

能登地震・豪雨による輪島市での土砂災害

Sediment Disasters in Wajima Caused by the Noto Earthquake and Heavy Rain

竹林洋史

Hiroshi TAKEBAYASHI

Synopsis

The occurrence and flow characteristics of the debris flows that occurred in Sosogi, Wajima City on September 21, 2024, were investigated through field surveys and numerical simulations, focusing on the impact of the earthquake that occurred on January 1, 2024. Although no sediment disaster special warning zone indicating the risk of damage to residents inside buildings had been designated, many houses were destroyed by the debris flow. The occurrence of debris flows from the eastern stream, where no sediment disaster warning zones had been designated, was not predicted. The cumulative precipitation until the debris flow occurred in Sosogi, Wajima City, was 149 mm. This value is extremely low compared to the cumulative precipitation leading to debris flows in other locations. The low cumulative precipitation is thought to be because the movement of sediment that initiated the debris flow originated not from slope failure but from sediment deposited within the stream channel. The current method for designating sediment disaster special warning zones only considers a single debris flow event and does not account for multiple debris flows. Considering that multiple debris flows can expand the area where buildings are damaged, it is necessary to reconsider the methodology for designating sediment disaster special warning zones.

キーワード: 能登, 地震, 豪雨, 水害, 土砂災害

Keywords: Noto, Earthquake, Heavy Rain, Sediment disaster, sediment disaster special warning zones

1. はじめに

2024 (令和 6) 年 9 月 21 日早朝に能登半島北西部の海上に線状降水帯が形成され, 時間とともに線状降水帯は南下し, 輪島市に短時間で多くの雨を降らせた. その結果, 輪島市の多くの場所で洪水氾濫・土石流災害が発生し, 甚大な被害が発生した. 一方で, 能登半島沖で 2024 (令和 6) 年 1 月 1 日に M7.6 の地震が発生しており, 9 月に洪水氾濫・土石流災害が発生した溪流においても大きな揺れが発生した.

本報告では, 2024 年 9 月 21 日に輪島市曾々木で発生した土石流の発生・流動特性と塚田川で発生した洪水氾濫特性について, 2024 年 1 月 1 日に発生し

た地震の影響に着目し, 現地調査及び数値シミュレーションによって検討する.

2. 輪島市曾々木地区で発生した土石流

(1) 現地調査

輪島市曾々木地区は, Fig. 1 のように, 輪島市市街地から海岸に沿って約 17km 北東に位置している. 土石流が発生した溪流の地質は, 流紋岩で構成されており, Fig. 2 に示すように, 多くの白い巨礫で構成されている. 海岸に沿って国道 249 号線が設置されており, 国道に沿って建物が存在している. 図-1 に示すように, 土石流は 2 つの溪流から発生しており,

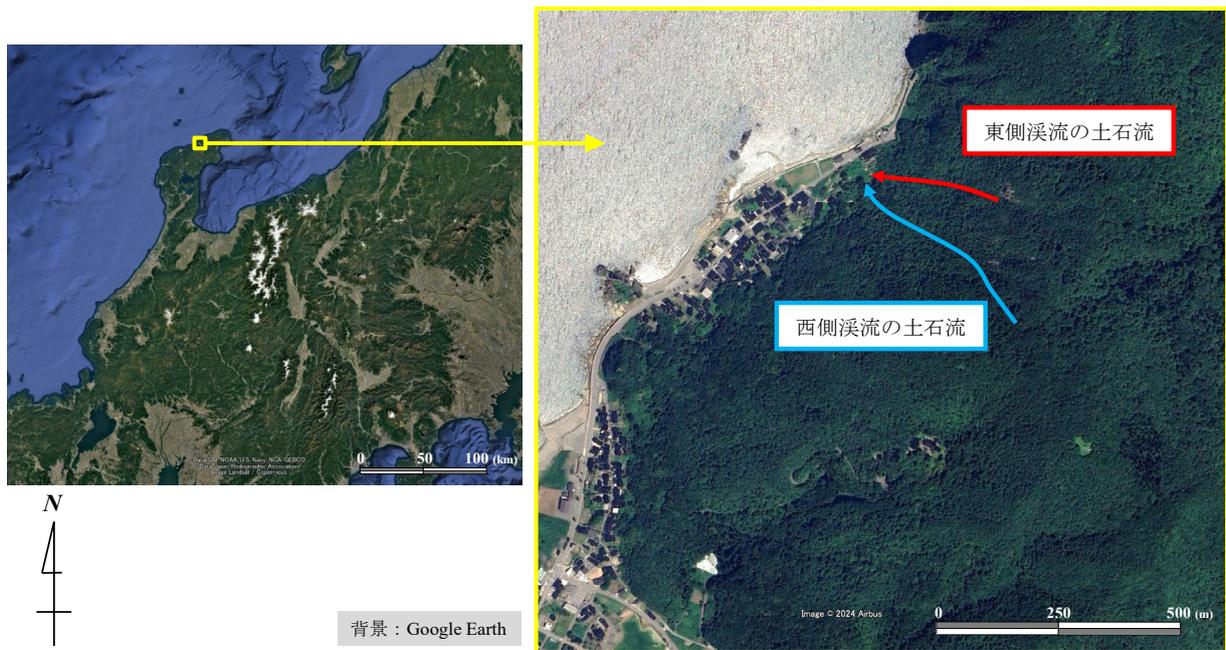


Fig. 1 Location of Sosogi, Wajima City



Fig. 2 Rhyolite washed away by a debris flow

西側の溪流の斜面勾配は約 21 度、東側の溪流の斜面勾配は約 27 度であり、西側の溪流の方が勾配が緩やかであるが、西側の溪流は土砂災害警戒区域が設定されており、砂防ダムも設置されていた。一方、東側の溪流には土砂災害に対する対策は実施されていなかった。

Fig. 3 に土石流によって破壊された建物を示す。対象地点は建物内の住民の被害リスクを示す土砂災害特別警戒区域は設定されていなかったが、多くの建物が破壊されている。これは、土砂災害警戒区域が設定されていなかった東側の溪流からも土石流が発生し、西側の溪流と同じ場所に流れ込んだことも原因の一つと考えられる。

(2) 降雨条件

Table 1 は、XRAIN によって得られた 2024 年の輪島市曾々木、2020 年の熊本豪雨の時に津奈木町福浜、2019 年の台風 19 号による豪雨の時に宮城県丸森町



Fig. 3 Destroyed house by debris flows

Table Cumulative precipitation until debris flow occurrence

Location	Cumulative precipitation (mm)
Sosogi (2024)	149
Tsunagi (2020)	293
Marumori (2019)	309

子安で土石流発生までの積算降水量を示している。輪島市曾々木で土石流が発生した時点までの降り始めからの積算降水量は 149mm であり、この値は他の土石流の発生までの積算降水量と比較しても非常に小さい値である。2013 年以降、多くの土石流について発生までの積算降水量を調べているが、斜面崩壊起源の土石流が積算降水量 250mm 以下で発生したのは、広島花崗岩地帯ぐらいである。積算降水量のみでは斜面崩壊の発生・非発生を厳密には判断でき

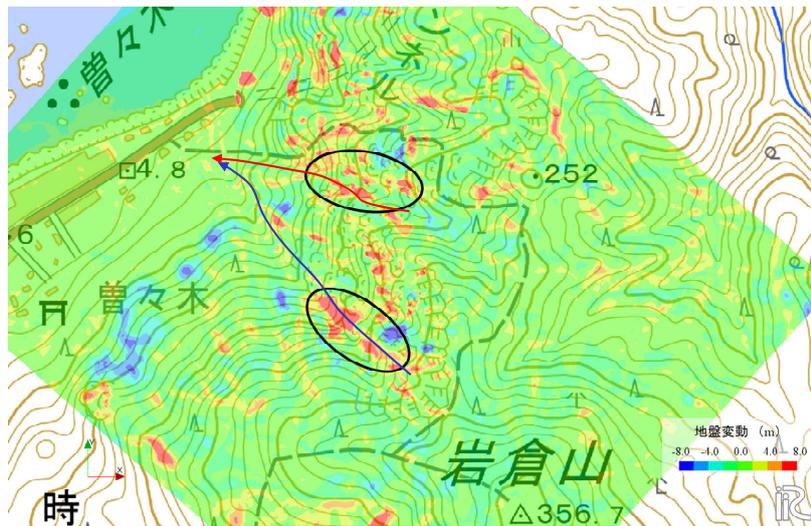


Fig. 4 Elevation displacement before and after the earthquake (before correction for ground uplift)

ないが、一つの重要なパラメータであることは確かである。

(3) 地震の影響

Fig. 4 は、2024 年 1 月 1 日の地震前後の地盤変動量を示している。図中の赤と青の線は、土石流の主流が流れた場所である。図に示すように、どちらの土石流にも地震後に黒丸で示しているように、地盤が 10m 程度高くなった領域がある。一方、地盤が 10m 程度高くなった領域の上流には地盤が低下した領域がある。つまり、2024 年 9 月に土石流が発生した曾々木地区の流域では、地震時に斜面崩壊が発生し、崩土が溪流に流れ込み、堆積していたことが分かる。豪雨時であれば、崩土は水と混合して土石流化し、下流に流れていたと考えられるが、地震発生時は土石流が発生するほどの水が溪流に存在せず、崩土は溪流の途中で堆積したものと考えられる。Fig. 5 は、地震後に撮影された曾々木地区の斜面の様子である。東側の溪流における土砂の堆積の状況は確認が困難であるが、どちらの溪流でも斜面崩壊が発生しており、西側の溪流では溪流の途中で土砂が堆積している様子がわかる。地震後に住民は崩土が斜面の途中で止まっていることは確認しており行政にも相談していたが、9 月 21 日の時点では対応できていなかったようである。

以上より、土石流の発生までの積算降水量が少ないのは、土石流の起点となった土砂の移動が斜面崩壊起源ではなく、溪流内に堆積していた土砂の移動によるものであったためと考えられる。なお、対象流域では、最終的に積算降水量が約 340mm となっており、地震の影響が無くても土石流が発生した可能性が高い。つまり、対象地点における地震の影響は、土石流の発生・非発生というよりも、土石流の発生



Fig. 5 Sediment deposition after the earthquake

時刻を早めることに影響を与えていたと考えられる。

地震時に発生した斜面崩壊による崩土が溪流の途中で堆積しているかどうかは、Fig. 4 のように、地震前後の地盤標高データの差分を見れば容易に判断できる。つまり、地震後の豪雨時に土石流が発生しやすくなっている溪流の一部については、事前に容易に抽出できる。そのため、地震発生後、速やかに地盤標高データを取得し、土石流リスクが高くなっている溪流を住民に示すことによって、地震・豪雨による複合的な土砂災害による被害を軽減できることが期待できる。

(4) 土石流の数値シミュレーション

Takebayashi ら²⁾の方法を用いて 2 つの溪流で発生した土石流の数値シミュレーションを実施した。被災後の氾濫域の土砂の堆積状況を見ると、西側の溪流からの土石流の堆積物の上を東側の溪流からの土石流が流れたようである。そのため、本シミュレーションでは、西側の土石流を先に発生させ、50 秒後に東側の土石流を発生させた。土石流の発生間隔は



Fig. 6 Numerical simulation of debris flow (temporal change of flow depth, background image: Google Earth)

最初の土石流（西側渓流）に次の土石流（東側渓流）が大きく重ならない程度の間隔としており、実際の発生時間間隔とは無関係である。斜面崩壊の発生地点は、2024年1月1日の地震時の崩土が堆積した地点の直下である。Fig. 6に土石流の流動深の空間分布を示す。最初の土石流は斜面崩壊発生から33秒で宅地に到達した。土石流到達までの時間が短いため、土石流センサーなどで土石流の発生を確認できたとしても土石流発生後の避難所への避難は非常に困難である。最初の土石流の宅地到達時点の流動深は約1.8m、流速は秒速約7m（時速約25km）であり、比較的築年数の古い木造家屋は破壊される可能性のある流体力となっていた。二回目の土石流（東側の渓流）は、宅地到達時点の深さは約2m、流速は秒速約8m（時速約29km）であり、西側の渓流の土石流よりも規模が大きい。これは、東側の渓流の勾配が、西側の渓流の勾配よりも急であることが一つの原因と考えられる。

現在の土砂災害特別警戒区域の設定では、1回の土石流のみを対象としており、今回のような複数回の土石流は考慮されていない。しかし、例えば2021年7月に熱海で発生した泥流は、少なくとも8回発生しており、非常に広い範囲で建物が破壊された。また、前述の宮城県丸森町子安で発生した土石流も少なくとも3回発生しており、一雨中に複数回の土石流が宅地に流れ込む現象は頻繁に発生している。複数回の土石流の発生によって、建物が被災する範囲が広くなることを考えると、土砂災害特別警戒区域の設定方法について、再考が必要と思われる。

3. まとめ

2024年9月21日に輪島市曾々木で発生した土石流の発生・流動特性について、2024年1月1日に発生した地震の影響に着目し、現地調査及び数値シミュレーションによって検討した。本研究で得られた

成果をまとめると、以下のようである。

1. 対象地点は建物内の住民の被害リスクを示す土砂災害特別警戒区域は設定されていなかったが、多くの建物が土石流によって破壊された。これは、土砂災害警戒区域が設定されていなかった東側の渓流からも土石流が発生し、西側の渓流と同じ場所に流れ込んだことも原因の一つと考えられる。
2. 輪島市曾々木で土石流が発生した時点までの降り始めからの積算降水量は149mmであり、この値は他の土石流の発生までの積算降水量と比較しても非常に小さい値である。
3. 土石流の発生までの積算降水量が少ないのは、土石流の起点となった土砂の移動が斜面崩壊起源ではなく、渓流内に堆積していた土砂の移動によるものであったためと考えられる。
4. 対象流域では、最終的に積算降水量が約340mmとなっており、地震の影響が無くても土石流が発生した可能性が高い。つまり、対象地点における地震の影響は、土石流の発生・非発生というよりも、土石流の発生時刻を早めることに影響を与えていたと考えられる。
5. 最初の土石流の宅地到達時点の流動深は約1.8m、流速は秒速約7mであり、比較的築年数の古い木造家屋は破壊される可能性のある流体力となっていた。二回目の土石流（東側の渓流）は、宅地到達時点の深さは約2m、流速は秒速約8m（時速約29km）であり、西側の渓流の土石流よりも規模が大きい。これは、東側の渓流の勾配が、西側の渓流の勾配よりも急であることが一つの原因と考えられる。
6. 現在の土砂災害特別警戒区域の設定では、1回の土石流のみを対象としており、今回のような複数回の土石流は考慮されていない。複数回の土

石流の発生によって、建物が被災する範囲が広がることを考えると、土砂災害特別警戒区域の設定方法について、再考が必要と思われる。

謝辞

輪島市の住民の皆様から発災時の多くの情報をご提供頂いた。また、国土交通省、石川県、パンフィックコンサルタンツ、中日本航空、国際航業、朝日新聞、読売新聞、NHK、工学院大学・久田教授など多くの皆様から、各種データ・被災の状況など、詳しい情報をご提供頂きました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 五十嵐孝浩, 竹林洋史, 浜田裕貴, 的場萌実, 飛岡啓之, 澤田悦史, 平川了治: “生命の危険からの自発的回避”のための土砂災害危険情報サービスの構築, 土木学会論文集B1 (水工学), 72(4), I_1285-I_1290, 2016.
- 2) Hiroshi Takebayashi, Masaharu Fujita, Koichiro

Ohgu-shi: Numerical modeling of debris flows using basic equations in generalized curvilinear coordinate system and its application to debris flows in Kinryu River Basin in Saga City, Japan, *Journal of Hydrology*, 615, Part A, 128636, 2022.

- 3) Hiroshi Takebayashi: Modelling braided channels under unsteady flow and the effect of spatiotemporal change of vegetation on bed and channel geometry, *Gravel-Bed Rivers: Process and Disasters*, pp. 671-702, 2017.
- 4) Jonathan M. Nelson, Yasuyuki Shimizu, Takaaki Abe, Kazutake Asahi, Mineyuki Gamou, Takuya Inoue, Toshiki Iwasaki, Takaharu Kakinuma, Satomi Kawamu-ra, Ichiro Kimura, Tomoko Kyuka, Richard R. McDon-ald, Mohamed Nabi, Makoto Nakatsugawa, Francisco R. Simoes, Hiroshi Takebayashi, Yasunori Watanabe: The international river interface cooperative: Public domain flow and morphodynamics software for education and applications, *Advances in Water Resources*, 93, pp. 62-74, 2016.

(論文受理日 : 2025 年 9 月 2 日)