

## 2013 年台風 26 号による伊豆大島での表層崩壊発生プロセス

筑波大学 ○堀田 紀文 後藤 優弥 山川 陽祐 經隆 悠  
 京都大学 正岡 直也  
 静岡大学 今泉 文寿

## 1. 研究の背景と目的

2013 年台風 26 号により伊豆大島では広範囲の山地斜面で表層崩壊が発生し、下流域での流木被害を伴う深刻な土砂災害を引き起こしたが、この表層崩壊の発生メカニズムは解明されていない。一般に、山地斜面では降雨の大部分は鉛直浸透後、基岩上において飽和側方流となり谷部へ集水される。このため表層崩壊は 0 次谷と呼ばれる谷筋に沿って発生し、降雨規模の拡大に伴って崩壊箇所数が増大する。しかしながら、伊豆大島のような火山地域では、周期的な噴火によって形成された土層の多層構造が存在し、土層深部まで明確な基岩が存在しない。また、土壌の透水性が高いため浸食による谷地形の発達が生じていない広い斜面が見られる。このような斜面では谷部への集水は起きないため、伊豆大島で発生した表層崩壊は一般的な表層崩壊と異なるプロセスで発生した可能性がある。数十 cm～1m 程度の浅い崩壊が広範囲で斜面上部から発生するという、通常の表層崩壊とは異なる発生形態もそれを示唆する。

伊豆大島の崩壊地外縁部の斜面では降雨イベント中に相対的な難透水層上で一時的な飽和帯の発生が確認されており<sup>1)</sup>、このような飽和帯の形成が崩壊に関わっていると考えられる。すなわち、火山地域の表層崩壊は、土層構造と鉛直浸透過程のみで説明できる可能性がある。本研究では、伊豆大島の被災斜面を対象とした 1 次元鉛直浸透計算と斜面安定解析による検討を行い、火山地域の表層崩壊プロセスを明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究対象地

伊豆大島元町地区大金沢流域上部の崩壊斜面を対象地とした (Fig. 1)。斜面勾配は約 35 度で、土層は主に噴火堆積物である透水性の高いテフラ・スコリア層と噴火休止期間中に堆積する相対的に透水性の低いレス層の互層構造から成る。

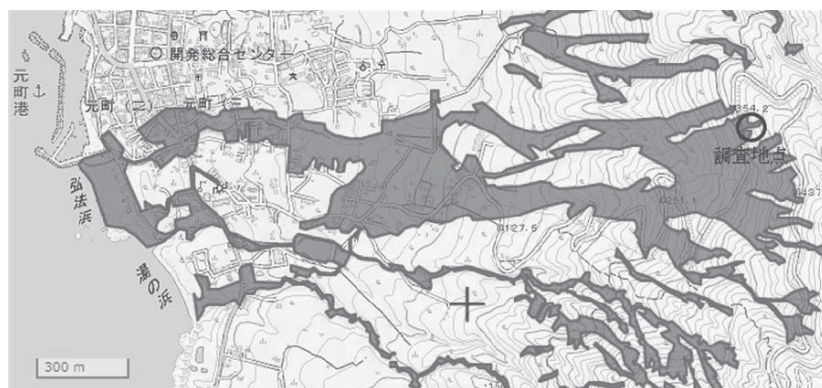


Fig. 1 調査地点 (国土地理院ウェブサイトより、一部加工)

## 3. 方法

### 3.1 現地調査と試料分析

転倒マス式雨量計 (RG-M, Onse), テンシオメーター (圧力センサー: PA-750, Copal), TDR 式土壌水分センサー (CS616, Cambell) を設置し、2014 年 10 月から (TDR は 2014 年 12 月から) 雨量、土壌中の間隙水圧 (20, 50, 80, 90, 100, 110, 120, 150, 200 cm) ・体積含水率 (50, 80, 90, 100cm) を連続観測した。観測点は崩壊斜面外縁付近の林内として、崩壊断面の複数点において土層構造の調査を行うとともに、土壌サンプルを採取して飽和透水係数と土壌水分特性 (pF 試験) を測定した。pF 試験では、pF 値に応じて砂柱法と加圧板法の 2 種類の試験方法を用いた。pF 0~1.5 までは砂柱法釜 (DIK-3520, 大起理化) での砂柱法を、pF 1.5~3.2 までは加圧装置 (DIK-9210, 大起理化), 加圧板釜 (DIK-3400, 大起理化) による加圧板法を実施した。

### 3.2 浸透計算及び安定解析

基礎方程式として鉛直 1 次元 Richards 式を用い、対象地の土層構造に対応して 4 層 (表層土: 0-20cm, テフラ: 20-90cm, レス: 90-150cm, テフラ: 150-210cm) に単純化したうえで浸透計算を行った。透水係数は現地サンプルの試験結果から与え、土壌水分特性曲線は van Genuchten モデル<sup>2)</sup> に現地サンプルの試験結果を適用することで得た。観測結果との比較から間隙水圧の再現性を確認し、飽和と判定される間隙水圧の閾値を決定したうえで、2013 年の災害を含む過去の豪雨イベントを対象とした計算を行った。過去の再現計算では、2013 年災害時のみ 10 分間雨量、それ以外は 1 時間雨量のデータを用いた (気象庁データ, 大島観測所)。なお、調査斜面と気象庁データの雨量には相違があるため、観測データとの比較に基づく補正を行って入力データとした。

浸透計算から得られた地下水位を用いて過去の豪雨イベントを対象とした無限長斜面安定解析を行った。土質強度定数 (内部摩擦角, 粘着力) は文献<sup>3)</sup> を参考に与えた。斜面勾配は内部摩擦角と同じ 34 度とした。

#### 4.結果および考察

Fig. 2 に土壤中の圧力水頭の観測結果と浸透計算の結果を示す。浸透計算では、降雨直前の土壌水分を観測結果から与えたうえで計算を開始した。降雨終了後には森林の蒸散に起因する観測結果と計算結果の差異が見られるものの、降雨開始後の圧力水頭の急激な増大と降雨直後の低下の波形は全ての降雨イベントで概ね一致していた。浸透計算でも観測結果と同じく相対的な難透水層である深度 90cm のレス層上において圧力水頭がもっとも大きくなり、各深度における観測結果を再現していた。過去の豪雨を対象とした計算でも同様に 90cm のレス層上で圧力水頭が最大値を示し、90cm 以浅の土層内で降雨規模に応じて飽和帯の形成が見られた。

次に、斜面安定解析の結果を示す。Fig. 3 は 2013 年台風 26 号による斜面安全率の変化の計算結果である。降雨量の増大に伴い 10 月 16 日午前 0:00 頃から急激に安全率が低下し、午前 0 時 40 分から午前 5 時 30 分の間に安全率が 1 を下回った。これは地震計の記録等から実際に崩壊が発生したと考えられる時間帯（午前 2 時から 3 時の間）<sup>4)</sup> より長い。また、過去の豪雨イベントでは、

1958 年 9 月と 1981 年 10 月に安全率が 1 を下回った。1958 年のイベントは狩野川台風によるものであり、研究対象地付近でも表層崩壊が発生しているが、1981 年には崩壊は発生していない。その他の豪雨イベントの中には、総雨量や 1 時間雨量、3 時間雨量等で崩壊発生時の 1958 年、2013 年の豪雨イベントと同程度の値を示すものも含まれていたが、もっとも安全率が低下したイベントでも（無降雨時の約 1.4 から）1.2 程度までしか達しておらず、1958 年、1981 年、2013 年との違いは明確であった。

前述のように Fig. 3 の結果は崩壊危険度をやや過大評価していた。要因として、斜面安定解析が斜面勾配 34 度という固定条件下で実施されたのに対して、実斜面は僅かな起伏を伴い、崩壊斜面の全ての地点の安全率が同時に 1 を下回らないこと等が挙げられる。一定のまとまった土塊の安全率が同時に 1 を下回らなければ崩壊は発生しないからである。これは崩壊非発生時の 1981 年に安全率が 1 を下回った時間が他の 2 つの崩壊発生豪雨より短かった（1 時間未満）こととも対応する。いずれにしても、鉛直浸透計算と斜面安定解析で伊豆大島での表層崩壊の発生の有無は精度良く判定できた。本研究の作業仮説である「伊豆大島での表層崩壊は火山地域特有の土層構造と鉛直浸透過程のみで説明できる」との考えを支持する結果と言える。

以上から、火山地域での斜面崩壊の発生プロセスは通常を表層崩壊より単純であり、本研究と同様な方法を用いることで精度の高い崩壊発生予測が可能になると考えられる。その一方で、斜面の広範囲が比較的一様で、豪雨時に鉛直浸透だけで崩壊が発生するという火山地域の特徴は、ある閾値を超える降雨に対して突発的に広範囲で崩壊を発生させるため、災害の大規模化に繋がり易いという点で通常の山地斜面と異なることにも注意が必要であろう。

#### 参考文献

- 1) 経隆ら (2015): 多層構造に着目した火山地帯での間隙水圧の鉛直分布に関する検討. 第 126 回日本森林学会大会
- 2) van Genuchten, M.Th. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Soc. Am. J., 44: 892-898.
- 3) 長谷川ら (2014): 平成 25 年度伊豆大島における表層崩壊箇所の土質特性. 平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集 B: 98-99.
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部・国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ (2015): 平成 25 年 (2013 年) 台風 26 号伊豆大島土砂災害調査報告. 国土技術政策総合研究所資料: 第 875 号.

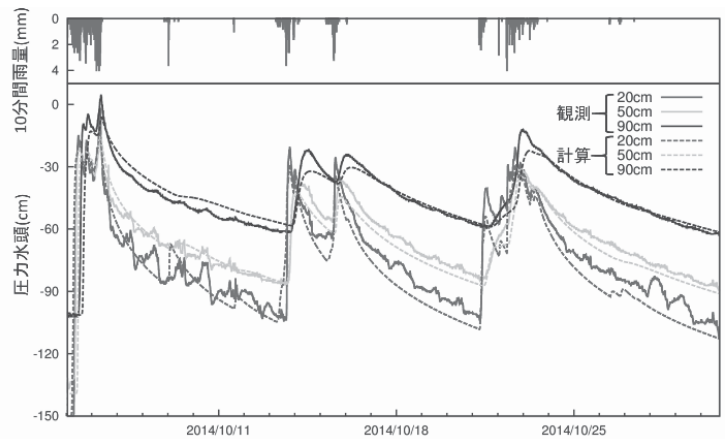


Fig. 2 観測結果と計算結果の比較（凡例は土層深度）

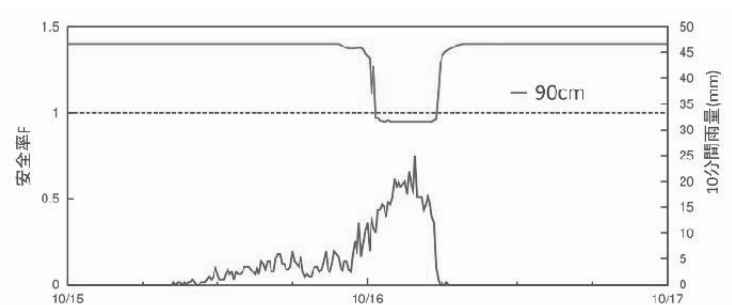


Fig. 3 2013 年の豪雨における安全率の時間変化