

# 現地計測に基づく降雨浸透特性の把握と表層崩壊の発生場の考察

## A Study on the Locations of Shallow Landslides Based on Rainfall Infiltration Characteristics Derived from Field Measurements

山口大学大学院 創成科学研究科 (現, パシフィックコンサルタンツ (株)) ○竹田拓己

山口大学大学院 創成科学研究科 太田岳洋

関西大学 文学部 黒木貴一, 中電技術コンサルタント (株) 宮本新平

### 1. はじめに

表層崩壊は下流の堆積物を巻き込み土石流となり、より下流で甚大な被害を生じる<sup>(1)</sup>。さらに表層崩壊は、温暖化により21世紀末には現在より約20%増加すると予測されているため<sup>(2)</sup>、表層崩壊の対策にはその可能性のある斜面を評価、抽出する必要がある。

降雨とその土壌への浸透は表層崩壊の誘因として作用するが、地形や植生による浸透特性の相違は明らかになっていないため、気象庁の警報発表の基準に、植生や地形は考慮されていない。

崩壊発生を引き金となる雨水の山腹斜面表土層内での挙動は、地形条件・土質条件・植生条件等の様々な要因により影響を受け非常に複雑である<sup>(3)</sup>。表層崩壊の発生位置・時刻の予測には、雨水の浸透流出過程の観測とモデル化が不可欠である<sup>(4)</sup>。

本報告では、平成30年7月豪雨で多数の表層崩壊が発生した山口県岩国市で降雨に対する土壌水分量の応答を現地観測した。その結果に基づき、土壌条件と降雨浸透特性の関係をモデル化し、表層崩壊の発生場を考察した。

### 2. 調査の手順

#### 2-1. 調査位置

調査地は、白亜紀後期の広島花崗岩類が分布する<sup>(5)</sup>山口県岩国市周東町用田である(Fig.1)。本地域では、平成30年7月豪雨により表層崩壊が多発した。これらの崩壊については植生と斜面方位が崩壊率と明確な関係を示し、伐採地や幼齢林で崩壊率が高く、また北西向き斜面で崩壊率が高いことが指摘されている<sup>(6)</sup>。

本研究では、崩壊率の異なる4つの植生条件の箇所では気象観測装置と土壌水分計を設置し(Fig.1)、後述に記す調査、計測を行った。

#### 2-2. 研究手法

本研究では主に以下の2つの手法を用いた。

i) 降雨応答の現地計測と解釈

植生ごとの降雨量に対する土壌水分量(体積含水率, Volumetric Water Content: 以下VWC)の応答を現地で連続計測した。降雨量は DAVIS

Instruments 社製のウェザーステーション VantagePro2, 土壌水分量は ARP 社製の土壌センサーWD-5 (TDR法)を用いて計測した。各地点の3深度の計測結果より、降雨応答特性を解釈した。

ii) 土壌水分計の埋設土壌観察と土壌物理試験

土壌水分計を埋設した土壌層の観察をした。その後、乱れの少ない試料を採取し、土壌の間隙率と飽和透水試験、保水性試験を実施した。保水性試験は加圧板法で実施した。測定結果より不飽和透水係数を Van Genuchten-Mualem モデルより算出した。

また乱れた試料を用いて撥水性試験を実施した。土壌の撥水性強度は WDPT 法の WDPT(Water Drop Penetration Time)とエタノール水溶液法の EP(Ethanol Percentage)を指標値として用いた。WDPT から Dekker and Jungerius(1990)<sup>(7)</sup>に従い、撥水性強度を区分した。撥水性試験は土壌水分計の埋設土壌層で採取日に実施した。

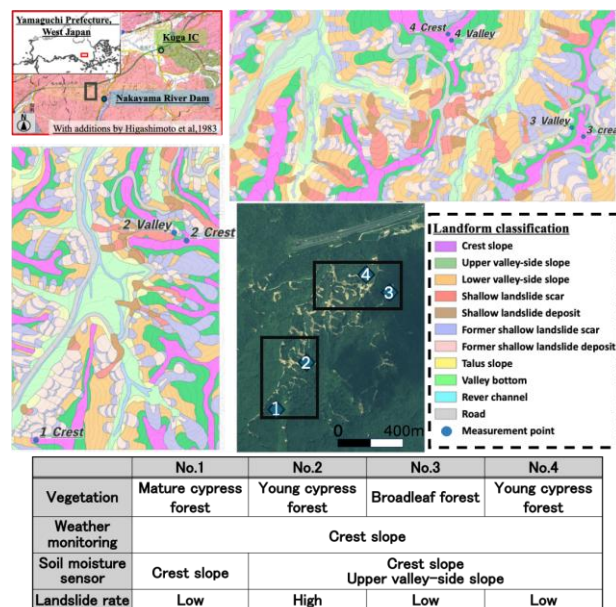


Fig.1 調査地の概要と計測機器設置場所

### 3. 結果

#### 3-1.VWCの計測結果

地点や土壌層ごとにVWCの降雨応答が異なる結果が得られた。降雨応答は次の3つのパターンに分けられる。

I)いずれの降雨に対しても、徐々に VWC が上昇し、上位層より応答する。No.1, 2, 3 頂稜と No.4 上部谷壁斜面が該当する。

II)いずれの降雨に対しても、急激に VWC が応答し、下位層より応答する。また飽和することも推定される。No.2 上部谷壁斜面と No.4 頂稜が該当する。

III)降雨により I と II の両方のパターンが観測される。No.3 上部谷壁斜面が該当する。

### 3-2. 土壌観察と土壌物理試験の計測結果

土壌水分計の埋設層では、選択的な浸透経路になりうる根系や根の腐朽痕は確認されなかった。No.3 地域では、厚さ 18~25cm の根系層(Biomat 層)が分布した。

飽和透水性試験より、いずれの埋設層でも飽和透水係数は  $1.0 \times 10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ cm/s}$  であった。

保水性試験より、いずれの埋設層でも孔隙のうち約 50%がマクロポアであることが示された。不飽和透水係数は pF 値の低下とともに急激に低下し、圃場容水量の時、 $5.0 \times 10^{-8} \text{ (cm/s)}$  未満であることが示された。Buckingham-Darcy 則より水フラックス  $q_w$  は  $0.54 \text{ (mm/h)}$  未満であることが示された。

撥水性試験より上位層では撥水性を示したが、中位、下位層ではほとんど撥水性を示さなかった。また極めて顕著な撥水性が No.3, 4 頂稜と No.2, 3 の上部谷壁斜面で認められた。

## 4. 考察

### 4-1. 降雨浸透特性のモデル化

前述の結果から 3 つの降雨浸透モデルが考えられる(Fig.2)。

- ① 湿潤前線の降下による遅い浸透モデル；降雨応答 I が該当する。湿潤前線の降下による浸透であり、徐々に浸透する。上層より順に応答すると考えられる。
- ② マクロポア流等の選択流による速い浸透モデル；降雨応答 II が該当する。極めて顕著な撥水性により、マクロポア流が発生し、速い浸透により急激な水分応答を示したと考えられる。
- ③ Biomat Flow により流出するモデル；降雨応答 III が該当する。根系層(Biomat layer)と土壌マトリックスの境界部が選択的な流出経路として機能すること<sup>(8)</sup>や根系層中を流れる地表流(根系流；Biomat Flow)の存在が確認されている<sup>(9)</sup>。Biomat 層は撥水性を強化するが<sup>(10)</sup>、②のような急速な浸透は必ずしも示さない。

### 4-2. 表層崩壊の発生場の考察

崩壊地の近傍の No.2 上部谷壁斜面での計測結果は、降雨浸透モデルの②に該当する。このモデ

ルでは選択流により多量の雨水が速く浸透することが推定され、通常の降雨イベントでも中位層で飽和が推定された。土壌の浅層で飽和した場合、側方流の発生や間隙空気圧の上昇によるエアブローが発生し、斜面が不安定化する。このような特徴的な降雨浸透特性が崩壊発生の一因として作用した可能性が考えられる。

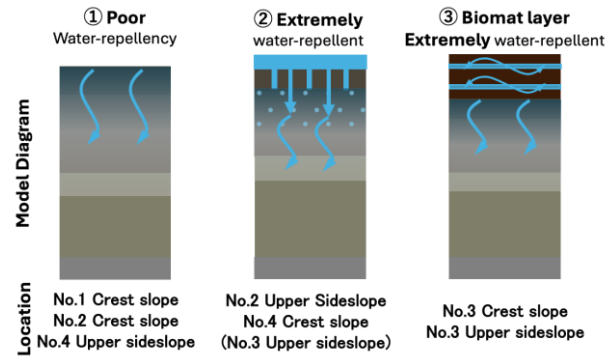


Fig.2 現地計測から推定される降雨浸透モデル

## 5. まとめ

本研究では、現地観測と土壌試験の結果から、土壌の撥水性により VWC 応答に差が生じることを示し、3つの浸透モデルを考察した。そのうち崩壊地近傍の観測地点では、飽和の発生も推定される急激な降雨応答を示し、このような特徴的な降雨浸透特性が崩壊の発生要因として寄与する可能性が考えられる。

**謝辞：** 本研究は令和 6 年度砂防学会若手研究助成(代表；竹田拓己)、日本国土開発未来研究財団 2021 年度学術研究助成 (K-04-017、研究代表者：太田岳洋)、NEXCO 東日本令和 6 年度技術研究助成 (第 53 号-17、研究代表者：太田岳洋)の一部を用いて研究を実施した。ここに感謝の意を示す。

**引用文献** (1)国土交通省近畿地方整備局(2013):2011年紀伊半島大水害国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録。(2)環境省(2020):気候変動影響評価報告書。(3)平松ほか(1990):砂防学会誌, 43, 5-15。(4)小杉(2005):土壌の物理性, 100, 15-26。(5)東元ほか(1983):地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)一岩国地域の地質一, 地質調査所。(6)松尾・太田(2020):GIS解析による斜面災害への地生態学的アプローチ, 日本応用地質学会令和2年度研究発表会発表論文集。(7)Dekker and Jungerius (1990)Catena Suppl. 18, 173-183。(8)Noguchi et al:(1997):Journal of Forest Research, 2, 155-120。(9)Sidle et al (2007):Hydrological Processes, 21, 3237-3247。(10)Moein et al (2023):Forests, 14, 210-222。