

## 豪雨及び地震による斜面崩壊発生の予測手法 －平成30年北海道胆振東部地震時の斜面崩壊への適応－

三重大学 ○秋元 悠太郎<sup>※1</sup>, 堤 大三  
京都大学 山野井 一輝

<sup>※1</sup>現所属：日本工営株式会社

### 【はじめに】

日本では近年、2017年に九州北部、2018年に西日本、2020年に九州・中部地方で豪雨が記録され、斜面崩壊も多く生じた。また、2011年東日本大震災や2016年熊本地震、2018年北海道胆振東部地震といった地震による斜面崩壊も発生しており、大きな被害を受けた。被害軽減のためには、どこで斜面崩壊が発生するかを把握し、その予測を行うことが求められる。そのためには、豪雨及び地震の両方で発生する斜面崩壊を同じ解析手法を用いて予測する必要がある。そこで、これまで我々の研究グループでは、Topotubeによる地形分割を用いて、広範囲で発生する表層崩壊の予測手法を開発してきている。豪雨による斜面崩壊として2013年伊豆大島の斜面崩壊を(堤ら, 2018)、地震による斜面崩壊として2016年熊本地震による阿蘇大橋近傍の平坦斜面での斜面崩壊を対象に解析を実施してきた(中ら, 2019)。しかし、Topotubeを用いた解析は本来尾根や谷を持つ複雑斜面でこそ有効性が発揮される。ゆえに本研究では、複雑斜面にも適応範囲を広げ、解析手法の有効性を検証する。



図-1 勇払郡厚真町幌内地区の  
対象斜面

### 【解析対象地】

今回対象地とした北海道勇払郡厚真町幌内地区の斜面を図-1に示す。対象斜面は尾根や谷を持つ複雑斜面である。北海道胆振東部地方を震源として、最大震度7の地震が2018年9月6日に発生した。厚真町周辺の地質は樽前山、恵庭岳、支笏カルデラを噴出源とする降下火砕堆積物から主に形成されており、中でも樽前降下火砕堆積物(Ta-a~Ta-d)の散乱が多く確認されている。また、幌内地区では谷地形における表層崩壊が多発していた(平成30年北海道胆振東部地震による地盤災害調査団最終報告書, 2019)。対象斜面も谷地形において表層崩壊が起きた形状がみられる。地震の加速度は、対象斜面から最も近い観測点であったことから厚真町鹿沼で観測されたデータを使用し、水理特性や土質強度のパラメータは現地調査やそれを基に行われた試験の結果を参考とした。

### 【解析手法】

#### ① Topotubeによる地形分割

DEMデータや崩壊以前の等高線を基に地形分割しTopotubeを作成する。Topotubeとは、流域内を地形に従って流線で分割した際、隣り合う2本の流線で囲まれた帯状の地形区分のことである(Wu and Sidle, 1995)。そのため、斜面上端から下端まで水の流下方向に沿ったひとつながりの形状をしているので、流域を対象とした降雨浸透・流出解析に適しており、臨界すべり面解析法による斜面安定解析を流域全体に行うことが可能という特徴を持つ。

#### ② 降雨流出解析

対象地の降雨データを基に各tubeに対してDiffusion Wave法による降雨流出解析を行い、地下水位を算出する。飽和浸透流と表面流を合わせた流量を求め、水位の変化によって選択し、水収支式と連立して解くことで各エレメントにおける地下水位を求めることができる。

#### ③ 斜面安定解析

降雨流出解析で算出した地下水位と地震の加速度を用いて、臨界すべり面解析法による斜面安定解析を行う。臨界すべり面解析法とは、想定しうる全てのすべり面を探索し(DP法)、各すべり面の安全率を求め(簡易ヤンプ法、

式(1)、最小安全率となるすべり面を特定する方法である。今回は地震加速度による斜面安定解析なので、 $F_s$ を求める式(1)に水平方向の加速度 $k_H$ 、垂直方向の加速度 $k_V$ を組み込んで計算を行った。また、水平方向の加速度 $k_H$ には東西方向、南北方向の加速度を合成したものを代入した。(式(2))

$$F_s = \frac{\sum \{ [c'_i l_i \cos \alpha_i + \{(1 + k_V)W_i - u_i l_i \cos \alpha_i\} \tan \phi'_i] / m_a \}}{\sum \{ (1 + k_V)W_i \tan \alpha_i + k_H W_i \}} \quad (1)$$

$$k_H = \frac{(a_{EW} \cos \theta + a_{NS} \sin \theta)}{g} \quad (2)$$

ここで、添え字 $i$ はスライス番号、 $W_i$ は各スライスの重さ、 $c'_i$ と $\phi'_i$ はそれぞれ土層の粘着力と内部摩擦角、 $\alpha_i$ と $l_i$ は各スライスのすべり面の角度と長さ、 $u_i$ は各すべり面の水圧である。

### 【解析結果】

図-2 に解析結果を示す。a)はチューブ基準幅 20mで分割した Topotube 結果である。b)は降雨流出解析の結果であり、地下水位を示している。図中の色が濃い部分ほど地下水位が高いことを表す。c)は斜面安定解析の結果であり、地表面の変化量(崩壊深さ)を示している。図中の色が濃い部分ほど崩壊深さが大きいことを表す。向かって一番右の谷部が崩れず、実際の崩壊現象の完全再現とはいかなかったが、近い結果を得ることができた。その一番右の谷部であるが、崩れはしなかったものの $F_s$ が限りなく 1.0 に近い値まで低下しており、そういった意味ではかなり再現性は高いといえる。

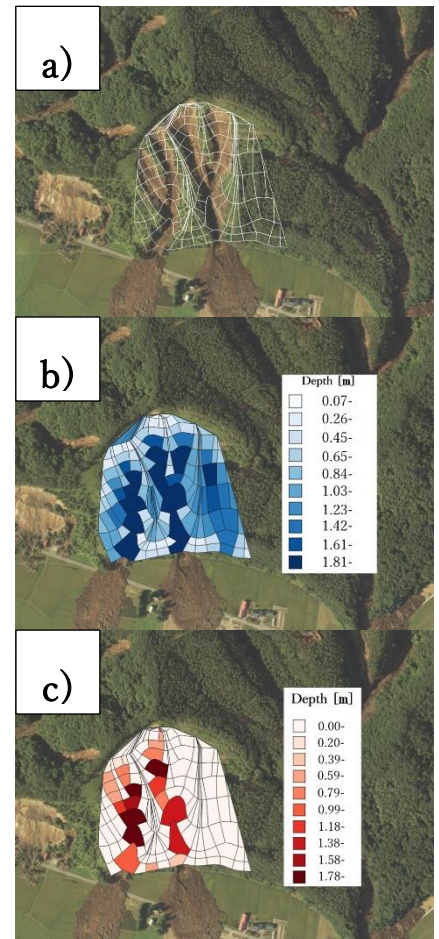


図-2 解析結果 a)地形分割、b)地下水位の分布、c)崩壊の分布

### 【考察】

対象地である厚真町幌内地区と同じ町内の鹿沼で震度 7 が観測されたことから、当初は地震加速度のみが崩壊要因であると考えていた。しかし、幌内地区で谷地形における表層崩壊が多発していたことや降雨流出解析により谷部に地下水が集中していること、また、透水係数を大きな値と仮定し地下水位が十分発達しない条件で計算をした場合には、実際と異なり谷部での崩壊が計算されなかったことなどを考慮すると、この対象斜面での崩壊には地下水位が大きく影響していることが推察できる。

### 【おわりに】

本研究によって、一連の解析を尾根部や谷部といった複雑地形を持つ斜面に対しても行うことができた。これにより、地震による斜面崩壊も豪雨による斜面崩壊と同様に計算できることを示すことができた。ただ、実際の崩壊現象を正確に再現できたわけではないので、その原因を探ると共に今回示した手法の精度を高めていく必要がある。

### 参考文献

- 地盤工学会(2019)：平成 30 年北海道胆振東部地震による地盤災害調査団最終報告書，p.133-140
- Wu, W. and Sidle, R. C.(1995)：A distributed slope stability model for steep forested basins, Water resources research 31 (8), 2097-2110
- 堤 大三, 孝子 繪図, 山野井 一輝, 藤田 正治 (2018)：ストリームチューブによる地形分割を基にした表層崩壊解析手法, 砂防学会誌, 72(2), p. 3-13
- 中智昭, 堤大三, 山野井一輝 (2019)：Topotube を利用した表層崩壊解析法の地震災害への適応, 砂防学会概要集, p. 549-550