

崩壊形態に応じた地震時斜面崩壊危険度評価に関する研究

Study on landslide susceptibility induced by earthquake according to the type of collapse

(研究期間 令和3年度)

土砂災害研究部 砂防研究室
Sabo Department
Takao Sabo Planning Division

室長 山越 隆雄
Head YAMAKOSHI
主任研究官 坂井 佑介
Senior Researcher SAKAI Yusuke

In recent years, numerous sediment disasters have occurred due to earthquake induced landslide. To date, various studies have examined on empirical manner in regard with landslide susceptibility. However, it has been difficult to evaluate areas where coseismic landslide have not occurred, because the parameters that identified from the actual results cannot be applied to other areas. Therefore, we proposed a method to evaluate landslide susceptibility according to the type of the collapse, and confirmed that this method can generally reproduce the landslide occurrence in a region different from where the parameters were identified from the actual results. In this study, we examine the expecting method of high probable type of collapse to improve accuracy of landslide susceptibility method.

[研究目的及び経緯]

近年、地震時に発生する斜面崩壊による甚大な土砂災害が発生しており、この被害の防止・軽減のためには、想定地震における地震時斜面崩壊の危険度を事前に評価する必要がある。

これまで地震時斜面崩壊の危険度評価については様々な経験的手法が研究されているが、地震時斜面崩壊の実績から同定されたパラメータを他の地域に適用できないために、過去に地震時斜面崩壊が発生していない地域やデータがない地域を評価することは困難であった。そこで、崩壊形態に応じて地震時斜面崩壊危険度を評価する手法を提案し、この手法が実績からパラメータを同定した地域と異なる地域の地震時斜面崩壊を概ね再現できるか否かを確認した。

[研究内容]

本研究では、新たに開発した崩壊形態に応じた崩壊面積率推定式について、未調査の崩壊形態のデータを補完することで社会実装の促進を図るため、1995年兵庫県南部地震と2004年新潟県中越地震を対象として、以下の研究を行う

1. 蓋然性の高い崩壊形態の把握

既往の研究論文等で個別に崩壊形態が調査されている崩壊事例を収集し、崩壊形態が明らかなポリゴンを特定する。その上で、崩壊形態が明らかなポリゴンがどのような地盤条件の斜面に分布しているかを統計的に分析し、地盤条件から蓋然性の高い崩壊形態を把握する。

2. 蓋然性の高い崩壊形態で分類した地震時斜面危険度評価式の作成と検証

1995年兵庫県南部地震と2004年新潟県中越地震について、地震時斜面崩壊が発生した地域を蓋然性の高い崩壊形態の観点で分類し、地震時斜面崩壊面積率推定式を構築する。

[研究成果]

1. 蓋然性の高い崩壊形態の把握

既往の研究論文等を参考に、崩壊形態が流れ盤すべり、岩盤すべり、亀裂質地山崩壊、強風化地山崩壊の事例を複数収集して該当するポリゴンを特定し、ポリゴンに崩壊形態の属性を与えた。そして崩壊形態ごとにポリゴンが存在するメッシュの地盤条件を集計したところ、地質、斜交角（地層の走向・傾斜と地表面の傾斜方向の関係）、地すべり地形で崩壊形態ごとに地盤条件の特徴が異なることがわかった（図-1）。ま

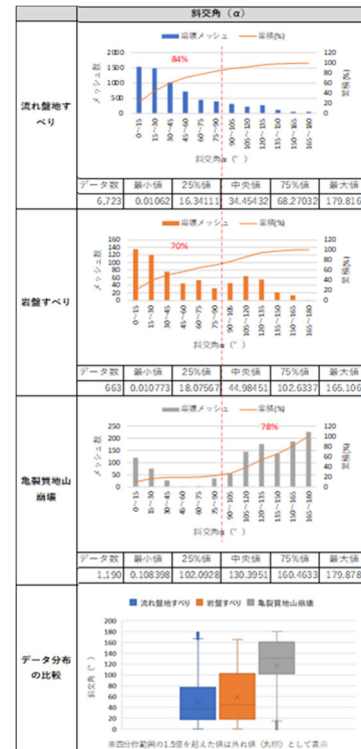
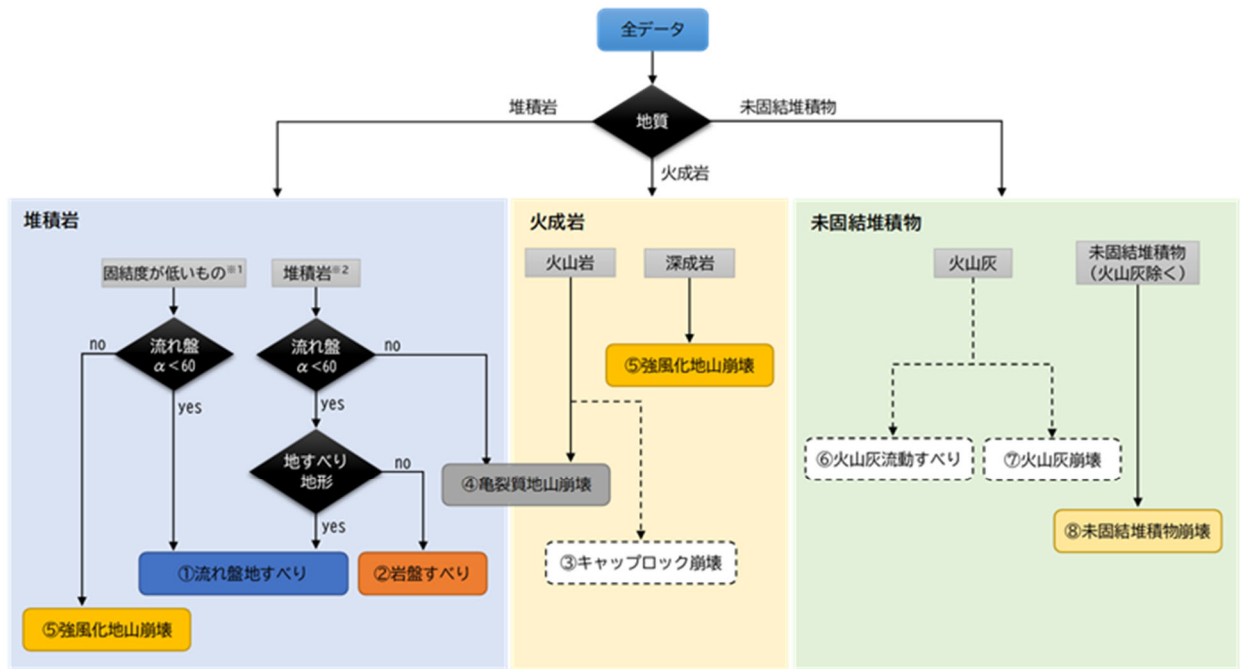


図-1 地盤条件による崩壊形態の分析例（斜交角）



※1 地質図の凡例で土砂（粘土・砂・礫等）の表現となっているもの等
 ※2 流れ盤・受け盤が判断できない場合は、“no”の経路へ進む

図-2 蓋然性の高い崩壊形態の分類フロー

表-2 構築した崩壊面積率推定式

崩壊発生形態	推定式		備考
	k	f(A)	
強風化地山崩壊	0.0343	$\cdot I + 0.0075 \cdot A - 3.7289$	f(A)は外れ値を除いて算出
亀裂質地山崩壊	0.0306	$\cdot I + 0.0106 \cdot A - 3.7981$	
岩盤すべり	0.0357	$\cdot I + 0.0039 \cdot A - 2.9432$	
流れ盤すべり	0.0335	$\cdot I + 0.0048 \cdot A - 3.0460$	
未固結堆積物崩壊	0.0499	$\cdot I + 0.0070 \cdot A - 4.1490$	

I: 斜面勾配 (°)
 A: 最大速度 (kine)

た、この結果を用いて、地盤条件から蓋然性の高い崩壊形態を分類するフローを作成した（図-2）。

2. 蓋然性の高い崩壊形態で分類した地震時斜面危険度評価式の作成

1995年兵庫県南部地震および2004年新潟県中越地震について、図-2のフローに基づいて蓋然性の高い崩壊形態ごとに地域を分類した。その上で、まず斜面

勾配の階級ごとの崩壊面積率（P）から傾きkを決定し、傾きkを固定したまま地震動の階級で分類し、f(A)を設定した。この検討によって表-2のとおり、斜面勾配と最大速度を用いた崩壊形態ごとの地震時斜面崩壊面積率推定式を構築した。構築した推定式を用いて崩壊面積率を算出したところ、logPの階級が示す崩壊面積率の推定範囲内に実績の崩壊面積率が含まれており、精度よく地震時斜面崩壊の危険度が推定できていることがわかる（図-3）。

[成果の活用]

今後は、本研究成果として、蓋然性の高い崩壊形態の推定方法、新たに開発した崩壊面積率推定手法を国総研資料としてとりまとめる予定である。

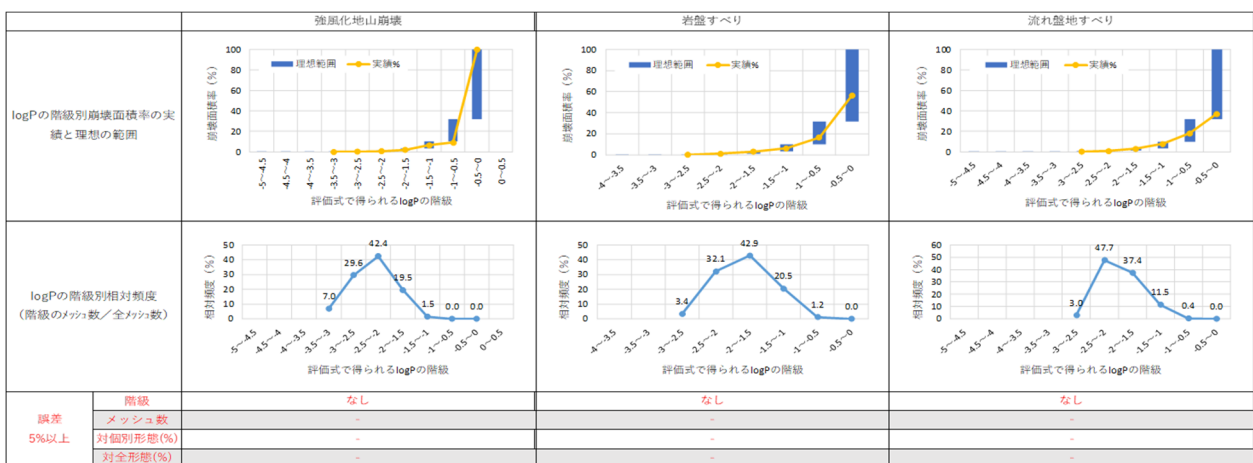


図-3 logPが示す崩壊面積率と実績の崩壊面積率（強風化地山崩壊、岩盤すべり、流れ盤すべりの例）

免疫性を考慮した降雨指標に応じた崩壊生産土砂量の予測に関する検討

Study on prediction of sediment yield by landslide according to rainfall index considering past rainfall history

(研究期間 平成2年度～令和3年度)

土砂災害研究部 砂防研究室
Sabo Department
Sabo Planning Division

室長 山越 隆雄
Head YAMAKOSHI Takao
主任研究官 坂井 佑介
Senior Researcher SAKAI Yusuke

Past rainfall history influence to landslide occurrence. Therefore, it is important to use a rainfall index that considering past rainfall history for accurate prediction of sediment yield by landslide. We grasped the area/the number of landslides using aerial or satellite photographs before and after sediment disaster, for regions where sediment disaster have occurred multiple times. Then, we calculated maximum N hour rainfall (N=1,3,6,12,24,48,72), soil water index (SWI), probability of exceedance of N hour rainfall, and probability of exceedance of SWI as rainfall index, and examined relationship of area/the number of landslides and rainfall index.

〔研究目的及び経緯〕

平成29年九州北部豪雨や平成30年7月豪雨など、近年、土砂・洪水氾濫被害が頻発している。土砂・洪水氾濫は斜面崩壊が多発した流域で発生し甚大な被害をもたらすため、崩壊土砂量を精度良く予測する必要がある。一方で、斜面崩壊の発生・非発生は不確実性が高く、同程度の降雨量であっても地域によって崩壊土砂量は大きく異なる。特に、平年の降雨が多い地域と少ない地域ではその差が顕著であり、過去のその地域における降雨履歴が影響していると考えられる。このことから、気候変動による影響が顕在化しつつある状況において、過去の降雨履歴を考慮した崩壊土砂量の予測の検討は喫緊の課題である。

〔研究内容〕

過去に土砂災害もしくは斜面崩壊(以下、「土砂生産イベント」という)が複数回発生した地域を対象として、その土砂災害発生前後の空中写真・衛星写真から斜面崩壊の発生状況(崩壊面積、崩壊箇所数)を把握する。また、当該地域の雨量観測所および解析雨量の雨量データから過去の降雨履歴が考慮された雨量指標を算出する。この斜面崩壊の発生状況と雨量指標を比較して、より崩壊土砂量の予測に適した過去の降雨履歴を考慮した雨量指標による崩壊土砂量の予測手法を検討した。

〔研究成果〕

1. 斜面崩壊の発生状況の整理

過去に土砂生産イベントが複数回発生した11地域を調査地域として設定し、空中写真によりイベン

ト毎の崩壊面積および崩壊箇所数を新規崩壊、拡大崩壊(既存の崩壊地が拡大したもの)、継続・縮小崩壊(既存の崩壊地が拡大せずに残っているもの、もしくは植生が回復して崩壊地面積が縮小しているもの)に分類して、判読を行った。また、判読した崩壊面積と崩壊箇所数から崩壊面積率と崩壊密度を算出し、土砂生産イベントの時系列で整理をした(図-1、図-2)。

2. 過去の降雨履歴が考慮された雨量指標の整理

生産土砂量と降雨量の関係进行分析にあたり、土砂生産イベントの誘因となったと考えられる一連

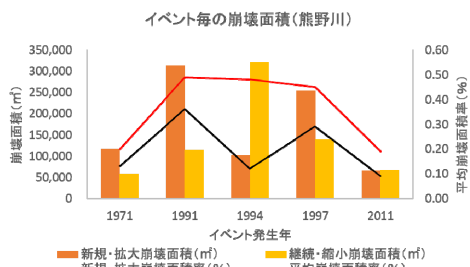


図-1 土砂生産イベント毎の崩壊面積(熊野川)

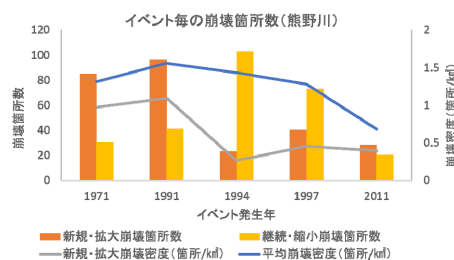


図-2 土砂生産イベント毎の崩壊箇所数(熊野川)

の降雨のN時間雨量(N=1・3・6・12・24・48・72)の最大値と土壌雨量指数の最大値を整理した。また、当該地域の過去の降雨履歴が考慮された雨量指標として、N時間雨量超過確率年(N=1・3・6・12・24・48・72)、土壌雨量指数の超過確率年、RBFN値、IRPI(執印ら、2018)を算出した。なお、雨量指標は1km²メッシュ毎に算出している

3. 斜面崩壊の発生状況と雨量指標の関係分析

1. で把握した斜面崩壊の発生状況と2. で整理した雨量指標の関係について、調査地域である11地域における全ての土砂生産イベントを同じ雨量指標値階で統合し、崩壊面積率および崩壊密度と雨量指標との関係を分析した(図-3)。このうち、崩壊面積率・崩壊密度とN時間雨量の最大値と土壌雨量指数の最大値、崩壊面積率・崩壊密度とN時間雨量超過確率年と土壌雨量指数の超過確率年で相関分析を実施した結果を表-4および図-4に示す。なお、RBFN値、IRPIは整理段階でばらつきが大きいことが確認されたため、相関分析は実施しなかった。

この結果より、崩壊面積率については相関関係に大きな差は見られなかった。一方で、崩壊密度についてはN時間雨量の最大値や土壌雨量指数の最大値を用いるよりも、超過確率年を使うことで、全体的に相関関係が向上していることがわかる。この要因として、超過確率年は当該地域の過去の降雨履歴に応じて値が変わるため、調査対象地域間の過去の降雨状況の違いによる崩壊の発生・非発生における不確実性を補正できた可能性が考えられる

[成果の活用]

本研究では、過去の降雨状況が考慮された超過確率年を使うことで若干ではあるが、異なる地域の崩壊面積率等の予測精度が向上する可能性が示された。また、斜面崩壊の発生状況の整理では時系列的に新規・拡大・継続・縮小崩壊が整理されているので、この成果を活用しながら、降雨の発生履歴と崩壊の発生・回復状況を長期にわたる時系列で整理し、過去の降雨履歴がどのように土砂生産に影響を及ぼすかについて、さらに分析を進めたいと考えている。

[参考文献]

執印康裕、堀田紀文、山川陽祐、鈴木雅一(2018): 確率年を用いた単一降雨指標による土砂災害発生危険度の評価について—東京都伊豆大島を事例として

一、砂防学会誌、Vol. 71、No. 1、p. 28-34 研究

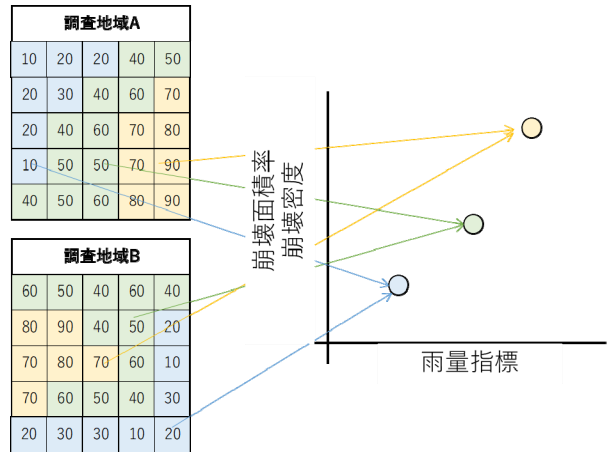


図-3 分析イメージ

表-4 雨量指標と崩壊面積率・崩壊密度との相関

指標の組み合わせ		雨量	超過確率年
		相関係数	相関係数
崩壊面積率	土壌雨量指数	0.656	0.686
	1時間	0.848	0.542
	3時間	0.594	0.417
	6時間	0.696	0.759
	12時間	0.711	0.548
	24時間	0.637	0.676
	48時間	0.544	0.856
	72時間	0.452	0.722
崩壊密度	土壌雨量指数	0.612	0.574
	1時間	0.716	0.508
	3時間	0.597	0.426
	6時間	0.560	0.872
	12時間	0.581	0.699
	24時間	0.584	0.913
	48時間	0.557	0.770
	72時間	0.514	0.663

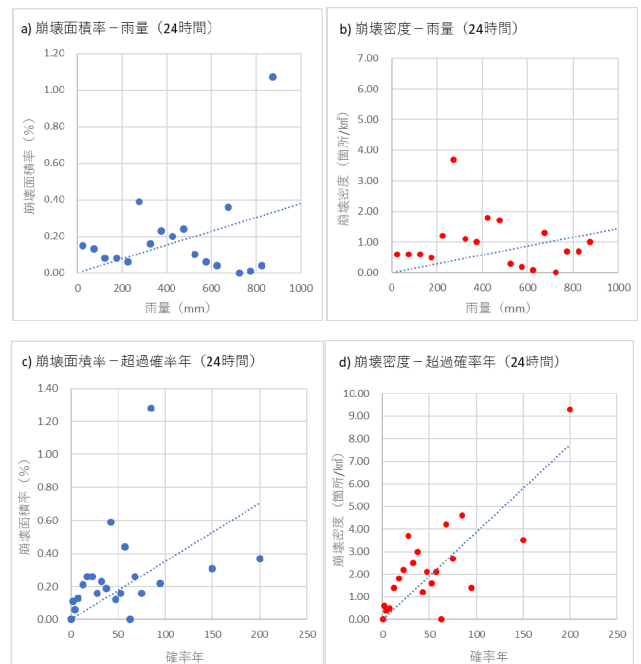


図-4 相関分析の結果例(24時間雨量)

土砂・洪水氾濫発生時の土砂到達範囲・堆積深を高精度に予測するための計算モデルの開発

Development of a river bed variation calculation model to estimate the sediment aggradation area due to sediment and flood damage.

土砂災害研究部 砂防研究室

(研究期間 令和3年度～令和5年度)
室長 山越 隆雄
主任研究官 泉山 寛明

[研究目的及び経緯]

近年では、気候変動の影響で豪雨の頻度やそれに伴う降雨量が増加することで斜面崩壊等が多発し、その結果、毎年のように土砂・洪水氾濫現象が発生する傾向にある。最近生じている被害は都道府県が管理しているような、これまで土砂災害のなかった流域でも発生しつつあることが懸念される。また、近年では大量の細かい砂が広い範囲に堆積することによって被害が見られることが特徴として挙げられる。本研究は、土砂・洪水氾濫による被害想定予測精度向上を図り、それを踏まえた効果的なソフト対策、ハード対策の立案に資するべく、幅広い粒径の土砂を含む土石流等が流下する場合の侵食・堆積プロセスを最新の計測技術を用いた水路実験を行うことによって解明し、既往の侵食・堆積モデルを改良して下流域における土砂到達範囲・堆積深予測技術の改良を図ることを目的とする。

本年度は、可変勾配水路を用いて混合粒径土石流・土砂流が緩勾配区間に突入した際の粒径別の堆積傾向を確認すると共に、緩勾配区間に突入する際の土砂移動形態を確認した。

土砂・洪水氾濫対策施設の配置計画に関する検討

Research on SABO facilities planning against sediment and flood damage.

土砂災害研究部 砂防研究室

(研究期間 令和2年度～令和6年度)
室長 山越 隆雄
主任研究官 泉山 寛明
主任研究官 坂井 佑介

[研究目的及び経緯]

近年、大規模な斜面崩壊等により大量の土砂が発生、流出する事例が多発している。流出土砂は下流保全対象区域での土砂・洪水氾濫を引き起こし被害が拡大する要因となっている。土砂・洪水氾濫等による被害の防止・軽減のため、砂防堰堤等の砂防施設がその機能を最大限発揮されるよう施設を配置することが重要である。一方、大量の土砂を捕捉・制御するためには複数の砂防施設が必要となるが、どのように配置をすれば効果的か、多くのケースを想定して検討を重ねた上で最適ケースを選定する必要があり、効率的な選定を行うための手法を確立することが望ましい。そこで本研究では、河床変動計算技術を用いて、砂防施設の効果評価を適切に評価可能とし、また新規施設の効果的な配置、既存の施設の改築方法を効率的に選定するための手法を確立することを目的とする。

本年度は、細粒分の砂防堰堤による捕捉効果を河床変動計算で高精度に再現し、またその効果の度合いを評価できるようにした。さらに流域内の複数地点に設置する砂防堰堤の捕捉効果について整理を行った。

中長期の活発な土砂流出に対する対策技術の検討

Research on countermeasure during long-term elevated sediment yield condition.

土砂災害研究部 砂防研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)
室 長 山越 隆雄
主任研究官 泉山 寛明

[研究目的及び経緯]

集中豪雨や地震で大規模な斜面崩壊などにより大量の土砂が生産された場合、短期的には土石流や土砂・洪水氾濫による甚大な被害を及ぼす。土砂生産量が莫大な場合は流域内に大量の土砂が残存するため、その後の中小出水でも土砂が活発に流出して河床変動量が多くなるほか、ダム堆砂が加速するなどの悪影響が想定される。また、流出する土砂の量と粒径が経時的に変化することが考えられ、対策のあり方を経時的に変化させていく必要があると考えられる。一方、中長期的な土砂流出の実態は不明な点が多く、また数値計算による被害予測および施設配置検討を実施する場合でも数値計算手法の留意点が整理されているとはいいがたく、その信頼性が担保されているとはいいがたい。本研究は、数値計算手法による高精度な土砂流出予測手法の開発、土砂動態把握のためのモニタリング技術の確立、数値計算ならびに水路実験による対策施設の効果評価手法の開発を目的とする。

本年度は、ハイドロフォンおよび合成音圧法による掃流砂観測手法の精度検証を行い、中長期的な観測結果を高い信頼性で評価することを可能とした。また、中期土砂流出対策施設選定フロー（案）を考案した。

不確実性を考慮した土砂生産・流出シナリオ設定手法の検討

Study of setting method of scenario on sediment production and discharge considered uncertainty

土砂災害研究部 砂防研究室

(研究期間 令和元年度～令和4年度)
室 長 山越 隆雄
主任研究官 坂井 佑介
主任研究官 泉山 寛明
研 究 員 西脇 彩人

[研究目的及び経緯]

近年の気候変動の顕在化に伴う降雨の増加や今後の発生が予想される南海トラフ巨大地震など、山地流域における土砂動態に影響を及ぼす環境が将来的に変化していくことが想定されている。一方で、山地流域の土砂動態は現象が複雑であり、少しの条件の違いが土砂動態に大きく影響を及ぼすことから、土砂生産・流出に関する解析結果等は大きな不確実性を有していると考えられる。このことから、豪雨や大規模地震における土砂生産・流出の不確実性を適切に評価し、その不確実性を踏まえた計画を立てておくことが重要である。

そこで、本研究では、豪雨時や大規模地震時における土砂生産・流出の実態を明らかにしてその不確実性を評価するとともに、数値解析等を実施する際の不確実性を考慮した土砂生産・流出シナリオの設定手法を検討することを目的とする。

本年度は、豪雨時の土砂生産・流出現象を分析するにあたり、物理的な解析に基づく土砂生産・流出モデルの適用性等を検討するため、実績の生産土砂量の把握、斜面崩壊と出水現象の再現計算、土石流発生地点の再現計算、再現性の検証について実施した。

土砂・洪水氾濫対策技術検討リソースデータベースの構築

Resource database construction for countermeasure against sediment and flood damage.

土砂災害研究部 砂防研究室

(研究期間 令和元年度～令和4年度)

室長	山越 隆雄
主任研究官	坂井 佑介
主任研究官	泉山 寛明
研究員	西脇 彩人

【研究目的及び経緯】

近年、平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月西日本豪雨、令和元年台風19号など、広範囲に大規模な被害をもたらす土砂・洪水氾濫が全国で頻発している。土砂・洪水氾濫による被害を防止・軽減するためには、山地河川における複雑な土砂動態（土石流～掃流状集合流動～掃流・浮遊）に関する基礎理論から対策実施までの幅広い分野について、効果的・効率的に分析する必要がある。一方で、これらの分析のための様々な土砂・洪水氾濫に関するデータが一括して整理・蓄積されていないことから、それらのデータを整理・蓄積するためのデータベースに加え、整理・蓄積されたデータの効果的・効率的な利活用方法を検討することが急務となっている。

そこで、本研究では、土砂・洪水氾濫対策技術の検討に資するデータを収集・精査した上で、当該データを格納する土砂・洪水氾濫対策技術検討リソースデータベースを構築することを目的とする。

本年度は、土砂動態データの登録に係るユーザインターフェースの開発ならびにデータベースからダウンロードする際に使用できる拡張機能の追加・検討を行った。

中山間地における降雨観測精度の高度化のための画像雨量計の開発

Research on development of the image-based rain gauge to enhance the accuracy of rainfall observation in mountainous areas.

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 令和3年度～令和4年度)
室長 中谷 洋明
研究官 金澤 瑛

[研究目的及び経緯]

土砂災害による人的被害を軽減するためには、警戒避難体制を強化することが重要である。国土技術政策総合研究所では、雨量に基づいた実効的な警戒避難体制の確立を目指し、中山間地を対象に既往の雨量計の時空間解像度を補う雨量推定手法として、CCTV画像を用いた雨量推定手法の開発及び検討を行っている。

本年度は、画像を用いた降雨強度推定手法を検討するため、降雨強度を調節できる降雨実験施設において降雨撮影実験を実施し、実験で取得した画像の解析により降雨強度推定手法の検討を行った。また、雨滴の特性を把握するため、雨滴粒径分布解析装置（ディストロメーター）等の観測機器を用いて現地観測を実施し、取得した水文・降雨の情報とCCTV画像の解析により、画像情報と雨量、雨滴の特性、視程等の関係性を分析した。

急傾斜地で発生する大規模表層崩壊の対策に関する調査

Research on countermeasures against large-scale slope failures that occur in steep slopes.

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)
室長 中谷 洋明
主任研究官 瀧口 茂隆
研究官 金澤 瑛

[研究目的及び経緯]

国土技術政策総合研究所では、山間地の斜面において表層崩壊発生の危険性がある箇所を予測する手法の確立を目指し、表層崩壊発生危険度の評価手法について検討を行っている。

本年度は、表層崩壊発生危険度を評価するモデルの使用環境を整備するため、表層崩壊に起因する土石流の発生危険度評価手法（H-SLIDER法）及びH-SLIDER法から派生したC-SLIDER法、idH-SLIDER法を用いて、斜面スケールの表層崩壊の発生危険度を評価するソフトウェアを開発した。

リモートセンシングによる土砂災害監視手法の高度化に関する研究

Research on development of the monitoring method of catastrophic landslide disasters by satellite remote sensing.

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)
室長 中谷 洋明
主任研究官 瀧口 茂隆

[研究目的及び経緯]

大規模土砂災害につながる恐れがある深層崩壊等の予兆となる微小な斜面変動を検出するための技術や、同時多発的な災害の被害状況を迅速に把握するための技術など、大規模な土砂災害に対する広域監視技術が求められている。

国土技術政策総合研究所は自然災害時における衛星画像等の活用を強化し、迅速かつ確かな災害初動対応を実現するため、夜間・悪天候時にも観測可能な合成開口レーダ（SAR）画像を利用した土砂災害判読調査を実用化するための検討を行っている。

本年度は、近年の災害時に観測されたSARデータを用いて、技術者による目視判読による土砂災害発生箇所の推定手法と、データ処理に優れたソフトウェア処理による2種類の手法について、処理に要する時間や信頼性の評価を実施した。

土砂災害関連情報利用の高度化に関する調査

Research on development of effective use of sediment-related disasters information.

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 令和元年度～令和3年度)
室 長 中谷 洋明
研 究 官 金澤 瑛

[研究目的及び経緯]

土砂災害の防止、被害軽減を図る施策の検討には、土砂災害の発生状況に関する情報を蓄積し、災害の発生傾向を分析することが重要である。そのため、国土技術政策総合研究所では、全国で発生した土砂災害の発生情報を収集し、土砂災害データベースとして整理している。

本年度は、土砂災害データベースの利便性の向上と安定的な運用を目的に、クラウド環境にある土砂災害データベースのデータ登録機能を改良するとともに安定的なシステム運用にかかる保守管理を実施した。

停滞性の局所的豪雨等による土砂災害危険度評価システムの開発

Development of risk assessment system for sediment disaster due to stagnant local heavy rain

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 平成30年度～令和4年度)
室 長 中谷 洋明
主任研究官 瀧口 茂隆

[研究目的及び経緯]

土砂災害の危険度情報としては降雨データによる土砂災害警戒情報があるが空振りのケースもあり必ずしも住民の避難に繋がっていないとの指摘がある。地質等の地域特性を考慮することでより精度の高い土砂災害危険度評価手法の開発が必要である。

本年度は、昨年度作成した素因リスクマップを現在開発中の土砂災害危険度システムにベースマップとして取り込むとともに、長時間のリードタイムを確保した土砂災害発生予測の検討を行うため、メソアンサンプル予報システムの予測特性の把握を実施した。