

## 平成 28 年熊本地震で発生した深層崩壊斜面の三次元斜面安定解析について

九州大学工学府 学生会員 ○田中大貴 正会員 笠間清伸 正会員 古川全太郎

## 1. 研究背景と目的

平成28年4月14日21時26分頃、熊本県熊本地方を震源とするマグニチュード6.5の地震が発生した。震源の深さは11 km、日奈久断層帯の高野－白旗区間が動いたことによる内陸直下型地震である。さらに、4月16日1時25分頃に熊本県熊本地方を震源とし、14日の地震の規模を上回るマグニチュード7.3の地震が発生した。震源の深さは12kmであり、布田川断層が動いたと考えられている<sup>1)</sup>。これらの地震に伴い斜面災害が多数発生し、南阿蘇村の阿蘇大橋付近では深層崩壊が発生した。

そこで、本文では熊本県南阿蘇村の阿蘇大橋付近の深層崩壊について、崩壊形状を円弧すべり形状と仮定した三次元斜面安定解析を行い、阿蘇大橋における深層崩壊を再現するのに必要な強度パラメータを逆解析で決定した。

## 2. 解析概要

深層崩壊による崩壊領域を調べるため、斜面の安定性をビショップ法を基にした三次元斜面安定解析により評価した<sup>2)</sup>。ここで、崩壊斜面の概要を図-1に示す。崩壊斜面は崩壊長約750m、崩壊平均幅約200m、崩壊土砂量約50万m<sup>3</sup>、最大崩壊深約25m、頂端部傾斜角約40°の深層崩壊と推定されている<sup>3)</sup>。また、頂端部付近には遷急線が形成されており、今回の地震は遷急線より更に上の尾根に形成されていた多亀裂性安山岩溶岩層（以降、An(1)と記す）の直線斜面が強震動によりボトルネック的に崩壊したとみられる。本解析ではAn(1)層の安山岩溶岩層で崩壊が生じたと推定し、An(1)層に着目した。ここでボーリング調査により崩壊点は標高640~680m付近と推定し、崩壊地層を自破碎溶岩（Ab6,7）もしくは安山岩（An8,9）と仮定して解析を行った。

ボーリング調査により得られた地層断面を図-2に示す。解析では均一の強度パラメータを有する単一層を仮定して行ったため、本研究では柔らかい地層である自破碎溶岩に関して粘着力と内部摩擦角を推定した。対象斜面では、室内岩石試験が実施出来ないため、同じ軟岩に分類されるD級岩盤の安山岩を算出する次に示す(1)式を用いて強度を一次推定した。

$$c = 25.3N^{0.334}, \quad \phi = 6.82 \log N + 21.5 \quad (1)$$

ここでN値は同じ自破碎溶岩で最も柔らかい実測値である $N=14$ を採用した。これを(1)式に代入すると、 $c = 56.74 \text{ kPa}$ 、 $\phi = 29.32^\circ$ が得られる。しかし、この値はあくまでC級岩盤をD級岩盤の式で算出しているため、危険側となるので、実際のパラメータはこれより大きいと推定される。そこで、粘着力を50, 100, 150, 200 kPa、内

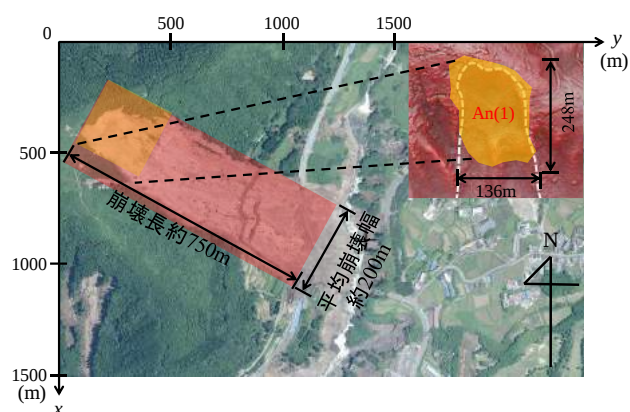


図-1 崩壊斜面の概要(国土地理院地図参照)

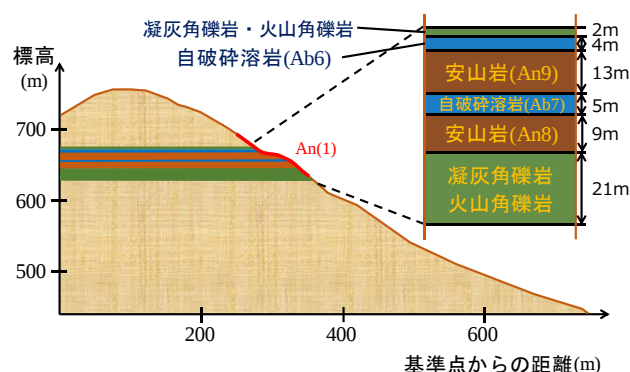


図-2 斜面地層断面図

部摩擦角を30, 35, 40, 45° を入力定数とし、深層崩壊を再現するのに必要な強度パラメータを逆解析にて求めた。単位体積重量は、C級軟岩で用いられる23 kN/m<sup>3</sup> を、水平加速度は気象庁が南阿蘇村中村で計測した三成分合成である855.9 cm/s<sup>2</sup> を用いた。崩壊位置はAn(1)内にあることを条件とした。くわえて、三次元斜面安定解析の再現性を確認するために、熊本地震の前震（高野台：266gal）で崩壊せず、本震（高野台：1316.3 gal）で崩壊することを条件とした。また、崩壊面積は予測される崩壊土砂量（An(1) 内の崩壊土砂28万m<sup>3</sup> 以上73万m<sup>3</sup> 以下）の範囲内であることとした。これらの斜面崩壊の位置、安全率、および崩壊土砂量の観点から、最適な強度パラメータを検討した。

### 3. 解析結果

図-3に地震前後の地形の変形量のコンター図を示す。図中の赤色が崩壊深さが大きい箇所である。また、実際の最大崩壊深が生じた箇所を左上に示す。図中のプロットで示した点が各解析条件で得られた最大崩壊深が生じた点である。粘着力が200kPaでの条件では崩壊位置が500m以上離れており、実際の挙動を表すには不適當である。一方、その他の条件においては崩壊位置の差は100m以内であり、比較的崩壊位置を的確に表せていると考えられる。

図-4に震度と安全率の関係を示す。すべての条件において震度が0.1上昇すると安全率は10%程度減少し、前震時と本震時で安全率が70 %程度減少した。また、粘着力が50kPa増加すると安全率が0.98から1.12に0.14増加した。安全率が前震で1.0以上、本震で1.0未満となるには、 $\phi = 35^\circ$  とした場合に粘着力 $c$  は110kPa以上と推定される。

図-5には内部摩擦角と崩壊土砂量の関係を示した。図中には崩壊土砂量もAn (1)領域（28万m<sup>3</sup>）と最大の長方形を想定した範囲（73万m<sup>3</sup>）を最大崩壊土砂量を示す。最小崩壊土砂量を下回る崩壊は解析結果はなかったものの、最大崩壊土砂量を上回る崩壊は多数発生した。それぞれの条件から、深層崩壊斜面の強度定数としては  $c=110$  kPa,  $\phi = 35^\circ$  が妥当であると考察される。

### 参考文献

- 1) 平成28年熊本地震地盤災害調査報告書, 公益社団法人 地盤工学会, pp.31-33, 2016.
- 2) Reid, M. E. Christian, S. B, Brien, D. L, and Henderson, S. T. : Scoops3D-Software to analyze three-dimensional slope stability throughout a digital landscape : U.S Geological Survey Techniques and Methods, Chapter-2. Basis of the Slope-Stability Analysis, pp.7-26, 2015.
- 3) 平成28年熊本地震地盤災害調査報告書, 公益社団法人 地盤工学会, pp.35, 2016.

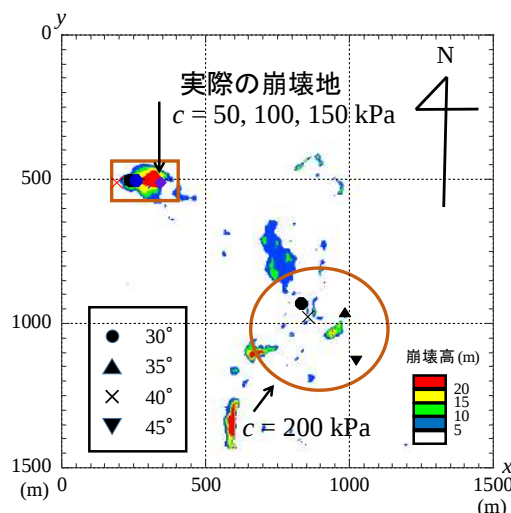


図-3 すべり面の中心位置図

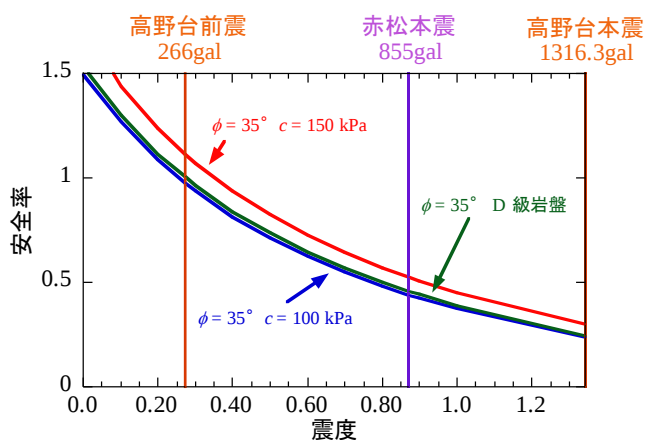


図-4 震度と安全率

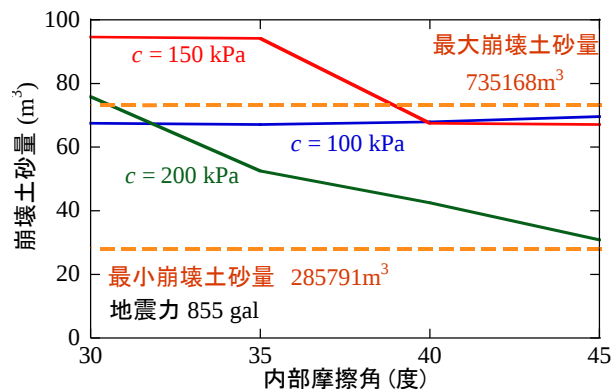


図-5 内部摩擦角と崩壊土砂量