

2.2.5 土砂災害研究部

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
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、ハイドロフォンを用いた現地実験を通じて、掃流砂量観測結果の精度検証を行った。また、土砂濃度が小さい土砂流が流下する場合の透過型砂防堰堤の捕捉効果を精度良く評価する手法の開発を行った。

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
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、広範囲で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、崩壊地判読データ、LiDARデータ、土層厚データについてデータベースの表示・操作体系に係るインターフェースの開発を行った。

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
研 究 官 泉山 寛明

[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る、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、近年の土砂・洪水氾濫の特徴の1つである大量の細粒土砂の流出を抑制するため、不透過型砂防堰堤、透過型砂防堰堤による細粒土砂の捕捉効果を実験で確認し、また河床変動計算で砂防施設の捕捉効果を再現する手法の開発を行った。

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3年度)
室 長 山越 隆雄
主任研究官 坂井 佑介
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、空中写真やレーザー計測を用いた土砂収支の作成にあたり、不確定要素を最小化することによるより正確な土砂収支の作成を行うとともに、その不確定要素が土砂収支に与える影響の分析を行った。

高濃度な浮遊土砂の河床勾配変化点における挙動に関する研究

Study on behavior of high concentrated suspended sediment at bed slope changing point.

(研究期間 令和元年度～令和2年度)

土砂災害研究部 砂防研究室

SABO Department

SABO Planning Division

室 長

Head

研 究 官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer

山越 隆雄

YAMAKOSHI Takao

泉山 寛明

IZUMIYAMA Hiroaki

永谷 直昌

NAGATANI Naomasa

In recent years, a large amount of fine sediment accumulated in area inhabited by people caused disaster. However, the details of the flow-down / sedimentation mechanism were unknown because it is difficult to observe fine-grained sediment. In this study, we clarify the sedimentation mechanism of suspended load upstream closed-type check dam by an experiment and numerical simulation. As a result, it was shown that an actual phenomenon can be explained with the existing suspended load model if initial and boundary conditions are set appropriately.

〔研究目的及び経緯〕

花崗岩地帯などで生産される土砂の粒径には大きな幅があり、大量に土砂が流出して土砂・洪水氾濫が生じる場合には細粒土砂（砂やシルト分）が保全対象地域に大量に堆積することで被害を拡大させる事象が発生する。したがって、細粒土砂の挙動を把握し、被害予測を行うことは重要な課題の1つであるが、細粒土砂は観測が困難であるために流下・堆積メカニズムの詳細は不明であった。

一方、平成28年8月に十勝地方で発生した豪雨災害では砂防堰堤が大量の細粒土砂を捕捉して満砂状態となった。河床勾配から判断して土砂は掃流砂・浮遊砂形態で流入したと考えられ、浮遊砂を堆積させて実例として貴重である。そこで、本研究は不透過型砂防堰堤による浮遊砂堆積に関する実験ならびに既往の浮遊砂モデルを用いた河床変動計算によって不透過型砂防堰堤による浮遊砂の堆積メカニズムを明らかにすることを目的としている。

〔研究内容〕

1. 砂防堰堤による細粒土砂の捕捉に関する実験

砂防堰堤（不透過型）による細粒土砂の捕捉を再現するための水路実験を行った。元河床勾配は1/35とし、発生する土砂移動形態としては掃流砂・浮遊砂形態である。掃流砂形態で流下する粒度として0.21mm～5mm（60%粒径1mm）のものを、浮遊砂形態でのそれとして珪砂8号（60%粒径0.11mm）を使用した。有効高として10mの不透過型堰堤を想定し、模型縮尺は1/70、フルード則に基づいて実験を行うこととし、水路長は8.5m、水路幅は0.4mとした。実験水路床には掃流砂の材料を貼り付けた。図-1に実験水路上流端から与える流量ヒドログラフを示す。上流端から与える掃流砂・浮遊砂量はそれぞれ芦

田・高橋・水山式、芦田・道上の基準面濃度式およびラウス分布から計算される量を与えた。

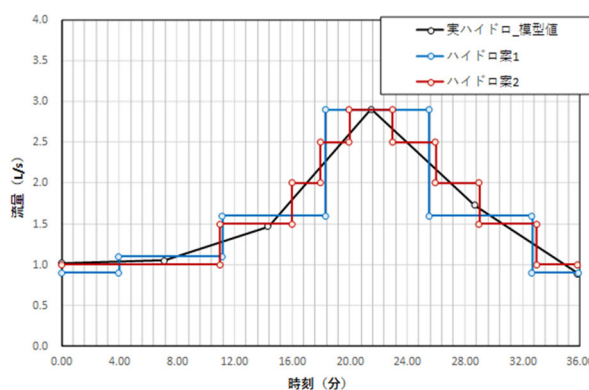


図-1 実験時のヒドログラフ

2. 砂防堰堤による細粒土砂の捕捉に関する河床変動計算

河床変動計算は実スケールで行った。流れの計算は不等流計算で行い、堰堤の堆砂が進行すると堰堤上流側では河幅が大きくなることから河幅の変化を考慮するとともに河床せん断力はマンギンの式で評価している。掃流砂は芦田・道上式で、限界掃流力は岩垣式および修正 Egiazaroff 式で評価した。浮遊砂の計算においては河床が急勾配であることから浮遊砂濃度の連続式においては拡散項を無視し、移流と沈降・浮上を計算している。浮上量式として芦田・藤田式、沈降速度は Rubey の式を用いている。

〔研究成果〕

1. 砂防堰堤による細粒土砂の捕捉に関する実験

不透過型砂防堰堤における堆砂状況と出水のタイミングには大きなばらつきがあるため、本実験では出水前に砂防堰堤の堆砂が全く進んでいないと仮定して河

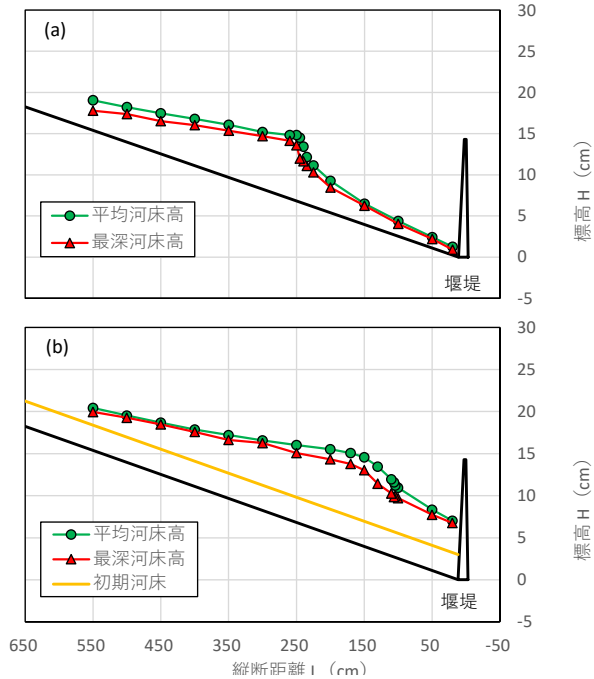


図-1 砂防堰堤における細粒土砂の捕捉実験結果

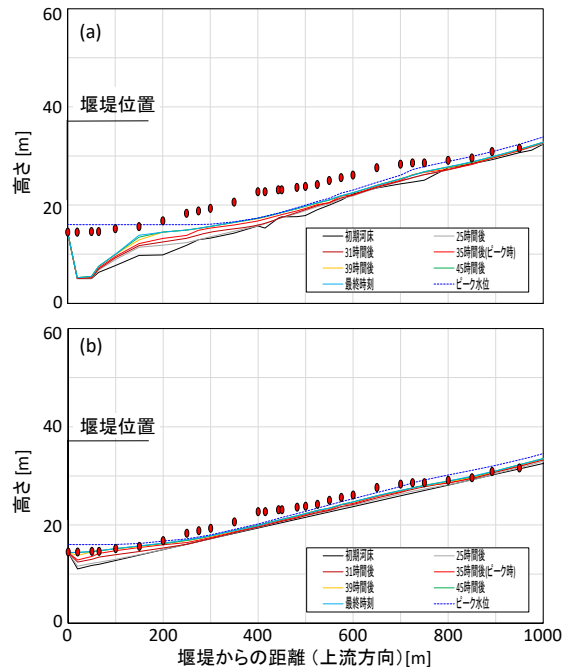


図-2 砂防堰堤における細粒土砂の捕捉計算結果

床に土砂を敷かず粗度を付けた固定床を初期状態とした場合、出水前における程度堆砂が進行していたと仮定して初期状態を与えた場合の2パターンを比較する。出水時の土砂および水を供給し終えた時の堆砂形状を図-1に示す。まず堆砂が全く進行していなかったとして実験を行った結果(図-1(a))をみると、出水時と同程度の水量、土砂量を与えたとしても堰堤に土砂は堆積はするものの、満砂までには至らないことが分かる。堰堤直上流まで一定程度の土砂が堆積している状況で先ほどと同様の水、土砂を与えた場合の結果が図-1(b)である。図-1(a)と比較して、土砂が堰堤付近に多く滞積していることが明瞭に分かる。したがって、浮遊砂が上流から大量に供給されることだけでなく、下流側にも浮遊砂となり得る成分が一定程度存在していることが堰堤で堆砂が進行する要因である可能性が高いことが分かる。ただし、あくまで既往の浮遊砂モデルを適用することを前提としていることに注意を要する。それは、実際に生じえる浮遊砂量はその観測が困難であることもあり不明な点が多いため、実際は異なるメカニズムが働いている可能性は否定できない。しかしながら既往の浮遊砂モデルに立脚して、十分に大量の土砂が堰堤で堆積している実態を説明することができる点は実用上有意義であると考えられる。

2. 砂防堰堤による細粒土砂の捕捉に関する河床変動計算

一次元河床変動計算で細粒土砂の捕捉に関する計算を実施した結果を図-2に示す。図-2(a)は堰堤に土砂が全く堆砂していなかったと想定した場合、図-2(b)は土砂が一定程度堆積(有効高に対して2/3程度)してい

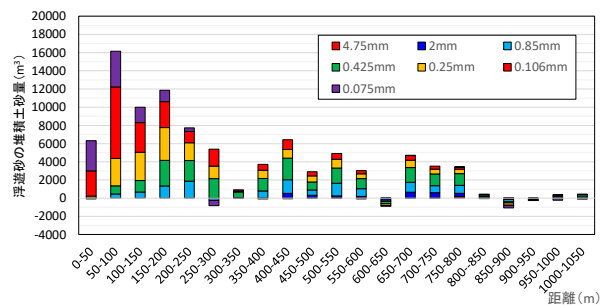


図-3 堆積土砂の粒径の計算結果

る状況を想定した場合の結果を示す。先ほども述べたように本計算は実スケールで行っている。実験結果と同様に、全く堆砂していなかったと想定した場合は堰堤から50m上流付近までは全く堆砂しない計算結果となった。一方、堰堤にある程度堆砂していたと仮定した場合は、ほぼ満砂状態まで堆砂する計算結果となった。図-3は図-2(b)で示した計算結果において、堰堤上流側に堆積した浮遊砂の粒度分布を示している。堰堤付近は0.106mm以下の微細砂が多く堆積している一方、堰堤から上流側へ離れるにつれて粒径が大きくなっていることが分かる。

以上のことから、既往の流砂理論により浮遊砂が堰堤に大量に堆積するメカニズムは説明可能であることを示すことができた。

[成果の活用]

本研究結果は、土砂・洪水氾濫等による短期土砂流出現象、その後の中期土砂流出現象に対する砂防施設の効果評価を数値計算で実施する上での留意点として周知していく予定である。

大規模地震に起因する土砂災害のプレアナリシス手法の開発

Development of pre-analysis method against sediment disaster due to catastrophic earthquake

(研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度)

土砂災害研究部 砂防研究室

室 長

山越 隆雄

Sabo Department

Head

YAMAKOSHI Takao

Sabo planning Division

主任研究官

坂井 佑介

Senior Researcher

SAKAI Yusuke

In catastrophic earthquake, a large-scale landslide is causing a lot of damage. We developed the landslide susceptibility assessing system in the wake of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, but this system cannot assess a large-scale landslide. In this study, we develop a method that can assess the susceptibility of large-scale landslide from topography, underground structure, and seismic ground motion, in order to estimate the occurrence of landslide including large-scale landslide in assumed earthquake in advance.

【研究目的及び経緯】

近年の大規模地震時では大規模な斜面崩壊が被害拡大の主要因のひとつとなっている。地震による被害を最小限に食い止めるためには、早期に斜面崩壊発生状況を把握し、迅速な復旧・復興への対応が必要不可欠である。土砂災害研究部では、平成 7 年の兵庫県南部地震で、六甲山地で表層崩壊が多発したことを踏まえて、「地震時斜面崩壊危険度評価システム」を構築し、精度を検証してきた。しかし、現行の当該システムでは、大規模斜面崩壊については評価ができない。

そこで、本研究では、地形、地盤条件、地震動の条件から大規模な斜面崩壊発生の危険性が評価できる手法を開発し、想定地震における大規模な斜面崩壊を含む斜面崩壊の発生状況を事前に推定することができる手法を構築することを目的とする。

【研究内容】

想定地震における大規模な斜面崩壊を含む斜面崩壊の発生状況を事前に推定することができる手法に

必要となる「地盤条件・地形条件を考慮した新たな地震時斜面崩壊危険度推定手法の開発」、「地震動特性が斜面崩壊に及ぼす影響の検討」、「各種条件が地崩壊規模に及ぼす影響の分析」を実施した。

【研究成果】

1. 地盤条件・地形条件を考慮した新たな地震時斜面崩壊危険度推定手法の開発

地震による崩壊確率(=崩壊面積率)は最大加速度と斜面勾配を独立した 2 変数によって、 $\log P = kI + b$ (P: 崩壊面積率、I: 斜面勾配、k・b: 係数) の式形で表現できる可能性が示されている。ここでは、平成 28 年熊本地震で多数の斜面崩壊等が発生した阿蘇地域を対象として、地質区分毎にこの式形を用いた地震時斜面崩壊危険度評価手法の開発を行った。具体的には、地質区分は阿蘇火山地質図(地質調査総合センター、1985)の分類をもとに、岩種や岩質、地質年代等から 6 種類の地質区分に分類して、統計的に分析し、係数 k、b を算出している。この係数を用いた式に対し、崩壊の発生・非発生を判定する閾値

表-1 地質区分毎の $\log P = kI + b$ 式と適中率と捕捉率

地質	崩壊規模	評価式	閾値 ($\log P$)		適中率	捕捉率	備考																							
			崩壊	非崩壊																										
降下火山灰	全崩壊	$\log P = 0.0992I + 0.0066a - 9.300$ (式-1)	-3.00以上	-3.00未満	93%	98%	適中率: 予測が的中した確率 捕捉率: 実際に「崩壊」であったときに、 正しく「崩壊」と予測できた確率 適中率・捕捉率の算出方法 <table border="1" style="margin: 5px auto;"> <tr> <td></td> <td colspan="2">予測</td> <td>合計</td> </tr> <tr> <td></td> <td>崩壊</td> <td>非崩壊</td> <td></td> </tr> <tr> <td>実際</td> <td>崩壊</td> <td>①</td> <td>②</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>非崩壊</td> <td>③</td> <td>④</td> <td>D</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>E</td> <td></td> </tr> </table>		予測		合計		崩壊	非崩壊		実際	崩壊	①	②	C	非崩壊	③	④	D	D	合計	A	B	E	
		予測		合計																										
		崩壊	非崩壊																											
実際	崩壊	①	②	C																										
非崩壊	③	④	D	D																										
合計	A	B	E																											
大規模	最大加速度が1階級のみ	-	-	-	-																									
その他	$\log P = 0.0989I + 0.0065a - 9.248$ (式-2)	-3.00以上	-3.00未満	93%	98%																									
崖錐・扇状地堆積物等	全崩壊	$\log P = 0.0556I + 0.0011a - 4.948$ (式-3)	-3.25以上	-3.25未満	86%	84%																								
	大規模	最大加速度が1階級のみ	-	-	-	-																								
	その他	$\log P = 0.0714I + 0.0012a - 5.433$ (式-4)	-3.00以上	-3.00未満	93%	84%																								
火山灰・軽石	全崩壊	$\log P = 0.0469I + 0.0050a - 6.544$ (式-5)	-1.25以上	-1.25未満	71%	75%																								
	大規模	$\log P = 0.0732I + 0.0028a - 6.815$ (式-6)	-2.25以上	-2.25未満	79%	90%																								
	その他	$\log P = 0.0457I + 0.0049a - 6.431$ (式-7)	-1.25以上	-1.25未満	70%	74%																								
溶岩・火砕岩	全崩壊	$\log P = 0.0465I + 0.0014a - 4.188$ (式-8)	-2.00以上	-2.00未満	72%	83%																								
	大規模	$\log P = 0.0330I + 0.0023a - 5.117$ (式-9)	-2.50以上	-2.50未満	76%	70%																								
	その他	$\log P = 0.0543I + 0.0009a - 4.142$ (式-10)	-2.00以上	-2.00未満	75%	81%																								
Aso1-4	全崩壊	$\log P = 0.0728I + 0.0010a - 5.692$ (式-11)	-2.50以上	-2.50未満	86%	89%																								
	大規模	崩壊なし	-	-	-	-																								
	その他	全崩壊と同じ	-	-	-	-																								
先阿蘇火山岩類	全崩壊	$\log P = 0.0502I + 0.0013a - 5.143$ (式-12)	-2.50以上	-2.50未満	70%	75%																								
	大規模	$\log P = 0.0288I + 0.0004a - 3.655$ (式-13)	-2.50以上	-2.50未満	55%	69%																								
	その他	$\log P = 0.0652I + 0.0014a - 5.913$ (式-14)	-2.50以上	-2.50未満	77%	79%																								

・適中率(%): $(\text{①} + \text{④}) / E \times 100$
 ・捕捉率(%): $\text{①} / C \times 100$
 赤字は2004年中越地震との適合性を示す(図-4)

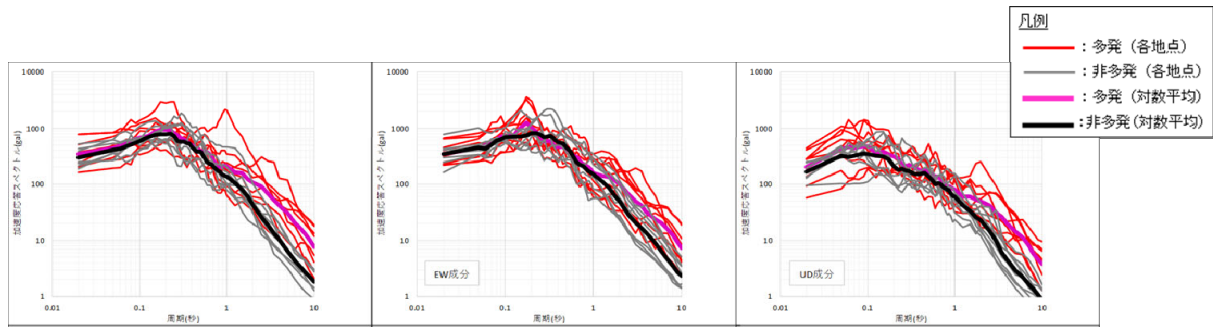


図-1 多発地震と非多発地震の加速度応答スペクトルの比較結果

を設定し、適中率および捕捉率を評価した結果を表-1に示す。表-1より、実際の崩壊・非崩壊に対する適中率と捕捉率がともに概ね70%以上を超えるなど、「地震時斜面崩壊危険度評価システム」に搭載されている手法による評価結果(適中率49~51%、捕捉率69~91%)と比較すると、適中率は全体的に高く、捕捉率は同等の結果となっている。このことから、この式形を用いた新たな地震時斜面崩壊危険度推定手法は、現行システムよりも精度の高い予測ができることが期待される。

2. 地震動特性が斜面崩壊に及ぼす影響の分析

土砂災害が多発した地震(以下、「多発地震」という)として、平成16年新潟県中越地震、平成20年岩手・宮城内陸地震、平成23年東北地方太平洋沖地震、平成28年熊本地震を選定した。また、土砂災害が多発しなかった地震(以下、「非多発地震」という)として、平成21年駿河湾南部地震、平成27年の茨城県北部の地震、平成30年の大阪府北部地震、令和元年の山形県沖地震を選定した。選定した地震において震度5弱以上を観測したI種地盤上の強震観測点より観測地震波データを取得し、加速度応答スペクトル作成し、多発地震と非多発地震で比較・分析を行った(図-1)。

この結果、短周期側では同程度のスペクトルを示すが、周期1秒以上の中~長周期側のスペクトルで多発地震と非多発地震に違いが認められ、多発地震のほうが非多発地震に比べスペクトルが大きい傾向を有していることが分かった。このことから、中~長周期側のスペクトルが卓越していると斜面崩壊が発生する可能性が高くなることが示唆され、また、中~長周期側のスペクトルから土砂災害の発生・非発生を地震直後に判定できる可能性があると考えられる。

3. 各種条件が崩壊規模に及ぼす影響の分析

各種条件が地震時斜面崩壊の崩壊規模に及ぼす影響を分析するにあたり、崩壊規模の指標は崩壊面積、

表-2 崩壊面積の確率密度設定イメージ

No	集計前		集計後				
	A(m ²)	log(A)	崩壊面積の階級	階級幅	崩壊数	確率密度P	
1	1,039.2	3.0	log(A)	log(A+dA)	log(dA)	dN	dN/dA/N
2	457.8	2.7	0	3	3	871	7.4E-04
3	1,984.9	3.3	3	3.1	0.1	58	1.9E-04
4	744.7	2.9	3.1	3.2	0.1	57	1.5E-04
5	1,909.8	3.3	3.2	3.3	0.1	42	8.7E-05
.	.	.	3.3	3.4	0.1	45	7.4E-05
.
.

総崩壊数N= 1,176

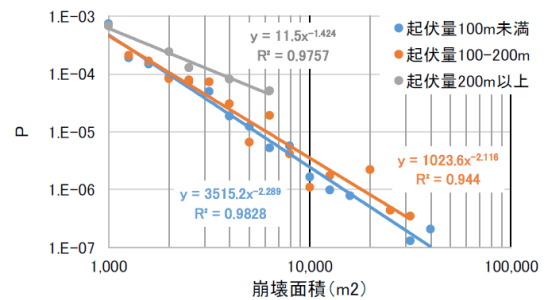


図-2 起伏量階級別の崩壊面積の確率密度関数

崩壊規模に影響を及ぼす条件は、地形条件(斜面勾配、起伏量、曲率、斜面方位)、比抵抗値、最大加速度とし、1.と同様に6種類の地質区分に分類して階級分析を行った。この結果、火山岩類(溶岩・火砕岩、Aso1-4、先阿蘇火山岩類)と未固結火山灰(降下火山灰、火山灰・軽石)で影響する条件がやや異なり、火山岩類では斜面勾配や起伏量、未固結火山灰では比抵抗値について、崩壊面積と良い相関がみられた。この結果を踏まえ、崩壊面積の階級別頻度分布をもとに諸条件の階級別の確率密度関数の設定を試みた(表-2)。起伏量(メッシュサイズ100m)の例を図-2に示す。図-2より、起伏量が大きくなると、崩壊面積の大きな斜面崩壊が発生しやすいことが示されるとともに、確率密度関数によって起伏量に応じた崩壊規模の確率を推定できる可能性が示された。

[成果の活用]

本研究結果については、国総研資料としてのとりまとめ、学会発表等で周知していく予定である。

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 for rainfall index considering immunity

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

土砂災害研究部 砂防研究室

室長 山越 隆雄
主任研究官 坂井 佑介

[研究目的及び経緯]

近年、気候変動の影響により、土砂・洪水氾濫が頻発している。土砂・洪水氾濫対策の立案のためには河床変動計算が重要であるが、その境界条件となる降雨に伴う生産土砂量の予測について、精度の良い手法が確立されているとは言い難い。このことから、気候変動に伴い降雨量が増加しつつある中で、河床変動計算を精度良く実施するためには、降雨に伴う生産土砂量の予測の高度化を図る必要がある。

降雨に伴う土砂生産の要因となる斜面崩壊は、発生時の降雨だけでなく、過去の降雨履歴が影響を及ぼしていることが知られている。このことから、過去の降雨履歴を考慮することで生産土砂量の予測を高度化を諮るものである。

本年度は、過去に降雨によって土砂災害及び斜面崩壊が複数時期で発生した地域において、現在までの降雨と土砂生産に関する資料を収集するとともに、過去の降雨履歴を反映した降雨指標を用いることで、降雨による生産土砂量の予測手法の高度化に関する分析を行った。

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 slope failures that occur in steep slope.

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]

がけ崩れ災害の防止・軽減を図るためには、急傾斜地崩壊防止施設の整備を進めることが重要である。国土技術政策総合研究所では、急傾斜地崩壊防止施設の効率的・効果的な設計を目指し、主要な急傾斜地崩壊防止施設である擁壁の衝撃に対する安定性評価の手法について検討を行っている。

本年度は、崩壊土砂の衝撃が作用した際の擁壁の安定性評価手法を検討する基礎資料とするため、擁壁の設計に用いられるパラメータに関する文献や現地調査結果を収集・整理し、パラメータの精度、相互関連性、安定性評価への影響度を検証・分析した。

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 官 鈴木 大和

[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。

国総研は自然災害時における衛星画像等の活用を強化し、迅速かつ的確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、土砂災害判読調査の精度や課題を確認した。さらに、土砂災害判読調査の自動化を目的に、災害時の地形変化に着目した判読アルゴリズム（案）を検討した。また、「災害時における合成開口レーダ（SAR）の散乱変化事例解説集」を作成し、地整等における災害時の SAR 画像活用に資する技術資料を整備した。

降雨ピークから遅れて発生する土砂災害の機構解析に関する研究

Study on mechanism analysis of sediment disasters delayed from the rainfall peak.

(研究期間 令和元年度～令和2年度)

土砂災害研究部 土砂災害研究室
SABO Department
SABO Risk-Management Division

室 長 中谷 洋明
Head NAKAYA Hiroaki
研 究 官 鈴木 大和
Researcher SUZUKI Yamato

In this study, we surveyed areas of slope failures with significant delay from rainfall peak in the Kyushu region. Based on the survey we investigated its mechanism as two types, induced by lateral groundwater seepage in previous years.

〔研究目的及び経緯〕

降雨終了後、あるいは直近の降雨の影響を受けたとは考え難い無降雨時に発生する斜面崩壊（以下、「無降雨時等の崩壊」と言う。）については、事前の警戒避難が困難であることから極めて危険な崩壊現象である。2018年4月11日に発生した大分県中津市耶馬溪町の土砂災害のように人的被害が発生したほか、救助・捜索やTEC-FORCE等による復旧・点検活動中の二次災害に繋がる危険性を孕んでいる。

無降雨時等の崩壊の発生は全国で複数の事例が確認され、その中でも九州地方においては、2010年鹿児島県南大隅町や2015年同垂水市の発生事例等のように近年頻発する傾向が見られる。無降雨時等の崩壊への調査・対策が急務であるが、この発生機構は不明な点が多いことから、これまで十分な調査がなされず、対策が十分に講じられていない。

本研究では、国総研のほか、学識者や九州地方整備局等から構成された「無降雨時等の崩壊研究会」を設立し、九州地方で過去に無降雨時等の崩壊が発生した地域を対象に調査を行い、崩壊の降雨ピークから遅れ機構を推定した。

〔研究内容〕

1. 無降雨時等の崩壊が発生した斜面周辺における調査

過去に無降雨時等の崩壊が発生した地域を対象に以下の調査を実施した。

まず、現地踏査および微地形判読を実施し、周辺の地形および地質について共通する特徴を確認した。次に、空中電磁探査による地盤の比抵抗を測定した（図-1）。先行降水量が異なる2度の測定による地盤の比抵抗を比較し、調査地の水理地質構造を分析した。さらに、図-2に示すような方法で渓流水の比流量および水質を調査し、地下水の流出特性の空間分布を把握することで、調査地における水理地質構造の影響を把握した。最後に、地下水の継続した水文観測を行い、調査地における特異な水文特性（例えば、降雨ピークから遅れて流量が増大する等）の有無を確認した。

2. 無降雨時等の崩壊に関する発生機構の推定

無降雨時等の崩壊が発生した斜面周辺における調査結果から、地形および地質・水理地質構造・水文特性の影響を総合的に評価し、無降雨時等の崩壊が発生する機構について推定した。

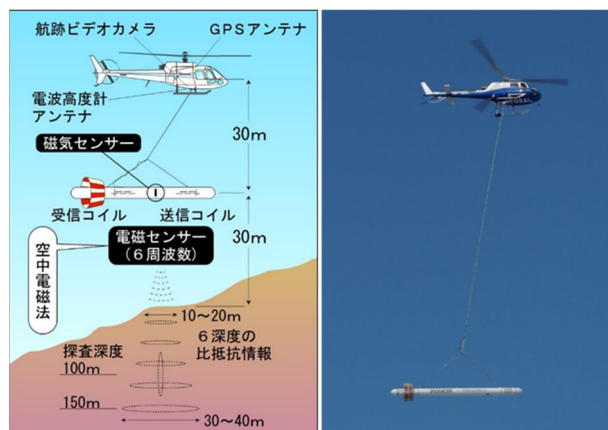


図-1 空中電磁探査の測定方法



図-2 渓流水調査の様子（左：容器法による流量計測状況、右：ポータブル測定器による水質測定例）

〔研究成果〕

1. 無降雨時等の崩壊が発生した斜面周辺における調査結果

過去に無降雨時等の崩壊が発生した地域を現地踏査した結果、火砕流台地周縁部に位置する急崖斜面であることが共通し、地下水の流出が集中する等、植生被覆が少ないガリー地形を確認した（図-3左）。また、

微地形判読においても一定程度の規模のガリー地形を確認した（図-3右）。

先行降水量が異なる条件で測定した地盤の比抵抗を比較すると、無降雨時等の崩壊が発生した斜面の背後に比抵抗が大きく変化する領域を確認した（図-4）。この領域は地盤内の飽和度に大きな変化があったことを示すものであり、先行降水に応じた地下水の変化に起因すると考えられる。加えて、渓流水調査の結果、無降雨時等の崩壊が発生した斜面内の渓流水は比流量が大きく、電気伝導率が高い傾向を示した（図-5）。この結果から、この斜面に対して地下水が周辺から集中し、地下水が長時間かけて流動していることから電気伝導率が高くなったと考えられる。なお、地下水を継続して水文観測した結果、降雨ピークから大きく遅れて流量や水質が変化すること等は見られず、むしろ降雨強度に鋭敏に反応していた。つまり、本調査箇所においては特異な水文特性は認められなかった。

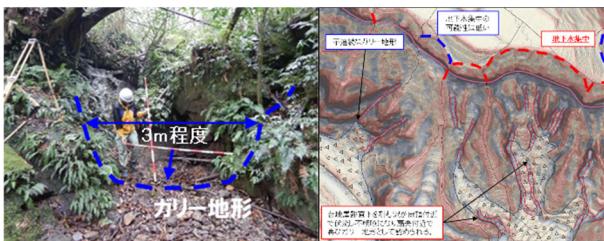


図-3 現地踏査（左）および微地形判読（右）によるガリー地形

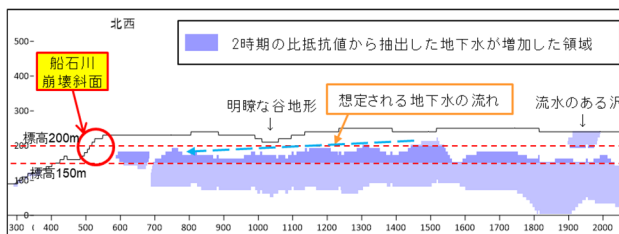


図-4 地盤の比抵抗変化（縦断方向）

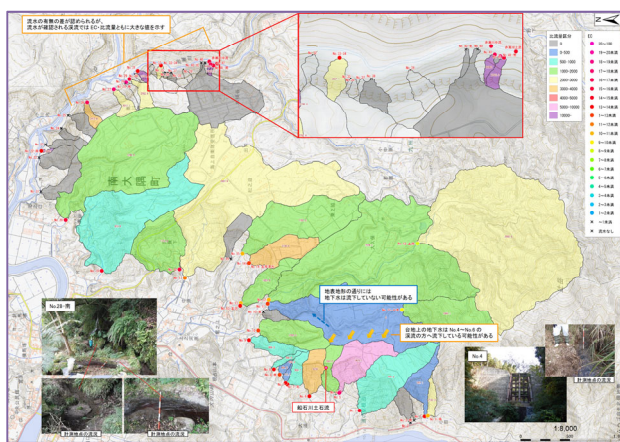


図-5 地下水の流出特性の空間分布

2. 無降雨時等の崩壊に関する発生機構の推定結果

現地調査の結果から、無降雨時等の崩壊が発生する機構には地下水の関与が大きいと推定し、下記の2種類の崩壊形態を想定した。

図-6に地下水の洗掘作用による発生機構の概念を示す。無降雨時等の崩壊が発生した斜面には地下水が周辺から集中し、その侵食作用によるガリー地形が発達する特徴があった。このため、地下水の洗掘作用によって地下水が流出箇所の上部地盤が不安定化し、降雨が直接的に影響しないタイミングで重力に従って崩落する機構が考えられた。

一方、図-7に地下水の水圧上昇による発生機構の概念を示す。無降雨時等の崩壊が発生した斜面には地下水が周辺から集中する特徴があった。このとき、何らかの要因によって排水機能を阻害する作用等が生じることで、地盤内の地下水位が上昇する。これにより間隙水圧が上昇して地盤が不安定化し、降雨が直接的に影響しないタイミングで崩壊する機構があると考えられた。なお、排水を阻害する作用・現象の解明については今後の課題である。

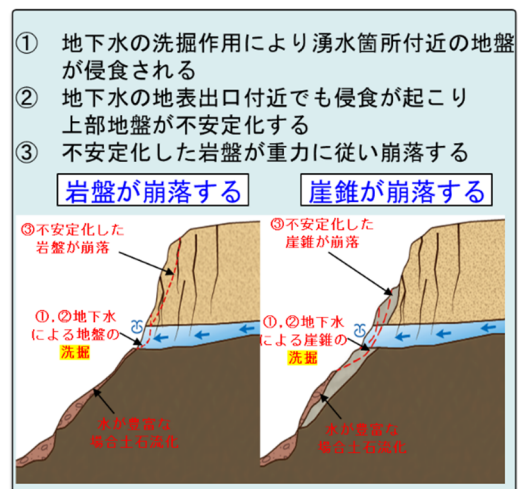


図-6 地下水の洗掘作用による発生機構

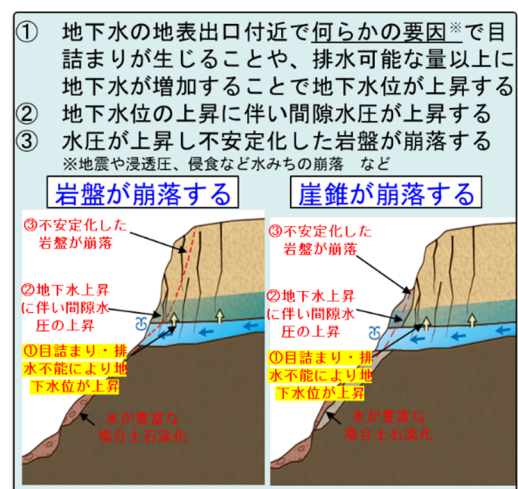


図-7 地下水の水圧上昇による発生機構

【成果の活用】

本研究の結果は、無降雨時等の崩壊の危険度が高い斜面の抽出マニュアルおよび分布図の作成に資する基礎資料として活用する予定である。

斜面・対策施設下部が全面的に水没した場合の 崩壊危険度の評価手法の検討

Study on risk evaluation of slope failures under the assumption that slopes and countermeasure works against slope failures become submerged by floods.

土砂災害研究部 土砂災害研究室
SABO Department
SABO Risk-Management Division

室 長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研 究 官
Researcher
研 究 官
Researcher

(研究期間 令和2年度)
中谷 洋明
NAKAYA Hiroaki
瀧口 茂隆
TAKIGUCHI Shigetaka
鈴木 大和
SUZUKI Yamato
金澤 瑛
KANAZAWA Akito

If heavy rainfall caused flooding, mountain slopes and countermeasure works against slope failures could become submerged and slope failures could occur. Therefore, it is important for evaluation about risk of slope failures under the conditions. In this study, we evaluated the risk of slope failures with groundwater analysis and slope stability analysis.

〔研究目的及び経緯〕

豪雨によって大規模な氾濫・浸水が発生して急傾斜地斜面（以下、斜面）および急傾斜地崩壊対策施設（以下、施設）が冠水すると、それらの安定性に影響が及ぶ可能性が考えられる。そこで本研究では、現場調査に基づいて地下水位を設定した想定斜面で浸透流解析を実施し、大規模氾濫によって冠水した場合の斜面及びすべり土圧がかかるもたれ式擁壁の安定性を検討した。

〔研究内容〕

1. 浸透流解析と斜面の安定性評価

貯水池地すべりに関連する文献に記載されている崖錐堆積物の斜面安定性評価方法は、自然斜面が冠水したときの安定性の評価方法として急傾斜地にも適用が可能であると考えられるため、本検討では施設が施工された斜面を対象とした。また、貯水池地すべりに関連する文献から、冠水による斜面の安定性は、斜面勾配、崩壊土層厚、土層の透水性に影響されると考えられるため、これらの要素を組み合わせた解析パターンを表-1のように設定した。設定したケースは、大きく分けて3ケースになるがそれぞれにおいて土質（透水性）を変化させ、施設の排水管が閉塞した状態のパターンを作った。冠水は、施設天端から施設背面および斜面内に浸入するが、浸入した水は施設の排水管からは排水されにくいという条件とした。ケース5~7は土層厚の影響をみるパターンとし、ケース8~10は勾配の影響をみるパターンとした。なお、各ケースにおいては、初期水位時、冠水時（施設高5mが完全に水没したとき）、排水時（施設前面の水位が低下する

とき）の浸透流解析を実施しているが、本検討では斜面の安定性が最も低くなる排水時（施設前面の水位がゼロとなるときで、排水開始から5時間後）の解析結果を示す。浸透流解析に用いた解析断面の一例を図-1に示す。地下水位の形状は初期状態のものを示しており、各ケースで現地調査結果を参考に設定した。

浸透流解析で用いる飽和透水係数、不飽和特性は既往文献を参考に設定した。境界条件では、計算領域の両側に全水頭を与え、斜面は浸出境界とした。排水時の施設前面の水位の低下速度は、排水管閉塞が「なし」のケースでは令和2年7月豪雨時の球磨川大野観測所における観測結果を参考に1.0m/hrとし、排水管閉塞が「あり」のケースでは各土質の透水係数による速度を設定した。

斜面の安定計算にはフェレニウス法を使用した。斜面内のすべり面形状は、急傾斜技術基準の施設設計時の考え方を参考に最大抑止力円弧を探索して決定した（図-1に併記）。なお、強度定数は、探索した円弧に対して水位がない状態で斜面安全率が1.0となるように逆算により設定した（表-1）。

〔研究成果〕

1. 浸透流解析と斜面の安定性評価の結果

表-2に斜面内の水位変化による斜面安全率の変動結果を示す。本検討では、主測線二次元断面におけるすべり土塊の面積に占める地下水の面積の割合を面積率として定義し、表には冠水時の面積率から排水時の

表-1 調査地および施設の諸元

No.	ケース	斜面勾配	基岩勾配	層厚	崩壊高さ	土質	粘着力 ※逆算	せん断抵抗角	透水係数	排水管閉塞
1	貯水池地すべりの知見から地下水の影響が最も大きいと考えられた斜面規模のケース	30°	30°	2m	10m	粘性土	5.1kN/m ²	15°	10 ⁻⁵ cm/s	なし
粘性土						5.1kN/m ²	15°	10 ⁻⁵ cm/s	あり	
砂質土						0.4kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	なし	
砂質土						0.4kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	あり	
5	ケース1~4から層厚を一般的な厚さとしたケース(施設規模を標準的なものにしたケース)	30°	30°	1m	10m	粘性土	2.8kN/m ²	15°	10 ⁻⁵ cm/s	なし
砂質土						0.1kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	なし	
砂質土						0.1kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	あり	
8	基岩勾配を斜面勾配よりも緩くし、すべり面形状をケース5~7よりも深くしたケース	30°	25°	1~2.9m	10m	粘性土	4.4kN/m ²	15°	10 ⁻⁵ cm/s	なし
砂質土						0.2kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	なし	
砂質土						0.2kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	あり	

面積率がどの程度低下したか(面積率低下量)を記載した。併せて、すべり土塊に水位がない状態のすべり面の抑止力に対する排水時のすべり面の抑止力の低下量および排水時の斜面安全率を示した。

粘性土は排水速度が遅いため、排水後5時間経過してもほとんど斜面内から地下水が排水されない。砂質土は粘性土と比べて排水速度が早いため、排水後5時間経過すると冠水時の面積率に対して6~9ポイント程度排水される。ただし、砂質土でも施設の排水管が閉塞している場合は粘性土の場合と同様に排水されにくくなる。砂質土では、同一勾配であれば層厚が厚いほど地下水の面積率の低下が大きくなる。粘性土では、地下水の面積率の低下量をもともと小さいため、層厚の違いはあまり見られない。基岩勾配の変化させたケースでは、粘性土および砂質土で基岩の勾配が斜面勾配よりも緩くなると面積率の低下量が増加し、斜面安全率が低下した。斜面の土質が粘性土、すなわち透水性が低いほど排水時に地下水が残留する結果となったが、斜面安全率では粘性土よりも砂質土のほうが低下量は大きい結果となった。これは土質強度定数の影響であり、せん断抵抗角が大きい砂質土のほうが水位変化による抑止力の低下量が大きいためであると考えられる。

大規模な氾濫が危惧される地域における急傾斜地では、冠水排水時に斜面が不安定化する可能性がある。本検討の結果から、そのような場合、施設前面の水位低下速度が速いほど、崩壊土層の土質強度定数の粘着力が小さく内部摩擦角が大きいほど、急傾斜地の基岩の勾配が緩いほど、不安定土層の層厚が厚いほど不安定化しやすいことが分かった。すなわち、本モデルにおいても、冠水排水直後に斜面に近づくと二次災

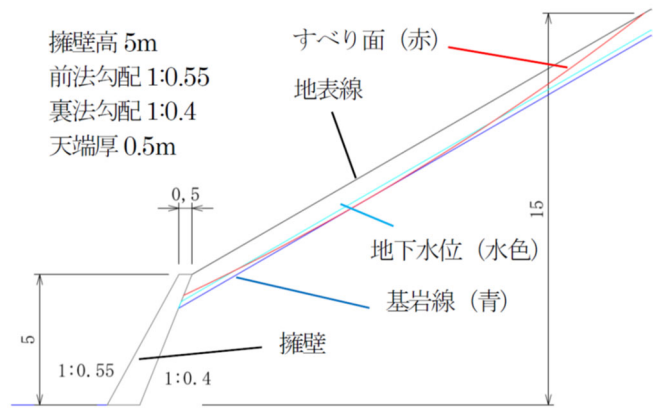


図-1 解析断面の一例(ケース5~7)

表-2 水位変化による斜面安全率

ケース No.	土質	水位条件	面積率低下量 (ポイント)	抑止力低下量 (kN/m)	斜面安全率 (-)
1	粘性土	排水時水位	0.7	33.7	0.83
2		排水時水位-排水管閉塞	0.0	33.9	0.83
3	砂質土	排水時水位	9.2	25.2	0.89
4		排水時水位-排水管閉塞	0.0	36.2	0.84
5	粘性土	排水時水位	0.9	5.3	0.95
6	砂質土	排水時水位	6.0	12.2	0.89
7		排水時水位-排水管閉塞	0.1	15.5	0.86
8	粘性土	排水時水位	0.9	13.2	0.93
9	砂質土	排水時水位	7.4	42.8	0.75
10		排水時水位-排水管閉塞	0.2	49.5	0.71

害に遭うおそれがあることが確認された。

[成果の活用]

本研究の結果は、急傾斜地崩壊対策施設の設計や維持管理等に関する技術指針の作成に資する基礎資料として活用する予定である。

土砂災害関連情報利用の高度化に関する調査

Research on development of information usage about sediment disasters.

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を目的に、国土技術政策総合研究所内の物理サーバ上で稼働している現行の土砂災害データベースをクラウド環境に移行し、クラウド版土砂災害データベースシステムの実証試験の実施と実証試験を踏まえた改良を行った。

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、過去の土砂災害データ、時間雨量データ、素因に関する地形・地質データ等を収集、整理して素因リスクマップを作成するとともに、令和元年東日本台風や令和2年7月豪雨で集中的に土砂災害が発生した箇所を検証を実施した。