



京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

萌芽的共同研究

2025NE-03

2024 年能登半島地震により地震地す べりが群発した山地斜面の地震観測 —輪島市町野町鈴屋の事例—

Seismic observations on mountain
slopes where many coseismic
landslides occurred by the 2024 Noto
Peninsula Earthquake: The Case of
Suzuya, Machino Town, Wajima City.

令和 8 年 3 月

March, 2026

研究代表者 荒井 紀之

Coordinator Noriyuki Arai

2024年能登半島地震により地震地すべりが群発した山地斜面の地震観測 —輪島市町野町鈴屋の事例—

Seismic observations on mountain slopes where many coseismic landslides occurred by the 2024 Noto Peninsula Earthquake: The Case of Suzuya, Machino Town, Wajima City

荒井紀之・中山雅之・土井一生

Noriyuki ARAI, Masayuki NAKAYAMA and Issei DOI

Synopsis

To investigate seismic amplification characteristics on mountain slopes, seismic observations and surface wave surveys were conducted in Suzuya, Machino Town, Wajima City, where large-scale seismic landslides occurred during the 2024 Noto Peninsula Earthquake. Seismic observations were conducted by installing a velocity-type three-component seismometer on a ridge. Seismic motion amplification characteristics were determined by calculating the Fourier spectrum of the S-wave for each observed earthquake and computing the horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSr). The results showed an amplification factor of approximately 4 at 2 Hz on the ridge, with the vibration direction predominantly perpendicular to the ridge.

キーワード: 2024年能登半島地震, 地震観測, 地震地すべり, 地震動増幅

Keywords: 2024 Noto Peninsula earthquake, seismic observation, coseismic landslide, seismic amplification

1. はじめに

2024年能登半島地震では、震度6弱から7の強震域を中心として多数の地震地すべりが発生し、斜面下の家屋を埋設するとともに、国道や上下水道等のライフラインを寸断し甚大な被害を与えた。

地震地すべりによる災害に対処するために、①どのような地震動が作用した場合に、②どのような地形・地質条件の場所で、③どのような地震地すべりが発生するのかを知る必要がある。

本研究は、能登半島で大規模な地震地すべりが多発した山地尾根部において地震観測を行うとともに、地表地質調査、表面波探査や微動アレイ探査結果を利用して斜面内部構造を推定し、地震動増幅の要因を明らかにし、先の問い②へ答えようとする試みである。

2. 方法

研究域は、珪質シルト岩分布域において中規模から大規模崩壊が多発した輪島市町野町鈴屋に選定した。Fig. 1に、研究域周辺の傾斜量図を示す。

速度型高感度3成分地震計を、大規模崩壊（Photo 1）が発生した北西向き斜面の尾根（No.1地点）に設置した。サンプリング間隔は 0.004秒である。

Fig. 2に、2024年8月5日から11月15日間に観測された能登半島周辺の震央分布を示す。上記観測期間中に、11月9日17時3分に発生した三陸沖地震（M6.9）も観測された。Table 1に、観測地震リストを掲載した。

速度波形データからフーリエスペクトルを解析する手順をFig. 3に示す。SN比が10dB以上の波形データを解析対象とした。得られた速度波形のS波部を8

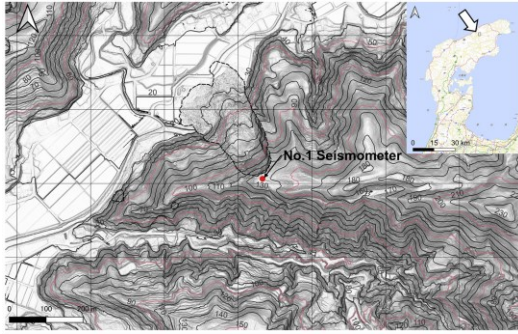


Fig. 1 Locality map of the study area.



Photo 1 Photograph of the earthquake-induced landslide in the study area.

秒切り出し、平均値処理と $\cos 2\theta$ による端部処理を行った後、フーリエスペクトルを求めた。フーリエスペクトルの計算に、大崎順彦博士の解析プログラムFAST、SPACとSWINを使用した（大崎, 1994）。地震波の増幅特性を調べるために、水平動と上下動のスペクトル比HVSrを計算した。

研究域の尾根沿いには線状凹地が存在し、その内部構造を調べるために表面波探査を行った。No.1地震計周辺の尾根と斜交する方向（Line1）と、尾根と平行で線状凹地内（Line2）に測線を設定した（Fig. 4）。表面波探査では、カケヤで起振した表面波を多数の地震計で記録し、位相シフト法により、2次元断面のS波速度構造を得た。地震計の設置間隔は2mから4mとし、測線長は20mから40mである。

3. 結果

3.1 地質構造

Fig. 5に、研究域周辺の地質図と地質断面図を示す。研究域の北部には、開いた向斜軸が東北東－西南西方向に位置している。向斜軸の軸部には珪質シルト岩が分布し、その下位には海緑石砂岩層を介して、流紋岩質火砕岩が分布している。研究域では層理面

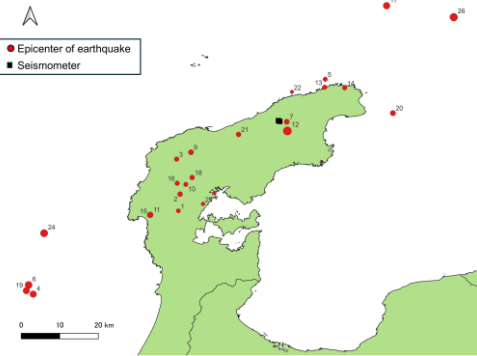


Fig. 2 Epicenter of the earthquakes observed from 2025/8/5 to 2025/11/15.

が北北西に20度から30度傾斜している。

3.2 地震観測

Fig. 6にHVSrを示す。解析した19個の相乗平均である。2Hzで約4、4Hzで約3となった。また、Fig. 7に方位増幅特性の解析例を示す。解析方法はMa（2019）や荒井ら（2023）を参照のこと。2Hzでは卓越方位としてN-S方向が多い。

3.3 表面波探査

Fig. 8に表面波探査により得られたS波速度断面を示す。Line1では、表層から深度8mにかけてVs180～240m/sの風化岩盤からなると推定される。線状凹地沿いのLine2では、表層から深度9～10mにVs180～300 m/sで、その下部にVs330 m/sの比較的均一な岩盤からなると推定される。

4. 考察

4.1 地形効果

既往研究において、地形効果により尾根に直交する方向に地震波が増幅されることが指摘されている。Panzeraら（2011）によると、その卓越周波数は経験的に地山のS波速度を尾根幅で除した値となることが報告されている。林らがNo.1地点付近で行った微動アレイ探査によると、地表から深度40mにかけてVsが200m/sから800m/sに徐々に増加し、深度200mまで800m/sである結果が得られている（Fig. 9）。尾根を構成する地山のVsを800m/sとして、No.1地点の尾根幅400mで卓越周波数を求めると2Hzとなり、観測結果にほぼ一致する。

4.2 線状凹地の成因

線状凹地の表面波探査結果から、深度10mまでS波速度が300m/s以下の低速度帯からなり、これに深に

Table 1 List of earthquakes around the Noto Peninsula observed from August 5, 2025 – November 15, 2025

No	Date	Time	Place name of epicenter	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
1	2025/8/6	17:37:17.1	Noto, Ishikawa Prefecture	37°09.9'N	136°49.0'E	10 km	2.4
2	2025/8/7	1:28:36.6	Noto, Ishikawa Prefecture	37°12.8'N	136°49.3'E	11 km	2.8
3	2025/8/7	14:16:28.8	Noto, Ishikawa Prefecture	37°18.9'N	136°48.7'E	10 km	2.6
4	2025/8/11	9:15:36.8	Off the west Coast of Ishikawa Prefecture	36°55.4'N	136°23.7'E	12 km	3.6
5	2025/8/15	20:28:42.7	Off the Coast of Noto Peninsula	37°32.8'N	137°14.6'E	12 km	2.5
6	2025/8/17	20:50:01.3	Off the west Coast of Ishikawa Prefecture	36°57.0'N	136°22.9'E	12 km	3.9
7	2025/8/18	22:39:43.7	Noto, Ishikawa Prefecture	37°25.4'N	137°07.9'E	8 km	2.9
8	2025/8/21	12:21:28.2	Noto, Ishikawa Prefecture	37°13.0'N	136°55.3'E	5 km	2.1
9	2025/8/21	18:27:53.3	Noto, Ishikawa Prefecture	37°20.1'N	136°51.2'E	9 km	2.9
10	2025/8/22	9:57:50.2	Noto, Ishikawa Prefecture	37°14.5'N	136°50.3'E	7 km	2.5
11	2025/9/1	13:11:22.3	Noto, Ishikawa Prefecture	37°09.2'N	136°44.1'E	6 km	3.2
12	2025/9/8	8:24:24.4	Noto, Ishikawa Prefecture	37°23.8'N	137°08.0'E	13 km	4.5
13	2025/9/10	13:13:45.1	Off the Coast of Noto Peninsula	37°31.4'N	137°14.5'E	11 km	2.6
14	2025/9/11	19:11:20.3	Noto, Ishikawa Prefecture	37°31.3'N	137°18.0'E	14 km	2.5
15	2025/9/12	8:52:26.9	Noto, Ishikawa Prefecture	37°09.1'N	136°43.9'E	6 km	2.2
16	2025/9/16	19:48:18.8	Noto, Ishikawa Prefecture	37°14.7'N	136°48.8'E	10 km	2.6
17	2025/9/29	19:36:14.6	Off the Coast of Noto Peninsula	37°45.6'N	137°25.3'E	14 km	3.7
18	2025/10/9	10:01:49.9	Noto, Ishikawa Prefecture	37°15.7'N	136°51.4'E	9 km	2.7
19	2025/10/12	4:24:59.7	Off the west Coast of Ishikawa Prefecture	36°56.0'N	136°22.5'E	12 km	3.6
20	2025/10/13	19:25:18.1	Toyama Bay	37°26.9'N	137°26.4'E	12 km	3
21	2025/10/14	5:29:10.6	Noto, Ishikawa Prefecture	37°23.2'N	136°59.5'E	8 km	2.7
22	2025/10/19	2:10:50.8	Off the Coast of Noto Peninsula	37°30.6'N	137°08.8'E	9 km	2
23	2025/11/9	17:03:39.2	Off the Coast of Sanriku	39°24.1'N	143°30.4'E	16 km	6.9
24	2025/11/14	11:26:18.8	Off the west Coast of Ishikawa Prefecture	37°06.0'N	136°25.6'E	9 km	4
25	2025/11/14	23:10:14.5	Noto, Ishikawa Prefecture	37°11.1'N	136°53.3'E	10 km	2.2
26	2025/11/15	22:03:15.3	Near Sado	37°43.6'N	137°37.0'E	22 km	4.2

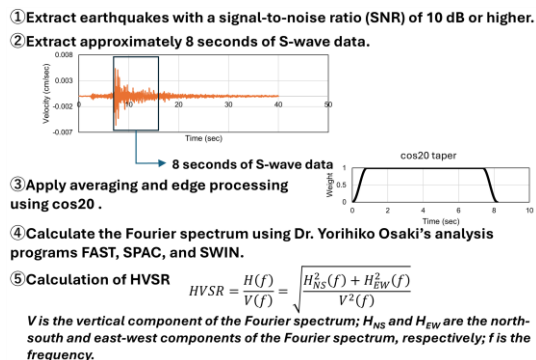


Fig. 3 Analysis procedure of Fourier spectrum from velocity wave data.

は連続していない。線状凹地の成因として、重力斜面変形によるトップリング、地震動に伴う開口割れ目形成、断層等の弱線の差別侵食等がある。研究域の線状凹地が地震時に尾根沿いに生じた開口割れ目に由来するものと考えた場合、深度10m以深では北と南の谷側に向かってせん断帯として分岐している可能性が考えられるが、さらなる調査が必要である。

4.3 過去の地震による斜面の損傷度評価

2024年能登半島地震では、斜面崩壊に至らないまでも、研究域の尾根沿いなどで多数の亀裂が確認さ

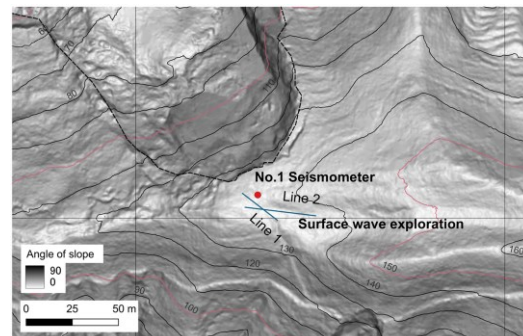


Fig. 4 Locality map of the seismic observations and survey lines of surface wave exploration.

れた。その一例をFig. 10 (a)に示す。Fig.10 (b)は、地震地すべりの側壁の露頭写真で、岩盤中に複数のせん断層が形成されている状況である。これらのせん断層の成因について、①テクトニックな断層、②地震動に伴って形成されたノンテクトニックな断層、③岩盤クリープによって形成されたノンテクトニック断層の可能性がある(横田ら, 2015)。現地での観察結果から、せん断層の走向・傾斜は斜面に対して平行または柱目盤をなし、せん断層は、低拘束圧下で形成されたものに見えることから②と③の可能性が高い。

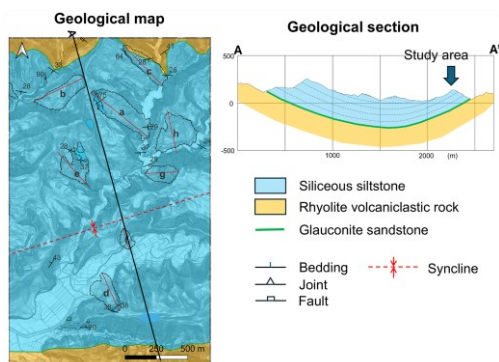


Fig. 5 Geological map and cross-section of the study area and northern area.

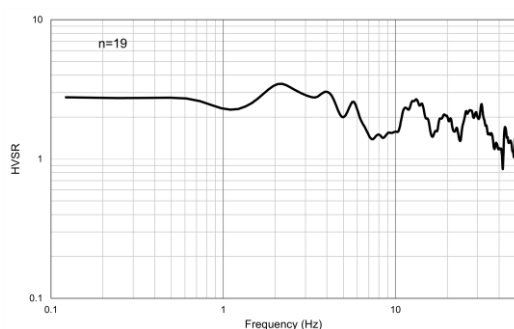


Fig. 6 HVSR curve of the study site obtained from S waves. Geometric mean is plotted.

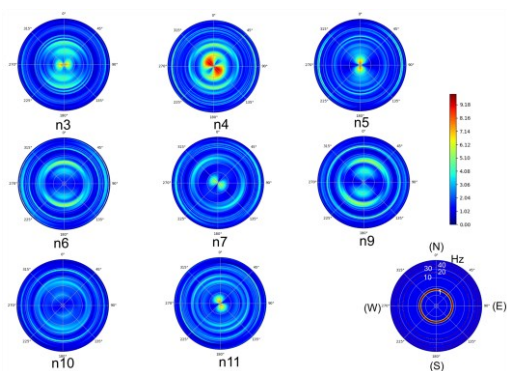


Fig. 7 Polar diagrams of the values of the H/V ratio at azimuth of 10° for different earthquakes.

地震に伴う強震動で尾根を中心に、損傷ゾーンが形成され、これらが次の地震地すべりの崩壊面になる可能性がある (Fig. 10 (c))。これらの亀裂による斜面の損傷程度を、なんらかの方法で定量化できれば、斜面災害リスクを予測するうえで重要な指標になるはずである。

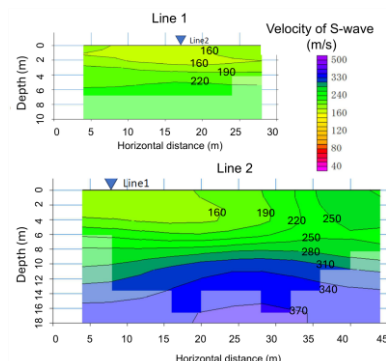


Fig. 8 S wave velocity profiles of the study area obtained from surface wave explorations.

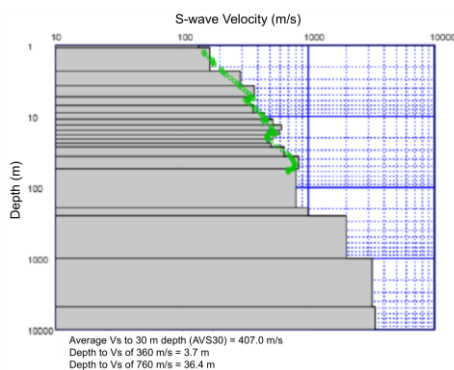


Fig. 9 One-dimensional s-wave velocity profile by Hayashi et al., 2025.

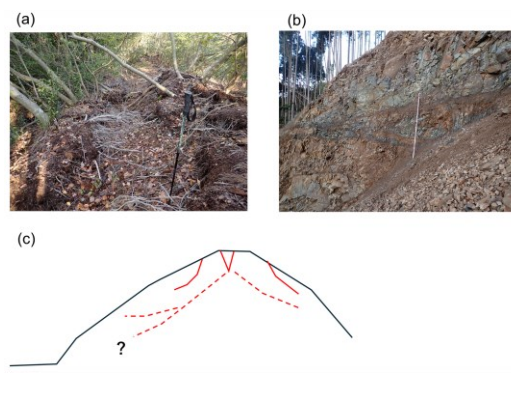


Fig. 10 Photographs of the fractures observed in the study area and a schematic slope cross-section damaged by earthquakes. (a) Open fractures along the ridge line in the study area. (b) Fracture zones outcropped in the side wall of the earthquake-induced landslide in the study area. (c) Schematic diagram showing fracture development by earthquake vibration and gravitational slope deformation.

5. まとめ

2024年能登半島地震で地震地すべりが群発した輪島市町野町鈴屋の尾根で地震観測を行い、以下の地震動増幅特性が得られた。

- ・S波のHVSrを指標として尾根における地震動増幅特性を調べた結果、2 Hzで約4、4 Hzで約3の増幅率が得られた。
- ・方位増幅特性を調べた結果、2Hzでは南北方向が卓越する結果が得られた。これらは、地形効果によるものと推定される。

今後の課題として、地震動増幅や崩壊発生に対する層理面や風化帯の影響、過去の地震による斜面の損傷度評価についてさらなる研究が望まれる。

謝 辞

本研究は、令和7年度京都大学防災研究所萌芽共同研究「2024年能登半島地震により地震地すべりが群発した山地斜面の地震観測」研究代表者荒井紀之の助成および文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第3次）」の支援を受けました。報告書中の図の作成において、気象庁一元化震源データ、地理院地図、林野庁の地震後のDTMを利用しました。京都大学防災研究所の林宏一

教授よりNo.1地点の微動アレイ探査結果を共有していただきました。フーリエスペクトルの計算に、大崎順彦博士の解析プログラムFAST,SPACとSWINを使用しました。以上の方々に謝意を申し上げます。

参考文献

- 荒井紀之・山崎新太郎・土井一生（2023）：三波川帯における深層崩壊斜面の地震動計測—高知県大豊町トウジ山に地すべりを事例として—：日本地すべり学会誌, Vol.60, No.6, pp. 265-273.
- 大崎順彦（1994）新地震動のスペクトル解析入門：鹿島出版会, 299 p.
- 横田修一郎・永田秀尚・横山俊治・田近淳・野崎保（2015）ノンテクトニック断層—識別方法と事例—：近未来社, 208 p.
- Ma, N.（2019）On the seismic response in a large deep-seated landslide in southwest Japan — with special focus on the topographic and geological effects—：京都大学大学院理学研究科・地球惑星科学専攻・地球物理学分野博士論文, 172 p.
- Panzer, F., Lombardo, G. and Rigano, R. (2011) Evidence of Topographic Effects through the Analysis of Ambient Noise Measurements : Seismological Research Letters, Vol.82, No.3, pp.413-419.

（報告書受理日：2026年4月10日）