 Hz で 2.7 km/s に達する。

(a)、(b)、(c)、(i) の一部の位相速度は 10 Hz 以上の高周波数帯域で 200 m/s 程度以上だが、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i) の一部は約 100 m/s であり、軟弱な堆積層の存在が伺える。しかし、位相速度が速くなる周波数は観測点によって異なり、その層厚にはばらつきがあると考えられる。

HU05 の高周波数側の位相速度は約 400 m/s で一

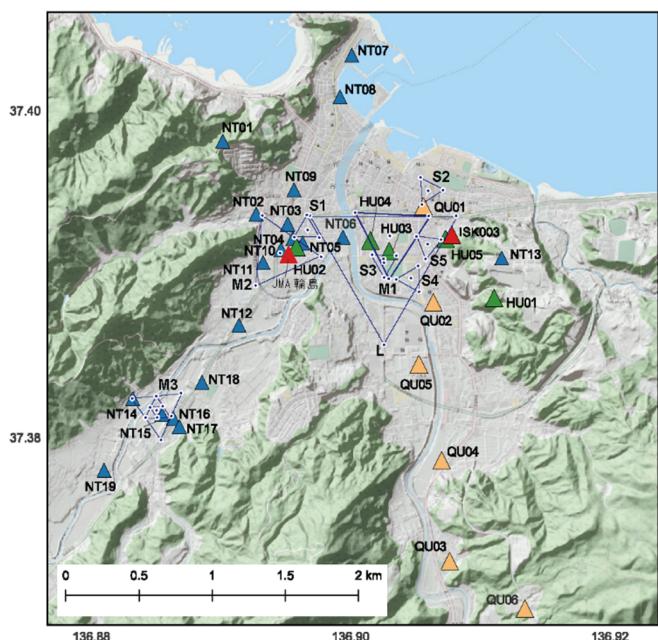
定値に収束しており、ISK003 よりも速い。これは、中小地震の強震観測記録の比較においても HU05 より ISK003 でスペクトルの振幅が 10 Hz 以上で大きい⁵⁾ ことと矛盾しておらず、ISK003 では極表層に軟弱な層が存在する一方で、HU05 の表層は切り土地盤であると考えられる。なお、ISK003 における半径 20, 10 m のアレイは HU05 と共通である。

4. おわりに

本地域では既往研究により 2,3 次元の波動伝播を影響とした地震動の増幅が指摘されているが、今後は求めた位相速度により直下の 1 次元 S 波速度構造を推定し、それに基づき強震観測記録による地盤増幅特性の違い等の検討を進める。

【謝辞】本研究の一部は、東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究の助成を受けた。観測では、香川大学の高橋亨輔氏、九州大学、京都大学、香川大学、東京科学大学、北海道大学の学生、および現地の方々にご協力いただいた。地図は GMT6、QGIS、地理院地図、Open Street Map を用いて作成した。記して感謝の意を表する。

【参考文献】1) 山中ほか: 第 35 回地盤震動シンポジウム、2007、2) 川瀬ほか: 日本建築学会大会梗概集、2025、3) 神野ほか: 日本地震学会秋季大会講演予稿集、2024、4) 津野ほか: 日本建築学会大会梗概集、2025、5) 青井ほか: 日本建築学会大会梗概集、2025、6) Okada: Society of Exploration Geophysicists, 2003、7) Lacoss et al.: Geophysics, 1969



(左) 図1 地震観測点および微動アレイ探査地点。▲: 定常観測点、△、▲、▲: 余震観測点、●: 微動アレイ探査地点、背景は地理院地図およびOpen Street Map、(右) 図2 各地点の位相速度

