

データの蓄積が少ない地域における土砂災害の被害想定手法の検討 ～スリランカ国アラナヤケ災害の再現計算事例～

鈴木清敬・松本直樹・内田太郎・岡本 敦・判田乾一・中谷加奈

1. はじめに

1.1 研究目的

近年、土砂災害の被害を想定する際の効果的なツールとして、様々な数値計算モデルが研究・開発されてきている。しかし、数値計算モデルを活用するには、様々な入力条件が必要であり、過去の災害と計算結果の比較検証を行うなどし、地域に適した入力条件を経験的に決定する必要がある場合がある。しかし、過去の災害等に関するデータが蓄積されていない場合は経験的に入力条件を設定することは困難である。そこで、本研究では、過去の災害等に関するデータの蓄積が十分でない地域における数値計算による被害想定手法について考察した。

1.2 研究の背景

本研究で対象としたスリランカ（以下「ス国」という。）では土砂災害及び洪水が頻発し多くの被害が生じている。このため、JICAによる「土砂災害対策強化プロジェクト」が実施され、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）においてもス国の土砂災害防止に協力してきた。さらに、国総研はNational Building Research Organization（国家建築研究所（以下「NBRO」という。))との間で土砂災害対策に関する研究協力覚書を2018年1月に締結した¹⁾。

NBROでは、これまで斜面崩壊の危険度を評価し、Landslide Hazard Zonation Map（以下「LHZM」という。）を作成・公表してきている²⁾。しかし、LHZMには斜面崩壊危険箇所は示されているが、崩壊土砂の影響範囲は示されていない。また、ス国の土地利用の特徴として、斜面上に多くの人家があることがあげられる。このため、LHZMで示された斜面崩壊の危険性が高いとされた範囲で崩壊が発生した場合の流下・氾濫・堆積範囲を精度よく予測し、LHZMをより有効に活用

することが重要である。

そこで、本研究では、特にス国に数多くある斜面崩壊危険箇所において、過去の災害に関する情報や、現地調査等により十分な情報が得られない可能性を考慮し、崩壊危険箇所及び地形データのみに限られた情報を用いて、土砂災害被害をどの程度まで予測できるかを検討した。

2. 検討方法

2016年5月17日に、熱帯低気圧による豪雨により、ケゴール県アラナヤケにて大規模な斜面崩壊が発生し、崩壊土砂の流下により大きな災害となった。この災害により死者31名、行方不明者数96名の甚大な被害が発生した³⁾（図-1）。本研究では同災害を対象に土石流シミュレータ「HyperKANAKO⁴⁾」による再現計算を実施した。なお、地形モデルはLiDAR測量データ（災害発生前の2015年12月計測）を用いて作成した。

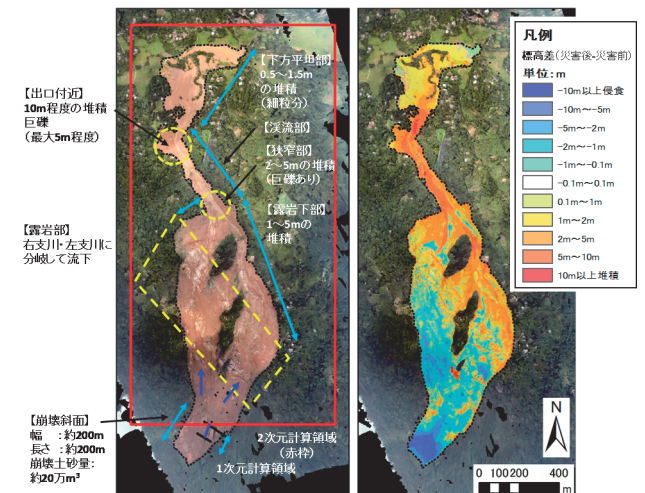


図-1 アラナヤケ災害状況図

左図：災害直後の空撮画像、
右図：災害前のLiDAR標高値から災害後のヘリ撮影画像から地形解析したDSM標高値を差し引いた標高差分図

2.1 再現計算時の入力条件の設定手法

再現計算を行うにあたり、崩壊位置及び地形データ以外の情報が十分に得られない状況を想定し、各種の入力条件をどのように設定すべきか、また入力条件の違いが計算結果にどのような影響を及ぼすかを検討した。具体的には、①細粒分の

Study on an Assessing Method for Sediment Disaster Damage in Areas with Insufficient Data ~ Numerical Simulation of a Large-Scale Landslide in Aranayake, Sri Lanka ~

割合（間隙流体密度及び土砂濃度）、②崩壊土砂量、③ハイドログラフ、④粒度分布（代表粒径）の影響について検討した（表-1）。

2.1.1 細粒分の割合（間隙流体密度と土砂濃度）

土石流中の細粒土砂は間隙水と一体となって間隙流体を構成すると考えられ、間隙流体を構成する細粒土砂の割合が計算結果に大きな影響を及ぼすことが示されてきた⁵⁾（図-2）。しかし、間隙流体を構成する細粒土砂の割合については十分な情報があるとは言いがたく、既往災害の再現計算等により設定される場合が多い。そこで、本研究では間隙流体を構成する細粒分の割合の影響を評価するために、細粒分の割合を0%、20%、30%に変化させ、計算結果を検証した。

2.1.2 崩壊土砂量

崩壊土砂量は土砂の流下・堆積範囲に大きな影響を及ぼすが、斜面崩壊発生前に崩壊土砂量を精度よく予測することは難しい。そこで、本研究では、判田ら（2017）により実測された20万m³を基本とし、土砂量を1/2倍、2倍に変化させ、計算を実施し、崩壊土砂量の予測精度が計算結果に及ぼす影響を検討した。

2.1.3 ハイドログラフ（継続時間とピーク流量）

ハイドログラフ（水・土砂の供給状況）は計算結果に影響を及ぼすパラメータであると考えられる。崩壊現象が一気に発生・進行し多量の崩壊土砂が同時期に発生・移動過程で水供給を受けて流下していった場合と、崩壊現象が徐々に進行し崩壊土砂はある程度のタイムラグをもって流下していった場合とでは、土砂の流下・堆積範囲が異なる可能性が考えられる。そこで、本研究では土木研究所資料第4240号⁶⁾に基づき、継続時間の1/2でピーク流量となる二等辺三角形形状を仮定し、与える土砂量は一定のもとで継続時間とピーク流量を変化させ、影響を分析した（図-3）。

2.1.4 代表粒径の設定

崩壊土砂の粒径に関する情報は現地調査等により設定されうるが、調査にかかるコスト等の問題から事前に十分な情報が得られない可能性が考えられる。そこで、本研究では、代表粒径を23.7cm、2.37cm、0.237cmに変化させ、計算を実施し、影響を分析した。

2.1.5 その他の入力条件

その他の入力条件は表-2のとおりである。1次

元計算領域は崩壊斜面部とし実績の崩壊幅200mを1次元計算領域の川幅として設定した。2次元計算領域は崩壊斜面直下の不明瞭な谷形状を呈する地点から下流側に矩形で設定し、2次元計算領域の不安定土層厚は5mとした（図-1）。

表-1 再現計算にて変化させた入力条件

case	細粒分の割合 (%)	間隙流体密度 (kg/m ³)	土砂濃度	ハイドログラフの継続時間 (s)	ピーク流量 (m ³ /s)	土砂量 (m ³)	代表粒径 (m)	比較検討ケース
01	30	1,625	0.469	8	58,000	232,000	0.237	基本
02	0	1,000	0.585	8	58,000	232,000	0.237	①細粒分
03	20	1,477	0.536	8	58,000	232,000	0.237	①細粒分
04	30	1,625	0.469	8	29,000	116,000	0.237	②土砂量
05	30	1,625	0.469	8	116,000	464,000	0.237	②土砂量
06	30	1,625	0.469	80	5,800	232,000	0.237	③ハイドログラフ
07	30	1,625	0.469	300	1,547	232,000	0.237	③ハイドログラフ
08	30	1,625	0.469	8	58,000	232,000	0.0237	④粒径
09	30	1,625	0.469	8	58,000	232,000	0.00237	④粒径

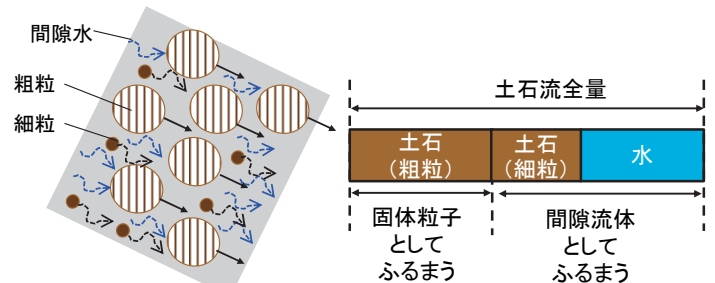


図-2 間隙流体の考え方

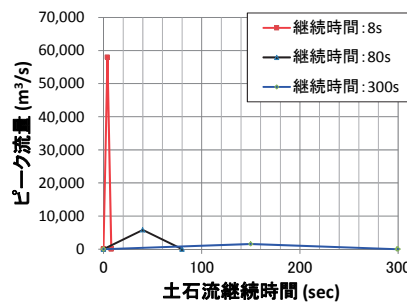


図-3 ハイドログラフの設定

表-2 固定した入力条件

項目	単位	値
計算時間	sec	1440
計算刻み時間	sec	0.005
砂礫の密度	kg/m ³	2,650
重力加速度	m/s ²	9.8
水深の最小値	m	0.01
河床の容積濃度	—	0.65
マニング粗度係数	—	0.1
侵食速度係数	—	0.0007
堆積速度係数	—	0.05
砂の内部摩擦角	deg	35
不安定土層厚	m	5
1次元計算点間隔	m	5
2次元計算メッシュサイズ	m	10

2.1.6 計算結果の定量的評価

計算結果を定量的に評価するため、堆積傾向が顕著となる露岩下部より下流側を図-4に示すように区分し、各領域の計算結果の最終堆積量を算出し、実測値と比較した。なお、積算にあたっては最終堆積深が0.1m以上となるメッシュを対象とした。

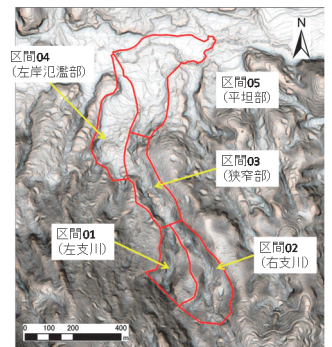


図-4 最終堆積土砂量の算出エリア区分

3. 研究結果

3.1 災害実績との比較

図-5に計算最終時間の堆積深の計算結果を示す。いずれの計算結果においても、露岩部における右左支川への分岐した流下現象は表現できている。また、図-6に露岩下部より下流側の区間における再現計算結果の最終の堆積土砂量を示す。図-6において堆積土砂量が供給土砂量より大きくなっていくCaseは、土石流が河床等を侵食しているためであり、逆に堆積土砂量が供給土砂量より小さくなっていくCaseは、露岩下部より上流側の斜面内に崩壊土砂が堆積しているためである。

図-5及び図-6より、災害実績（測量成果差分解析）と感度分析結果を比較すると、Case01が流下範囲の広がり方、堆積範囲の広がり方、堆積土砂量の点で災害実績を概ねよく再現する結果となった。ただし、露岩下部直下の区間01及び区間02の堆積土砂量はCase01よりもCase03の方が災害実績をよく再現している。

3.2 感度分析結果

3.2.1 細粒分の割合（間隙流体密度と土砂濃度）の影響

間隙流体を構成する細粒分の割合を0%としたCase02では、土砂は斜面中に堆積し下流に到達する土砂は極めて少ない。一方、細粒分の割合を20%としたCase03、及び細粒分の割合を30%としたCase01では露岩下部より下流側に多くの土砂が堆積する結果となった。

また、露岩下部より下流側に堆積した土砂量はCase02ではCase01の2割程度と小さく、Case03ではCase01の6割程度であった。

3.2.2 土砂量の影響

供給土砂量を変化させたCase01、04、05を比較すると、土砂量が大きくなるにつれて流下・堆積範囲や堆積深が大きくなっていることがわかる。

また、露岩下部に堆積した土砂量をみると、崩壊土砂量を1/2倍に設定したCase04ではCase01の約半分であり、崩壊土砂量を2倍に設定したCase05ではCase01の約2倍であり、設定した土砂量に応じて堆積土砂量が変化していた。

3.2.3 ハイδροグラフ（継続時間とピーク流量）

土砂供給の継続時間とピーク流量をそれぞれ10倍、1/10倍としたCase06、37倍、1/37倍としたCase07をCase01と比較すると、流下範囲に影響はあるが、露岩下部より下流側の堆積土砂量・

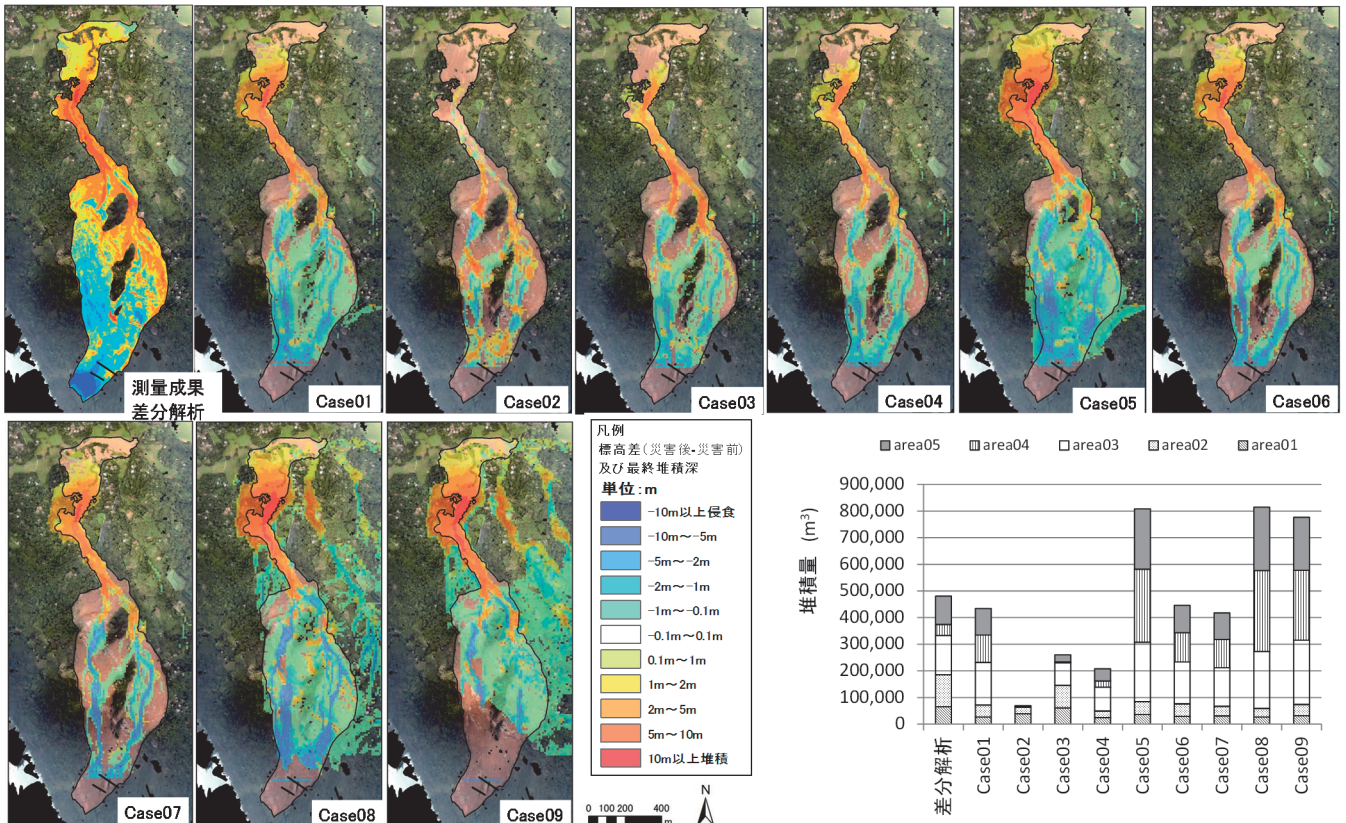


図-5 再現計算結果

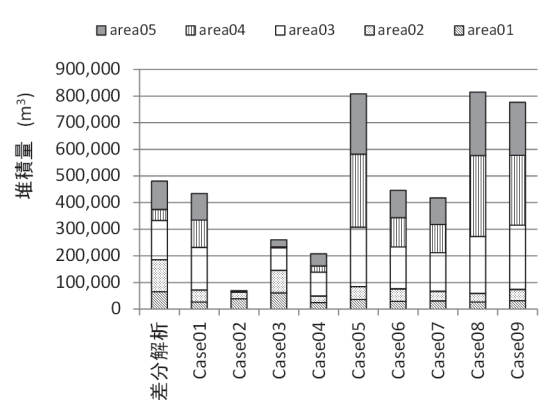


図-6 最終の堆積土砂量

堆積範囲については大きな違いはみられないことがわかる。

3.2.4 粒度分布（代表粒径）

代表粒径を1/10倍にしたCase08、代表粒径を1/100倍にしたCase09を比較すると、代表粒径が小さくなるに従い、流下・堆積範囲が大きくなっており、代表粒径が計算結果に大きな影響を及ぼしていることがわかる。

また、露岩下部より下流側に堆積した土砂量は、Case08、Case09ともにCase01の2倍程度となっており計算結果に大きな影響を及ぼしていることがわかる。

4. まとめ

本研究では、ス国に数多くある斜面崩壊の危険箇所において、LHZMを有効活用しつつ、土砂災害被害を把握するために、土石流シミュレータHyperKANAKOを用いた検討を行った。その結果、災害実績等に関するデータ蓄積が少ない地域において、崩壊の位置および地形データのみの限られた情報をもとにして、土砂災害による被害が生じるおそれのある範囲を一定の精度で予測できることを示した。

しかし、今回の計算結果の範囲では、①細粒分の割合、④代表粒径、②土砂量の影響を受けるため、これらのパラメータを適切に設定する必要があった。この結果から、ス国において、被害想定を行うにあたっては、①細粒分の割合及び②土砂量については考えられる値の範囲を想定して被害想定範囲が過小評価とならないように留意する必要がある。④代表粒径は地域別地質別などを考慮した上で現地調査を行い、データを蓄積していく必要があると考えられる。今後は再現計算事例を増やすなどし、これらの入力条件の設定手法、値

がとりうる範囲について検討していく予定である。

謝 辞

本研究をおこなうにあたり、災害発生前の地形データは、JICAによる「防災強化のための数値標高モデル作成能力向上プロジェクト」にて取得したLiDAR測量データを提供いただいた。また、災害発生後の地形データは、JICAによる「土砂災害対策強化プロジェクト」にて実施した災害直後のヘリ調査で取得した空撮写真から地形解析したDSM（Digital Surface Model：数値表層モデル）データを提供いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所とスリランカ民主社会主義共和国災害管理省国家建築研究所（NBRO）との土砂災害に対するリスクマネジメント分野における研究協力に関する覚書の締結について、国土技術政策総合研究所HP(<http://www.nilim.go.jp/lab/beg/foreign/kokusa/kyoryoku.htm>)、2018
- 2) Dhanushka Jayathilake、Dayan Munasinghe：Quantitative Landslide Risk Assessment and Mapping、NBRO Symposium、2015
- 3) 判田乾一、大河原彰、佐々木央、岡村充哉、石原正仁、中野亮：アラナヤケ土砂災害現地調査報告、砂防学会誌、Vol.69、No.6、pp.67～70、2017
- 4) 堀内成郎、岩浪英二、中谷加奈、里深好文、水山高久：LPデータを活用した土石流シミュレーションシステム「Hyper KANAKO」の開発、砂防学会誌、Vol.64、No.6、pp.25～31、2012
- 5) 西口幸希、内田太郎、石塚忠範、里深好文、中谷加奈：細粒土砂の挙動に着目した大規模土石流の流下過程に関する数値シミュレーションー深層崩壊に起因する土石流への適用ー、砂防学会誌、Vol.64、No.3、pp.11～20、2011
- 6) 独立行政法人土木研究所：深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算マニュアル（案）、土木研究所資料第4240号、2012

鈴木清敬



国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部砂防研究室 交流研究員
Kiyotaka SUZUKI

松本直樹



国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部砂防研究室 主任研究員
Naoki MATSUMOTO

内田太郎



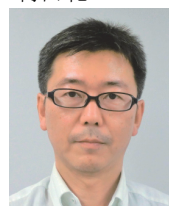
国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部砂防研究室長、農博
Dr.Taro UCHIDA

岡本 敦



国土交通省国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部長
Atsushi OKAMOTO

判田乾一



内閣府沖縄総合事務局開発建設部
技術管理官
Ken'ichi HANDA

中谷加奈



京都大学大学院農学研究科森林科学専攻 山地保全学分野 助教、農博
Dr.Kana NAKATANI