

降雨解析を用いた0次谷候補地の簡易特定

Simplified identification of potential zero-order valley sites using rainfall analysis

石井建樹<sup>1)</sup>, 武井 心<sup>2)</sup>

Tateki Ishii and Kokoro Takei

- 1) 博(工) 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科 教授 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1, E-mail: cishii@kisarazu.ac.jp)
- 2) 木更津工業高等専門学校専攻科 (同上, E-mail: c20529@inc.kisarazu.ac.jp)

In recent years, disaster-level heavy rains have caused landslides in areas that are not designated as hazard areas on hazard maps. In particular, mudslides and other disasters have occurred even in urban areas outside of steep slope failure hazard areas. In this paper, we report the results of our study on the method to identify the candidate sites of the zero-order valley, which are important landforms related to the occurrence of mudslides, by using rainfall analysis.

**Key Words :** Landslide, Zero-order valley, Rainfall analysis

1. はじめに

土砂災害防止法に規定される土石流警戒区域は、急傾斜地崩壊警戒区域と異なり、「土石流の発生の恐れがある溪流において、扇頂部から下流で勾配が2度以上の区域」[1]とされている。そのため、溪流であることが前提で、なおかつ扇頂部を有する中山間地等が主な対象となる。また土石流発生の可能性に関する具体的な指示基準はなく、急傾斜地のハザードマップに対して区域指定の判断は曖昧な表現に留まっている。

しかしながら、近年の異常な豪雨は、溪流地や中山間部ではない、急傾斜崩壊警戒区域から外れた都市部でも土石流のような被害を発生させている。現行の土砂災害防止法の想定から外れた土石流候補地を選定することができれば防災上の意義は大きい。

土石流の潜在的な発生リスクについては、砂防分野を中心に調査研究が進められ、発生源として「0次谷」という地形の重要性が指摘されている[2]。0次谷は、扇頂部のような谷の始まりに見られる地形で、雨水を集積する谷であるが、まだ崩れていない状態にあると想定される。昨今ではベテラン技術者の知見と整合させた0次谷を抽出するAIなども開発されている[3]。これらの既存手法の多くは、地形的特徴をつぶさに調査することで0次谷を特定している。

対して本研究では、土砂が流出する「流路＝溪流」を簡易な降雨解析で特定しつつ、特定した流路に沿って地形的特徴を調査することで、「谷の始まりである0次谷」を簡易に特定する方法を検討する。これにより、隠れた土石流発生候補地を選定するための知見を得ることを目指す。

2. 降雨解析による流路の特定

降雨解析には、水工学にかかる数値計算プラットフォームであるiRIC Software Ver.4.0のNays2Dflood Ver.5.0

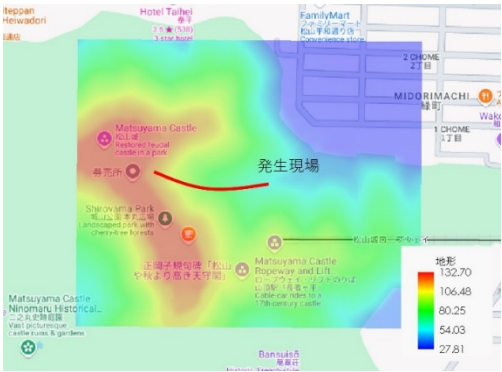


図-1 解析対象領域

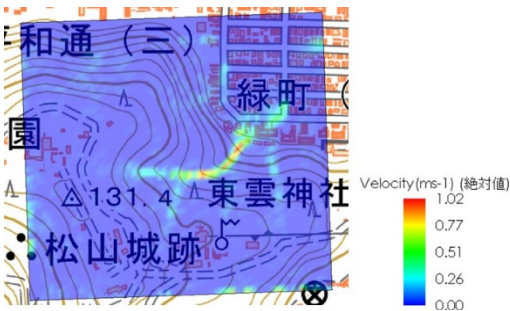


図-2 降雨解析結果（最大流速分布）

を用いた。平面二次元流計算を氾濫流解析に適用した計算ソルバーで、中小河川流域の氾濫流解析等などに利用されている[4]。

本研究では、2024年7月12日に発生した愛媛県松山城周辺の土砂災害事例を対象とする。発生箇所は、ハザードマップの急傾斜地崩壊警戒区域から外れた地点であった。

解析対象領域をFig.1に示す。解析に使用した標高データはDEM5を基に取得した。河川のない対象領域に対して水の流入は降雨のみとした。降雨条件には災害当日に観測された最大時間雨量41mm、27時間総雨量197.5mmの降

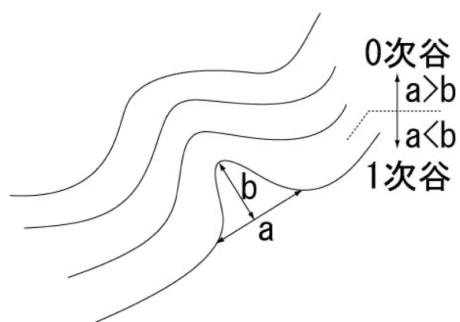


図-3 0次谷の地形[5]

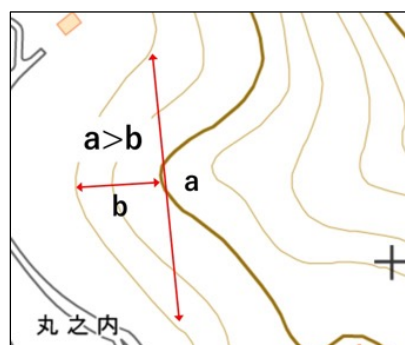


図-4 降雨解析で流路が発生した谷の等高線図

雨データを使用した。これにより、実際の降雨状況を再現した解析を行った。

Fig.2に、上記解析条件のもとで、解析時間中に対象領域内に生じた最大流速分布をコンター図で示す。図では、対象領域内に周辺と比べて流速が速くなる帯状の筋が発生している。この結果から、松山城東側の斜面に、雨水が集積しやすい谷状の流路が存在することがわかる。この流路は、実際に土砂災害が発生した斜面と一致している。これより、発生した土砂災害は、降雨が集まりやすい地形で生じた土石流に近い災害であったと考えられる。

降雨解析結果に基づき流速分布を分析することで、雨水の流路から土石流の発生しやすい流路を特定できる可能性が示唆される。また、流路は土石流の被害が大きい特別警戒区域との関連することは明らかであり、防災対策上の重要な情報となる。

### 3. 流路が発生した谷の0次谷判定

国総研資料砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策）解説[5]では、「0次谷とは、1/25,000地形図あるいは大縮尺の地形図や航空レーザ測量結果を使用して等高線の凹み具合を眺めて、凹んでいる等高線群の間口よりも奥行きが異なる地形」とされている。したがって、Fig.3のように、谷頭幅 $a$ が谷頭長 $b$ よりも大きい場合（ $a > b$ ）は0次谷、反対に、谷頭幅 $a$ が谷頭長 $b$ よりも小さい場合（ $a < b$ ）は0次谷と判定できる。

Fig.4は降雨解析で流路が発生した谷の等高線図である。図より、谷頭幅 $a$ が谷頭長 $b$ よりも大きく、対象の斜面が0次谷のような地形が存在していると判断できる。

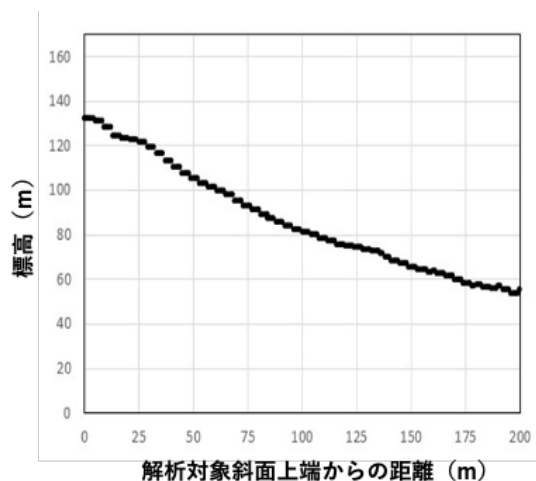


図-5 流路に沿って作成した擬似2次元斜面

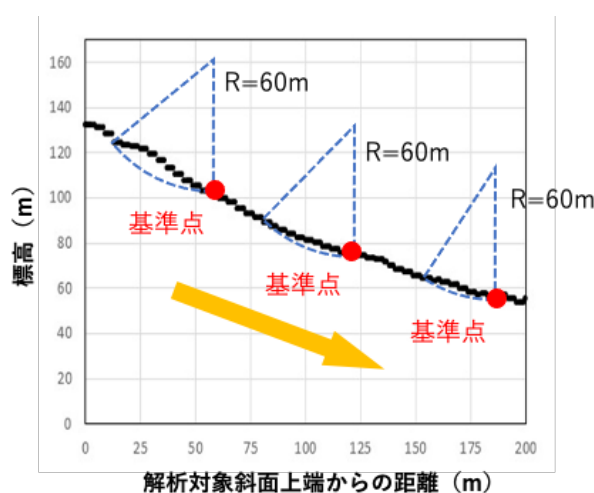


図-6 安定計算に用いた円弧の考え方

### 4. 流路に沿った斜面安定計算

流路が生じた谷が地形的に0次谷と判定されたとしても、土砂災害が発生する可能性は定かではない。そこで本研究では、フェルニウス法による2次元円弧すべり計算を実施して斜面の安定性を大まかに計算した。対象とする斜面は、降雨解析によって発見された流路は必ずしも直線ではないため、流路に沿って直線化して、Fig.5のような2次元斜面を擬似的に作成した。地形データには国土地理院が提供する5mメッシュの数値標高データを使用した。対象斜面の物性は、礫岩の標準的な物性値として粘着力=0kN、せん断抵抗角=35°、単位体積重量=19kN/m<sup>3</sup>として計算を行った。

通常の円弧すべり計算では、円弧の中心や変形を任意に変化させ最小安全率を算出するが、ここでは計算を簡易化するため、Fig.6のように斜面の地表に基準点を任意に1点設定して、その直上60mに円弧の中心を仮定した。そして、基準点を地表に沿って移動させることで順次計算を行った。

Fig.7にそれぞれの基準点における斜面の安全率を斜面の標高とともに示す。横軸は、解析対象斜面の上端を0m

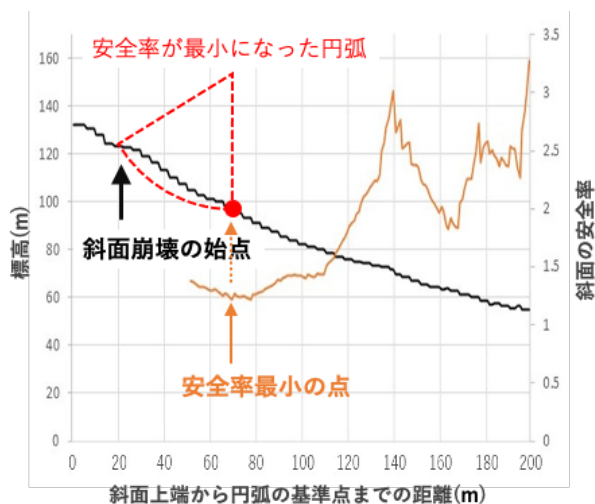


図-7 斜面安定計算結果

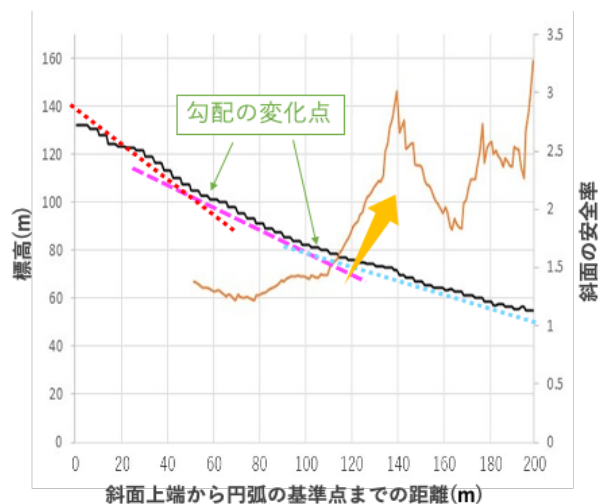


図-8 安全率と斜面勾配

とした際の水平方向の基準点位置を示している。安定計算の結果では、上端からの距離が約68mに円弧の基準点がある場合に、安全率は1.21となり最小値を示した。またその位置は、今回豪雨により崩壊したとされる地点におおよそ一致している。今回の対象箇所は、様々な要因が検討されている[6]が、他の斜面に比べて、地形的にも土砂災害リスクが高い状態にあったと考えられる。

## 5. シナリオベースでの0次谷の簡易特定

Fig.7では、斜面上端からの位置がおおよそ110mの点を境にして、安全率の値に大きな変化が見て取れる。斜面の勾配に着目するために、Fig.8のように斜面に補助線を書き加えると、安全率の値に変化が生じた箇所では、斜面の勾配に変化が生じている。安全率が最も小さな値を示した点では、その点付近を境に最も勾配の大きな斜面が円弧すべり計算の対象に含まれていることがわかる。

土石流の発生源として想定される0次谷は、扇頂部のような谷の始まりに見られる地形で、まだ崩れていない状態にある谷と考え、0次谷の下流には、Fig.9に示すように、すでに崩れて渓流化した1次谷が存在する可能性が高い。表層土層が崩壊して渓流化した1次谷の谷頭部において、まだ崩壊していない崩壊していない0次谷が存在する場合、その境界は他の箇所と比較して、斜面の勾配が大きい可能性が高いと予想される。

以上より、3次元地形を反映した降雨解析により隠れた渓流となる流路を特定し、その流路に沿って斜面勾配の変化を追跡することで、土石流の発生源となる0次谷を特定、もしくは発生源の範囲を限定できる可能性が示唆された。

## 6. おわりに

本研究では、実際の豪雨による土砂災害発生事例を対象に、降雨解析と地形的特徴から土石流の発生源となる0次谷を簡易に特定する方法を検討した。特定された地点は、対象の斜面の中で最も安全率が小さくなる地点付近

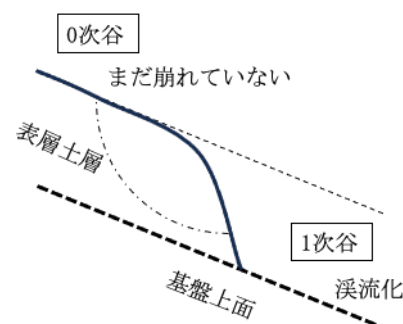


図-9 0次谷の簡易特定のシナリオ

であり、実際に土砂崩壊の始点を含む斜面と一致していた。しかしながら、本検討は1つの事例のみを対象としており、今後は他の適用事例を増やして知見を深めたい。加えて、信頼性向上や有用な情報を算定できるように、適切な3次元安定計算での評価を行いたい。

## 参考文献

- [1] 国土交通省：土砂災害防止法の概要（参照 2024-10-30）
- [2] 豪雨災害による今後の治山対策の在り方検討会：豪雨災害による今後の治山対策の在り方検討会（とりまとめ）、2021。
- [3] 斎藤泰久：DEM と AI を活用した表層崩壊危険斜面の抽出（長野県辰野町を事例として）、統合性物性モデル技術研究組合、研究発表会講演集, pp.73-76, 2022.
- [4] 木村一郎:iRICによる河川シミュレーション、森北出版、2021。
- [5] 国土交通省：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説、国土技術政策総合研究所資料第 904 号、2016。
- [6] 森伸一郎：松山市城山斜面崩壊・緑町土砂災害の状況と現地調査による要因分析、第3回調査速報会(8/10)、2024。