

2.1 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：土砂管理研究グループ（火山・土石流）

研究担当者：石塚忠範、水野秀明、山越隆雄、武澤永純、清水武志

【要旨】

2008 年岩手・宮城内陸地震、2011 年東日本大震災に伴う土砂災害や、2011 年台風 12 号に伴う土砂災害等、近年、深層崩壊やそれに起因する大規模土石流、天然ダムの災害が発生し、甚大な被害が生じている。そのため、事前の施設整備や緊急時の危機管理体制の整備等を着実に進めるための研究・技術開発の進展が必要とされている。また、国の財政状況を鑑み、効率的・合理的に大規模土砂災害対策を実施するためには、深層崩壊等の発生危険箇所・発生規模予測手法が必要不可欠である。

平成 23 年度は、深層崩壊発生危険箇所・発生規模予測手法の開発のための研究として、レーザー測量データを用い、深層崩壊発生斜面の特徴とされる岩盤クリープ斜面の表面形状把握手法の検討を進めた。その結果、固有値比が最小となるウィンドウサイズに着目した変化率を用いると、浅い谷や遷急線・遷緩線といった岩盤クリープ斜面に特徴的な地形を抽出することが可能であることが示された。一方、危機管理技術ガイドライン作成のための研究として、2011 年 9 月の台風 12 号に伴う土砂災害で実際の天然ダム災害対応で適用された事例を踏まえ、天然ダム堤体からの漏水が著しい場合の天然ダムに起因する土砂災害の発生時期の予測手法の検討を進めた。その結果、台風 12 号に伴い形成された天然ダムにおける水位変動等の実態が明らかになるとともに、天然ダム堤体の形状変化と漏水状況の間に関連があることが示された。

キーワード：深層崩壊、天然ダム、台風 12 号、レーザー測量

1. はじめに

2008 年岩手・宮城内陸地震、2011 年東日本大震災に伴う土砂災害や、2011 年台風 12 号に伴う土砂災害等、近年、深層崩壊やそれに起因する大規模土石流、天然ダムの災害が発生し、甚大な被害が生じている。そのため、事前の施設整備や緊急時の危機管理体制の整備等を着実に進めるための研究・技術開発の進展が必要とされている。また、国の財政状況を鑑み、効率的・合理的に大規模土砂災害対策を実施するためには、深層崩壊等の発生危険箇所・発生規模予測手法が必要不可欠である。

そこで、本研究は、深層崩壊やそれに起因する大規模土石流、天然ダムの災害に対する事前の施設整備や緊急時の危機管理体制の整備に資するため、以下の達成目標を掲げて実施するものである。

- ①深層崩壊発生危険箇所・発生規模予測手法の作成
- ②異常土砂災害に対する危機管理ガイドラインの作成
- ③以上土砂災害に対するハード対策ガイドラインの作成

平成 23 年度は、深層崩壊発生危険箇所・発生規模予測手法の開発のための研究として、レーザー測量データを用い、深層崩壊発生斜面の特徴とされる岩盤クリープ斜面の表面形状把握手法の検討を進めた。また、危機管理技術ガイドライン作成のための研究として、2011 年 9 月の台風 12 号に伴う土砂災害で実際の天然ダム災害対応で適用された事例を踏まえ、天然ダム堤体からの漏水が著しい場合の天然ダムに起因する土砂災害の発生時期の予測手法の検討を進めた。

以下、それぞれの項目について第 2 章、第 3 章で報告する。

2. レーザー測量データを用いた岩盤クリープ斜面の抽出手法の検討

2.1 背景と目的

深層崩壊は、大規模な土石流の発生や天然ダムの形成により、周辺地域に甚大な被害を及ぼすことがある^{1),2)}。

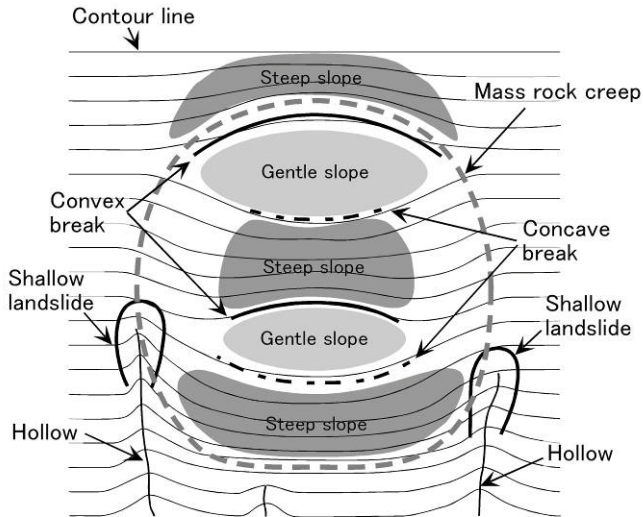


図1 岩盤クリープ斜面周辺の地形的特徴

このような深層崩壊の発生箇所を事前に予測することは、防災、減災の観点から極めて重要である。深層崩壊が発生しやすい箇所のひとつに、長期的な重力の作用を受け岩盤の変形の進んだ斜面（以下、岩盤クリープ斜面）があり³⁾、深層崩壊発生箇所の予測には岩盤クリープ斜面の抽出が有効であると考えられる。しかし、岩盤クリープ斜面は地すべりと比べて変動量が微小であり、地形的特徴が地表面に顕著に現れないこともある。従来行われてきた空中写真判読では、植生の影響も大きく、岩盤クリープ斜面の微小な地形的特徴を見つけることは容易ではなかった。また、広域を同一の精度・基準で評価することは困難であった。

一方、近年、航空レーザーを用いた地形計測（以下、LiDAR）により、従来以上に地表面の詳細な地形情報が得られるようになった^{4)~6)}。これにより、岩盤クリープ斜面のような微小な地形的特徴を定量的に評価することが可能となった（例えば、横山ら、2012⁷⁾）。地形的特徴を一定の精度で抽出することができれば、判読ミスや見落としを減らすことができ、精度良く岩盤クリープ斜面を抽出することが可能と考えられる。そこで本研究では、LiDAR データを用いて、岩盤クリープ斜面を抽出する手法について検討した。

岩盤クリープ斜面は、一般的には、①斜面内に深い谷や沢がない、②斜面内に対をなす遷緩線、遷急線が分布する、③両側の境界に小さな谷や小崩壊が形成されている、④上部の境界付近に谷向きの急崖が存在するといった地形的特徴を有している^{8),9)}（図1）。横山ら（2012）⁷⁾は、これらの岩盤クリープ斜面の地形的特徴について、LiDAR データを用いて、斜面勾配や固有値比¹⁰⁾等による表面地形の定量化手法の検討を行った。固有値比は、斜

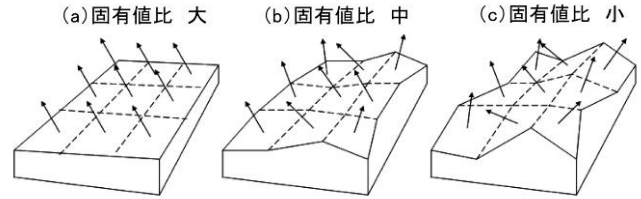


図2 固有値比の概念図（内田ら（2010）⁶⁾による）

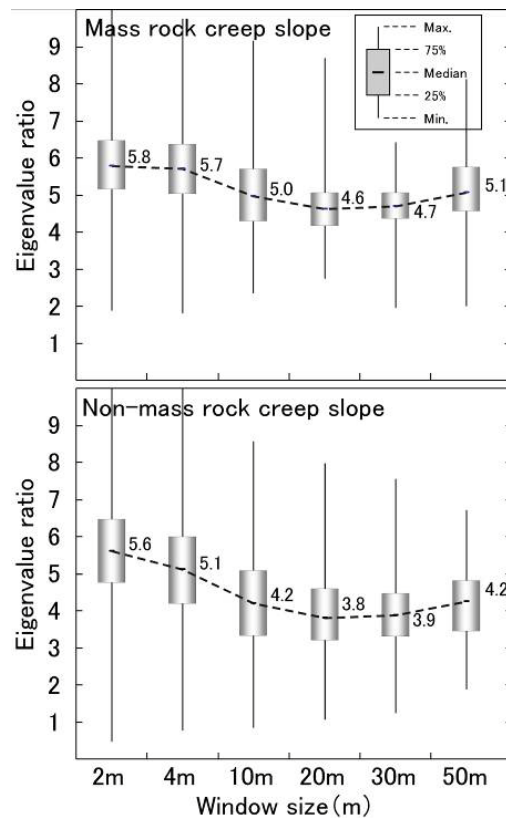


図3 ウィンドウサイズ毎の固有値比

面に立てた垂線ベクトルの乱れを地表面の乱れとして評価するもので、値が大きいと平坦で滑らか、小さいと表面形状の変化が大きいことを表現でき、凹凸の程度現している（図2）。岩盤クリープ斜面は上記の②の特徴を有するため、解析ウィンドウサイズ遷急線の出現周期（80m程度）の2分の1から4分の1のとき、斜面の凹凸の度合いを示す固有値比が最も小さくなることを示した（図3）。また、谷が深い、遷急（緩）線による勾配変化が大きいほど、固有値比が小さくなることを明らかにした。その結果、岩盤クリープ以外の斜面（以下、非岩盤クリープ斜面）では、遷急線・遷緩線がなく、深い谷が発達するため、ウィンドウサイズ20~30mの固有値比は、岩盤クリープ斜面よりも小さな値となった。このことは、

固有値比が最小となるウィンドウサイズを用いることで、岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面とを分離できる可能性が考えられる。本研究では、岩盤クリープ斜面を抽出する手法として、まず、地形的特徴を抽出した上で、地形的特徴と岩盤クリープ斜面との関係を検討することとした。

2. 2 検討方法

2, 4, 10, 20, 30, 50, 100m の 7 種のウィンドウサイズで固有値比を算出した。固有値比の算出方法は横山ら (2012) ⁷⁾ に従った。各ウィンドウサイズの固有値比を 2m ウィンドウサイズで除した値のヒストグラムを、岩盤クリープ斜面と非岩盤クリープ斜面について作成したところ、20m および 30m ウィンドウサイズで頻度分布の大

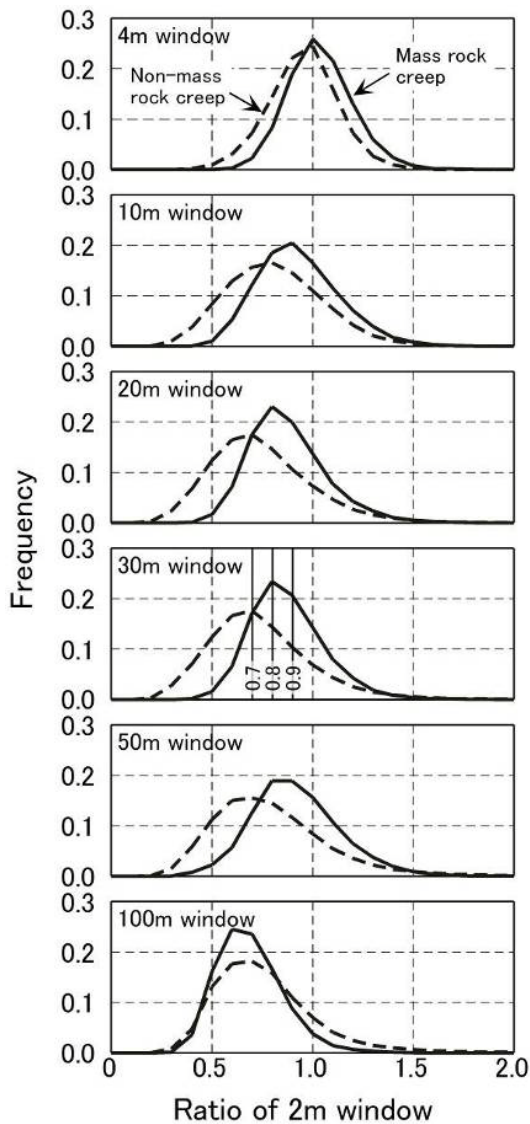


図4 固有値比のヒストグラム

きな相違がみられた (図4)。ウィンドウサイズ 30m/2m では、0.7 より大きい場合で岩盤クリープ斜面の特徴の含有率が高いと考えられ、0.9 以上ではさらに高くなると考えられる。今回は、ウィンドウサイズ 30m/2m 固有値比 (以下、変化率) を用いて、変化率の分布と岩盤クリープ斜面の地形的特徴とを比較した。

検討対象地域は、鰐塚山である (図5)。尻無川の左岸側に分布する 3 つの岩盤クリープ斜面 (A, B, C) を対象とした。また、右岸側の非岩盤クリープ斜面との比較も行った。

2. 3 検討結果

変化率の分布を図5に示す。なお、変化率は、各グリッドセルについて 20m 四方の平均値を示した。岩盤クリープ斜面をみると、いずれの斜面でも遷急線・遷緩線、浅い谷が多く分布する斜面中央付近で、変化率は 0.9 以上であった。一方、非岩盤クリープ斜面を見ると、深い谷の周辺では変化率は 0.7 未満であった。これらのことから、固有値比の変化率は、岩盤クリープの地形的特徴をよく表現しているものと考えられる。また、非岩盤クリープ斜面内に存在する浅い谷や遷急線・遷緩線でも変化率 0.7 以上となっていた。このことは、浅い谷や遷急線・遷緩線を確実に抽出していることを意味しているが、岩盤クリープ斜面のみの抽出とはならないことも示している。また、岩盤クリープ斜面が接する境界や、非岩盤クリープ斜面の狭く深い谷、やせ尾根で、変化率 0.7 以上となっていたことは、地形的特徴①、②以外の地形が変化率 0.7 以上に多く含まれる可能性が高い。幅の狭い谷ややせ尾根では、ウィンドウサイズ 30m よりも小さいサイズで固有値比が最小となる可能性があり、今回用いたウィンドウサイズ 30m では、変化率に差が現れなかったことが考えられる。

2. 4 まとめ

固有値比が最小となるウィンドウサイズに着目した変化率を用いると、浅い谷や遷急線・遷緩線といった岩盤クリープ斜面に特徴的な地形を抽出することが可能である。しかし、変化率 0.7 以上には狭く深い谷ややせ尾根も抽出されることから、他のウィンドウサイズでの検討やいくつかの組合せを実施し、これらを除外するなどの検討が必要である。また、岩盤クリープ斜面の抽出を行うに当たっては、広域、および他地域における検証など、さらに検討を行う必要がある。

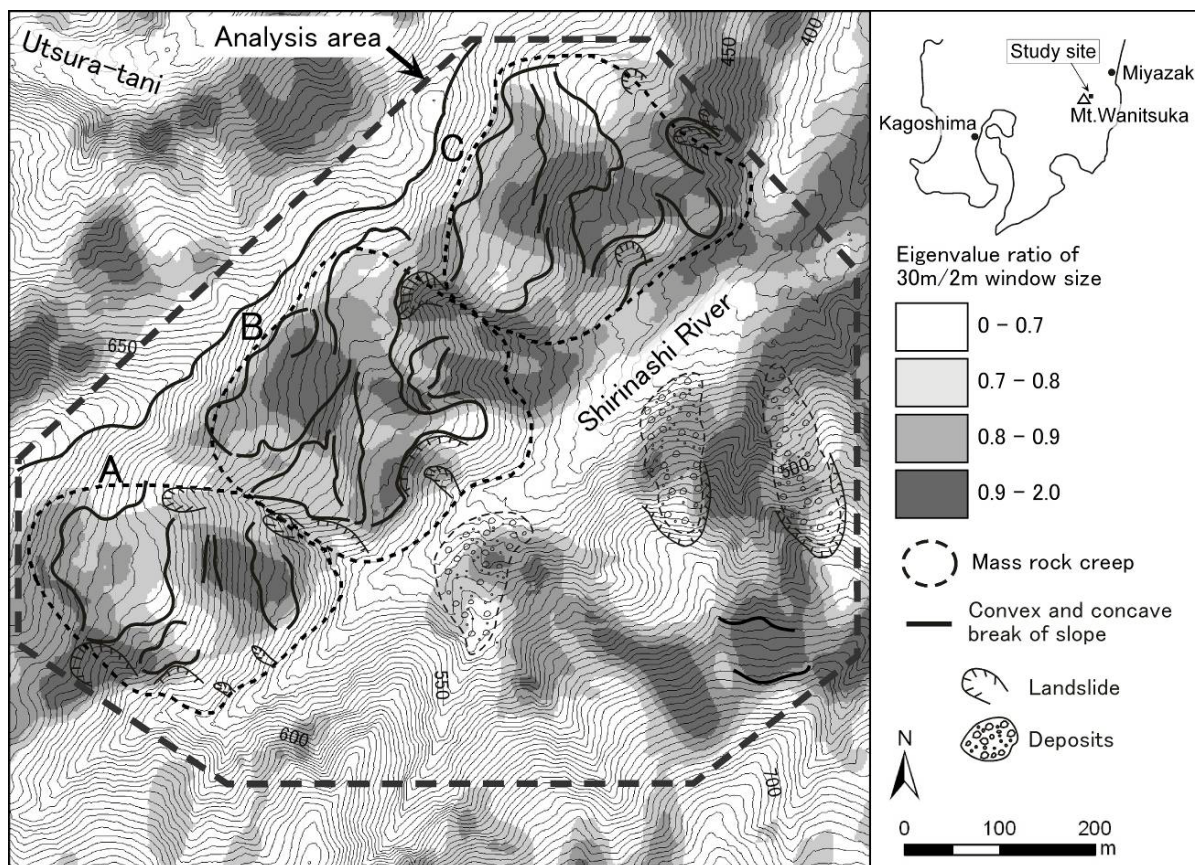


図5 ウィンドウサイズ 30m/2m 固有値比（変化率）の分布

3. 2011 年台風 12 号により紀伊半島で発生した天然ダムの形状及び湛水位変化

3. 1 背景と概要

2011 年の台風 12 号により奈良県、和歌山県において大規模な天然ダムが複数発生した。そのうちいくつかの天然ダムは同出水中に越流侵食等により解消されたが、残りの 5 箇所については台風 12 号通過後も残存し、急激な越流侵食による下流への氾濫被害の危険性が残された。このような被害を事前に把握し、避難情報等をすみやかに住民に提供するためには、洪水氾濫による影響範囲を予測するとともに、越流開始までの時期についても予測する必要がある。前者についてはこれまでに検討¹⁾がすすめられており、後者については、流出解析等により湛水池への流入流量を算出し湛水位変化を予測することが考えられる。

3. 2 目的

一般的に湛水池の水は天然ダム堤体内部に浸透するため、湛水池への流入流量の全てが湛水位の増加につながらないと考えられる。しかしながら、過去に水位観測が実施された天然ダムの事例では、無降雨時にも湛水位は上昇を続けていることが多く（図 6 上図）、浸透量は流

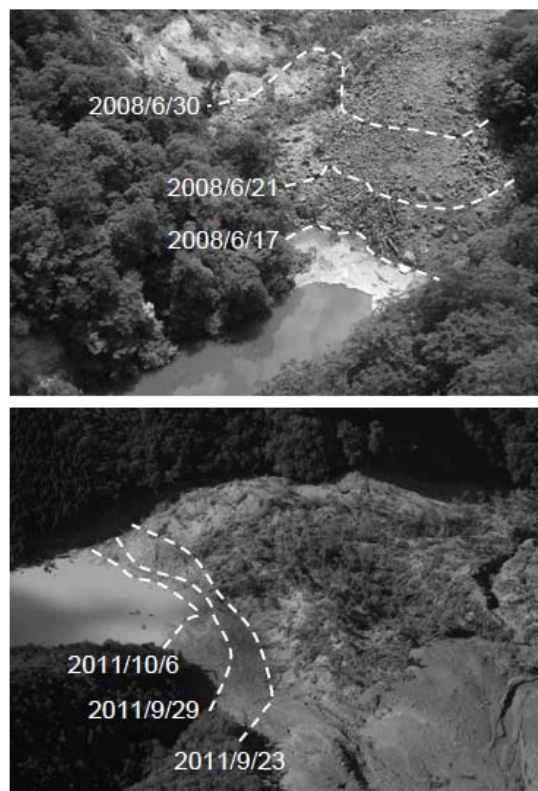


図6 天然ダムの湛水位の変化（上図：湯浜（岩手・宮城内陸地震により形成した天然ダム、下図：長殿）

2.1 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究



図7 検討対象地域

りに平均化して求め、岩手・宮城内陸地震の事例では、水位観測実施後については同様としたが、実施前については、空中写真から水位を判読し、2 時期の湛水量の差を1 秒あたりに平均化して求めた。なお、ポンプ等による排水は厳密な量を求めるのが困難であるため、使用した水位データは人工的な排水が行われる前までの期間とした。さらに、赤谷に形成した天然ダムについては、約2 週間後に発生した台風15 号により越流し天然ダム堤体が侵食された。これにより、天然ダムの直下に多量の土砂が堆積し天然ダム全体の形状が大きく変化した。赤谷では自然越流前に人工的な排水は行われておらず、越流侵食前後により大きく地形が変化している。このようなケースにおいて、継続的に水位観測されている事例はこれまでに無く、地形変化と水位観測結果とを併せて考察した。

3. 4 検討結果

3. 4. 1 水位変化

降雨と湛水位の時系列変化の事例を図8 に示す。9 月中旬から下旬及び10 月中旬の比較的大規模な降雨時には、湛水位も追従して上昇し、降雨終了後まもなく湛水位は低下に転じている。本報告では長殿のみを図示したが、ほかの天然ダムについても同様であった。

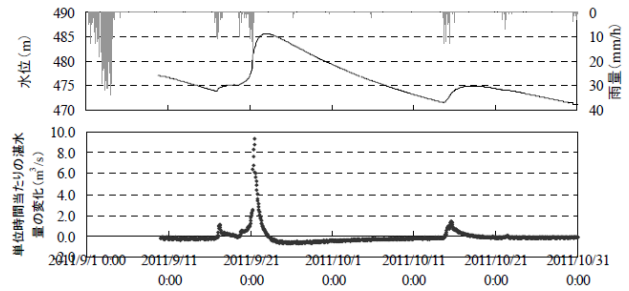


図8 天然ダムの水位変化及び単位時間当たりの湛水量の変化（長殿の例）提供：国土交通省近畿地方整備局

また、各天然ダムにおける湛水位と、単位時間当たりの湛水量の変化を図9 に整理した。ここでは降雨の影響を除くため、24 時間無降雨(上記の大規模な降雨時は72 時間無降雨)以降のデータのみを用いている。台風12 号により形成した天然ダムのうち栗平については、全体的に縦軸の値が0 よりも大きく、無降雨時においても湛水位は上昇傾向を示したが、それ以外では、縦軸が0 よりも小さく無降雨時には湛水位は低下傾向を示した。

また、北股については不明瞭であるが、それ以外ではいずれも湛水位が大きいほど単位時間当たりの湛水量の変化の値が小さく、浸透量が多いことが示された。一方、岩手・宮城内陸地震により形成した2 つの天然ダムは湛水位と湛水量の変化に明瞭な関係は見られなかった。さらに、赤谷については台風15 号前よりも台風15 号後の方が湛水位に対する単位時間当たりの湛水量の変化の値は大きかった。すなわち、同じ水面標高の場合、台風15 号後の方が湛水位の低下の進行が遅い傾向が示された。

3. 4. 2 地形変化による影響

図10 左図は、台風12 号直後に撮影された赤谷の天然ダムであり、図10 右図は台風15 号後の状況である。台風15 号前の河道における下流法勾配は、大きい所で17° 程度の箇所もあるが、台風15 号時に発生した越流侵食及び侵食された土砂の堆積により台風15 号後は全体的に概ね一定の勾配(6° 程度)となっていた。台風15 号前(9 月8 日)には図10 左図中の枠内の2 箇所から多量の水が流出していたが、台風15 号後にはその量は急激に減っていた。

以上の点から、同一の天然ダムであっても湛水位によっては天然ダムの浸透量に影響しているものと思われる。また天然ダムの形状についても天然ダム内部の透水性に何らかの影響を与えている可能性が示された。なお、赤谷では水位観測開始直後(約505m)は湛水位によらず湛水量はほぼ一定の割合で減少し、湛水位504m を下回

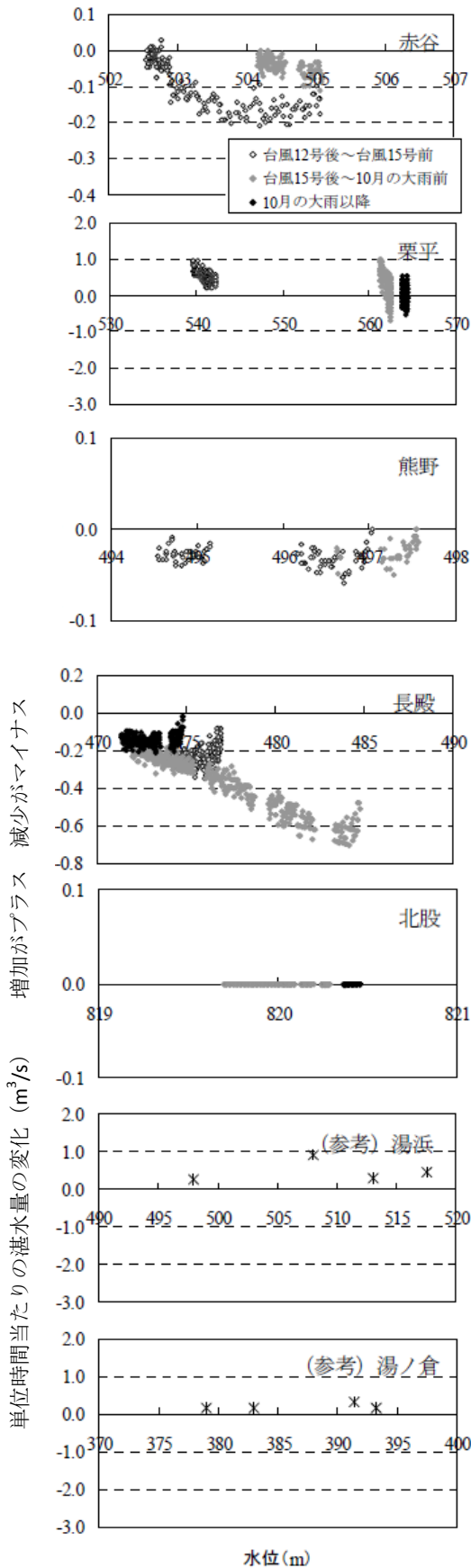


図9 湛水位と単位時間当たりの湛水量の変化との関係
※降雨の影響を除くため24時間無降雨（大規模な降雨は⑦2時間無降雨）以降のデータのみを用いている。

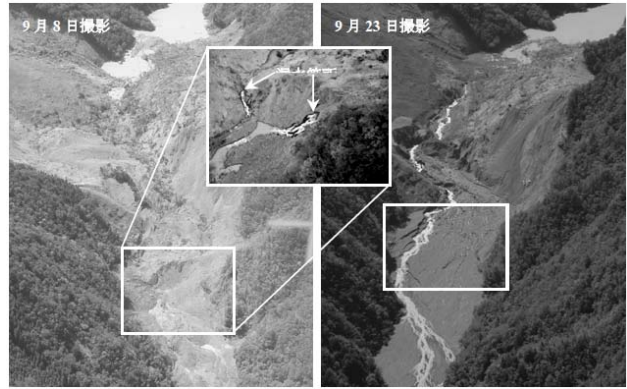


図10 赤谷の地形変化及び漏水状況

変化の値も小さくなっている。これは、水位観測直後には台風12号の影響で流入流量が多かった可能性もあり、今後流出解析などにより検証する必要がある。

3.5 まとめ

ここで得られたデータは、湛水位の予測手法の開発のための基礎データとして活用できると考えられ、今後浸透量の予測手法を確立できれば、雨量及び水位データをリアルタイムに取得し、従来の流出解析手法と組み合わせることで、湛水位の予測がリアルタイムで実施できる可能性がある。しかしながら今回、水位観測と同時期に流量観測を実施していなかったため、現段階では天然ダム堤体の透水性について十分に考察ができていない。今後土質試験や、天然ダム堤体下流及び天然ダム湛水域上流端での流量観測を行い天然ダムの透水性についてさらに考察する必要がある。

4. おわりに

平成23年度は、深層崩壊発生危険箇所・発生規模予測手法の開発のための研究として、レーザー測量データを用い、深層崩壊発生斜面の特徴とされる岩盤クリープ斜面の表面形状把握手法の検討を進めた。その結果、固有値比が最小となるウィンドウサイズに着目した変化率を用いると、浅い谷や遷急線・遷緩線といった岩盤クリープ斜面に特徴的な地形を抽出することが可能であることが示された。しかし、変化率0.7以上には狭く深い谷ややせ尾根も抽出されることから、他のウィンドウサイズでの検討やいくつかの組合せを実施し、これらを除外するなどの検討が必要である。また、岩盤クリープ斜面の抽出を行うに当たっては、広域、および他地域における検証など、さらに検討を行う必要がある。

一方、危機管理技術ガイドライン作成のための研究として、2011年9月の台風12号に伴う土砂災害で実際

の天然ダム災害対応で適用された事例を踏まえ、天然ダム堤体からの漏水が著しい場合の天然ダムに起因する土砂災害の発生時期の予測手法の検討を進めた。その結果、台風 12 号に伴い形成された天然ダムにおける水位変動等の実態が明らかになるとともに、天然ダム堤体の形状変化と漏水状況の間に関連があることが示された。

今後は、今年度明らかになった実態を踏まえ、土質試験や、天然ダム上下流で流量観測を行い天然ダムの透水性についてさらに考察する必要がある。また、天然ダムの透水性に基づき漏水量を予測する手法を開発することにより、雨量及び水位データをリアルタイムに取得し、流出解析手法と組み合わせることで、湛水位のリアルタイム予測が可能になると考えられる。

参考文献

- 1)田畑茂清・水山高久・井上公夫：天然ダムと災害，古今書院，205pp，2002.
- 2)岩松 暉：1997 年 7 月鹿児島県出水市針原川土石流災害，自然災害科学，Vol. 16，No. 2，p. 107-111，1997.
- 3)Chigira, M. and Kiho, K.: Deep-seated rockslide-avalanches preceded by mass rock creep of sedimentary rocks in the Akaishi Mountains, central Japan, Engineering Geology, Vol. 38, p. 221-230, 1994.
- 4)McKean, J. and Roering, J.J.: Landslide detection and surface morphology mapping with airborne laser altimetry, Geomorphology, Vol. 57, p. 331-351, 2004

2.1 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究

- 5)笠井美青・池田 学・藤澤和範・松田昌之・鈴木雄介：航空レーザー測量データから作成された DEM の解析に基づく地すべり地形発達プロセスの推定，日本地すべり学会誌，Vol. 45，No. 2，p. 118-124，2008
- 6)内田太郎・中野陽子・秋山浩一・田村圭司・笠井美青・鈴木隆司：レーザー測量データが表層崩壊発生斜面予測及び岩盤クリープ斜面抽出に及ぼす効果に関する検討，地形，Vol. 31，No. 4，p. 383-402，2010.
- 7)横山 修・内田太郎・中野陽子・石塚忠範・笠井美青・鈴木隆司：レーザー測量データを用いた岩盤クリープ斜面の表面形状把握，砂防学会誌，64-4，p.13-24，2012
- 8)千木良雅弘：崩壊の場所 大規模崩壊の発生場所予測，近未来社，256pp，2007.
- 9)神原規也：岩盤クリープ斜面の地形的特性に関する 1 考察，第 47 回日本地すべり学会研究発表会講演集，p. 83-86，2008.
- 10) Woodcock, N.H. : Specification of fabric shapes using an eigenvalue method, Geological Society of America Bulletin, Vol. 88, p. 1231-1236, 1977.
- 11) 内田太郎・山越隆雄・清水武志・吉野弘祐・木佐洋志・石塚忠範：河道閉塞（天然ダム）及び火山の噴火を原因とする土石流による被害範囲を速やかに推定する手法，土木技術資料，53 - 7，pp.18-23，2011

A STUDY ON DAMAGE ESTIMATION AND MEASURES FOR SEDIMENT-RELATED DISASTERS CAUSED BY DEEP CATASTROPHIC LANDSLIDES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Erosion and Sediment Control
Research Group(Volcano and
Debris flow)

Authors : ISHIZUKA Tadanori

MIZUNO Hideaki

YAMAKOSHI Takao

TAKEZAWA Nagazumi

SHIMIZU Takeshi

Abstract : Japan is posed to risks of sediment-related disasters caused by deep catastrophic landslides(DCL), so that it is necessary to develop the methods which enable us to design appropriate structural measures beforehand or to improve crisis management capabilities. At the same time, it is also necessary to study the methods to predict areas at risk of DCL in order to make mitigation measures more efficient under severe financial limitations. In F. Y. 2011, the authors have executed the study aiming at predicting areas at risk of DCL, in which surface shape of mass rock creep was revealed using airborne LiDAR data. It is considered that the specific eigenvalue ratio of the window size showing minimum eigenvalue ratio can show mass rock creep slopes. In addition, the authors also have executed the study aiming at proposing the technical guideline for risk management of DCL related disasters, in which the authors show the characteristics of water level change in landslide dams actually formed at the time of Typhoon Talas in 2011 and also find a correlation between water leakage rate and topographic change of landslide dam body.

Key words : deep catastrophic landslide, landslide dam, Typhoon Talas, airborne LiDAR data