

崩壊の拡大を考慮した場の条件設定と崩壊生産土砂量推定法

国土技術政策総合研究所 砂防研究室 ○吉田 拓海 田中 健貴 山越 隆雄
株式会社オリエンタルコンサルタンツ 秋山 怜子 矢渡 岳 井口 慧 石田 美津希

1. まえがき

土砂・洪水氾濫対策における、河床変動計算の実施と砂防施設配置の検討のためには、斜面崩壊や土石流による生産土砂量を確からしい方法で推定・予測する必要がある。崩壊生産土砂量の算出は、これまで過去の崩壊実績と降雨量との関係を用いた経験的な手法（打萩式，1971）が用いられることが多かった。一方で、過去の崩壊実績が十分でない場合には適用できないことや、指数関数的な関係式から求まる崩壊生産土砂量は、気候変動を考慮した降雨に対して過剰に、通常の雨に対しては過小に評価してしまうといった課題があった。近年、表層崩壊の崩壊生産土砂量および発生場を推定・予測する手法として、内田ら（2009）の H-SLIDER 法をはじめとする斜面安定解析を用いた危険度評価手法が提案されているが、崩壊生産土砂量が過剰となることが多く、高い再現性を得るためには十分に現地調査を行う必要があった。一方で、王ら（2000）によると、砂質斜面では地下水位の上昇によって最初の崩壊（以下、初期崩壊）が発生した後、上流側へ崩壊前線が後退し崩壊範囲が拡大する複合的崩壊が引き起こされるとある（図-1）。この複合的崩壊を考慮すると、差分解析による実績崩壊深 Df_1 は、土層厚の入力条件として過剰な可能性が高く、妥当な値として初期崩壊深 Df_0 の算出が求められる。本検討では、入力する条件のうち、崩壊生産土砂量算出への影響度が高い「崩壊しうる土層厚」について、崩壊実績や複合的崩壊の考え方に基づいた斜面勾配との関係分析を行い、崩壊生産土砂量および崩壊発生場の再現性を向上させる手法の提案を目的とした。

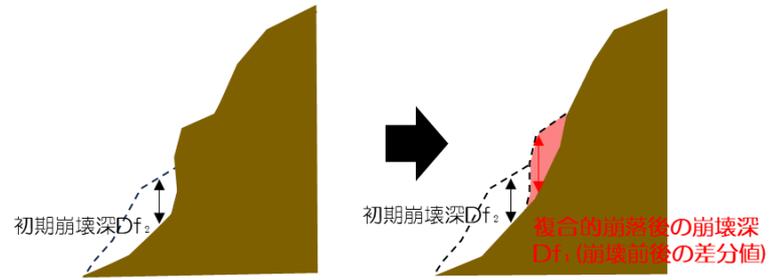


図-1 複合的崩壊の考え方

2. 研究対象

平成 30 年 7 月豪雨により土砂災害が発生した、矢口川流域：約 4 km²，府中大川流域：約 11 km²，御衣尾川流域：約 4 km²，畑賀川流域：約 12 km²（広島県広島市および府中町）の 4 流域を対象とした。

崩壊箇所数は崩壊地判読の結果より 230 個、崩壊生産土砂量は崩壊発生前後の LP データの差分解析より崩壊地ごとに算出した（表-1）。基盤岩は主に広島花崗岩類からなり、黒雲母花崗岩、黒雲母花崗閃緑岩が広く分布する。

対象災害である平成 30 年 7 月豪雨では、広島県内で 471 件の土砂災害が発生した。7 月 5 日から本州付近に停滞する梅雨前線の活動が活発化し、西日本を中心に記録的な大雨となった。特に長時間の降雨量について多くの観測地点で観測史上 1 位を更新し、調査地近傍である広島県呉市の野呂川ダム雨量観測所では、7 月 3 日から 8 日までの 144 時間の累積雨量が 676 mm を観測した。

表-1 崩壊生産土砂量の整理（流域別）

	崩壊箇所数	流域面積 (km ²)	崩壊面積 (m ²)	崩壊生産土砂量 (m ³)	崩壊面積率
矢口川	52	3.976	21,068	31,712	0.53%
府中大川	61	5.467	25,529	37,478	0.47%
御衣尾川	31	11.000	11,104	20,317	0.10%
畑賀川	86	11.634	26,017	32,833	0.22%
合計	230	32.076	83,718	122,340	0.26%

3. 解析条件の設定

土層厚のみを空間分布で与え、その他の場の条件は一律にした。計算に使用するパラメータは、既存の土質試験結果や崩壊実績を採用した。本研究では、秋山ら（2015）に示される「idH-SLIDER 法」を用いた。H-SLIDER と同様の無限長斜面安定式による計算モデルである。地下水位は、Rosso et al（2006）の地下水深を、降雨時間刻みで初期水深を更新して計算した。式①の時刻 T における安全率 $F_s(T) = 1.0$ を下回ると崩壊発生条件となるが、その時の地下水深 $h(T)$ を式②に代入すると、その時の限界降雨強度 $r_s(T)$ が求まる。本検討では、累積雨量と降雨継続時間の関係から降雨強度を 4.7 mm/h とし、降雨継続時間 $0 \leq t_s \leq 144$ の間に $r_s(T)$ が実績の雨量強度 4.7 mm/h を下回る場合に「崩壊発生」と判定した。

$$F_s(T) = \frac{c + \left\{ \frac{G_s + eS_r}{1+e} \gamma_w D - \frac{1+eS_r}{1+e} \gamma_w h(T) \right\} \cos^2 I \tan \phi}{\left\{ \frac{G_s + eS_r}{1+e} \gamma_w D + \frac{e-eS_r}{1+e} \gamma_w h(T) \right\} \cos I \sin I} \dots \text{式①}$$

$$h(T) = \frac{ar_s(T)}{K \sin I} \left[1 - \exp\left(-\frac{1+e}{e-eS_r} \frac{K \sin I}{a} t_s \right) \right] + h_0 \exp\left(-\frac{1+e}{e-eS_r} \frac{K \sin I}{a} t_s \right) \dots \text{式②}$$

ここで、 c ：土の粘着力、 γ_d ：土層全体の単位体積重量、 γ_w ：水の単位体積重量、 D ：土層厚、 I ：斜面勾配、 ϕ ：内部摩擦角、 α ：単位幅あたりの集水面積、 K ：飽和透水係数、 e ：間隙比 S_r ：飽和度、 t_s ：継続時間、 h_0 ：計算初期の地下水深

斜面勾配は、平成 21 年の航空レーザー測量から作成した 10mDEM（最大勾配・平均勾配の 2 種類）を用いた。

崩壊しうる土層の厚さは、簡易貫入試験のNd値を用いて設定することが多いが、広域な研究対象域の土層厚を網羅することは難しいため、斜面勾配と結び付けて空間分布として与える。本検討では、複合的崩壊の考え方を踏まえて、差分解析による崩壊深Dfiに補正を加え初期崩壊深Dfiを崩壊しうる土層厚として設定した。

初期崩壊深 Dfi

= 差分解析による崩壊深 $Dfi \times \alpha$

ただし、補正値 α は $0 < \alpha < 1$ とする。補正値 α は、粘着力を地形および土層厚から逆推定する手法と同様に、現地踏査の結果岩盤崩落であった1箇所を除くすべての崩壊実績が不飽和時に安全率1以下にならないよう逆推定法で求めた(ケース1-1, 2-1)。このとき、粘着力を土質試験値 4.2kN/m^2 とした。また、複合的崩壊を考慮せず崩壊実績に基づき粘着力を逆推定した場合を比較対象とした(ケース1-2, 2-2)。

「勾配」、「土層厚」、「粘着力」の関係分析より4ケースを考案し、土層厚と勾配の関係式を設定した。表層崩壊が発生しないとされる 15° 以下の斜面については本解析対象外とした。実績崩壊地の一部分に崩壊判定のメッシュが一つでも入っていれば捕捉したとみなした。

4. 解析結果

解析結果より崩壊生産土砂量と崩壊地捕捉率を求めた。最大勾配を用いたケース1-1, 2-2は、崩壊地の捕捉率が極めて低い結果となった。また、複合的崩壊を考慮した場合(ケース1-1, 2-1)は、それぞれ粘着力の逆推定を行った場合(ケース1-2, 2-2)よりも崩壊発生位置の捕捉率は高いものの崩壊生産土砂量の実績との誤差は大きい結果となった。府中大川の結果は、解析で与えた雨量が実績降雨より多かったことによる大幅な乖離であると推測する(図-2)。

続いて、各流域を3次谷以上の小流域に分割し、小流域ごとの崩壊面積率の比較を行った。粘着力を大きく増加させたケース1-2は実績に近いオーダーを示したが、崩壊地の捕捉率は極めて小さい。一方で、複合的崩壊を考慮した場合(ケース1-1, 2-1)では少なからず崩壊面積率が実績に近づいた(図-3)。

5. 結論

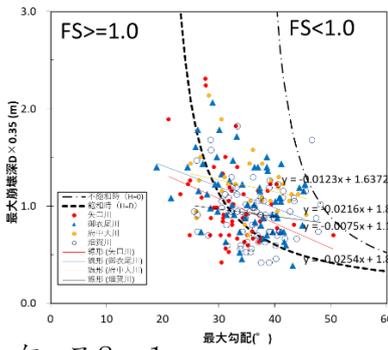
本研究では、崩壊しうる土層厚について複合的崩壊を考慮した補正を行った。結果として、平均勾配に基づくパラメータ設定(ケース2-1, 2-2)により、崩壊地の捕捉率は30%以上、崩壊生産土砂量は実績の10倍程度まで再現することができた。今回は、簡易貫入試験等により測定が可能である土層厚のみ空間分布を与えたが、実績との誤差はまだ大きい。粘着力を逆推定する方法と複合的崩壊の考え方を併用して崩壊しうる土層厚を逆推定する方法をうまく組み合わせることで、崩壊生産土砂量だけでなく崩壊発生場の再現性が期待される結果が得られると考えられる。

<参考文献>

- 1) 打萩珠男, ひと雨による山腹崩壊について, 1971
- 2) 内田太郎ほか, 表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価マニュアル, 土木研究所資料, 第4129号, 2009
- 3) 王功輝ほか, 降雨による砂質斜面崩壊発生時の過剰感水圧と崩土の運動に関する水路実験研究 地すべり, 第37巻, 第2号, 2000
- 4) 秋山怜子ほか, 簡易な水文モデルを用いた崩壊発生時刻予測手法, 砂防学会誌 Vol.68, 2015

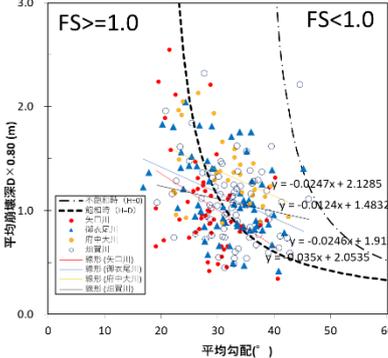
ケース1-1

最大勾配, 最大崩壊深 ($\alpha=0.35$)
粘着力(土質試験値 4.2kN/m^2)



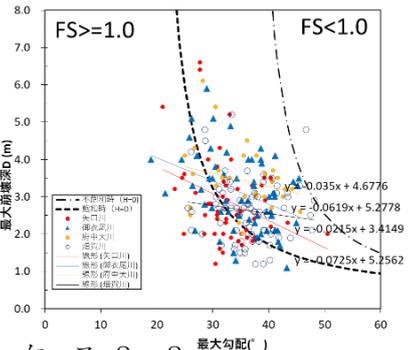
ケース2-1

平均勾配, 平均崩壊深 ($\alpha=0.8$)
粘着力(土質試験値 4.2kN/m^2)



ケース1-2

最大勾配, 最大崩壊深 ($\alpha=1.0$)
粘着力(逆推定値 12.0kN/m^2)



ケース2-2

平均勾配, 平均崩壊深 ($\alpha=1.0$)
粘着力(逆推定値 5.4kN/m^2)

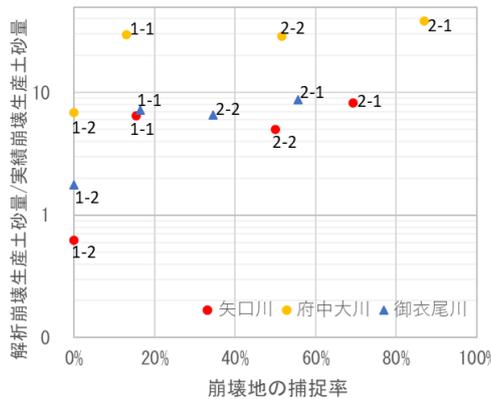
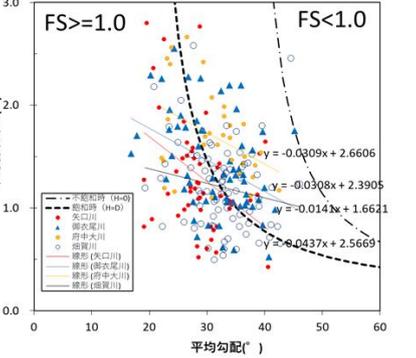


図-2 流域およびケース別の崩壊生産土砂量と崩壊地捕捉率の傾向

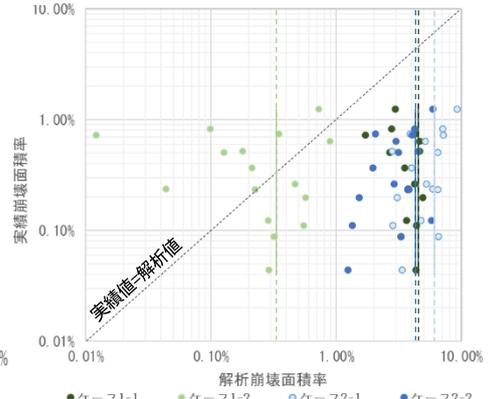


図-3 ケース別崩壊面積率の比較(解析値・実績値)