

# 深層崩壊に対する山脚固定の斜面安定効果の定量化手法に関する検討

国土技術政策総合研究所 桜井亘 内田太郎 松本直樹 鈴木清敬  
アジア航測株式会社 ○吉野弘祐 高山陶子 太井正史 船越和也

## 1 はじめに

国土技術政策総合研究所では、深層崩壊対策技術に関する検討を進め、深層崩壊に対する事前対策の考え方を「深層崩壊対策技術に関する基本的事項<sup>1)</sup>」として取りまとめた。その中で、砂防堰堤による山脚固定効果としては、深層崩壊の「発生規模」を低減させる効果と、「発生頻度」を低減させる効果の2つが期待されるものの、定量的な効果評価手法がないため、十分に計画に反映できていないのが現状である。本検討では、過去の深層崩壊の発生場や規模に関する精査を行うとともに、斜面安定解析に基づく検討を行うことにより、深層崩壊に対する砂防堰堤による山脚固定効果の定量化手法を検討した。

## 2 検討方法

### 2.1. 実績に基づく検討

山脚固定による崩壊規模の違いを検討することを目的に、明治22年十津川水害、平成23年紀伊半島大水害により発生した深層崩壊(以下それぞれ M22 崩壊地、H23 崩壊地と記載する)を対象として、深層崩壊規模や場所の実態調査を行った。ここでは、平成23年には明治22年と比べて、河床がダム建設等により上昇していたと考えられるため、崩壊発生箇所の隣接する河床の河床位の変化と崩壊規模の関係を整理した。

### 2.2. 斜面安定解析に基づく検討

#### 2.2.1. モデルの概要

検討に当たり、以下に仮定を整理した(図1参照)。

- ①**地下構造:** 斜面の地下構造は以下の2ケースを想定した。
  - A 斜面の強度が不均質で、異方性がある場合(すべり面となる弱層が互いに平行に存在する場合)(以下、手法A)
  - B 斜面の強度が一樣で、等方性がある場合(以下、手法B)
- ②**崩壊形状:** 崩壊形状は、十津川流域の崩壊実績を踏まえ、くさび形の形状を想定し、斜面の下端にすべり面の下端が来る形状を想定した。
- ③**水理構造・地下水分布:** 斜面内部に不透水面を想定し、この不透水面に平行に地下水面が上下するものとした。
- ④**山脚固定効果の表現:** ②の仮定に従い、山脚固定された上端面(斜面の下端)にすべり面の下端が来る形状を想定した。
 

上記の仮定に従い、くさび形の土塊・岩塊を1つの塊として斜面安定解析を行った。すなわち、斜面形状(勾配、高さ)、すべり面勾配、地下水面の勾配(=不透水面の勾配)、土質強度に関する定数、密度が決まれば、任意の地下水位での安全率が算出可能となる。そこで、斜面勾配、地下水面の勾配、土質強度に関する定数、密度が山脚固定の有無により変化しないと仮定すると、山脚固定が有ることにより安全率が1を切る地下水位の条件や、その時の崩壊規模が算出可能となる。なお、安全率の算出は既往研究<sup>2)</sup>に従った。

ここで、手法Aの条件の場合、すべり面の勾配は変化しないと仮定し、斜面下端を通るとしたすべり面を有する土塊・岩塊の安全率が1を切る場合に深層崩壊が発生すると仮定した。一方、手法Bの場合、すべり面の勾配が変化し、ある地下水位の条件で安全率が最小となるすべり面勾配( $\beta_2$ )を有する土塊・岩塊

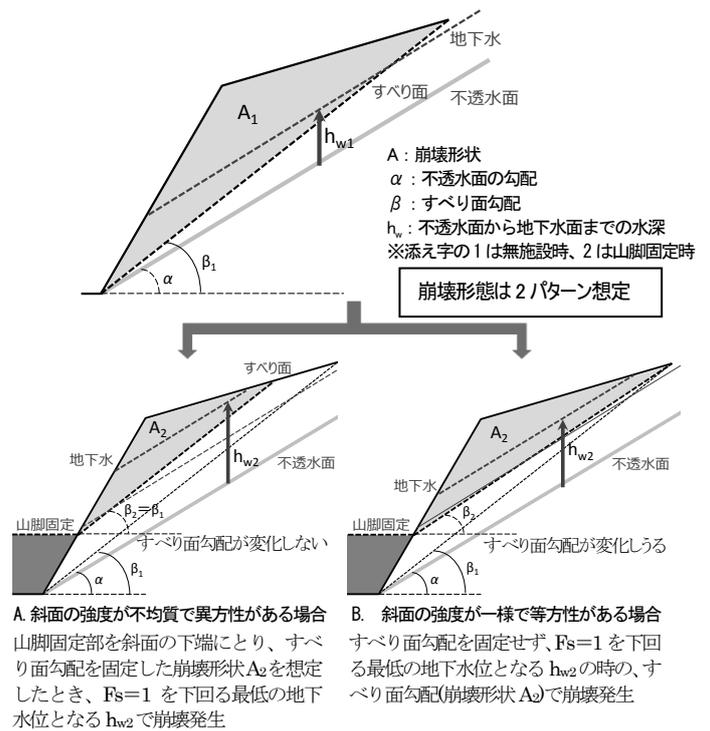


図1 山脚固定による斜面安定効果のイメージ

(面積の差  $A_1 - A_2$  を発生規模低減効果、不透水面から地下水面までの水深の差  $h_{w2} - h_{w1}$  を発生頻度低減効果とする)

の安全率が、1を切る場合に深層崩壊が発生すると仮定した。なお、安全率が最小となるすべり面勾配は、すべり面勾配を変化させて検索した。その上で、山脚固定の有無による崩壊規模の違い、安全率が1を切る条件が出現する最小の地下水位( $h_w$ )の違いを算出した。

#### 2.2.2. 条件設定

斜面の諸元は、十津川流域の事例の平均的な値から、遷急線下部は比高120m 斜面勾配40°、上部の比高及び斜面長は、斜面勾配25°としてすべり面勾配 $\beta$ に応じた値を設定した。なお、不透水面勾配 $\alpha$ は10°~40°、 $\beta$ は25°~40°を想定した。また土質強度に関する定数は、十津川流域の事例の平均的な値から、 $c=40\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=35^\circ$ 、 $\gamma_t=20\text{kN/m}^3$ を設定した。

## 3 検討結果

### 3.1. 実績に基づく検討結果

崩壊地の高さの、斜面の高さに対する割合(図2の②/①)を算出した。図2の破線の囲いはM22河床と比較して河床上昇が確認される崩壊地であり、河床上昇により、崩壊地の高さの斜面の高さに対する割合が小さくなっていることが確認された。

また、図3に示す斜面(坪内崩壊地)が接する現況河床高は、M22災害前よりも15m程度高いことが推定されている。一方、M22災害前の河床面を下端として、実績崩壊面(破線)と同勾配で設定したすべり面(一点破線)と、斜面(実線)とが交わる点がクラックiとなっている。すなわち、図3に示すクラックiが、M22災害前の河床を想定した時のすべり面(一点破線)に沿ってひずみを受けた結果生じたものであると仮定すると、地下水

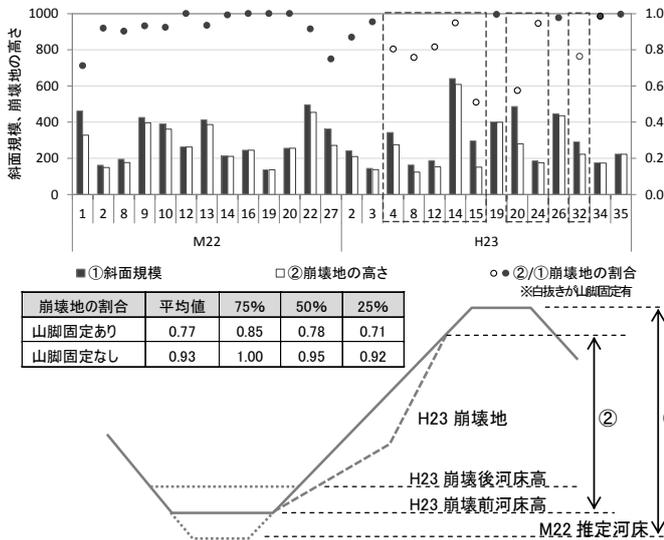


図 2 崩壊地の割合

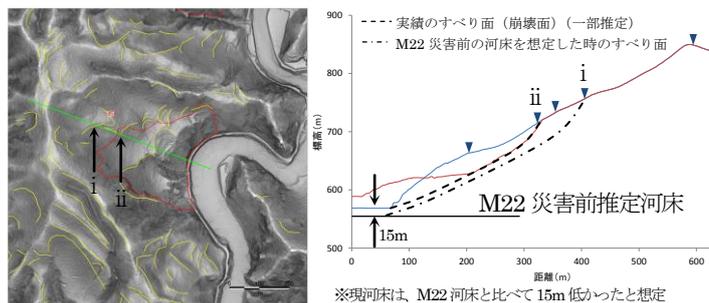


図 3 すべり面とクラックとの関係(坪内崩壊地の例)

位上昇により一点破線をすべり面とした崩壊が発生していた可能性があり、地下構造は図 1 の A に近いことが想定される。すなわち、十津川流域において実際に山脚固定が確認できる斜面で

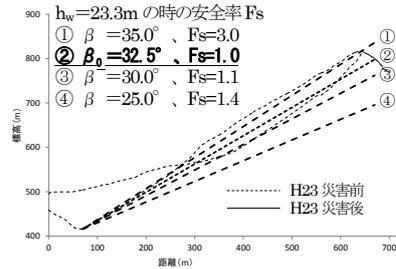


図 4  $\beta$  の違いによる安全率  $F_s$

概算の効果(規模の低減)を確認したところ、山脚固定により発生規模の低減に一定の効果があることが確認された。

### 3.2. 斜面安定解析に基づく検討結果

#### 3.2.1. すべり面形状の再現性の検証

十津川流域における深層崩壊に 2 章で示した手法を適用し、手法 B によりすべり面(崩壊面)を表現できるかを確認した。最低の地下水位で安全率が 1 となるときのすべり面勾配( $\beta_0$ )を算出し、実際のすべり面と比較した(図 4)。また、図には地下水位を固定して、すべり面勾配  $\beta$  を変化させた時の  $F_s$  も併せて示した。図より、 $\beta_0$  の時が、滑落崖下部の崩壊面形状を最もよく整合していることがわかる。以上の通り、十津川流域で発生した深層崩壊の形状を概ね表現できていることが確認された。

#### 3.2.2. 解析結果

前述した手法 A、B それぞれについて、不透水面勾配  $\alpha$  とすべり面勾配  $\beta$  を複数変えて、崩壊規模、及び安全率  $F_s$  が 1 を下回る最低の地下水の関係を整理した。

山脚固定 20m の時の崩壊規模と発生規模低減効果の関係を図 5 に示す。手法 A は、山脚固定の有無によらず、すべり面

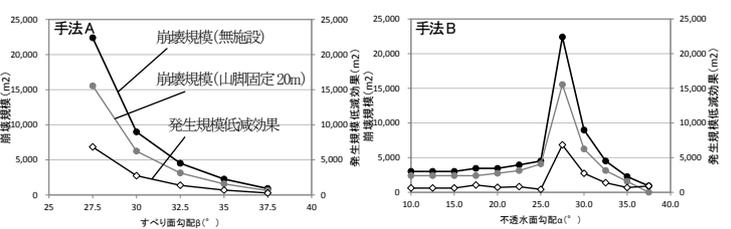


図 5 崩壊規模と発生規模低減効果

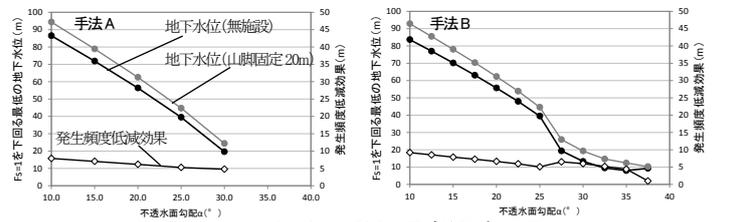


図 6 地下水位と発生頻度低減効果

勾配  $\beta$  を一定としているため、崩壊形状は不透水面勾配  $\alpha$  によらず  $\beta$  のみによって決定される。一方手法 B は、不透水面からの地下水位上昇により、弱面となる  $\beta$  が決定されるため、崩壊形状は地下水位の傾き、すなわち不透水面勾配  $\alpha$  の影響を受ける。手法 A はすべり面勾配が大きいほど崩壊規模と発生規模低減効果が小さくなる傾向がある。一方で、手法 B は、 $25^\circ \sim 25.7^\circ$  にかけて崩壊規模が急激に大きくなるが、 $25^\circ$  は想定したくさび形崩壊形状の遷急線上部の勾配であり、地形条件の影響もうけていると考えられる。山脚固定 20m の時の  $F_s=1$  を下回る最低の地下水位と発生頻度低減効果の関係を図 6 に示す。 $F_s=1$  を下回る最低の地下水位は、手法 B では、すべり面勾配  $\beta$  の上昇に対して  $\alpha = 25^\circ \sim 27.5^\circ$  にかけて急激に低下する傾向となるが、手法 A では対して連続的に低下する。 $25^\circ$  は想定したくさび形崩壊形状の遷急線上部の勾配であり、手法 B の傾向については地形条件の影響もうけていると考えられる。

上記のとおり、簡便な数値計算により山脚固定の効果の評価した結果、地形や土質パラメータ等の影響を受けるものの、山脚固定による発生規模・頻度の低減効果を定量的に評価できる可能性が確認された。

## 4 おわりに

深層崩壊の発生の抑制に一定の効果が期待されるものの、その効果を十分に確認されていなかった山脚固定の効果について、実際の深層崩壊事例を整理することにより確認することができた。さらに、山脚固定による斜面安定効果の定量的な評価について、一定の精度を確保した解析が可能であることが検証された。一方で、「発生頻度低減効果」については、その効果が期待できることが示されたものの、崩壊発生時の地下水位を連続的に観測した事例がないなど、検証に一部課題も残されている。今後さらなるデータの蓄積が望まれる。

最後に、検討にあたって国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所には航空レーザ計測データ及び地下水位観測データを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 深層崩壊対策技術に関する基本的事項：国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室，国土技術政策総合研究所資料，No.807, pp.40,2014.
- 2) 豪雨による深層崩壊発生メカニズムに関する考察：田村ら，平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.380-381,2009.