

## 地震時斜面崩壊における各種条件が崩壊規模に及ぼす影響の分析

国土交通省国土技術政策総合研究所 坂井佑介, 山越隆雄, 平田育士  
 エイト日本技術開発 ○種平一成, 藤原康正, 末富岩雄

### 1. はじめに

近年の大規模地震では、表層崩壊に加え深層崩壊などの大規模な斜面崩壊が発生しており、被害拡大の原因の一つとなっている。このため、地震時の斜面崩壊の予測においては、小規模から大規模な崩壊まで包括的に危険性を評価できる手法の構築が必要と考えられる。本稿では、地震時斜面崩壊における地形条件や地盤条件、地震動特性が崩壊規模に及ぼす影響を分析し、大規模崩壊を含む崩壊規模の推定手法の検討を行った。

### 2. 検討条件

#### (1) 対象とする事例と地質条件

対象は、2016年熊本地震において発生した斜面崩壊(狭義の地すべりと崩壊の区別なし)とし、対象範囲内の総崩壊数は3,051である。地質は、阿蘇火山地質図(地質調査総合センター, 1985)の分類をもとに、岩種や岩質、地質年代等から図-1に示す6種類にまとめた。

#### (2) 崩壊規模の指標

崩壊規模の指標は、崩壊面積(水平投影面積, 斜率を乗じた面積)と崩壊深さ(最大崩壊深, 平均崩壊深)を用いた。本稿では、水平投影面積での検討結果を示す。

#### (3) 分析に用いる項目とメッシュサイズ

崩壊規模との関係性を分析する項目は、地形条件(斜面勾配, 起伏量, 曲率, 斜面方位), 比抵抗値, 最大加速度とし、崩壊地の重心に該当するメッシュの値を崩壊地の属性として用いた。また、検討に用いるメッシュサイズは10m, 50m, 100m, 150mとし、50~150mメッシュの地形量は、内在する10mメッシュの平均標高値より算出した。

### 3. 崩壊規模の階級別頻度分布

一般的に斜面崩壊の規模は頻度と関係し、大きな斜面崩壊は小さな斜面崩壊よりも発生頻度は低くなる。図-2のように熊本地震でも同様の傾向がみられ、特に1000m<sup>2</sup>未満の小規模な崩壊が70~80%と大部分を占めている。また、この傾向はすべての地質条件に共通している。

### 4. 崩壊規模に影響する要因の分析

#### (1) 階級分析結果

階級分析は、①地形等の諸条件の階級を基準にした分析と、②崩壊規模の階級を基準にした分析を行い、①の決定係数と②との整合性をもとに崩壊規模に影響する要因を抽出した。その結果、火山岩類(溶岩・火砕岩, Aso1-4, 先阿蘇火山岩類)と未固結火山灰(降下火山灰, 火山灰・軽石)で影響要因がやや異なり、火山岩類では斜面勾配や起伏量, 未固結火山灰では比抵抗値について最も関係性がみられた。図-3に起伏量及び比抵抗値と崩壊面積の関係を示す。

#### (2) 崩壊規模に関わる要因

##### 1) 起伏量

起伏量は、その大きさによって最大斜面長が制限され、崩壊する可能性のある領域が制限されることになるため、崩壊規模に影響する。また、起伏量の大きさは斜面勾配と関係し、急

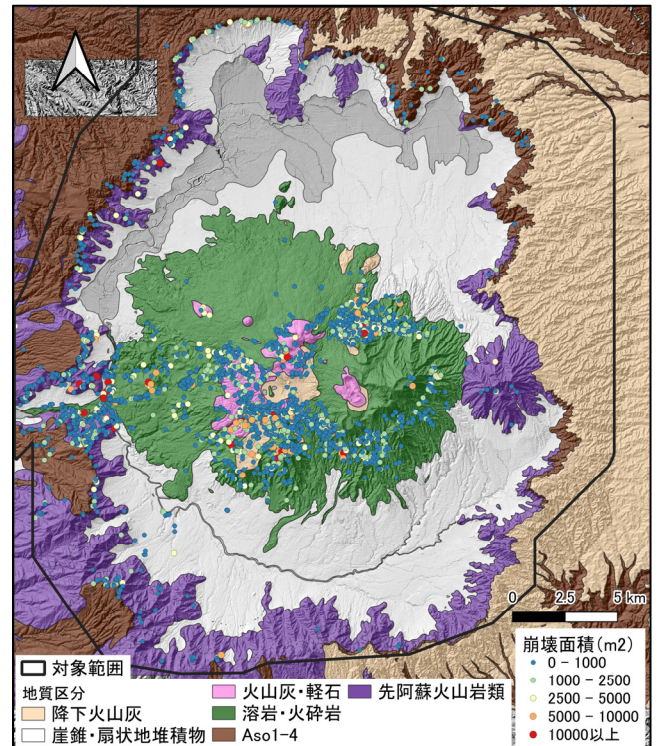


図-1 検討範囲と地質区分及び崩壊地

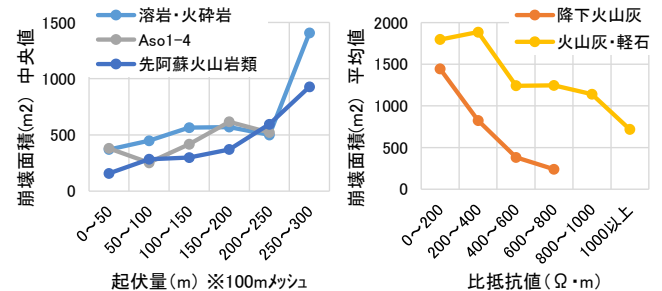


図-3 起伏量及び比抵抗値と崩壊面積の関係

斜面に分布する地質のほうが起伏量は大きくなる。火山岩類と未固結火山灰では前者のほうが急傾斜に分布するため、起伏量との関係性が強く現れたと考えられる。なお、メッシュサイズは、100mを使用した場合が最も崩壊面積との関係が良好であった。

##### 2) 比抵抗値

未固結火山灰においては、比抵抗値と崩壊規模(面積・深さ)に逆相関の傾向が見られた。これは保水力の高いウロボクを含む火山灰質土の影響が指摘されており(例えば福岡ら, 2016), このような湿潤状態は一般的に低比抵抗を示し、崩壊規模が地盤の湿潤状態あるいはウロボクの分布領域と関係している可能性が考えられる。

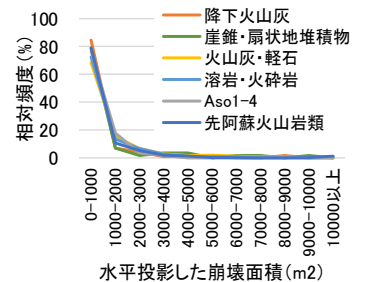


図-2 崩壊面積の階級別相対頻度

## 5. 崩壊規模の推定手法の検討

3章で示したように、大規模な崩壊は小規模な崩壊よりも発生頻度は低い。そして、崩壊規模別の頻度分布はべき乗則を示し、べき乗則の指数は地形条件等さまざまな要因によって変化すると報告がある(例えば Gallenら, 2015)。また, Valagussaら(2019)では、種々の要因の階級毎に崩壊面積と頻度分布の関係を確率密度関数として設定する手法が提案されている。本稿では、崩壊面積の階級別頻度分布をもとに諸条件の階級別の確率密度関数の設定を試みた。以下、本事例で最も崩壊数が多い地質区分である溶岩・火砕岩について、起伏量(メッシュサイズ 100m)を例に確率密度関数の設定手順を示す。

手順1: 起伏量の階級によりデータを分割する。本稿では、閾値が各地質でなるべく共通することを基本とし、①100m未満, ②100~200m, ③200m以上に区分した。

手順2: 区分したデータを崩壊面積(log)の階級により表-1のように集計する。確率密度Pは、崩壊の総数により正規化した値であり、母数の大小に関わらない。本稿では、比較的大規模な崩壊の評価に重点を置くため、1000m<sup>2</sup>未満のデータは一括し、1000m<sup>2</sup>以上の崩壊面積の階級幅(dA)をlog(dA)=0.1とした。

手順3: 起伏量の階級毎に図-4のように崩壊面積と確率密度Pの関係を両対数で表示し、近似式を求める。近似式より、以下に示すべき乗則の確率密度関数を設定した。

- 起伏量 100m 未満の場合  

$$P = 3515.2 \cdot (A+dA)^{-2.289} \quad \dots \text{式-1}$$
- 起伏量 100~200m の場合  

$$P = 1023.6 \cdot (A+dA)^{-2.116} \quad \dots \text{式-2}$$
- 起伏量 200m 以上の場合  

$$P = 11.5 \cdot (A+dA)^{-1.424} \quad \dots \text{式-3}$$

ここで、

P: 確率密度 ( $P=dN/dA/N$ )

N: 崩壊の総数(個)

dN: 崩壊面積の階級毎の崩壊数(個)

dA: 崩壊面積の階級幅(m<sup>2</sup>)

A: 崩壊面積の階級の下限値(m<sup>2</sup>)

## 6. 他地域での適合性

式-1~式-3を2008年岩手・宮城内陸地震の溶岩・火砕岩(新第三系)に適用し、適合性を確認した。図-5に示すように、岩手・宮城内陸地震においても起伏量と崩壊面積に正の相関が認められる。武澤ら(2013)では、同地震を対象とした分析より、崩壊規模が大きくなるほど、起伏量の高い領域で崩壊の発生割合が高いとされ、先述の結果と整合性がある。そして、熊本地震と同様に起伏量によりデータを分割し、起伏量の階級毎に実際の崩壊総数を集計し、式-1~式-3より崩壊面積の階級毎の崩壊数(dN)を算出した。図-6は式より得られる推定値(青)と実際の崩壊数(橙)を重ねて表示したものである。いずれの式とも実際の崩壊と概ね同等の推定値が

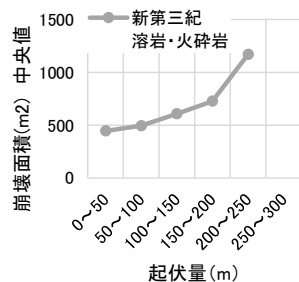


図-5 岩手・宮城内陸地震 起伏量と崩壊面積の関係

得られおり、一定の適合性が確認できたと考えられる。

## 7. まとめと今後の課題

2016年熊本地震を事例に崩壊規模に関わる要因を抽出し、地形等の諸条件と崩壊数をもとに崩壊規模を推定する手法を検討した。火山岩類の主要因である起伏量の階級毎に設定した確率密度関数は、2008年岩手・宮城内陸地震においても適合性が確認され、地質条件が類似する他地域において活用できる可能性がある。

今後は、その他の条件(地形・地盤・地震動)、規模の指標(深さ)についても本手法の有効性を確認するとともに、崩壊の発生・非発生や崩壊面積率の推定結果との組み合わせについて検討を行う予定である。

表-1 崩壊面積の階級別崩壊数の集計例 (溶岩・火砕岩 起伏量 100m 未満)

No	集計前		集計後			
	A(m <sup>2</sup> )	log(A)	崩壊面積の階級 log(A)	階級幅 log(A+dA)	崩壊数 dN	確率密度P dN/dA/N
1	1,039.2	3.0	0	3	871	7.4E-04
2	457.8	2.7	3	3.1	58	1.9E-04
3	1,984.9	3.3	3.1	3.2	57	1.5E-04
4	744.7	2.9	3.2	3.3	42	8.7E-05
5	1,909.8	3.3	3.3	3.4	45	7.4E-05
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.

総崩壊数N= 1,176

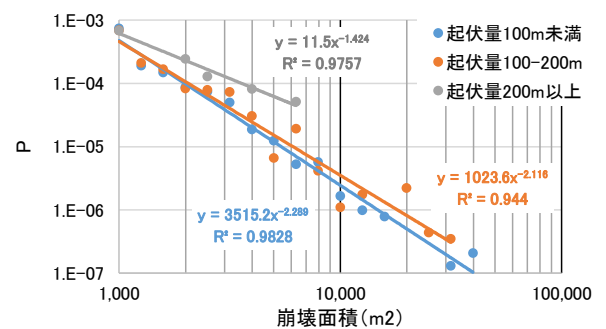


図-4 起伏量の階級別 崩壊面積の確率密度関数

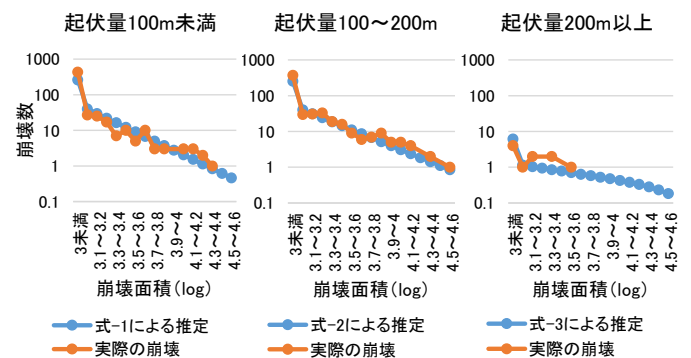


図-6 岩手・宮城内陸地震との適合性

## 参考文献

- 福岡ら:平成28年熊本地震による南阿蘇村地域における地すべり災害の初動調査, 地すべり学会誌, vol. 53, No. 3, pp. 21-25, 2016
- Sean F.Gallenら:Coseismic landslides reveal near-surface rock strength in a highrelief, tectonically active setting, GEOLOGY, Vol.43, No.1, pp. 11-14, 2015
- A.Valagussaら:Seismic and geological controls on earthquake-induced landslide size, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 506, pp. 268-281, 2019
- 武澤ら:起伏量を用いた地震による崩壊危険度と規模の評価, 砂防学会誌, Vol. 65, No. 6, pp. 22-29, 2013