

**平成30年度**  
**大規模土砂災害対策研究機構年報**

**大規模土砂災害対策研究機構**

# 1. 研究機構の概要

---

大規模土砂災害対策研究機構は、平成 23 年紀伊半島大水害において多数発生した大規模な土砂災害を契機として、大規模土砂災害への対応技術の高度化に対して行政・大学・研究機関が連携して取り組むために平成 26 年度に設立され、様々な取り組みを進めている。

## 1.1 構成機関

大規模土砂災害対策研究機構は下記の 9 機関により構成される。

- ・ 国土交通省近畿地方整備局（大規模土砂災害対策技術センター）
- ・ 国土交通省国土技術政策総合研究所
- ・ 国立研究開発法人土木研究所
- ・ 和歌山県
- ・ 那智勝浦町
- ・ 北海道大学
- ・ 三重大学
- ・ 京都大学
- ・ 和歌山大学

## 1.2 研究機構の取り組む課題

研究機構では、主として下記の課題に対して取り組みを行う。

- ・ 大規模土砂災害に係る危険箇所の抽出・評価
- ・ 中山間地域の危機管理対策
- ・ 国土監視及び国土管理の強化
- ・ 次世代災害対応技術の開発・導入

## 1.3 研究機構の果たす役割

上記の取り組みに加え、地域に根ざした研究機関として、研究機構は下記の役割を果たすことを目指す。

- ・ 土砂災害防止に関わる人材育成支援
- ・ 地域防災力の充実・強化支援
- ・ 防災知識普及のための広報
- ・ 諸外国に向けての技術の発信

## 2. 研究課題

---

研究機構における研究として、大規模土砂災害対策技術センターが主体となり、構成機関の助言を受けながら実施する研究と、センターを含め構成機関相互の連携により共同で実施する研究を実施している。

平成 30 年度は下記のテーマについて研究を行った。

### 2.1 国土交通省近畿地方整備局（大規模土砂災害対策技術センター）

- ・ 流木と巨礫の堆積の影響に着目した、水理模型実験による平成 23 年那智川災害での井関地区の氾濫メカニズムの検討
- ・ 平成 23 年台風 12 号豪雨により発生した斜面崩壊の要因分析
- ・ 要因分析を用いた砂防施設配置計画の検証
- ・ 那智川流域における斜面の水分動態に対する考察
- ・ 合流点の河床変動に着目した、赤谷川流域からの土砂流出及び砂防施設の整備が川原樋川の河床変動に及ぼす影響

### 2.2 国土交通省国土技術政策総合研究所

- ・ 地震による斜面崩壊の影響範囲の推定に関する研究

### 2.3 土木研究所

- ・ ボーリングコアの破砕度と開口亀裂の評価に基づく奈良県赤谷西地区における重力変形領域の推定

### 2.4 和歌山県

- ・ 降雨と湧水 EC の関係に着目した深層崩壊危険斜面抽出手法に関する研究
- ・ 濁度成分の堰堤滞留効果に着目した崩壊監視手法に関する研究
- ・ 地層境界付近の地下水位変状と空中電磁探査解析結果に着目した表層崩壊危険斜面抽出の研究

- ・ 住民・マスコミ・首長への地すべり発生状況及び対策工の効果の分かりやすい説明方法について

## 2.5 京都大学

- ・ 深層崩壊に対する警戒避難の発表ならびに解除に資する雨量データ解析

## 2.6 和歌山大学

- ・ LoRa を利用した衛星/地上ネットワークによる安価な計測システム
- ・ 1953 年の 7.18 水害を対象とした斜面崩壊の素因分析について

## 流木と巨礫の堆積の影響に着目した，水理模型実験による平成23年那智川災害での井関地区の氾濫メカニズムの検討

近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター  
和歌山県土砂災害啓発センター  
国際航業株式会社

木下篤彦・田中健貴  
筒井和男・西岡恒志・福田和寿  
島田徹・江川真史・山田真悟

### 1. はじめに

平成23年9月の台風12号では，紀伊半島で大規模な土砂災害が発生している<sup>1)</sup>。特に，和歌山県の那智川流域では，複合的な表層崩壊や土石流が発生している<sup>2)</sup>。また，那智川の下流域である井関地区では，氾濫により，大きな被害が出ている<sup>3) 4)</sup>。これらの氾濫のメカニズムについては，著者ら<sup>4)</sup>も氾濫シミュレーションなどを実施しているが，井関地区での氾濫水深が災害後の和歌山県の痕跡調査では約3mであったのに対し，計算では約2m程度となり，乖離が生じている。この理由として，災害が夜間であったため，土砂移動発生時刻が正確でない等が挙げられるが，より大きな点として，源道橋での流木による閉塞や支川から土石流として流出してきた巨礫の影響が考慮されていない点が挙げられる。

著者ら<sup>5)</sup>はこれまで，那智川について災害後の航空写真から，巨礫や流木の分布を調査し，災害時のこれらの影響を調査してきた。また，流木について，黒岩ら<sup>6)</sup>が航空写真を基に，支川からの流出量を調査している。その他，那智川を対象としたものではないが，流木による橋の閉塞については，橋本ら<sup>7)</sup>，長谷川ら<sup>8)</sup>が水理模型実験により，流木の長さや量と橋の閉塞しやすさとの関係を明らかにしている。

一方で，流木の量や巨礫の有無が井関地区の氾濫にどの程度寄与しているかは既往研究からははっきり説明できない点が多い。そこで本研究では，水理模型実験によりこれらを明らかにする。実験では，井関地区を含む那智川の模型を作成するとともに，巨礫の有無や供給する流木の量を様々に変えて実験を行い，これらが井関地区の氾濫にもたらした影響について検討する。



図-1 那智川の位置図。矢印は流向を示す。実線で囲ったエリアは，図-3に示す範囲を表す。

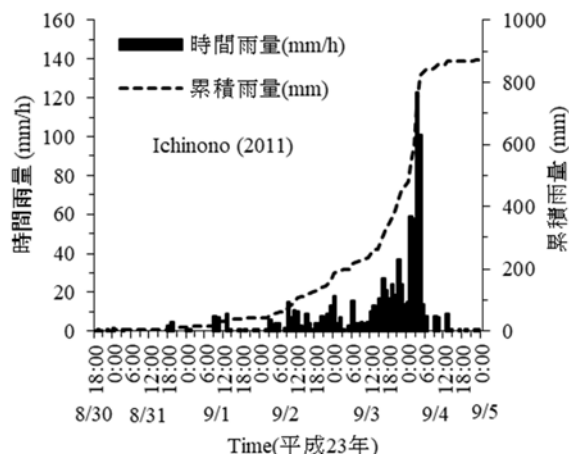


図-2 平成23年9月の那智川流域の雨量

### 2. 平成23年那智川災害の概要

図-1に那智川流域の位置図を示す。平成23年9月の台風第12号による災害は，源道橋上流の各支流から表層崩壊・土石流が同時多発的に発生するとともに，井関地区にて氾濫により大きな被害が発生している。累積雨量は5日間で約870mmに達しているが，9月4日の深夜に時間120mmの雨量が観測

されている。住民ヒアリングからも、9月4日の深夜2時～4時頃に土石流や那智川本川の水位の上昇が発生しており、急激な時間雨量の増加が災害の発生原因になったと考えられる。特に、井関地区では和歌山県の氾濫痕跡調査結果で、約3mの水位となり、大きな浸水被害が発生している(写真-1)。その他、写真-2に那智川本川に堆積した巨礫の様子、写真-3に源道橋における流木の様子を示す。

### 3. 写真測量を基にした災害後の土砂・流木の堆積箇所の調査

那智川流域では平成16年2月16・18日に写真測量を実施している。また、平成23年9月8日の災害直後にも写真測量を実施している。これらを基にそれぞれ地形データを作成し、災害前後の差分図を作成した。図-3に災害前後の航空写真測量を基にした差分図を示す。なお、空中写真測量については、いずれも国土交通省公共測量作業規定に基づき地図情報レベル2500の地形データを作成している。なお、河川敷内の水部については、川底の形状を空中写真測量で計測できないため、地形モデルは水面の形状で作成されている。しかし、平成16年・23年のそれぞれの写真において水部の幅は全河川幅の20%程度を占める程度であり、河道全体の地形は概ね表現できていると考えられる。また、平成23年の災害時において井関地区周辺の河道では土砂の堆積が顕著であったため、河床は比較的平坦であり、水部の深さは10cm程度であったと考えられる。



写真-1 井関地区の被害状況



写真-2 那智川本川に堆積した巨礫



写真-3 源道橋上流での流木の堆積。矢印は流向を示す。



図-3 災害前後の空中写真測量を基にした地形データの差分図(那智川本川と金山谷の合流点を含む広域図)。矢印は流向を表す。図中点線は背割堤の位置を表す。



源道橋の上流約 400m の区間及び源道橋下流の右岸側約 130m の区間で河床上昇が発生している。源道橋は、写真-3 に示す通り、災害時は流木などにより閉塞していたと考えられる。また、源道橋下流右岸側の河床上昇は約 3m にも及んでおり、現地調査の結果、金山谷からの土石流による巨礫の堆積によるものと考えられる。また、源道橋下流では、左岸側で河床低下が発生していること、源道橋下流約 120m より下流の区間では河床低下が発生している。

なお、本川と天女谷川の合流点付近には、背割堤がある(図-3)。天女川出口付近は侵食が発生している。これは、天女谷川では土石流等の顕著な土砂流出が発生しなかったこと、背割堤で那智川本川の流出土砂の流入が抑制されたためと考えられる。

#### 4. 流木や巨礫の堆積に着目した那智川の氾濫に関する水理模型実験

井関地区の氾濫メカニズムを流木と巨礫の点から検証する目的で水理模型実験を行った。模型は現地の 1/100 の模型である(写真-4)。また、勾配は現地に合わせ 1/50 とした。粗度は和歌山県的那智川整備計画の粗度である  $n=0.035$  を参考とした。実験条件は表-1 の通りである。流量は、災害時のピーク流量である  $404\text{m}^3/\text{s}$  から、フルードの相似則より  $4.0\text{l/s}$  と

表-1 水理模型実験の実験ケース

Case	流量 (l/s)	流木量 (cm <sup>3</sup> )	給砂	マウンドの有無
0	4.0	0	平衡給砂	無
I	4.0	500	平衡給砂	無
II	4.0	1,000	平衡給砂	無
III	4.0	1,500	平衡給砂	無
IV	4.0	0	平衡給砂	有
V	4.0	1,500	平衡給砂	有

し実験中一定とした。流木は、災害直後に現地に堆積していた流木の大きさを参考に、長さ 5cm、直径 5mm 程度のものを用い、水路の上端から一気に投入した(写真-5)。また、金山谷川から土石流により那智川本川に堆積した巨礫をイメージして、Case 4・5 では、1cm 程度の礫を袋に詰めたマウンドを設置した(写真-6)。マウンドの高さは、災害後の現地調査の結果から、ほぼ堤防の天端と等しくなるようにした。その他、実験中は水路の上流から平均粒径 1.5mm の砂を給砂し、掃流力によって下流に砂が給砂されるようにした。写真-4 では、Case 0 終了時のオルソフォトを示しているが、屈曲の影響で源道橋下流では左岸側に土砂が堆積していることが分かる。

図-4~8 に Case I~V の最終河床形状のオルソフォト、Case 0 (掃流砂のみを平衡状態まで流した場

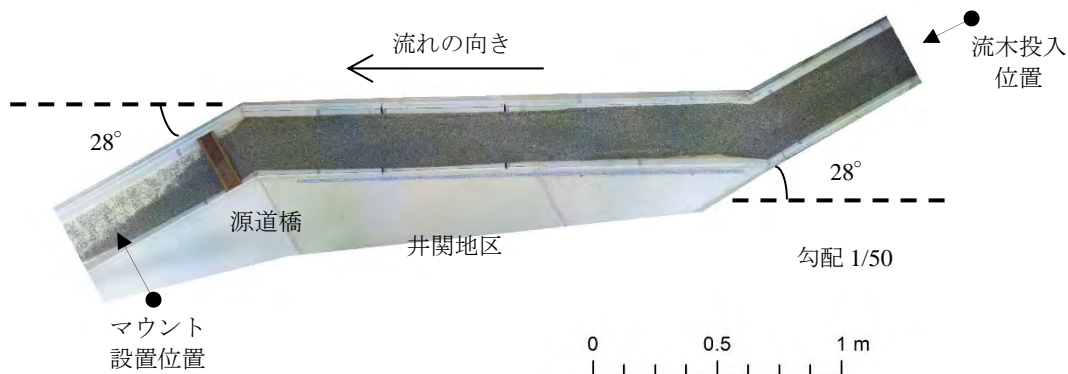
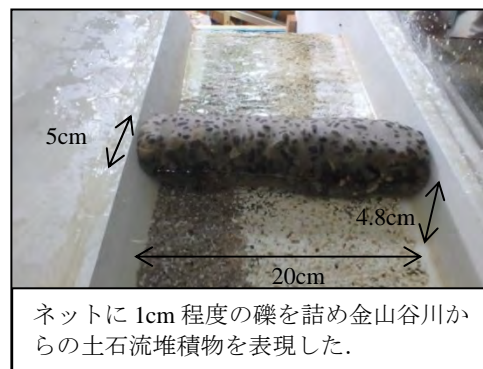


写真-4 水理模型のオルソフォト (Case 0 終了時)



写真-5 供給した流木の模型



ネットに 1cm 程度の礫を詰め金山谷川からの土石流堆積物を表現した。

写真-6 金山谷川と那智川本川の合流点に堆積した巨礫の塊の模型

合)の最終形状との差分を示す。なお、いずれの Case も上流端から供給した掃流砂が水路末端からほぼ同量出て、水路内の河床形状に変化がないことを目視で確認して、最終形状としている。

Case I (図-4)では、流木により、一時的な源道橋の閉塞は見られたものの、数分後に下流に流れて元通りとなった。このため、流況にはほとんど影響はなかった。

Case II (図-5)では、流木により、源道橋の右岸側の一部に閉塞が見られた。流木が源道橋の右岸側で多く堆積した理由として、河道が源道橋直上流で屈曲していることが考えられる。これにより、源道橋直上流で流れが左岸側に偏り、源道橋直下流では、2~3cm 程度の侵食が生じている。これは、図-3 でも源道橋の直下流左岸側で河床低下が起こっており、災害時にも源道橋直上流右岸側で多く流木が堆積したことが示唆される。

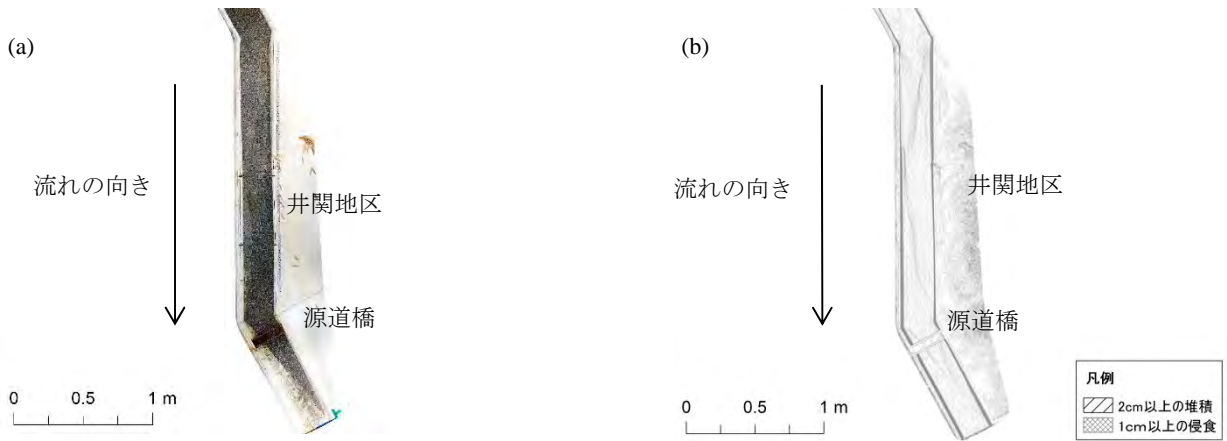


図-4 Case I (マウンド無し、流木量 500cm<sup>3</sup>)の最終形状。(a)オルソフォト、(b)Case 0 との河床形状の差分。

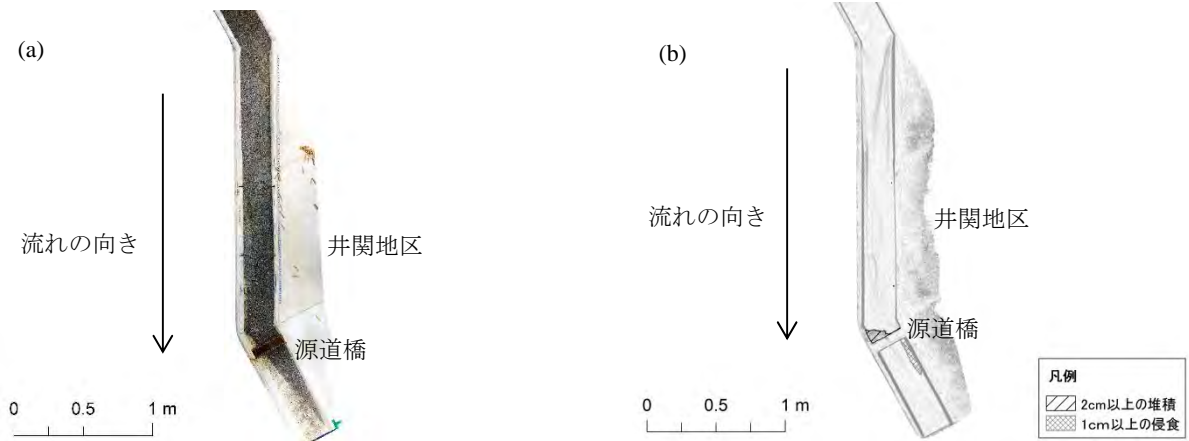


図-5 Case II (マウンド無し、流木量 1000cm<sup>3</sup>)の最終形状。(a)オルソフォト、(b)Case 0 との河床形状の差分。

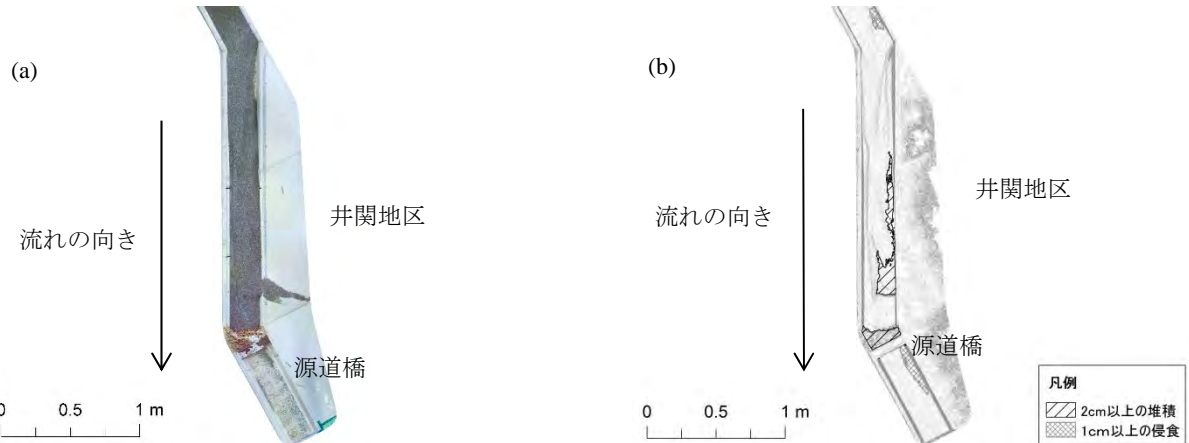


図-6 Case III (マウンド無し、流木量 1500cm<sup>3</sup>)の最終形状。(a)オルソフォト、(b)Case 0 との河床形状の差分。



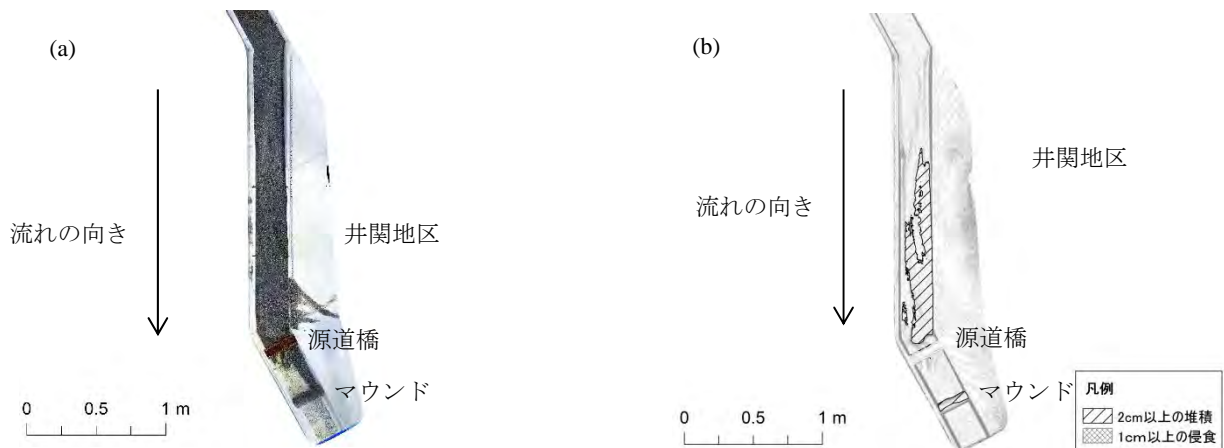


図-7 Case IV (マウンド有り, 流木量 0cm<sup>3</sup>) の最終形状. (a) オルソフォト, (b) Case 0 との河床形状の差分.

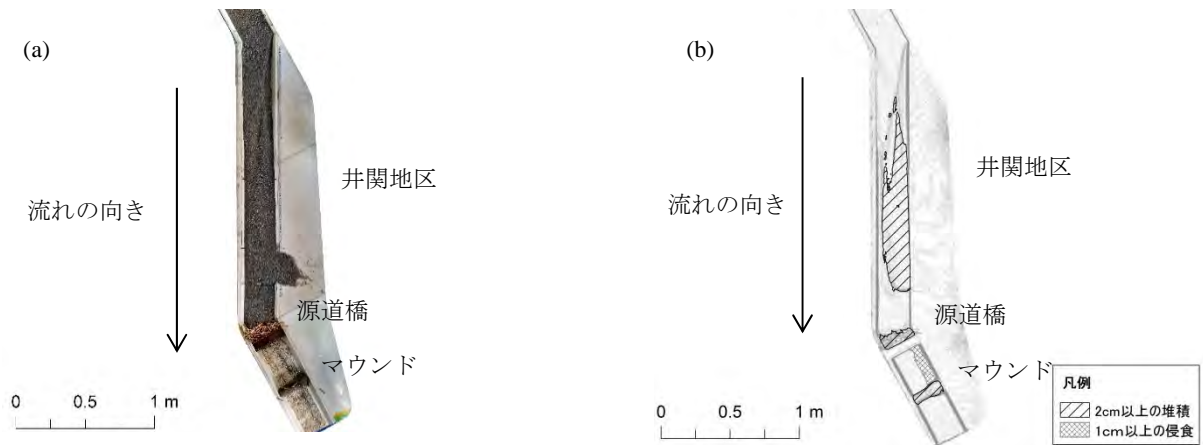


図-8 Case V (マウンド有り, 流木量 1500cm<sup>3</sup>) の最終形状. (a) オルソフォト, (b) Case 0 との河床形状の差分.

Case III (図-6)では、流木により、源道橋の全幅で閉塞が見られた。ただし、流木は源道橋の右岸側で多く堆積しており、Case II同様、源道橋の直下流では、左岸側で2~3cm程度の侵食が生じている。また、源道橋上流30cmの箇所では、2~3cm程度の土砂堆積があり、護岸から土砂があふれ出し、井関地区に土砂が流入している。これは、源道橋の閉塞により、止水域が発生していること、水の流れが井関地区の方向に向かっていることを示唆している。

Case IV (図-7)では、マウンドから源道橋の間に土砂堆積はほとんど見られない。また、源道橋の直上流数cmの区間においても同様であった。それより上流では、2~4cm程度の土砂堆積が見られ、土砂の井関地区への流入が見られる。源道橋直上流と源道橋の間はマウンドによって水の流れがせき止められ、止水域となっていたと考えられる。

Case V (図-8)では、流木による源道橋の閉塞、マウンドによる水の堰き止めが見られた。源道橋の下流については、マウンドとの間で、Case III (図-6)同様、2~3cm程度の侵食が見られた。また、源道橋上流の土砂堆積については、Case IV (図-7)に比べ、

土砂堆積の下流末端が源道橋から30cm程度上流に移動している。著者らの既往研究<sup>5)</sup>では、家屋の被災状況や巨礫、流木の堆積状況から、源道橋より200m程度上流で水や土砂が井関地区に流入したことが分かっており、これらは、源道橋に流木が堆積したためと考えられる。その他、土砂の堆積範囲はCase IV (図-7)と同様であり、マウンドにより流速が弱まったために源道橋上流域で土砂が堆積したと考えられる。

以上から、流木による源道橋の閉塞と金山谷出口での巨礫の堆積の影響として、源道橋上流に止水域を作り、広い範囲で多量の土砂を堆積させたことが挙げられる。これらにより、水の流れが井関地区に向かい被害を拡大させたと考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、水理模型実験を通じて、平成23年の那智川水害における流木による橋の閉塞と支川からの土石流による那智川本川への巨礫の堆積による井関地区の氾濫への影響について検討した。得られた成果は以下の通りである。

- 1) 源道橋直上流で、那智川の河道は左に屈曲しており、この影響で源道橋上流では、右岸側に多く流木が堆積し、水の流れは左岸側に偏流し、源道橋下流で河床低下が発生した。この点について、水理模型実験でも再現できた。
- 2) 金山谷からの土石流による巨礫の那智川への堆積と流木による源道橋の閉塞により、源道橋上流に止水域が発生し、源道橋上流で土砂が堆積したと考えられる。また、源道橋に流木が堆積したことで、土砂や水が源道橋より約 200m 上流で井関地区に流入したと考えられる。これらにより被害が大きくなったと考えられる。
- 3) 本研究は、一様粒径で給砂したため、災害後の地形と水理模型実験後の形状で異なる点もあった。また、現地には背割堤もあるが、その効果については十分検証されていない。これらの点についても今後検討していきたい。
- 7) 橋本晴行, 楠窪正和, 喜多貢菜, ムハマドファリドマリカル: 洪水時における河道内障害物による流木群の集積過程に関する実験的研究, 第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.145-149, 2016.
- 8) 長谷川祐治, 中谷加奈, 里深好文, 藤田正治: 山地河川における流木の流下と橋梁集積に関する検討, 第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.133-138, 2016.

#### 参考文献

- 1) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英次, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011 年 9 月台風 12 号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.43-53, 2012.
- 2) 筒井和男, 西岡恒志, 福田和寿, 坂口武弘, 木下篤彦, 今森直紀, 田中健貴, 島田徹: ヒアリング調査を基にした平成 23 年那智川災害の避難行動に関する研究, 第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.37-42, 2016.
- 3) 木下篤彦, 神野忠広, 久田昭文, 森川智, 大西誠, 吉川卓郎, 郡典宏, 島田徹, 西川友章: 平成 23 年台風 12 号による那智川流域における土石流災害実態, 平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.96-97, 2012.
- 4) 木下篤彦, 北川眞一, 大山誠, 河部長志, 内田太郎, 里深好文, 久保毅, 島田徹, 郡典宏, 笠原拓造, 渡辺隆吉, 岩田幸泰, 清水幹輝: 平成 23 年台風 12 号時の那智川流域の土砂流出・堆積機構に関する研究, 平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B-6-7, 2013.
- 5) 木下篤彦, 筒井和男, 西岡恒志, 福田和寿, 田中健貴, 島田徹, 江川真史, 山田真悟: 流木の挙動と巨礫による河床上昇に着目した, 平成 23 年台風第 12 号による那智川流域井関地区の氾濫メカニズムの検討, 河川技術論文集, 第 24 巻, pp.433-438, 2018.
- 6) 黒岩知恵, 藤村直樹, 木下篤彦, 水野秀明, 今森直紀, 福田和寿: 平成 23 年台風 12 号土砂災害における和歌山県那智川支流の流木の発生と流出実態, 第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.127-132, 2016.

## 平成 23 年台風 12 号豪雨により発生した斜面崩壊の要因分析

国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所  
 協和設計株式会社  
 神戸大学大学院

菅原寛明・松尾嘉和・中田博貴  
 南部啓太・西岡孝尚  
 澁谷啓

### 1. はじめに

砂防施設を計画する際に、既往崩壊の拡大や崩壊面に分布する不安定した残土の流出、河床部に堆積する不安定土砂の流出などに加え、未崩壊箇所における新規の斜面崩壊の可能性も踏まえて施設配置を決定する必要がある。しかしながら、新規崩壊箇所を推定することは困難であり、土石流危険渓流では0次谷の延長を用いて設定するケースが多い。流域が小さい渓流では崩壊土砂量は少なく、施設配置位置も最下流付近に限定されることが多いため施設配置への影響は少ないが、流域が広大な場合は斜面崩壊リスクを評価し高いリスクが想定されるエリアに砂防施設を重点的に配置することで、施設規模を増やすことなく効果的な整備計画を実現することができると考えられる。そこで、本論文では、平成23年台風12号豪雨により213箇所の斜面崩壊が発生した流域を抽出し、崩壊箇所と斜面勾配や流域面積の地形量、地質、微地形特性などとの相関性を検討し、崩壊危険度の高い要因を分析した結果について報告する。

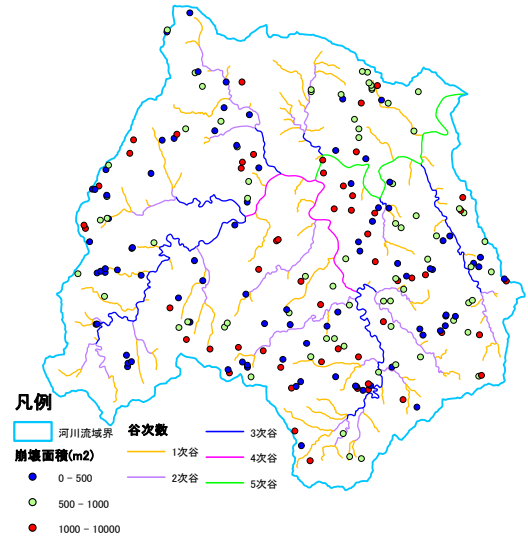


図-1 台風12号豪雨の崩壊箇所分布図

### 2. 平成 23 年台風 12 号豪雨により発生した検討流域での斜面崩壊の特徴

図-1に示す検討流域は、流域面積はA=45.8km<sup>2</sup>で、平成23年台風12号での1日最大雨量708mm、総雨量1,451mmに及ぶ大規模豪雨により、崩壊箇所数213、最大崩壊面積3,475m<sup>2</sup>に至る斜面崩壊が発生した。土砂や流木の流出等により家屋や道路等に甚大な被害を与えた。

図-2に崩壊諸元を示す。1箇所の崩壊面積が1,000m<sup>2</sup>以上である場合、崩壊土砂が流動化し土石流となって下流に被害を及ぼす危険性が高くなる<sup>1)</sup>。本流域は1,000m<sup>2</sup>以上の崩壊発生は68箇所、崩壊全体に対し31%である。全体的には、500m<sup>2</sup>以下の崩壊面積の割合が40%と高く、次いで500~1000m<sup>2</sup>が33%となっている。深層崩壊のような大規模崩壊は認められなかったが、土石流化する危険性の高い崩壊規模が多数発生しており、渓流の直下には住宅地や主要アクセス道路が分布するため、崩壊土砂が下流域に流出し溪岸侵食や溪床部の不安定土砂を含めて大規模な土砂流出被害が及ぶ結果となり、対策が急務な溪流特性を有していることが確認できる。

### 3. 崩壊箇所と各要因との相関性の検討方法

紀伊半島で多数認められた深層崩壊は検討流域では発生しておらず、本検討は表層崩壊を対象に検討している。ただし、崩壊規模は異なるものの、崩壊と各要因との相関性についての指標となると考えられることから、「深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)」<sup>2)</sup>を参考にして検討した。

図-2 崩壊面積と箇所数、累積頻度の関係 崩壊と関連性が高い可能性が考えられる要因について、実際に崩壊した箇所との相関性を検討し、高い相関性を有する要因を抽出する。本検討では、集水面積と斜面勾配、地質特性、微地形要素、植生について、検討した。集水面積と斜面勾配はLP測量データ、地質特性は「産業技術総合研究所：シームレス地質図」、微地形は「防災科学技術研究所：地すべり地形分布図データベース」、植生は「環境省生物多様性センター：植生図地理情報システムデータ」を用いて検討した。

### 4. 検討結果

#### 4.1. 地形量との相関性

斜面勾配と集水面積及び崩壊面積率の関係から、崩壊面積率が検討対象地域全体の平均値の概ね2倍以上となる勾配と集水面積の組み合わせを危険度の高い地形量と

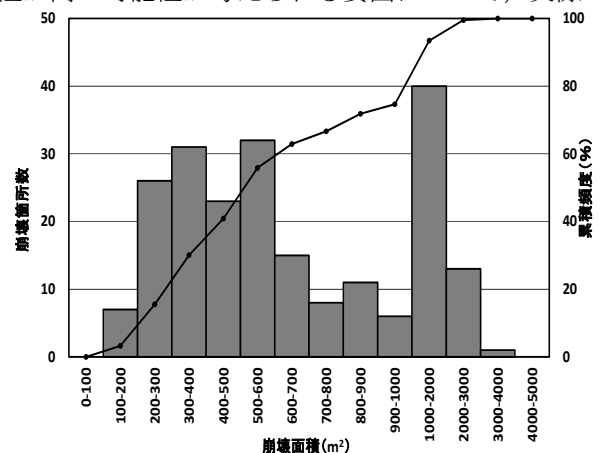


図-2 崩壊面積と箇所数、累積頻度の関係

表-1 斜面傾斜度と各要素との関係

(a) 地形量

斜面傾斜度(度)	集水面積(log <sub>10</sub> As)								
	3.40	3.70	3.88~4.00	4.10~4.40	4.44~4.70	4.72~5.10	5.11~5.40	5.40~5.70	5.70~
~10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10~15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15~20	0.000	0.000	1.316	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20~25	0.518	1.724	2.381	1.923	5.405	2.247	3.571	0.000	0.000
25~30	1.885	1.700	2.924	2.339	7.000	3.209	3.000	0.000	0.000
30~35	2.374	2.581	4.259	4.554	4.878	3.759	4.918	0.000	0.000
35~40	2.666	3.176	4.421	4.094	2.985	1.899	3.817	0.000	0.000
40~	2.843	4.098	4.568	4.471	3.481	3.817	5.785	0.000	0.000

(b) 地質特性

傾斜度	①		②		③		②/①		②/③	
	表層崩壊メッシュ数	地質境界表層崩壊メッシュ数	表層崩壊メッシュ数	地質境界表層崩壊メッシュ数	カバー率	的中率	的中率	的中率比	的中率比	
~10	0	0	0	101	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10~15	0	0	0	120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15~20	1	0	1	159	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20~25	22	0	22	211	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
25~30	63	2	63	307	0.03	0.01	0.02	0.04	1.23	
30~35	130	18	130	489	0.14	0.04	0.12	0.04	1.23	
35~40	161	29	161	795	0.18	0.04	0.12	0.04	1.22	
40~	185	46	185	773	0.25	0.06	0.19	0.06	1.99	

傾斜度	①		②		③		②/①		②/③	
	表層崩壊メッシュ数	火成岩類表層崩壊メッシュ数	表層崩壊メッシュ数	火成岩類表層崩壊メッシュ数	カバー率	的中率	的中率	的中率比	的中率比	
~10	0	0	0	54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10~15	0	0	0	113	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15~20	1	1	1	316	1.00	0.00	0.00	0.11	0.11	
20~25	22	22	22	873	1.00	0.03	0.03	0.84	0.84	
25~30	63	60	63	1,953	0.95	0.03	0.03	1.03	1.03	
30~35	130	111	130	3,214	0.85	0.03	0.03	1.15	1.15	
35~40	161	132	161	4,161	0.82	0.03	0.03	1.06	1.06	
40~	185	139	185	4,212	0.75	0.03	0.03	1.10	1.10	

傾斜度	①		②		③		②/①		②/③	
	表層崩壊メッシュ数	堆積岩類表層崩壊メッシュ数	表層崩壊メッシュ数	堆積岩類表層崩壊メッシュ数	カバー率	的中率	的中率	的中率比	的中率比	
~10	0	0	0	124	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10~15	0	0	0	96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15~20	1	0	1	90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20~25	22	0	22	108	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
25~30	63	1	63	189	0.02	0.01	0.01	0.18	0.18	
30~35	130	1	130	209	0.01	0.00	0.00	0.16	0.16	
35~40	161	0	161	108	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
40~	185	0	185	11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

(c) 植生特性

傾斜度	①		②		③		②/①		②/③	
	表層崩壊メッシュ数	広葉樹表層崩壊メッシュ数	表層崩壊メッシュ数	広葉樹表層崩壊メッシュ数	カバー率	的中率	的中率	的中率比	的中率比	
~10	0	0	0	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10~15	0	0	0	62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15~20	1	0	1	140	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20~25	22	7	22	336	0.32	0.02	0.02	0.70	0.70	
25~30	63	19	63	770	0.30	0.02	0.02	0.82	0.82	
30~35	130	42	130	1,178	0.32	0.04	0.04	1.19	1.19	
35~40	161	63	161	1,354	0.39	0.05	0.05	1.56	1.56	
40~	185	61	185	1,109	0.33	0.06	0.06	1.84	1.84	

傾斜度	①		②		③		②/①		②/③	
	表層崩壊メッシュ数	広葉樹表層崩壊メッシュ数	表層崩壊メッシュ数	広葉樹表層崩壊メッシュ数	カバー率	的中率	的中率	的中率比	的中率比	
~10	0	0	0	183	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10~15	0	0	0	210	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15~20	1	1	1	382	1.00	0.00	0.00	0.09	0.09	
20~25	22	15	22	821	0.68	0.02	0.02	0.61	0.61	
25~30	63	44	63	1,643	0.70	0.03	0.03	0.90	0.90	
30~35	130	87	130	2,719	0.67	0.03	0.03	1.07	1.07	
35~40	161	98	161	3,689	0.61	0.03	0.03	0.89	0.89	
40~	185	123	185	3,868	0.66	0.03	0.03	1.06	1.06	

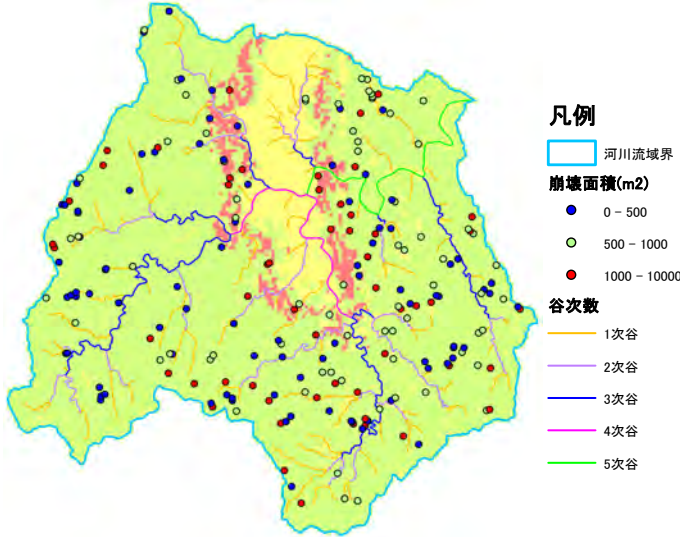


図-3 地質特性による崩壊危険度マップ

し、それ以外を危険度の低い地形量とする。検討した結果、斜面勾配が40°以上で、集水面積が0.1km<sup>2</sup>以上の危険性が最も高く、斜面勾配25~30°以上で危険度が急激に増加する傾向が認められた。斜面勾配が20°程度でも集水面積が0.02km<sup>2</sup>以上から危険度が高くなる傾向がある。この傾向は土石流発生区間の勾配と概ね一致する。

#### 4.2. 地質特性との相関性

検討流域の大部分が花崗斑岩を主岩体とする火成岩類が分布しており、その他、砂岩、泥岩などから構成される堆積岩類が分布し、これらの地質境界とあわせて、3種類に区分できる。崩壊箇所図と地質図との重ね合わせ図を作成し、それぞれの相関性を検討して危険度要因の分析を行った。区分化を明確にするため、地質特性に斜面勾配も組み合わせて検討した。検討した結果、地質境界が最もの中率がが高く、次いで火成岩類が続く。火成岩類での崩壊メッシュ数が465であり、総崩壊メッシュ数562に対して約83%で、崩壊の多くは火成岩類で発生していることが確認できる。また、地質領域も火成岩類が広いことから、カバー率が高くなったと考えられる。

#### 4.3. 微地形および植生要素との相関性

滑落崖等の地すべり地形要素と表層崩壊地との相関性は崩壊メッシュ数562箇所に対して1箇所のみであり、相関は認められなかった。地すべりと表層崩壊との崩壊形態に違いが統計結果に表れたものと考えられる。

植生特性として検討流域は、主にスギの植林(針葉樹)が主として分布しており、その他広葉樹も認められる。樹種について崩壊地との相関性を検討した結果、広葉樹の相関性がやや高い傾向が認められた。針葉樹は手入れがなされていることや、コドラート調査で確認した樹木材積が約10m<sup>3</sup>/100m<sup>2</sup>で広葉樹の約2倍の密な状態であり、植生根系の抵抗効果が発揮された<sup>3)</sup>可能性が考えられる。

5. おわりに 検討結果で地形量(集水面積・傾斜度)や地質特性で明瞭な相関性が認められた。危険度レベルを評価し危険度マップを作成することで、危険度の高い位置に砂防施設を配置するなど効率的な施設配置計画に利用できると考えられる。例えば、崩壊箇所を中心に砂防施設を配置すると施設数が増大するため、保全対象直上流付近の最下流域に配置するケースが多くなるが、今回検討した結果を用いることで地質境界域など崩壊危険度の高いエリアへの配置や、危険度に応じた整備優先度の決定など、施設配置に有効活用できると考えられる。

参考文献 1)建設省:土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領(案). 2)土木研究所資料第4115号. 3)小山内・他:森林の崩壊抑制効果を反映した生産土砂量の推定に向けた一考察, 砂防学会誌, Vol. 63, No. 5, p. 22-32.



## 要因分析図を用いた砂防施設配置計画の検証

国土交通省近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所  
協和設計株式会社 防災グループ

菅原寛明・松尾嘉和・中田博貴  
西岡孝尚・南部啓太

### 1. 概要

現在、我々は、台風による被災を契機に、これまでに砂防堰堤などの施設整備がほとんどなされず手付かずであった流域で、20箇所を越える砂防堰堤等の配置計画を立案している。砂防堰堤等施設は流域内の土石流危険渓流における土砂災害の防止や、流域が合流する下流の一級水系に沿った市街地の洪水氾濫防止を目的とするものである。砂防堰堤の配置は、計画基準点の位置や地形特性および保全対象を含む土地利用状況を踏まえ、溪流調査や地形地質踏査による現地の確認を経て、計画されるものである。ここでは、これら従来からの手法による施設配置の検討に加え、数値地図から算出される地形量や地質・植生・地質構造・崩壊発生実績などの数値データによる客観的な情報を用い、それらを要因とする分析図を作成して、配置計画の妥当性を検証している。すなわち、土砂災害や土砂流出の起因となる0次谷などで生じる斜面崩壊の危険度をこの要因分析図から判定し、効果的・効率的な施設配置を図る試みであり、ここに現状の取り組みの概要を報告する。

### 2. 検討の手法

#### 2.1 要因分析図の作成

要因分析図は、例えば土木研究所資料である「深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル（案）」(H20.11)や「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（案）」(H21.1)に示された危険性の要素を要因として抽出して作成する。すなわち、表-1に示す5つの要因をそれぞれの要素で分析するものである。

表-1 検討に用いた要因と要素

要因	要素
崩壊発生実績	H23 台風12号による崩壊箇所
地質構造及び微地形要素	地すべり地形分布
地形量	斜面傾斜、集水面積、崩壊面積率
地質特性	斜面傾斜、堆積岩・火成岩・地質境界
植生	斜面傾斜、広葉樹・針葉樹・その他

一つは対象流域で「実際に発生した崩壊箇所（崩壊発生実績）」を要因とし、一つは地質構造及び微地形要素として「地すべり地形の分布」域である。加えて、崩壊発生実績をもとに斜面傾斜度と集水面積との関係から危険度が高い「地形量」を算出する。同様の手法で、「地質特性」との関係、さらに「植生」との関係も算出し、これらそれぞれにおいて、崩壊発生実績と斜面傾斜度との関係をカバー率、的中率、的中率比として算出し、「大」～「小」に危険度を区分するものである。

対象流域全体を50mメッシュデータに区分したそれぞれの範囲を各要因の危険度で代表させ、得られる図が要因分析図である。<sup>1)</sup>

#### 2.2 要因分析図における危険度の設定

本報告の要因分析図における対象流域の総メッシュ数は18,786である。分析に用いた崩壊跡地メッシュ数は562である。危険度は、「崩壊発生実績」と「地すべり地形の分布」は、「大」「小」で表現する。斜面傾斜度と崩壊面積率に基づく「地形量」や、斜面傾斜度と組み合わせる「地質特性」及び「植生」の要因は、それぞれで閾値を設定して、危険度を「大」「中」「小」に区分し表現する。

「地形量」を要因とする場合、斜面傾斜と集水面積の組み合わせが、20～25°で3.70(log10As)以上、25～30°で3.40(log10As)以上が危険度「中」、40°以上で5.11(log10As)以上の領域が危険度「大」である。「地質特性」との相関は3つの地質要素に対し、「火成岩類」で斜面傾斜20°以上が「中」、「地質境界」で斜面勾配30°以上が「中」、斜面傾斜40°以上で的中率が最も高く、カバー率0.25、的中率0.06、的中率比2.00で、危険度「大」である。これらに該当しない「堆積岩類」などは「小」である。「植生」との相関は3つの要素に対し、斜面傾斜30～35°で「その他：人工改変地や裸地など」の的中率が最も高く、的中率比2.23で、危険度「大」である。「広葉樹」と「針葉樹」で斜面勾配25°以上、「その他」で40°以上が「中」である。



### 2.3 斜面崩壊の危険度判定

これら5つの要因を分析した図をもとに、それぞれの要因の重なりから、土砂災害に結びつく斜面崩壊の危険度を判定する。

危険度は要因の重なりに応じ、それぞれレベル0からレベル5に区分する。すなわち、50mメッシュのそれぞれで、要因の重なりから表-2に示すように危険度を区分した。

表-2 危険度判定レベル

危険度判定	要因分析の重なり具合
レベル0	すべて「小」
レベル1	「中」あり
レベル2	「中」が2つ
レベル3	「中」が3つ
レベル4	「大」が1つ
レベル5	「大」が2つ以上

### 3. 要因分析図による砂防施設の配置計画の検証

#### 流域の特性と砂防施設の配置

流域はほぼ全域が急峻な山岳地である。一方で流域中央からやや下流の北側にかけて2つの支流が合流し、流域内で唯一の低平地や段丘、ないし緩斜面地を形成している。この地域はちょうど堆積岩類の分布域および火成岩類との地質境界付近に相当し、地質特性の違いがその地形を反映している。一般的に主流路へ向かって溪流は発達するが、同様にこのエリアでは本川河道へ向かい支流や溪流が発達している。結果、集落や公共施設が立地し保全対象が集まるため、溪流の多くが土石流危険溪流に指定されている。

このように地形特性や保全対象の立地から、流域中央ないしその北部にかけてのエリアとその周辺域が砂防施設の設置位置に選定される。

#### 3.2 危険度判定図と砂防施設計画位置の関係

図-1の危険度判定図ではレベル4と5が環状を呈し、上述のエリアが明瞭に区分される。流域の大部分はレベル3で河道とその周辺はレベル0に区分される。レベル0とレベル4・5の間にレベル1・2が分布し、特徴的なエリアとなっている。

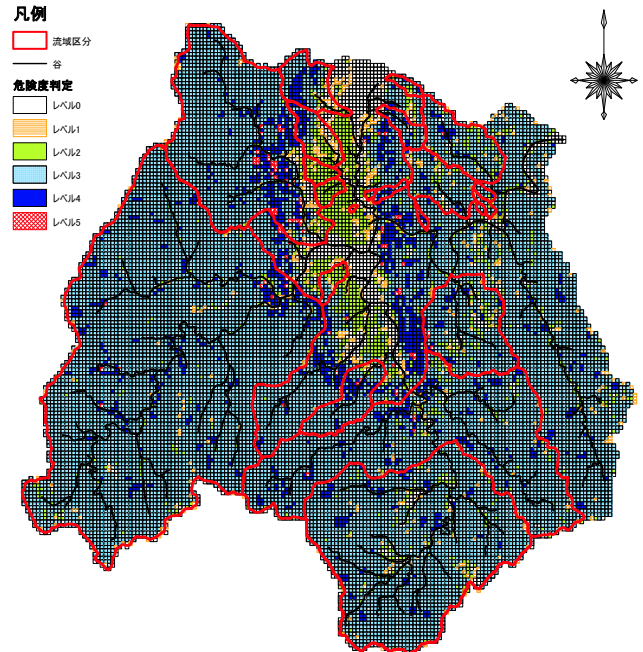


図-1 要因分析図に基づく斜面の危険度判定

対象流域ではこの特徴的なエリアとその周辺地に砂防堰堤等施設の配置を立案している。危険度判定図と砂防施設の重なりは、判定レベルが変化する箇所や判定レベルが高いエリア、あるいはその下流に施設が配置され、これらのエリアが効果的・効率的な施設の配置位置となっている。

#### 3.3 占有率と砂防施設の計画位置の関係

表-3は各砂防施設の対象流域における危険度判定レベルのメッシュ分布を占有率で表したものである。本表では、レベル4占有率10%以上のもの、レベル3占有率70%以上のもの、レベル2占有率80%以上のものを着色している。ここでは高次の判定レベル占有率が高い対象施設がより効果的な施設と考えられる。

表-3 各砂防施設の危険度レベル占有

危険度判定	占有率					
	レベル5	レベル4	レベル3	レベル2	レベル1	レベル0
レベル5	1%	8%	71%	10%	4%	7%
レベル4	0%	7%	69%	13%	5%	6%
レベル3	0%	12%	85%	4%	0%	0%
レベル2	0%	3%	60%	20%	7%	10%
レベル1	0%	0%	56%	22%	17%	6%
レベル0	0%	5%	67%	13%	9%	7%
レベル5	0%	0%	86%	7%	7%	0%
レベル4	1%	12%	78%	5%	2%	2%
レベル3	0%	4%	84%	5%	3%	4%
レベル2	0%	19%	77%	2%	2%	0%
レベル1	0%	0%	64%	29%	7%	0%
レベル0	0%	0%	0%	93%	2%	5%
レベル5	0%	6%	66%	17%	2%	9%
レベル4	1%	11%	67%	5%	6%	10%
レベル3	0%	17%	22%	34%	14%	13%
レベル2	0%	0%	0%	82%	6%	12%
レベル1	0%	0%	0%	80%	20%	0%
レベル0	0%	19%	50%	10%	6%	15%
レベル5	0%	4%	29%	46%	17%	4%
レベル4	2%	12%	75%	4%	2%	4%
レベル3	0%	5%	89%	2%	1%	2%
レベル2	0%	6%	84%	5%	2%	3%

実際、これらの施設の対象流域では、例えば、1) 台風豪雨に伴う荒廃が顕著である、2) 規模の大きな崩壊履歴がある、3) 広範囲に厚い土石流堆積物が分布する、4) 比較的多くの土砂流出が認められる、などの特徴を有していることがわかった。

### 4. おわりに

広域を対象とする砂防堰堤の配置計画では、現地調査で得られる細部条件以外に、その流域が持つ、地形・地質・植生などの特性を大きく捉えた施設配置の検討が重要であり、それらを評価する場合において、数値データによる客観的な情報が有効である。今後はさらに従来の計画手法では捉え切れなかったものの、施設配置に効果的・効率的、あるいは巨視的に有効な要因を抽出し、それらを反映させる方法や手法への取り組みを継続したい。

1) 南部・西岡・菅原・松尾・中田・澁谷：平成23年台風12号豪雨により発生した斜面崩壊の要因分析，平成30年度砂防学会研究発表会概要集

## 那智川流域における斜面の水分動態に対する考察

近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 吉村元吾・木下篤彦・菅原寛明・田中健貴  
国際航業株式会社 島田徹・江川真史・山田真悟・孝子繪図

### 1. はじめに

和歌山県那智勝浦町に位置する那智川流域(図-1)では、平成23年9月の台風第12号に伴い多数の表層崩壊が発生し、甚大な被害が発生した。

那智川流域では、表層崩壊の発生機構解明を主目的にボーリング調査及び、ボーリング孔を利用した地下水の観測が継続的に実施されている。また、表層崩壊の発生場となる浅い深度(森林土壌~GL-5m程度のコアストーンを含む強風化層)の水分動態を把握するために、テンシオメータによる観測が平成28年2月より実施されている。これに関連する既往研究では、斜面内の雨水の浸透過程や地下水面の形成メカニズムの説明がされており、斜面内に不均一な流れの存在することが報告<sup>1)</sup>されている。このような表層の水分動態は、表層崩壊のメカニズムを解明する上できわめて重要である。

本報告は、コアストーンを含む花崗岩地帯における表層の水分動態について、パターンの異なる降雨に対しての応答を整理したものである。



図-1 那智川流域位置図

### 2. 対象斜面の概要及び観測体制の概要

対象とする斜面は、紀伊半島大水害において発生した崩壊地(幅約120m、長さ約100m)(図-2)の周辺斜面である。植生はスギの人工林であり、崩壊が発生した斜面と地形・植生条件が近い自然斜面となっている。

観測体制(図-2)は、「浅層の水分動態(T-1~T-3)」「強風化層の地下水位(KB-2)」「岩盤内の地下水位(KB-2)」となっている。水分動態を計測するテンシオメータは斜面方向に3地点3深度(0.55m~4.40m)の計9箇所地中の縦断的なサクションの変化を計測する配置としている。

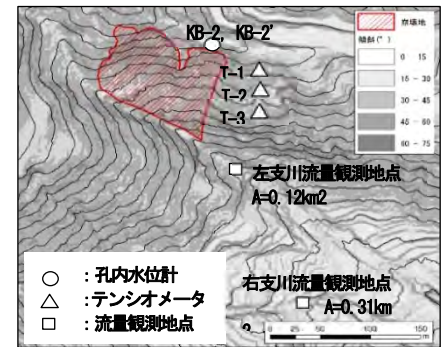


図-2 観測体制

### 3. 観測結果

#### 3.1 降雨状況

●平成29年6月21日の豪雨(前期降雨なし):「以下、降雨A」

6月20日23時より降り始めた雨は、翌21日17時まで続き、降り始めからの雨量は19時間で総雨量410.0mmの豪雨となった。最大時間雨量51.0mm、最大10分間雨量11.0mmであった。

●平成29年8月台風第5号の豪雨(前期降雨130mm):「以下、降雨B」

8月6日21時より降り始めた雨は、翌7日18時まで続き、降り始めからの雨量は22時間で総雨量212.0mmの豪雨となった。最大時間雨量31.0mm、最大10分間雨量11.0mmであった。

#### 3.2 斜面の水分動態観測結果

●観測値から推定できる水分動態の傾向

降雨中のフラックス(図-3上図)に着目すると、浸潤線が下層に向かうフラックスが発生しており、雨水の降下浸透のプロセスが表現されている。基底部に到達後は、斜面方向へとフラックスが向きを変えていく様子が確認でき(図-3下図)、基底部付近で発生した飽和(側方流)を示すものと考えられる。

圧力水頭の時間変化(図-4中①)より推定した浸潤線の下降速度は $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$ m/sオーダーであり、表層~中層に比べ中層~深層の下降速度の方が早い傾向が確認できた。

表層の飽和状況(地下水面形成)は、斜面下部のT-3が最も早く飽和し(図-4中②)、降雨中は全層飽和状態となっている(図-4中③)。斜面上・中部に設置されたT-1・T-2では降水量に応じて全層が飽和する場合としない場合(図-4中④)が確認された。形成された飽和層は、降雨終了後、斜面上部表層より徐々に下がってゆく傾向が確認できた。

降雨の流出過程に着目すると、斜面上部ほど飽和時間が短いことおよび深層の飽和時間が短いことから、斜面上部では、比較的早く雨水が側方へ流出し斜面下部で飽和している可能性が考えられる。このことから比較的地下表面付近で斜面方向の「飽和側方流が発生」→「斜面下方へ流下」→「斜面下部に飽和帯を形成」といったプロセスが推定される。

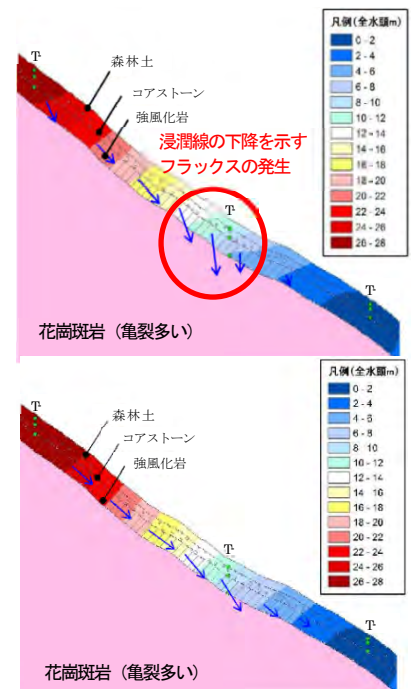


図-3 降雨中のフラックス図



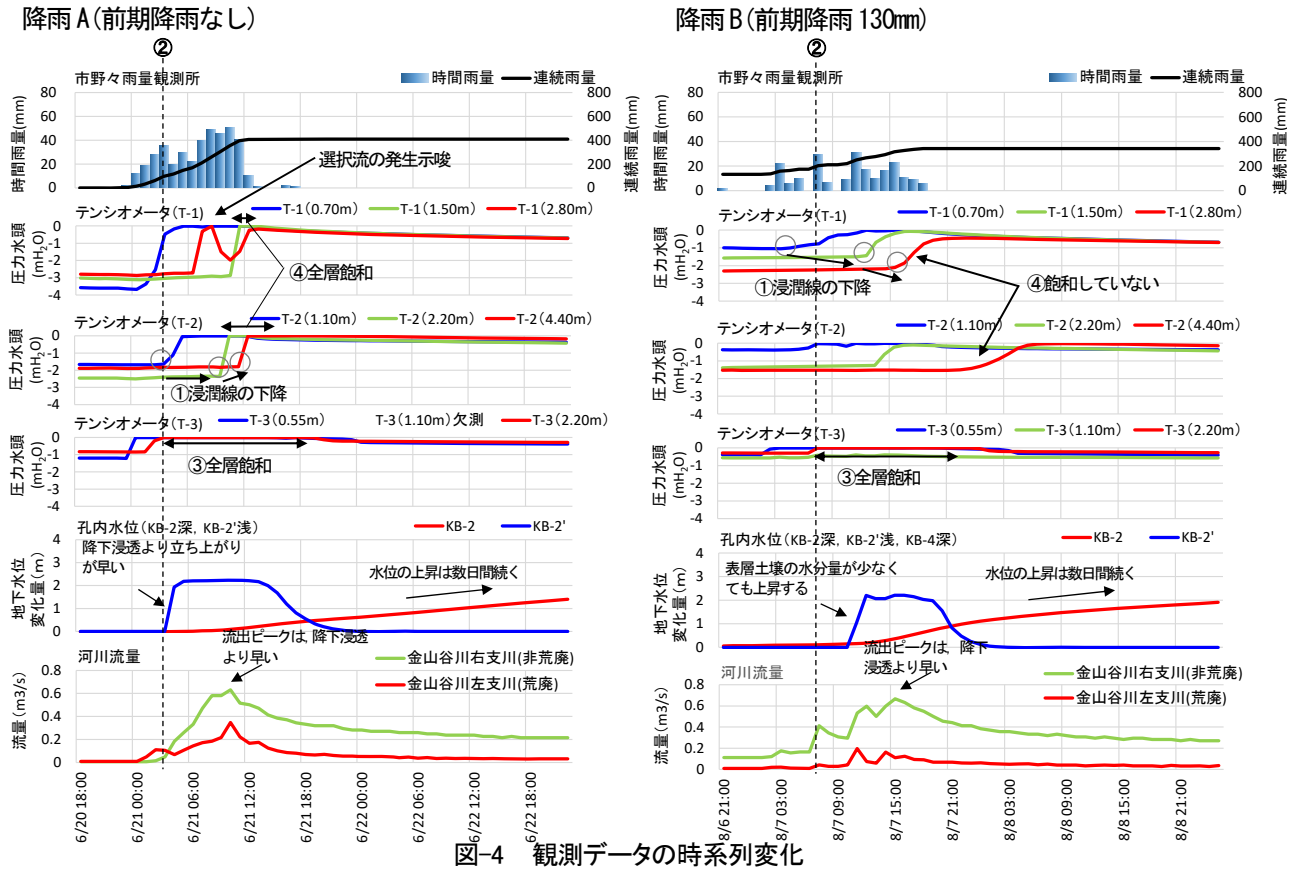


図-4 観測データの時系列変化

4. 表層の水分動態と地下水位、表層の水分動態と流出の関係

強風化層の地下水位を観測する KB-2'(GL-14.5m)と岩盤内の地下水を観測している KB-2(GL-130.0m)の水位上昇のタイミングと雨水の降下浸透の関係を見ると、T-1・T-2において降下浸透が基底部に到達する前に地下水の上昇が始まっている。このことから、降下浸透とは別に岩盤内に流れ込む早い流れ(選択流)の存在が推察される。この時、近傍の崩壊地では、コアストーン層などから多数の湧水の発生(図-5)を確認しており、観測データが示唆する選択流の発生と整合的である。

河川の流量と比較すると、斜面上・中部の観測地点において降下浸透が基底部に到達する以前に流出のピークが確認できる。これから、金山谷川の流出に寄与している成分は、基底部付近の飽和側方流ではなく、表層付近の側方流(表面流含む)または降雨に対して応答の早い地下水(強風化岩層を選択的に流れる地下水)である可能性が示唆される。

また、KB-2の水位変化に着目すると、変化が緩やかかつ降雨ピークや流出ピークに比べずいぶん遅れている。このことから、洪水流出の成分でなく、基底流出を涵養する成分であると考えられる。

5. まとめ

本観測では、「雨水の降下浸透」「降下浸透よりも早い地下水の上昇」「崩壊地での湧水の噴出(選択流の発生)」「斜面上部での不飽和帯の発生」「斜面下部の飽和帯の発生」「降下浸透よりも早い流出」を確認した。これらの現象を整理すると対象斜面では図-6に示すような降雨流出過程が想定される。

本研究では、定性的ではあるが斜面内の水分動態を推察できる成果が得られた。今後は、斜面崩壊等の予測を目的とした定量的なモデル化を進めていきたい。この目的を達成するために、さらなるデータの蓄積や水分動態を定量的に整理できる観測体制の充実化に努めていく予定である。ただし、他の地質帯への展開など大きな課題もあるため、他地域の観測成果や地盤物性等の調査成果等を踏まえ検討を進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 丸井敦尚(1991) 層状に堆積した斜面における降雨流出とプロセスと地中水の貯留機能：地理学評論 64 巻 3 号
- 2) 太田ら(1992) 森林斜面における雨水移動の実態：塚本良則編”森林水文学”

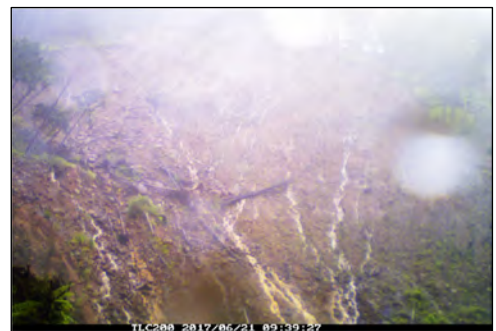


図-5 近傍の崩壊地で観測された湧水 降雨Aの事例

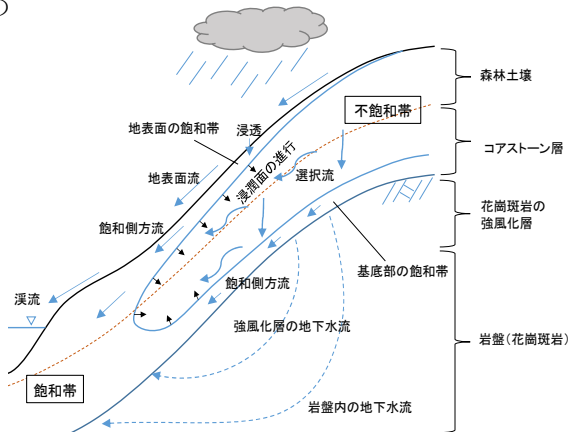


図-6 観測により推定された降雨流出過程の概念図

## 合流点の河床変動に着目した、赤谷川流域からの土砂流出及び砂防施設の整備が川原樋川の河床変動に及ぼす影響

国土交通省国土技術政策総合研究所  
近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター  
アジア航測株式会社

木下篤彦・桜井亘・内田太郎  
田中健貴  
白杵伸浩・岡野和行・井之本信

### 1. はじめに

平成23年9月の台風第12号では、紀伊半島で多数の深層崩壊が発生し、大きな被害が出ている<sup>1)</sup>。災害直後は、天然ダムの越流決壊が不安視されていたが、現在では、紀伊山系直轄砂防事業による対策が講じられつつあり、天然ダムの急激な侵食に対して、一定の安全性が確保されていると考えられる。今後は、深層崩壊等によって流出した土砂の挙動にも着目する必要がある。例えば、赤谷川流域では、深層崩壊後も斜面からの顕著な土砂流出や再崩壊が発生している<sup>2)4)</sup>。このような箇所では、土砂流出による下流域の広い範囲で河床上昇が発生するとともにその影響が長期に渡る可能性がある<sup>5)</sup>。熊野川流域における深層崩壊による土砂の挙動については、板野ら<sup>6)</sup>・本多ら<sup>7)</sup>によって調査されている。この中で、熊野川水系の川原樋川とその支川である赤谷川との合流点付近で河床上昇が進んでいることは、豪雨時に氾濫の危険性が高まるため、特

筆すべきと言えるであろう。合流点での河床変動については、中谷ら<sup>8)</sup>や増田ら<sup>9)</sup>によって調査されている。これらによると、合流角度や本川と支川の流量のピーク時間のずれが河床変動に影響を及ぼすことが分かっている。一方、川原樋川のような勾配約2度、数十～100m程度の川幅を持つような河川で、支川からの土砂流出により特定の箇所河床上昇が発生した場合、その影響は上下流の広範囲に及ぶと考えられる<sup>9)</sup>。また、赤谷川流域のように砂防施設により土砂流出を制した場合、合流点及び川原樋川の土砂動態が改善される可能性もある。

本研究では、赤谷川流域及び川原樋川周辺で撮影されたレーザプロファイラを用いて、赤谷川と川原樋川合流点付近の河床変動を調査する。また、川原樋川について、合流点を含む範囲で、合流点での河床上昇が及ぶ範囲とその経年変化について調査する。また、赤谷川での砂防施設の設置による合流点及び川原樋川の土砂動態への効果について検証する。



写真-1 赤谷川流域の崩壊地と下流への土砂流出の様子(平成23年9月の災害直後)。矢印は流向を示す。



写真-2 赤谷川と川原樋川の合流点付近の河床上昇の様子(平成29年5月)。矢印は流向を示す。

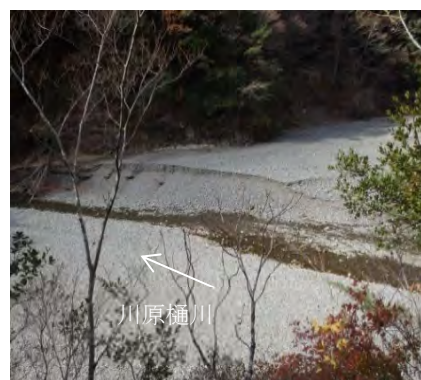


写真-3 川原樋川の河床上昇の様子(平成29年12月)。矢印は流向を示す。

## 2. 平成 23 年 9 月の台風 12 号による赤谷川流域の災害の概要とその後の状況について

平成 23 年の紀伊半島大水害では、付加体(頁岩及び砂岩)のエリアにおいて多数の深層崩壊が発生するとともに、河道閉塞により天然ダムができ、大きな被害が出ている。熊野川水系川原樋川の支川である赤谷川流域もそのような箇所の 1 つである(図-1)。赤谷川流域では、写真-1 に示すように約 935 万 m<sup>3</sup> 崩壊し、高さ約 67m の天然ダムが発生している<sup>10)</sup>。

その後、天然ダムは台風などの豪雨時に越流を繰り返し、その度に侵食が発生している。崩壊斜面についても裸地からの土砂の流出が観察されている。また、平成 26 年 8 月 10 日、平成 27 年 9 月 16 日に、台風により大規模な崩壊が発生している。これらにより流出した土砂は赤谷川と川原樋川の合流点付近に堆積している(写真-2)。また、合流点上流域の川原樋川においても河床上昇が顕著である(写真-3)。

## 3. レーザプロファイラの撮影時期と砂防施設の建設状況について

国土交通省は、赤谷川流域の崩壊斜面の侵食状況や天然ダムの堤体の侵食状況、赤谷川の河道の土砂動態の確認などを目的として、平成 23 年 9 月の台風 12 号以降ほぼ毎年代表的な出水直後にレーザプロファイラの撮影を行っている。表-1 にプロファイラの撮影時期と砂防施設の建設状況を示す。平成 23 年の災害直後は、天然ダム堤体の侵食防止を目的とした排水路工を重点的に行い、その後は流出土砂の抑制を目的とした砂防堰堤の整備と河道に堆積した土砂の侵食防止のための床固工や溪流保全工の整備を実施している。

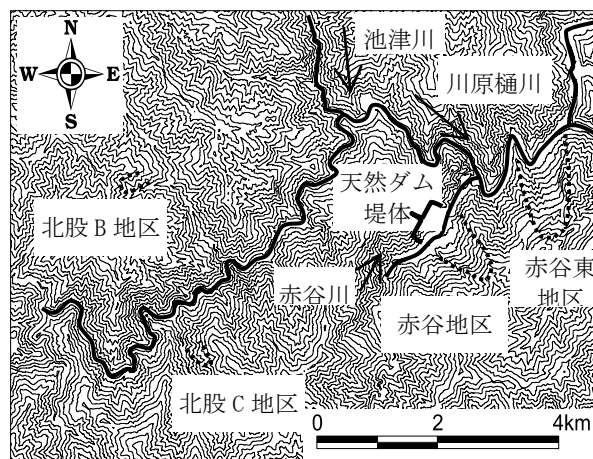


図-1 調査地の位置図。太線は河道を表す。矢印は流向を示す。点線は大規模崩壊発生斜面を表す。

## 4. レーザプロファイラの差分解析から推定される土砂動態

### (1) 赤谷川・川原樋川合流点周辺のレーザプロファイラの差分解析結果

これまでに撮影されたレーザプロファイラについて、それぞれ前年のデータとの差分(平成 23 年については 21 年との差分、平成 29 年については 27 年との差分)を取り、土砂動態の把握を行った。図-2 にレーザプロファイラによる赤谷川・川原樋川の合流点付近の差分解析結果を示す。平成 23 年については、深層崩壊発生直後であり、斜面の侵食と河道閉塞や土砂流出による赤谷川の河道の河床上昇が顕著であった。また、流出した土砂は川原樋川まで到達していることが分かる。平成 24 年は、斜面上部・天然ダム下流河道での侵食が発生しているが、川原樋川との合流点に近づくにつれ、河床上昇傾向に変わっている。平成 25 年は、24 年同様、斜面上部で侵食が発生し、合流点に土砂が堆積している。

表-1 赤谷川流域におけるレーザプロファイラの撮影時期と砂防施設の建設状況について

レーザプロファイラの撮影日	レーザプロファイラ撮影日までの赤谷川流域での砂防施設の建設状況				
	排水路工	床固工(6基計画) (全て高さ 6.0m)	1号砂防堰堤 (高さ 14.5m)	2号砂防堰堤 (高さ 12.0m)	3号砂防堰堤 (計画中)
平成 21 年 8 月 12 日	—	—	—	—	—
平成 23 年 9 月 10 日	—	—	—	—	—
平成 24 年 6 月 23 日	施工中	—	—	—	—
平成 25 年 9 月 23 日	完了	—	—	施工中	—
平成 26 年 8 月 21 日	完了	—	—	施工中	—
平成 27 年 7 月 17 日	完了	—	施工中	本堤完了	—
平成 29 年 11 月 5 日～12 日	完了	施工中(2基完了)	完了	完了	—



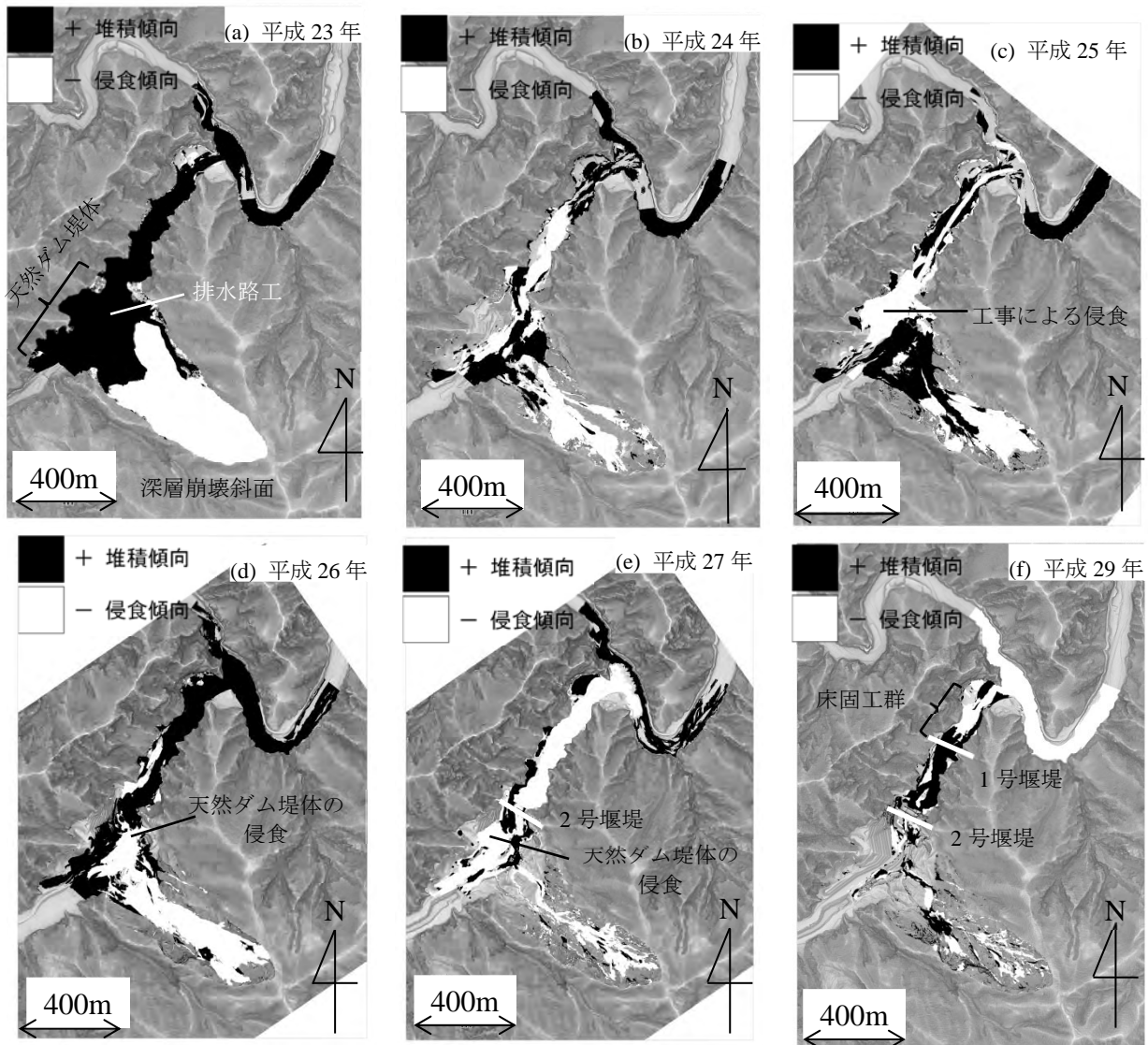


図-2 レーザプロファイラによる赤谷川・川原樋川の合流点付近の差分解析結果。(a)平成23年と平成21年の比較。

(b)～(f)はそれぞれ平成24～27・29年の前の撮影との比較

なお、斜面对岸の侵食は、対策工事による掘削の影響である。掘削土砂は天然ダム上流のダム湖の埋め立てに活用しているため、赤谷川流域の土砂収支に工事の影響は少ない。平成26年は、8月に深層崩壊斜面の再崩壊があり、斜面で大きな侵食が発生している。また、天然ダム堤体においても侵食が発生しているのが分かる。これらにより、赤谷川流域から多量の土砂が流出し、川原樋川との合流点に扇形に土砂が堆積していることが分かる。平成27年は、小規模ながら斜面で侵食が発生している。また、赤谷川の河道は、河床低下傾向にあり、川原樋川との合流点付近まで影響している。平成27年は施工中の砂防堰堤の効果もあり、合流点付近は侵食傾向にあったと考えられる。平成29年は、砂防施設の設置が進み、堆砂域で堆砂が進むとともに、赤谷川下流域及び合流点での河床低下が進んでいる。

## (2) 赤谷川・川原樋川合流点周辺の河床変動

赤谷川・川原樋川の合流点付近の河床変動を調査する目的で、図-3のように解析範囲を決めてそのエリアでの分析を行った。なお、解析範囲について、川原樋川上下流端は、航空写真から、赤谷川からの流出土砂が扇形に堆積していることが分かっており、これらの扇形がおおよそ収まるように範囲を決定した。

図-4に図-3中の解析エリアにおける河床変動を示す。平成25年までは、合流点での堆積土砂は減少する傾向であったが、26年は、斜面の再崩壊の影響もあり、災害直後よりも土砂が堆積している。その後、平成27・29年は侵食傾向にある。図-5にレーザプロファイラの差分から求めた赤谷川から川原樋川への土砂流入量を示す。なお、赤谷川流域

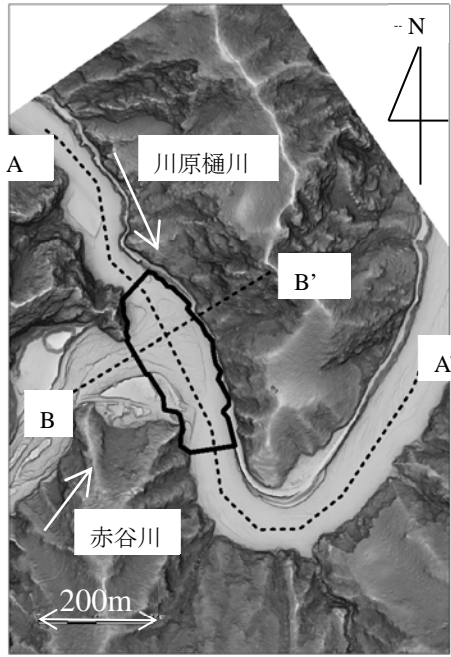


図-3 河床変動分析を行ったエリア。太線で囲われたエリアで分析を行った。矢印は流向を示す。A-A' は図-6(a)の縦断面図の区間を、B-B' は図-6(b)の横断面図の区間を示す。内のレーザプロファイラの差分から、土砂侵食量を川原樋川への土砂流入量とした。平成 23 年は、ほとんどが深層崩壊による土砂流入と考えられるが、それ以降は台風などの降雨による侵食、斜面や河道堆積土砂の再侵食によると考えられる。平成 29 年には、赤谷川からの土砂流出が大きく減少している。これは、図-2(f)からも分かるように、砂防堰堤の設置効果が大きいと考えられる。

図-6 に図-3 に示す川原樋川の縦横断面図を示す。(a)について、災害後、合流点付近は平成 26 年までは約 10m 河床が上昇している。その上下流について、

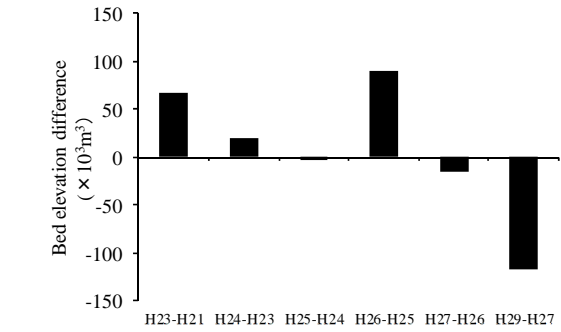
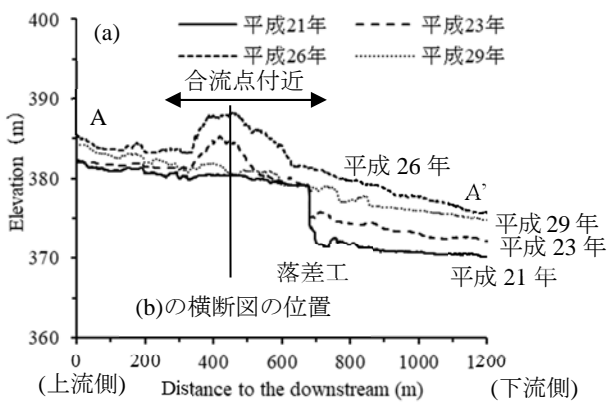


図-4 赤谷川・川原樋川合流点付近(図-3 中点線で囲われたエリア)の河床変動。プラスが堆積、マイナスが侵食を表す。

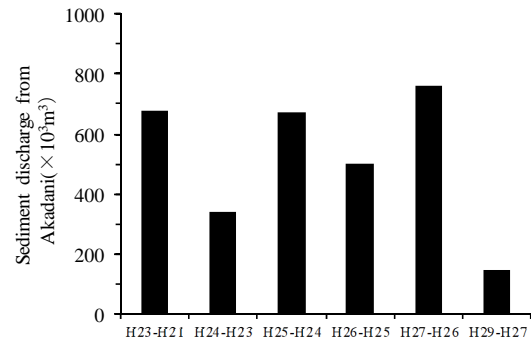


図-5 赤谷川流域から川原樋川への土砂流入量

平成 23~26 年は合流点付近の方が直上流の河床より高く、逆勾配となっており、河床は上昇しやすい状況であった。平成 29 年は、この点は解消されている。(b)から、合流点の右岸側は、侵食や堆積を繰り返していることが分かる。平成 29 年で河床が一部高くなっている箇所があるが、これは工事による盛土の影響と考えられる。左岸側については、平成 26 年までは緩やかに河床上昇していたものの、平成 29 年にはほぼ元の河床に戻っていることが分かる。

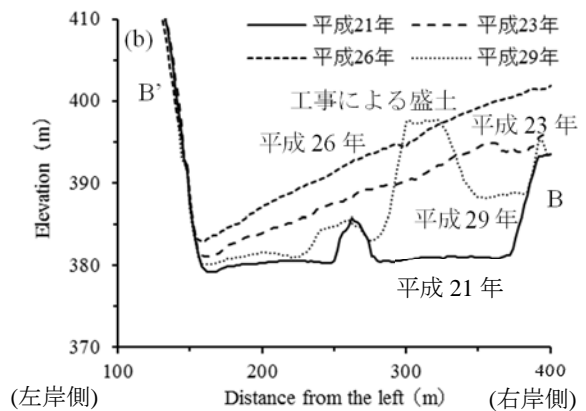


図-6 赤谷川との合流点付近の川原樋川の縦・横断形状の変化。(a) 流路の中心の縦断面図、(b) 横断面図。A、A'、B、B' の位置は図-3 中に示している。

## 5. 深層崩壊後の川原樋川の河床変動について

支川からの土砂流出による合流点での河床変動が、本川に及ぼす影響を明らかにする目的で、平成21・24・29年に図-7のような川原樋川流域の広い範囲でレーザプロファイラにより地形データを取得している。その結果を基に、図-8のように差分解析を行っている。(a)から、災害後は川原樋川上流域(北股B・C地区等)や赤谷川(赤谷地区)・川原樋川下流域(赤谷東地区)での大規模崩壊によりほぼ全ての区間で土砂が堆積している。なお、池津川流域では、平成23年の災害では、顕著な土砂流出が発生していない。(b)から、平成24年から平成29年の間は池津川との合流点上流では侵食傾向にあることが分かる。一方、赤谷川との合流点の上下流では土砂堆積が見られる。図-4から、合流点は河床低下傾向にあるが、その上下流約5kmの広い範囲で依然土砂が堆積している状況である。

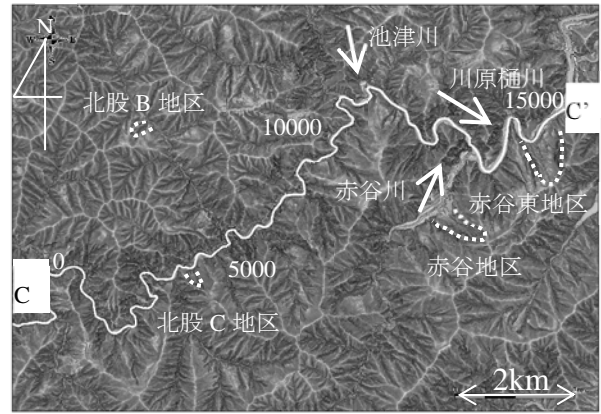


図-7 川原樋川において差分解析を行ったエリア。C-C'の範囲で200mごとに河道内の河床の堆積・侵食の分析を行った。数字は図-8の追加距離(m)に対応している。太線は川原樋川の河道を表す。矢印は流向を表す。点線は大規模崩壊発生斜面を表す。

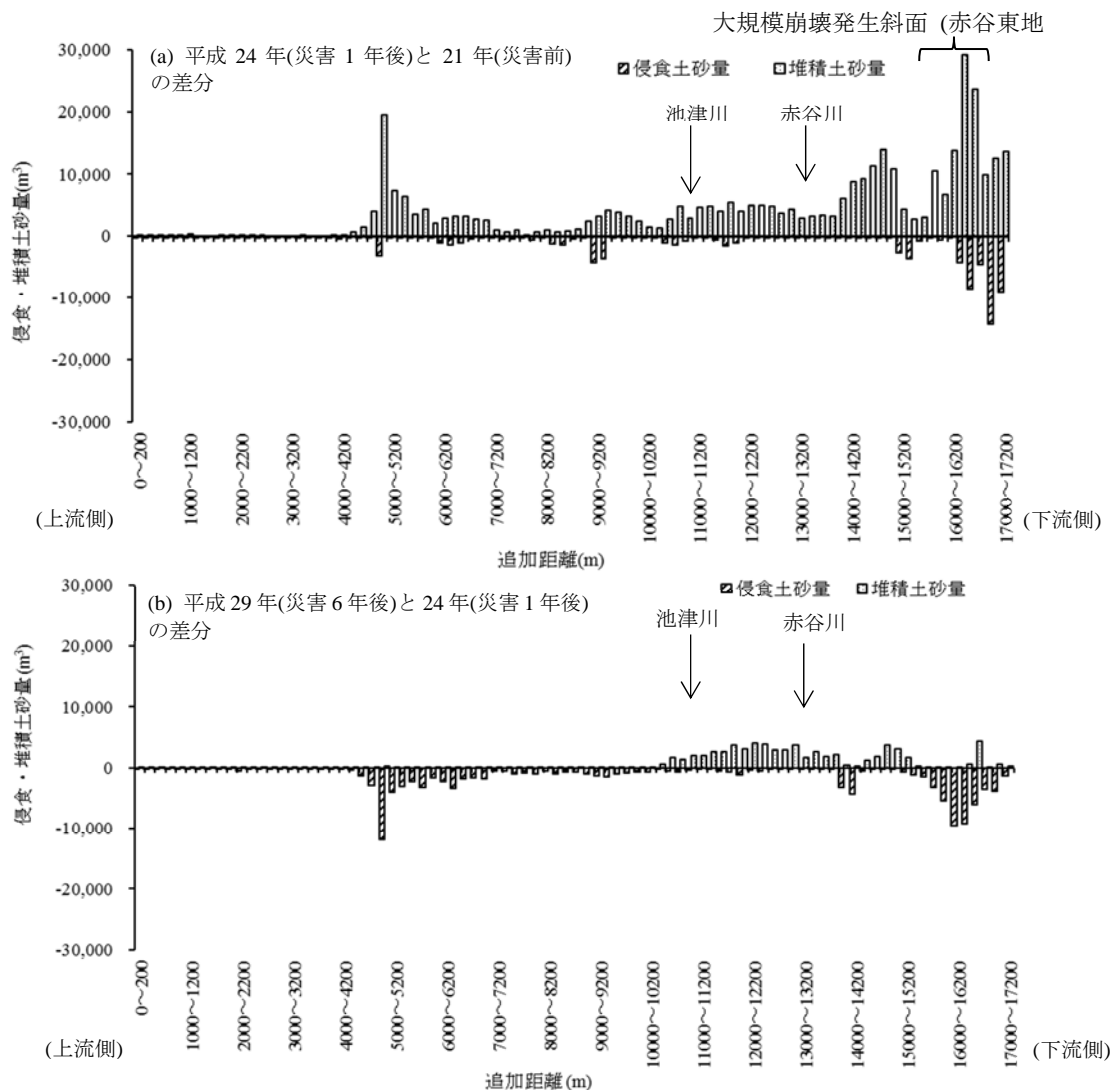


図-8 レーザプロファイラを用いた川原樋川における200mごとの河道区間の侵食・堆積土砂量。矢印は主な支川の合流を表す。(a)平成24年と21年の差分、(b)平成29年と24年の差分。

## 6. おわりに

本研究では、赤谷川と川原樋川の合流点付近の河床変動に着目し、深層崩壊後の土砂流出による合流点とその周辺の河床変動の影響について調査した。得られた結論は以下の通りである。

- 1) 深層崩壊発生及びその後の土砂流出により、災害後 3 年間は赤谷川と川原樋川の合流点付近は河床上昇が顕著であった。その後は砂防施設の整備も進み、赤谷川流域からの土砂流出が減り、合流点の河床が元に戻りつつあることが分かった。
- 2) 支川からの土砂流出により、本川との合流点で河床上昇が発生した場合、本川の上流域から流入した土砂が合流点上流で堆積し、広い範囲で長期間影響を及ぼすおそれがあることが分かった。
- 3) 本研究では、ほぼ一年おきのレーザプロファイラデータを活用して、合流点周辺の河床変動を検証した。ただし、これは一年間の複数回の出水による影響の結果に過ぎない。今後は一出水毎に合流点周辺において土砂や水の動きをカメラ等で捉え、侵食・堆積する条件を検証する予定である。

### 参考文献

- 1) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英次, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.43-53, 2012.
- 2) 木下篤彦, 神野忠広, 海原荘一, 小川内良人, 島田徹, 笠原拓造, 荒木繁幸, 東原純: 台風12号で深層崩

壊が発生した赤谷地区斜面からの土砂流出について, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, p.132-133, 2012.

- 3) 桜井亘, 酒井良, 後藤彦幸, 小川内良人, 龍見栄臣, 海原荘一, 宇都忠和, 藤原康正: 平成25年9月台風18号後に深層崩壊斜面で発生した大規模な再崩壊について, 砂防学会誌, Vol.67, No.3, pp.29-35, 2014.
- 4) 桜井亘, 酒井良, 奥山悠木, 水山高久, 池田暁彦, 海原荘一, 只熊典子, 柏原佳明, 吉野弘祐, 小川内良人, 龍見栄臣, 島田徹: 2014年8月台風11号時に河道閉塞で生じた侵食・土砂流出と対策への影響, 砂防学会誌, Vol.68, No.6, pp.4-13, 2016.
- 5) 木下篤彦, 田中健貴, 桜井亘, 内田太郎, 臼杵伸浩, 岡野和行, 井之本信: 2011年深層崩壊発生後の赤谷川流域からの土砂流出と川原樋川との合流点での河床上昇について, 河川技術論文集, 第24巻, pp.113-118, 2018.
- 6) 板野友和, 池田暁彦, 宮瀬将之, 垣本毅, 五十嵐勇氣: 熊野川における平成23年台風12号後の土砂移動実態, 平成28年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B-30-31, 2016.
- 7) 本多泰章, 宮瀬将之, 垣本毅, 吉村元吾, 今森直紀, 田中健貴: 熊野川における平成23年台風12号後の土砂移動実態(続報), 平成29年度砂防学会研究発表会概要集, pp.692-693, 2017.
- 8) 中谷加奈, 水山高久, 福崎温子, 里深好文: 土石流の合流角度が本川合流点に及ぼす影響, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B-98-99, 2013.
- 9) 増田覚, 水山高久, 小田晃, 大槻英樹: 本支川の出水のずれによる合流点の河床変動に関する研究, 砂防学会誌, Vol.61, No.4, pp.27-31, 2008.
- 10) 紀伊山系砂防事務所: 紀伊山地における大規模河道閉塞対策(天然ダム)対策の考え方(案)【参考資料編】, [http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/news/pdf/Reference\\_materials.pdf](http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/news/pdf/Reference_materials.pdf)

# 地震による斜面崩壊の影響範囲の推定に関する研究

国土交通省国土技術政策総合研究所

坂井佑介・内田太郎

## 1. はじめに

地震による土砂災害を軽減・防止するためには、斜面崩壊により被害が生じる範囲(以下、「影響範囲」という)を推定し、事前の防災対策である避難計画等に活かすことが重要である。本研究では、地震により発生する斜面崩壊の影響範囲を推定するにあたり、影響範囲と相関が高いと考えられる崩壊規模と影響範囲に係わる指標との関係性を、事前の防災対策への活用も想定し整理する。また、検討対象とする地震を複数選定し、複数の地震の影響範囲を統一的に検証することにより、より汎用性の高い推定手法の適用可能性を検討した。

## 2. 検討内容

### (1)検討対象範囲・調査箇所

検討対象とする地震は、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28年熊本地震を対象とし、以下の①～⑥に示す計測項目を調査する崩壊地(以下、「調査箇所」という)を地震毎に100箇所、全体で300箇所を抽出した(図-1)。

- ①影響範囲末端から崩壊頂部までの流下経路の長さ
- ②影響範囲末端から崩壊頂部までの比高
- ③影響範囲末端から崩壊頂部までの見通し角
- ④影響範囲末端の勾配
- ⑤崩壊面積
- ⑥土砂流下形態(崩壊土砂の流動化の有無)

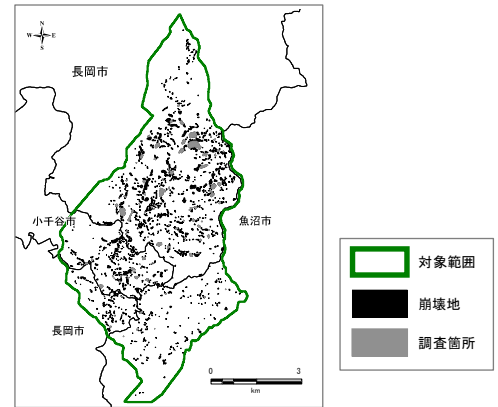
土砂流下形態の分類と分類毎の影響範囲のイメージ及び各項目の計測イメージを図-2に示す。

その上で、調査箇所を計測したデータを基に、以下のa～dについて整理した。

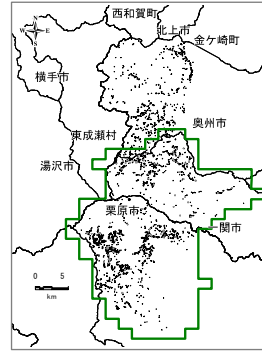
- a. 崩壊面積と流下経路の長さの関係
- b. 崩壊面積と比高の関係
- c. 崩壊面積と見通し角の関係
- d. 崩壊面積と影響範囲末端の勾配の関係

また、上記項目の整理にあたっては、各階級のデータ数が同じになるように崩壊面積を10階級に分割し、階級ごとの変動係数(標準偏差/平均値)を算出した。また、各計測項目の回帰直線を記載するとともに、全データの70及び90%包絡する直線を回帰直線の切片のみを変更して整理した。

H16 新潟県中越地震



H20 岩手・宮城内陸地震



H28 熊本地震

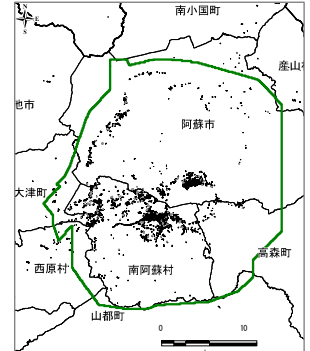


図-1 全崩壊地と調査箇所の空間分布

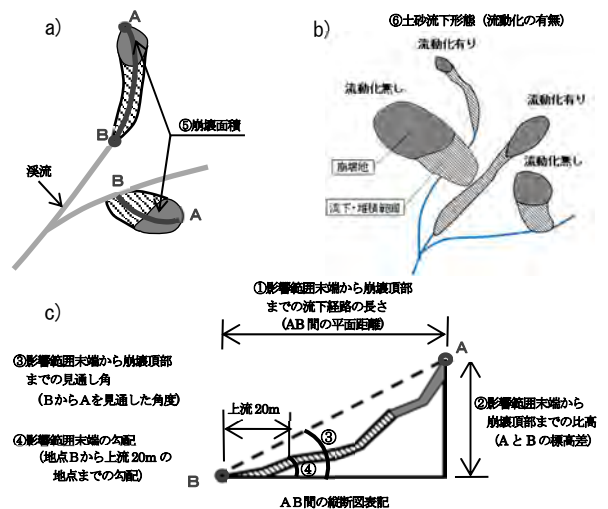


図-2 各計測項目イメージ

a) 平面図, b) 流動化の有無の判定イメージ, c) 縦断面

## 3. 分析結果

### (1)地震別の分析結果



2(3)分析方法の a、b、c、d について、地震別で整理した結果を図-3 に示す。

a. の流下経路の長さ、いずれの地震も崩壊面積との相関が比較的高く、崩壊面積が大きくなるにつれて流下経路が長くなる傾向が認められた。回帰直線の傾きは、地震によらず約 0.51~0.55 と近い値となっていることから、異なる地震でも崩壊面積に応じた流下経路の長さの増分は概ね一定であることを示している。変動係数については、各地震とも概ね 1.0 未満となっている。b. の比高についても、a の結果と同様の傾向が確認できた。c. の見通し角は、決定係数が低く、回帰直線の傾きは 0 に近い値であった。一方で変動係数は 0.5 未満であり、これらの結果から、影響範囲末端から崩壊頂部までの見通し角について、崩壊面積に関わらず一定の範囲内に収まるものが多くを占めていたと考えられる。

以上の結果から、a、b については崩壊面積に応じた影響範囲との関連、c については影響範囲そのものとの関連があると考えられるが、データのばらつきもあり、影響範囲を決定論的に推定することは困難である。一方で、90%包絡線を見ると、特に a. 流下経路の長さについて、上限と下限の間が狭く、残り 10%についても 90%包絡線近傍にあることがわかる。この包絡線の確からしさについては今後より詳細に検討する必要があるが、適切に包絡線を設定することで事前の防災対策として崩壊面積から影響範囲を推定する手法が活用できる可能性があると考えられる。

## (2)全地震の分析結果

全地震を対象とした分析結果を図-4 に示す。ここでは、地震別の図-3 と比較して検討を進める。

a. 流下経路の長さについて、決定係数は約 0.64 となっており、地震別の決定係数約 0.60~0.83 内に収まっている。回帰直線の傾きは地震別の結果に近い値である約 0.49 であった。b. 比高についても、a の比較結果と同様の傾向が確認できた。c. 見通し角について、決定係数や回帰直線の傾きは地震別の結果と同様の傾向であった。変動係数は 0.5 未満であった。

以上の結果から、全地震の決定係数や回帰直線の傾きが地震別の結果と同様の傾向を示した a、b、c について、図-4 で地震別の回帰直線の傾きが近い値であることも考慮すると、異なる地震でも各指標と影響範囲との関係は同様の傾向を示すことから、地震による崩壊土砂の影響範囲を 1つの手法で確率的に予測できる可能性が示されたと考えられる。

## 4. 今後の課題

今後、より汎用性の高い影響範囲の推定手法の確

立のためには、本研究で用いた指標と影響範囲との関係を詳細に検討するとともに、これ以外の指標についても検討を進める必要があると考えられる。また、影響範囲との関係が深い崩壊規模の推定手法に関する研究の進展も望まれる。

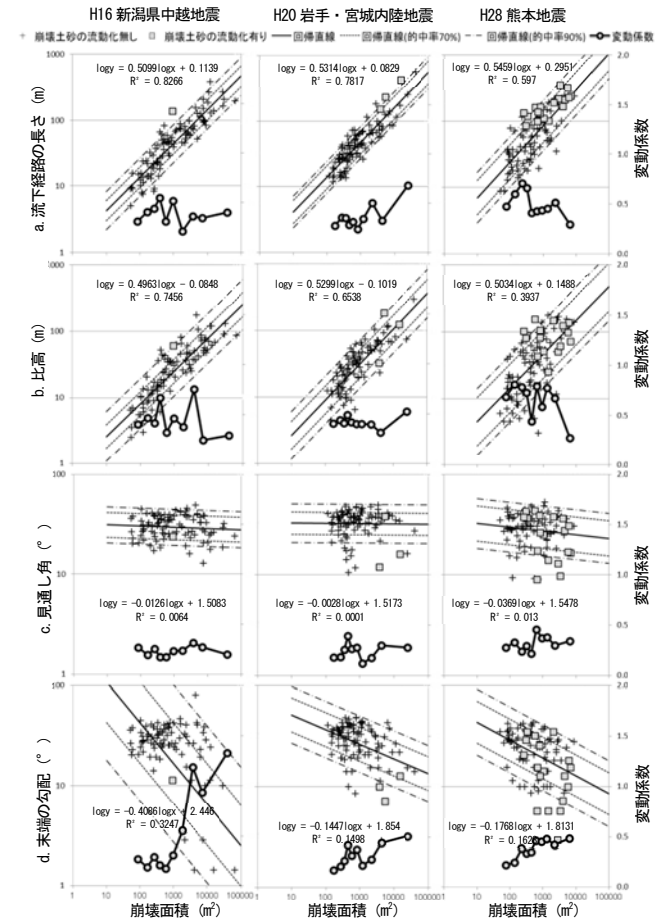


図-3 地震別の崩壊面積と計測項目との関係

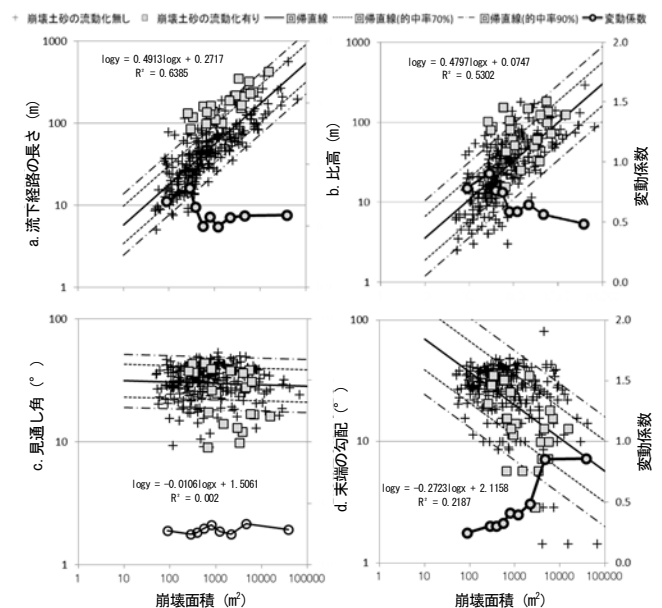


図-4 全地震の崩壊面積と計測項目との関係

## ボーリングコアの破碎度と開口亀裂の評価に基づく 奈良県赤谷西地区における重力変形領域の推定

国立研究開発法人土木研究所

国土交通省近畿地方整備局

### 1. はじめに

深層崩壊対策として、重力変形に伴う微地形をレーザー測量データを活用して判読し、危険箇所を抽出する検討が進められている<sup>1) 2)</sup>。一方、深層崩壊対策を検討していく上では土砂量の推定も重要であり、現地調査などにより斜面内部の変形領域を評価することが重要となる。

地すべり運動が進行している領域においては、無構造な角礫岩、引張り割れ目など、特徴的な破碎や亀裂が認められることが報告されており<sup>3)</sup>、ゆるみ岩盤<sup>4)</sup>など重力変形斜面の変形領域にも、同様の特徴が認められることが考えられる。近年、著しく品質が向上した高品質ボーリング調査や、ボアホールカメラを用いた孔壁調査は、重力変形斜面で認められると考えられる特徴的な破碎や亀裂の調査にも有効と考えられる。そこで本研究では、ボーリングコアと孔壁画像を用い、破碎状況と亀裂状況に着目して岩盤性状の評価を行い、変形領域の下端深度を推定する手法を検討した。

### 2. 調査方法

#### 2.1 調査対象

本研究は、平成23年に奈良県五條市で発生した深層崩壊の近傍に位置する赤谷西地区を対象とした(図-1)。赤谷西地区は、熊野川水系川原樋川支流赤谷川の支溪流に面した、斜面勾配30~40°の北向き斜面である。斜面には不規則形状の凹凸が認められ、斜面上部の尾根付近に幅約10mの線状凹地が分布することなどから、重力変形が生じていると考えられる。本研究では、斜面上部付近で実施された調査ボーリング孔(Ak-5孔、削孔長85m、孔径86mm)を用いて岩盤の破碎状況と亀裂状況の評価し、深度方向の特徴の変化から変形領域の下端深度を推定した。

#### 2.2 破碎状況の評価

破碎状況は、脇坂ほか<sup>3)</sup>による破碎度区分を用いて評価を行った。評価には、高品質ボーリングにより極力乱さずに採取され、要領<sup>5)</sup>に則り丁寧に取り扱われたボーリングコアを用いた。

#### 2.3 亀裂状況の評価

亀裂は、(株)レアックス製のボアホールイメージプロセッサ(解像度360 Pixel, 分解能0.25 mm)で取得された孔壁展開画像から判読した。また、亀

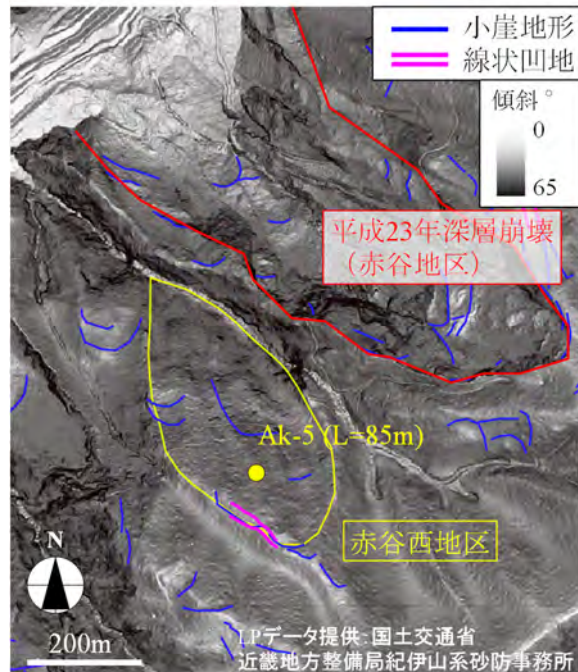


図-1 検討対象地点位置

裂の深度、走向、傾斜、開口量についても測定した。

その上で、亀裂は、開口量と形状により以下の3種類に区分し評価した。このうち亀裂Cは、引張り割れ目<sup>3)</sup>と同様の視点で区分した。

亀裂A: 開口量が孔壁画像から測定できないほど小さい亀裂

亀裂B: 開口量が測定でき、形状が平面に近い亀裂

亀裂C: 開口量が測定でき、面形状が鋸歯状で、層理面と斜交し鉛直に近い形状の亀裂  
さらに、孔壁画像からの亀裂の判読、評価結果は、ボーリングコアと対比し、その妥当性を確認した。

#### 2.4 変形領域推定結果の妥当性評価

破碎状況と亀裂状況の評価に基づき推定した変形領域の下端深度は、平成29年9月~平成30年2月の挿入式孔内傾斜計による観測結果と対比し、その妥当性を評価した。

### 3. 調査結果

#### 3.1 破碎状況と亀裂状況の評価結果

破碎度区分の結果、全削孔長85m中、Cr1aは47.16m、Cr1bは8.05m、Cr2は4.67m、Cr3は0.74m、Cr4は0.24mからなると評価した(図-2)

(c). 無破碎の岩盤は 18.77 m, 崩積土など破碎度を評価できなかった区間は 5.37 m であった. 粘土～砂状の Cl は認められなかった. 角礫岩には断層由来のものも含まれる可能性もあるが, 複合面構造が不明瞭であったため今回は全て Cr にて評価した. 破碎度の深度方向の分布では, 無構造の角礫岩 (Cr2～Cr4) が深度 67.61 m まで認められた. 一方, 引張り割れ目が認められる岩盤である Cr1a, Cr1b は深度 72.21 m まで認められた.

亀裂は, 亀裂 A が 177 面, 亀裂 B が 511 面, 亀裂 C が 73 面判読された. 深度方向の分布では, 亀裂 A は深度 84.66 m のほぼ調査深度下端まで認められ, 亀裂 B は深度 80.22 m まで, 亀裂 C は深度 62.60 m まで認められた. 図-2 (e) には, 亀裂 C の 1 面ごとの開口量と, ボーリング孔底からの累積開口量を併せて示す. 累積開口量は深度 62.60 m から次第に多くなることが特徴的であり, それ以深のボーリングコアで認められる引張り割れ目は, 孔壁画像では開口していなかった.

以上の結果から, 変形領域の下端深度は, 無構造な角礫岩の分布下限の深度 67.61 m, もしくは亀裂 C の累積開口量が増加する深度 62.60 m と推定され (図-2 (c), (d), (e)), そのうち深い深度は 67.61 m であった.

### 3.2 変形領域下端深度の妥当性

挿入式孔内傾斜計による観測結果を図-2 (f) に示す. 深度 64.25～67.75 m 区間においてほぼ北向き方向に 0.48 mm の変位が計測され, この区間の変位が最も深い深度における地中変位であった. なお変位の方向は, 斜面の傾斜方向と概ね一致する. 破碎度と亀裂状況から推定された変形領域の下端深度

67.61 m とは 0.14 m の差であり, 概ね妥当な結果を示すものと考えられる.

## 4. まとめ

本研究では, 赤谷西地区において, ボーリングコアと孔壁画像を用い, 破碎度区分と亀裂の開口量と形状に着目して岩盤性状を評価することで, 変形領域の下端深度を推定できる可能性を示した. 今後は, 特徴的な破碎や亀裂の形成と重力変形のメカニズムの関係を検討するとともに, 斜面内における岩盤性状や, 変形の程度による違いを明らかにし, 評価手法を検討していく必要がある.

## 謝辞

国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所には, LP データとボーリング調査データ, 斜面周辺の地質情報を提供頂きました. ここに感謝の意を表します.

## 参考文献

- 1) 千木良雅弘: 深層崩壊の場所の予測と今後の研究展開について, 応用地質, Vol.56, No.5, p.200-209, 2015
- 2) 笹原克夫: 高知県北川村平鍋周辺の深層崩壊跡地と山頂緩斜面の分布, 砂防学会誌, Vol.69, No.3, p.26-37, 2016
- 3) 脇坂安彦・上妻睦男・綿谷博之・豊口佳之: 地すべり移動体を特徴づける破碎岩—四万十帯の地すべりを例として—, 応用地質, Vol.52, No.6, p.231-247, 2012
- 4) 佐々木靖人・片山弘憲・倉橋捻幸: ダムにおける緩み岩盤の実態と分類試案, ダム技術, No.228, p.9-21, 2005
- 5) (一社) 全国地質調査業協会連合会・社会基盤情報標準化委員会: ボーリング柱状図作成及びボーリングコア取扱い・保管要領(案)・同解説, 138pp, 2015

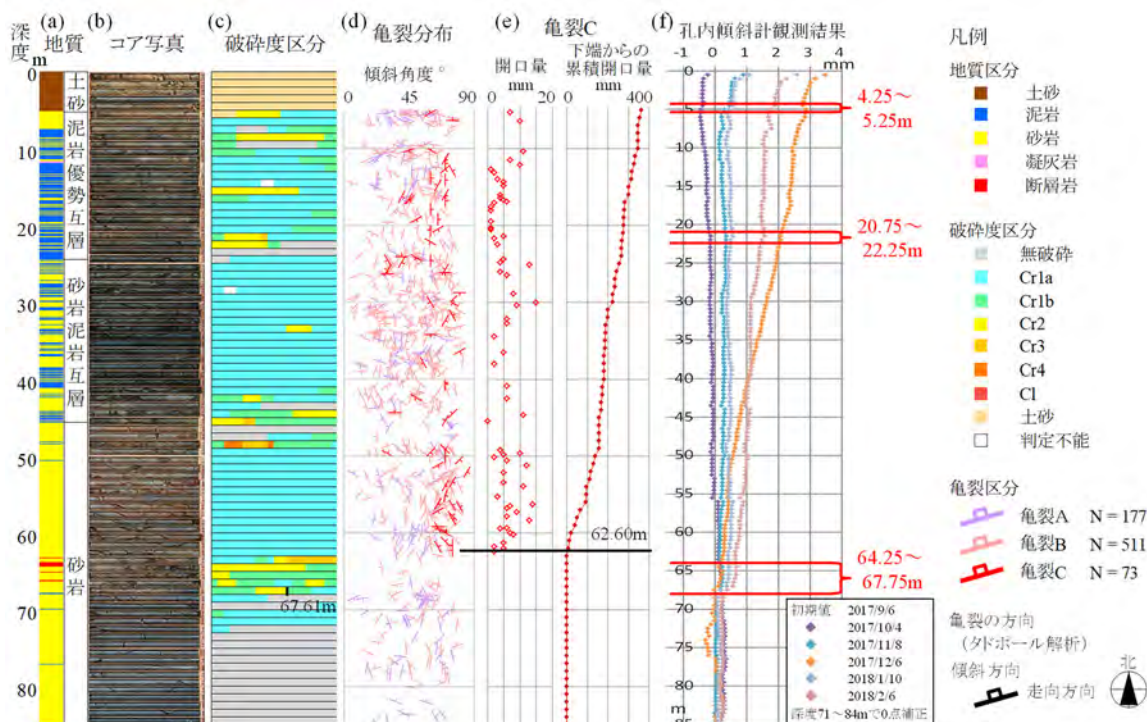


図-2 破碎度と亀裂状況による岩盤性状の評価結果と孔内傾斜計観測結果



## 降雨と湧水 EC の関係に着目した深層崩壊危険斜面抽出手法に関する研究

和歌山県  
国土交通省国土技術政策総合研究所  
近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター  
株式会社エイト日本技術開発

西岡恒志・榎原伴樹  
木下篤彦  
田中健貴  
海原荘一

### 1. はじめに

近年、深層崩壊危険斜面末端の湧水の電気伝導度 (EC) が高いことに着目し、危険斜面を抽出する手法が提案されている<sup>1)3)</sup>。この手法は、変形の進んだ斜面では地下水の滞留年数が高いこと、地下では岩盤の破碎が進み水と基岩の接触面積が増えるためと考えられる。一方、雨が降ると湧水の EC が下がり抽出できなくなることも考えられる。本研究では、危険斜面の湧水の EC を継続的に観測するとともに、雨との関係を整理し、タンクモデルを用いて予測雨量から最適な調査日を算出する手法について提案する。

### 2. 調査箇所の概要

#### 2.1 深層崩壊危険斜面の抽出

和歌山県内で深層崩壊の発生頻度が高いとされる地質及び地形の範囲<sup>4)</sup>において、LP データなどから過去の深層崩壊跡地の抽出や微地形を判読し、深層崩壊の発生するおそれのある斜面の抽出を行った。抽出した斜面の現地調査を行い、EC の高い湧水が湧出する斜面の絞り込みを行った。

#### 2.2 調査地の概要

調査地の概要を図-1 に示す。右会津川流域では 1889 年に発生した深層崩壊と河道閉塞の決壊により甚大な被害が生じている。地質は第三期の四万十帯 (砂岩泥岩互層) である。深層崩壊跡地に隣接した馬蹄形の岩盤クリーブ斜面には、斜面上部には連続的な小崖地形があり、斜面基部からは EC が周囲より相対的に約 2 倍高い湧水がある。

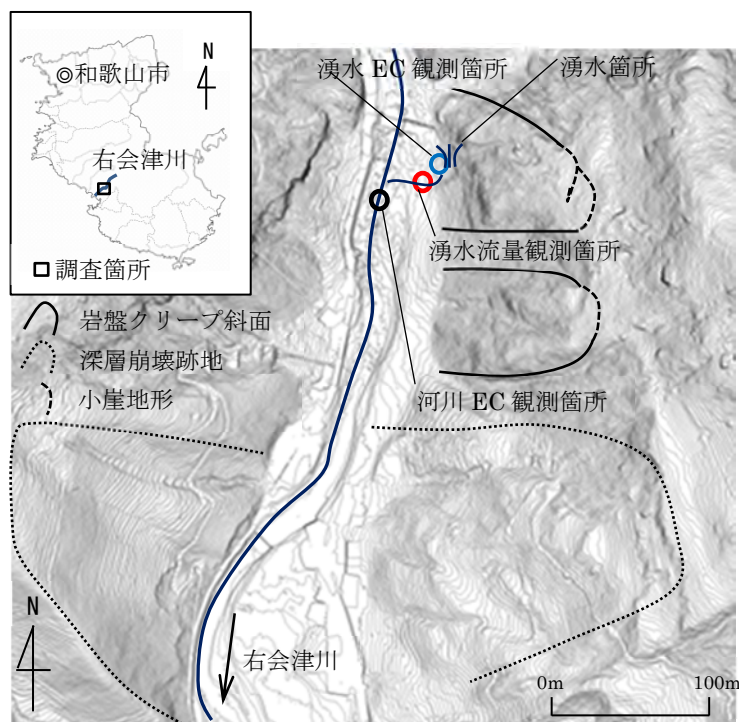


図-1 深層崩壊危険斜面と観測箇所概要図

### 3. 湧水の水文・水質特性調査

#### 3.1 EC・流量の計測手法

湧水の湧出部にロガー付きの EC 計 (Onset 社 : HOBO U24 電気伝導率ロガー) を設置してデータ収集を行うと共に、湧水の流下断面の簡易測量を行いロガー付き水位計 (Onset 社 : HOBO U20 水位・水温ロガー) を設置してマニング式から流量換算を行った。データの取得間隔は雨量データの取得間隔と同様の 10 分間隔とした。

#### 3.2 EC・流量の観測結果

EC と流量の観測結果 (図-2, 3) より、EC は 1 年間を通じて 15~20mS/m の値を示すが、EC は降雨に反応して低下し、その低下割合は降雨量に比例している。湧水が流入する河川と湧水の EC の降雨による低下割合の比較では、湧水 EC が河川 EC より落ち込みが少ないため、湧水 EC は河川 EC より降雨の影響を受けにくいことが分かった。また、流量は EC と同様に降雨直後から増加しているが、日雨量が 50mm 程度以下だとほとんど増加していないことが分かった。

### 4. タンクモデル解析手法とパラメータの再現性

観測された湧水量が表流水や土壌中に浸透した地下水が流出したものの総流出量と考え、土壌雨量指数の算出にも用いられる 3 段タンクモデルを利用して総流出量を算出した。タンクのパラメータは、湧水量とタンク総流出量

が等しくなるよう SCE-UA 法<sup>5),6)</sup>を用いて同定を行った。同定に用いる降雨イベントは、当該地域に土砂災害警戒情報が発令された降雨（日雨量 153.5mm, 最大時間雨量 41.5mm（気：栗栖川））を含む 2017 年 6 月から 7 月の 2 ヶ月間の期間に着目して解析を実施した。その結果、SCE-UA 法の Nash 係数 0.807, タンク総流出量と観測湧水量の相関係数  $R=0.90$  となり、両者の整合度は高いといえる。湧水量とタンク流出量の関係を図-4 に示す。

### 5. 湧水 EC とタンク流出量の関係

各タンクモデルの流出量および総流出量と湧水 EC の関係のグラフを図-5 に示す。この結果、タンク総流出量と湧水 EC には相反する関係があることが分かった。観測期間中に日雨量 10mm 以上の降雨があったのは 7 回で、EC とタンク流出量の変動は、降雨量が多いほど大きく、少ないほど小さくなる傾向にあることが確認できた。

### 6. まとめ

湧水 EC と直列 3 段タンクモデル総流出量に関連性があることが確認できた。この関係を用いて、事前に代表的な危険斜面でタンクのパラメータを同定しておけば、今後の予測雨量から湧水 EC の変化を推定することができ、危険斜面抽出が可能な日が推定できることが分かった。

### 参考文献

- 1) 地頭菌ら：深層崩壊発生場予測法の提案—鹿児島県出水市矢筈岳を例として—, 砂防学会誌, Vol.59, No.2, p.5-12, 2006.2)
- 2) 地頭菌ら：深層崩壊発生予測に関する調査法の提案, 平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集, 2012.3)
- 3) 田淵ら：深層崩壊発生予測に関する調査法の開発, 平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集, 2013.4)
- 4) 独立行政法人土木研究所：深層崩壊推定頻度マップ
- 5) Duan, Q., Sorooshin, S. and Gupta, V. K.: Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models, *Water Resources Research*, Vol.28, No.4, pp.1015-1031, 1992.
- 6) Duan, Q., Sorooshin, S. and Gupta, V.K.: Optimal use of SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, *Journal of Hydrology*, Vol.158, pp.265-284, 1994.

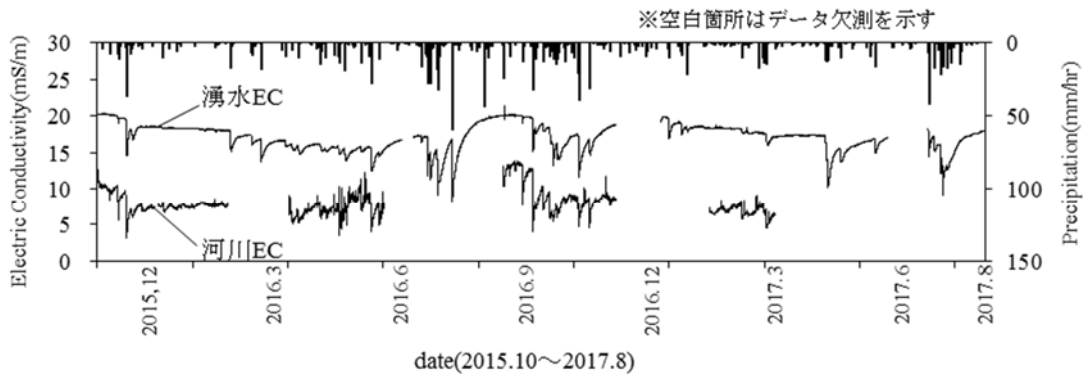


図-2 湧水と河川の EC 観測データ

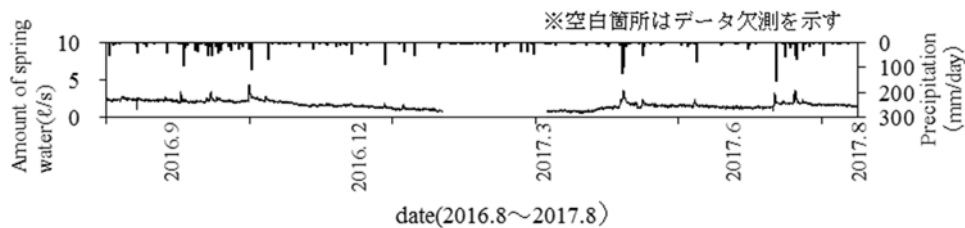


図-3 湧水流量観測結果

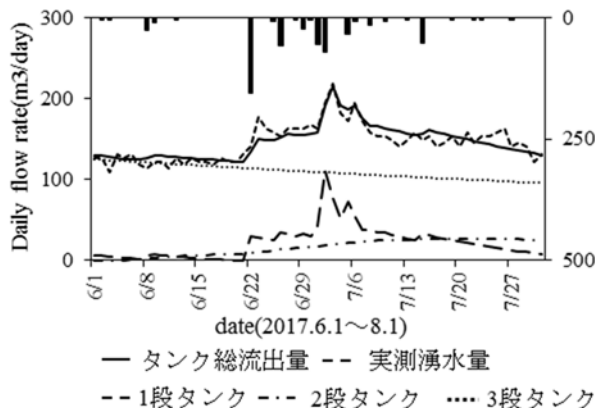


図-4 タンク流出量と実測湧水量比較

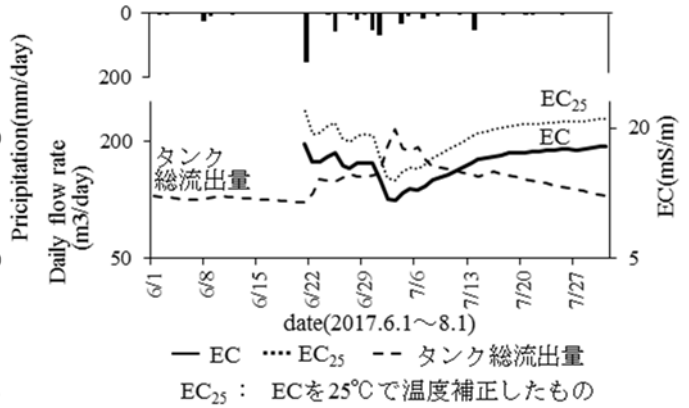


図-5 タンク総流出量と湧水 EC の関係



## 濁度成分の堰堤滞留効果に着目した崩壊監視手法に関する研究

和歌山県

国土交通省国土技術政策総合研究所

近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

西岡恒志・筒井和男・榎原伴樹

木下篤彦

田中健貴

### 1. はじめに

表層崩壊や土石流などの土砂移動現象を下流域で早期に検知するためにワイヤーセンサーや振動センサー、警報メールなど警報機と組み合わせた土石流検知センサーなどが用いられているが、使用にあたっては電源設備の設置手間や、ワイヤー切断による再設置の手間などの課題がある。既往研究では河川の濁り成分に着目した崩壊発生を検知について報告されており、土砂動態と濁りの変化との関係<sup>1)</sup>、土砂移動の有無<sup>2)</sup>、濁度成分の量と粒径分布の関係<sup>3)</sup>などが行われてきた。一方、土石流が発生するおそれのある溪流では砂防堰堤が設置されていることが多く、未満砂の砂防堰堤で湛水が発生すると濁り成分の滞留や沈降が発生し、濁り成分の伝播過程が変化することが考えられるが、十分な検討はなされていない。そこで本研究では、豪雨時に湛水が発生する砂防堰堤の上下流で濁り成分の観測を行い、砂防堰堤の濁り成分の伝播過程への影響を明らかにすることで、流域の崩壊・土石流発生監視手法について検討を行った。

### 2. 調査箇所の概要

#### 2.1 調査流域の概要

調査地は紀伊半島南部に位置する二級河川佐野川水系荒木川で、2011年台風12号によって流域では表層崩壊及び土石流が発生している。砂防基準点より上流の流域面積は3.2km<sup>2</sup>、流路延長は3.0kmで平均勾配は約5.0°である(図-1)。地質は下部が熊野層群と呼ばれる第三紀の堆積岩類(砂岩泥岩互層)、上部は熊野酸性岩(花崗斑岩)で構成される。荒木川の本川には不透過型砂防堰堤が2基設置されており、ここではまとまった降雨時には湛水が発生している。

#### 2.2 調査地砂防堰堤の概要

堰堤の湛水量を写真や痕跡から推定すると、上流堰堤は湛水量が約600m<sup>3</sup>に対し、下流堰堤は約9,000m<sup>3</sup>あり、下流堰堤の湛水量は上流堰堤の約15倍ある。上流堰堤は満砂に対し2/3程度の堆積量で、砂や礫の堆積がみられるが、下流堰堤は殆ど未満砂で、シルトなど細粒分の堆積が多くみられる。これらより下流堰堤で濁り成分の滞留・沈降が多く発生していると考えられる。下流堰堤にはφ500の水抜き暗渠(以下、暗渠)が上下2段に設置されており、常時は下段の暗渠からの排水であるが、まとまった降雨では湛水することで上段暗渠から排水が開始し、続いて水通しから越流する。

### 3. 調査手法

湛水量が大きく、濁り成分の滞留・沈降が多く発生していると想定される下流堰堤に着目し、2015年より観測を開始している。堰堤の上下流に濁度計(Campbell Scientific社製OBS-3+)と水位計(クリマテック社製CWG-H10-C20)を設置し連続観測を実施した。流量は浮子によって流速を計測し、水位と流量の回帰曲線により求めた。堰堤の湛水過程や流出過程を調査するためにタイムラプスカメラを設置し、暗渠や水通しからの排水開始時刻の確認を行った。観測された濁度と流量の関係を、時間変化ヒステリシスに整理し、堰堤の影響の検討を行った。



図-1 荒木川流域図と観測機器設置箇所

#### 4. 砂防堰堤の湛水による濁り成分伝播への影響

2017年8月6～8日に観測した流量・濁度の時系列を図-2に、時間変化ヒステリシスを図-3に示す。観測期間中に2回の降雨ピークがあり、濁度も大きく分けて2回上昇している。1回目の濁度ピーク(3:30)は降雨ピーク(3:00)の30分後であるが、2回目の濁度ピーク(12:30)は降雨ピーク(10:00)の2時間半後であった。堰堤の越流開始と2回目の濁度上昇開始は重なっており、越流前には濁水が湛水し、越流と同時に濁水が下流へ流下するのを確認した(写真-1)。また、2015年7月など複数回行った観測においても越流開始時に濁度が上昇することを確認した。

ヒステリシスは右回りループを2回描き、1回目は濁度が大きく流量が湛水して一定であることから縦長のループを描き、2回目は越流後に流量が増加したことから横長のループを描いた。また、その他の複数回行った観測においても湛水が発生している状況においてヒステリシスがループを描くことを確認した。

次に、2015年9月8～9日に観測した流量・濁度の時系列を図-4に示す。上流観測点では8日18時の降雨ピーク後に濁度が上昇しているが、下流観測点では流量と濁度が減少している。これは堰堤の湛水の影響によって上流の濁度が下流に伝播しなかったと考えられる。

#### 5. まとめ

湛水が発生する砂防堰堤の上流と下流で濁度と流量を観測することにより、濁り成分の伝播過程について検討を行った。得られた成果は、①濁り成分は砂防堰堤に滞留し、水通しからの越流と同時に流下する。このため濁度が堰堤の下流へ伝播する時間に遅れが発生する。②堰堤の湛水によって、上流の濁度が下流に伝播しない可能性がある。③砂防堰堤で湛水が発生している状況においても、濁度・流量の時間変化ヒステリシスはループを描く。濁り成分の伝播時間の遅れは、降雨量や降雨継続時間、堰堤の土砂堆積状況によっても異なることが考えられるため、今後も観測・調査を継続してデータを収集していく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 藤田ら：山地流域における濁度変化と土砂動態, 水工学論文集, 第47巻, p.739-744, 2003.
- 2) 小山内ら：濁度計を用いた土砂移動緊急監視システムに関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.332, 2006.
- 3) 筒井ら：濁度成分の量と粒径に着目した流域内の崩壊監視に関する研究, 河川技術論文集, 第23巻, p.453-458, 2017
- 4) Williams, G.P.: Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in river, Journal of Hydrology, 111, 89-106, 1989.
- 5) 倉茂好匡：河川の浮遊土砂研究における最近の動向, 北海道大学地球物類学研究報告, No.59, p.1-13, 1996.

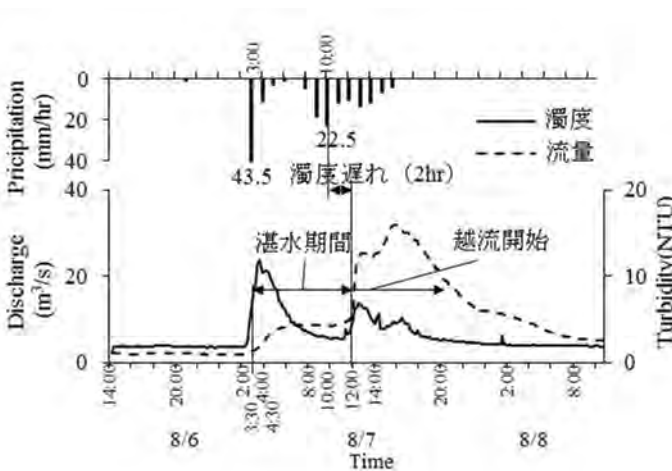


図-2 流量と濁度の時系列 (2017/8/6-8)

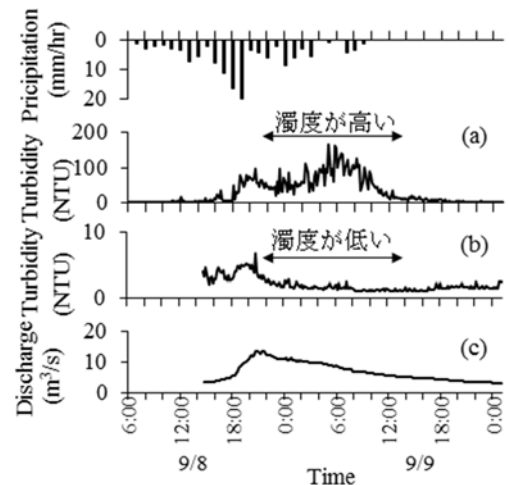


図-4 流量と濁度の時系列 (2015/9/8-9) (a)濁度 (上流観測点), (b)濁度 (下流観測点), (c)流量 (下流観測点)。

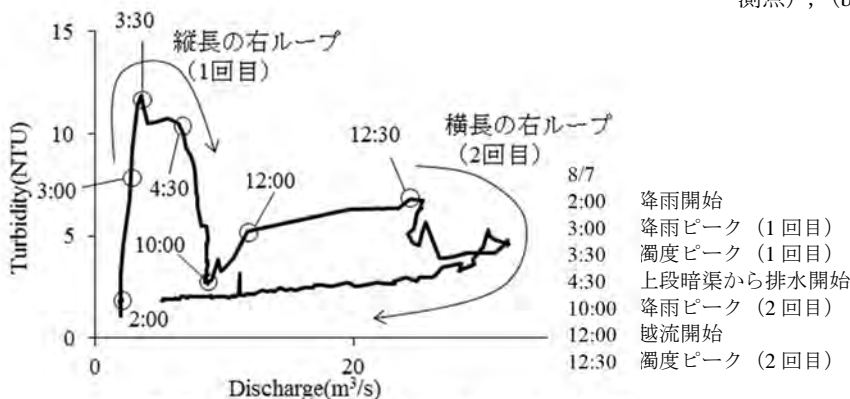


図-3 流量と濁度の時間変化ヒステリシス (2017/8/6-8)



写真-1 堰堤での濁り滞留状況



## 地層境界付近の地下水位変状と空中電磁探査解析結果に着目した 表層崩壊危険斜面抽出の研究

和歌山県

国土交通省国土技術政策総合研究所

近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

大日本コンサルタント株式会社

西岡恒志・榎原伴樹・坂口武弘

木下篤彦

田中健貴

河戸克志

### 1. はじめに

平成23年台風12号により那智川流域で多数発生した表層崩壊<sup>1)</sup>の発生メカニズムは、流域の特異な地質構造と水理構造による可能性が報告されている<sup>2)</sup>。那智川流域の地質構造は、熊野層群（泥岩主体）に花崗斑岩が貫入し、上部を覆っている。表層崩壊が発生した箇所のお多くは地層境界付近の花崗斑岩の分布域で発生しており<sup>3)</sup>、また、地層境界付近には湧水が多数認められる。このことから、熊野層群の難透水性の泥岩と風化・亀裂が発達した透水性の高い花崗斑岩体内の地下水の浸透・貯留・流出が表層崩壊発生の要因の一つと考えられる。本研究では、崩壊が発生した斜面と発生しなかった斜面のボーリング孔の地下水位観測を実施し、空中電磁探査の比抵抗分布から表層崩壊危険斜面の抽出手法について検討を行った。

### 2. 調査箇所と調査手法の概要

調査箇所は、表層崩壊および土石流が発生した那智川流域のなかで、地層境界の露頭及び湧水が確認できる平野川において実施した（**図-1**、**写真-1・2**）。平野川では崩壊が多数確認できる斜面（左溪流・右岸）と、確認できない斜面（左溪流・左岸）が存在していることから、この2つの斜面の地層構造の違いに着目した。2つの斜面で実施したボーリング孔の地下水位の観測を実施し、降雨時の水位の変動と空中電磁探査の比抵抗分布（**図-2**）から崩壊が発生する斜面としない斜面の違いについて検討を行った。崩壊が発生している左溪流（右岸）の空中電磁探査の比抵抗解析結果（**図-3**）では、比抵抗変化率の大きい領域（青）が途中で途絶しており、地下水は不連続で斜面内の地下水が不連続で排水性は良くないと考えられる。一方、崩壊が発生していない左溪流（左岸）の比抵抗解析結果（**図-4**）では、比抵抗変化率の大きい領域（青）が連続しており、地下水の排水性は良好であると考えられる。これらの斜面の排水性の違いが崩壊発生に深く関わっている

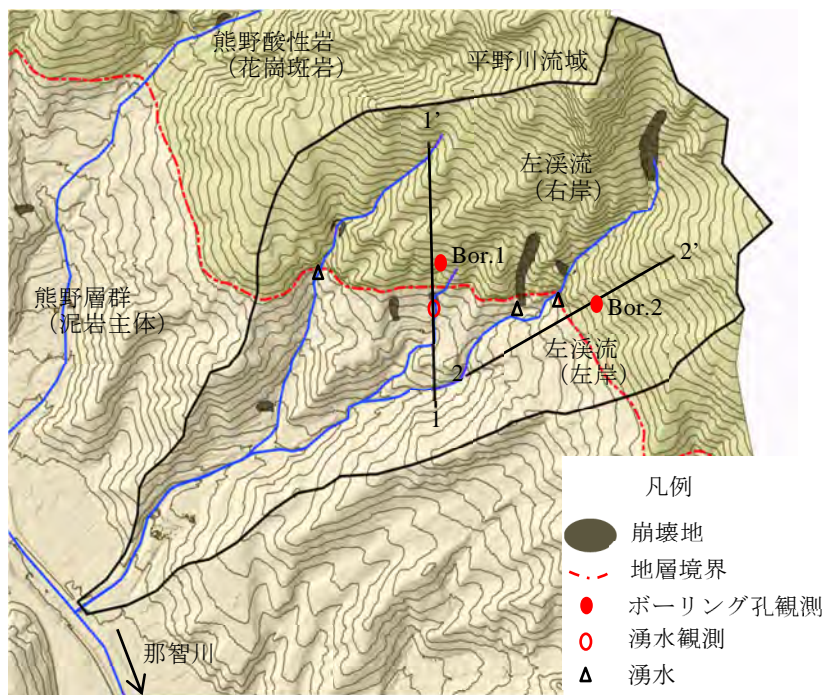


図-1 平野川流域の概要

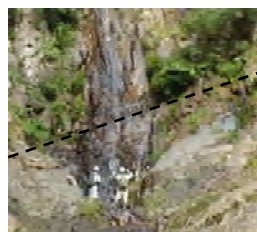


写真-1 地層境界，上部が花崗斑岩で下部が泥岩



写真-2 地層境界付近からの湧水 (a)常時 (b)豪雨時 (2017/10/23)

と考え、それぞれの斜面で実施した地層境界を貫入したボーリング孔の地下水位変動の観測を実施した。なお、地層境界の位置は比抵抗変化率の大きい領域と概ね一致している。

### 3. 地層境界付近の地下水位の変動

地下水位の観測結果を図-5 に示す。それぞれ花崗斑岩に3層、熊野層群に1層の地下水位を確認した。ボーリングコアより花崗斑岩内は風化により亀裂が発達した区間と、亀裂のない区間が相互に存在しており、これが3層の地下水位層を構成したと考えられる。花崗斑岩は降雨に対する水位変動の応答性が高いが、熊野層群は低くなっている。2つの斜面の違いとして、Bor.2では降雨に対する水位上昇期間が長いのにに対し、Bor.1では短くなっている。これは、左岸側の排水性が良くなく、花崗斑岩の亀裂等に地下水をため込んでいることが考えられる。一方、右岸側では、3層目の地下水が殆ど上昇していないことなどから、湧水などによって排水性が良好になっていたと考えられる。

### 4. まとめ

比抵抗解析断面が異なる斜面の地下水位観測を行い、崩壊危険斜面の抽出について検討を行った。結果として、比抵抗変化率が連続した斜面は降雨による地下水位の上昇期間が長く、比抵抗変化率が途絶する斜面は地下水位の上昇期間が短い斜面であることがわかった。ただし、比抵抗変化率が途絶する斜面は湧水によって斜面の良好な排水性が確保されていた可能性もあるため、今後は湧水量と地下水位変動の関連性などを調査していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 松村ら: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会, Vol.64, No.5, p.43-53, 2012.
- 2) 木下ら: 平成23年台風12号で崩壊した金山谷川・鳴子谷川における斜面崩壊発生機構について, 砂防学会概要集, 2013.
- 3) 千東ら: 平成23年台風12号の那智川流域の水文・水質特性と崩壊メカニズムに関する研究, 砂防学会概要集, 2015.

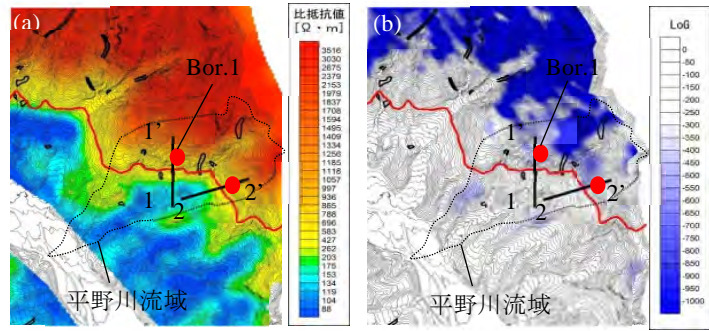


図-2 空中電磁探査結果。(a) 比抵抗変化率断面, (b) 比抵抗解析断面

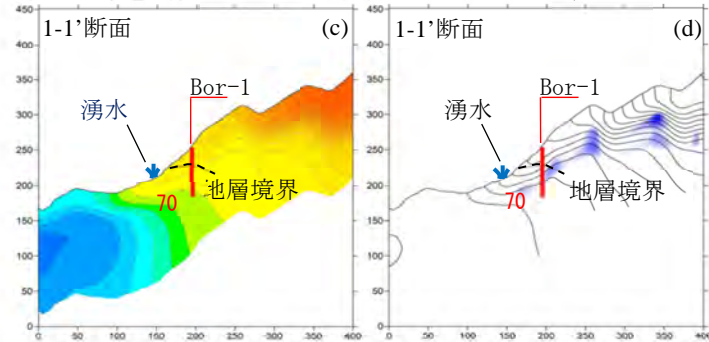


図-3 図-2中1-1'断面図。(c) 比抵抗変化率断面, (d) 比抵抗解析断面

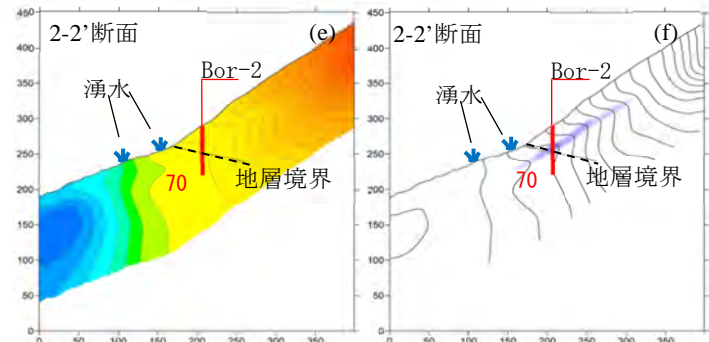


図-4 図-2中2-2'断面図。(c) 比抵抗変化率断面, (d) 比抵抗解析断面

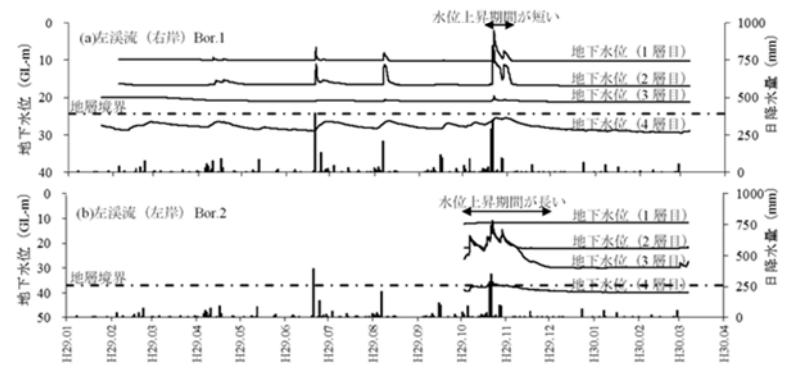


図-5 比抵抗変化率が異なる斜面の地下水位変動。(a) 比抵抗変化率が途絶するパターン, (b) 比抵抗変化率が連続するパターン



## 住民・マスコミ・首長への地すべり発生状況及び対策工の効果の分かりやすい説明方法について

和歌山県  
国土交通省国土技術政策総合研究所

榎原伴樹・崎山朋紀  
木下篤彦

### 1. はじめに

台風や梅雨などの出水期には、豪雨により地すべり・がけ崩れ・土石流などが突如として発生する。このような時、行政職員は現場に赴くと、住民・マスコミ・首長への説明を求められることがある。このような場合に、相手の立場・求めていることを考え丁寧な対応をとることが、その後の住民避難や対策工事の円滑な執行に繋がると考えられる。(表-1)本研究では、平成29年6月末に和歌山県西牟婁郡上富田町の立平(たちだいら)地区で発生した地すべりを例にあげ、最適な説明方法について検討する。



図-1 位置図

表-1 住民・マスコミ・首長が求めていること

住民	災害の状況
	避難はいつまで続くのか
	工事は誰が・いつからやってくれるのか
	いつになれば元の生活に戻れるのか
マスコミ	災害の状況
	そもそも土石流・地すべり・がけ崩れとは何か
	今後被害は広がるのか・収まるのか
	住民の避難はいつまで続くのか
首長	どんな対策を実施するのか
	災害の状況 避難勧告等の解除の考え方 (住民の避難が必要な時期)



写真-1 立平地区全景



写真-2 斜面頂部の変状

### 2. 立平地すべりの概要

当地区は和歌山県南部の西牟婁郡上富田町岩田地内に位置している(図-1)。第3紀堆積岩類・田辺層群(朝来累層)の分布する地域で、泥岩優先の砂岩泥岩互層で構成されている。平成28年7月に亀裂の存在が確認されたため経過観察を行ってきたが、その後伸縮計により変動の監視を行ってきた。平成29年6月21日の降雨(連続雨量142mm)により最大2mm/hの変動が確認され、その後も降雨による変動が活発化し、危険性が高まったため対策を実施することとなった。現地調査の結果、地すべりの規模は幅約60m、長さ約70m、深さ約12mであることが確認された。

### 3. 伸縮計の観測結果

斜面の変動を監視するための観測機器の設置状況を図-2に示す。また、降雨と地盤伸縮計の変動の関係について図-3に示す。

斜面最上部に設置されている伸縮計S-1の動きについて、6月21日の連続雨量142mmの降雨では11.7mm(時間最大2.0mm/h)の変動だったが、6月25日~26日の連続雨量75mmの降雨においては、45.0mm(時間最大3.5mm/h)、6月30日~7月1日の連続雨量110mmの降雨の際は357.6mm(時間最大25.4mm/h)となっており、降雨の量が減ってい



るにも関わらず動きが増しており、地すべり活動が活発であることが説明できる。

またその後、応急対策工事として排水ボーリング工事を7月3日から7月11日にかけて実施したが、その効果により、8月7日～8日の連続雨量176mmの降雨では変動が小さくなり、対策工の一定の効果が出ていると説明できる結果となった。

しかし、10月の台風21号の降雨(連続雨量327mm)の際には489.8mm(時間最大90.2mm/h)と大きな変動があり、追加の対策が必要であることが示唆されている。

これらのことから、発災直後から継続的に観測を実施することにより、対策工の効果が確認でき、それをもって避難指示等解除の時期の判断のための情報を提供することが可能となることが確認できた。ただし、時期によっては、今回の台風21号がそうであったように、想定外の規模の降雨も起こり得るので、例えば、大雨警報が発令されれば避難してはどうか等、条件の助言等も必要となると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、地すべりが発生した箇所において、早めに伸縮計を設置し、住民・マスコミ・首長が求めている情報を伝える方法について検討した。今回は、地盤伸縮計の観測結果を基に、首長への避難指示等の解除のための資料の作成や助言に関する検討を行ったが、相手方が求める情報を的確に把握し、

や写真を用い工夫して説明する必要がある。これらの成果を基に、次の出水期では突然の災害時にもより良い情報提供に努めていきたいと考える。

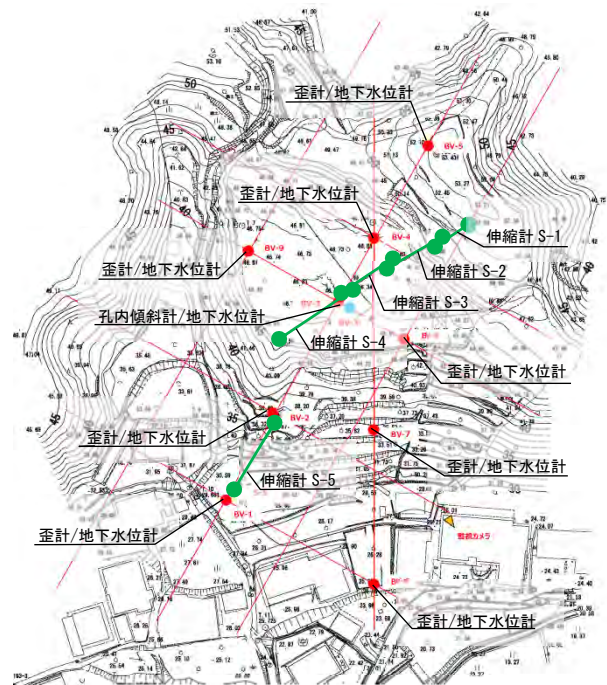


図-2 観測機器設置状況

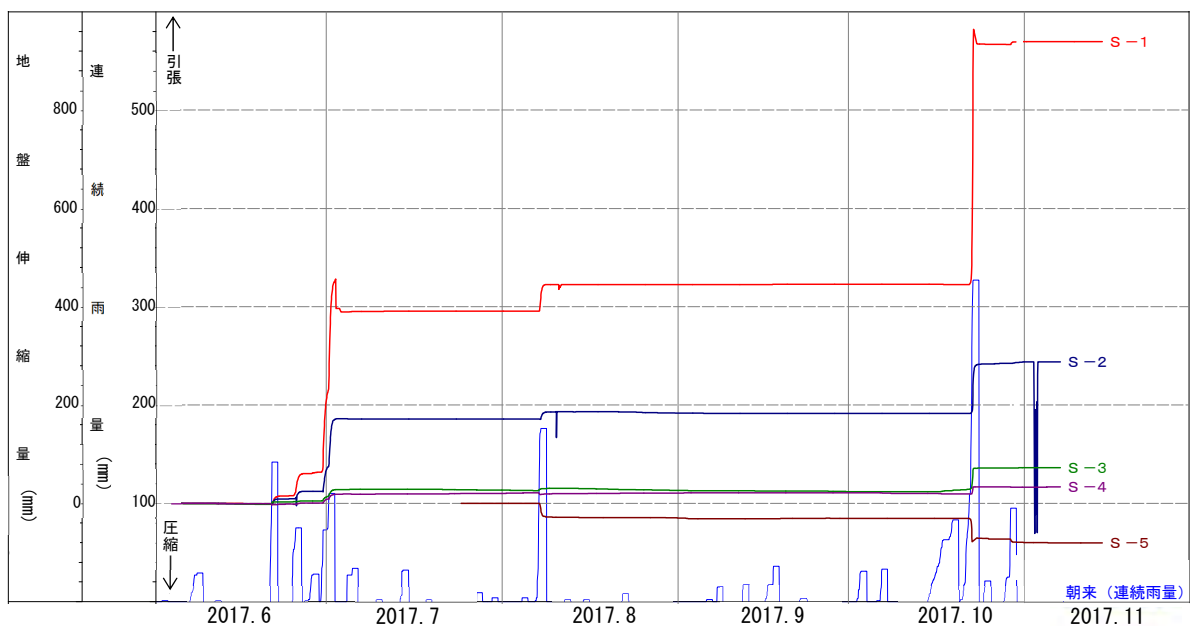


図-3 地盤伸縮計観測結果

現象や対策の効果について、観測機器の結果や、図

## 深層崩壊に対する警戒避難の発表ならびに解除に資する雨量データ解析

京都大学農学研究科  
近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所

小杉賢一朗・千野佑輝・中谷加奈・正岡直也  
小竹利明・菅原寛明・田中健貴

### 1. はじめに

紀伊山系では、平成 23 年台風 12 号の豪雨で深層崩壊が多発し、甚大な被害をもたらした。深層崩壊は頻度が少なく規模が大きいため、効率的・効果的なハード対策が難しく、ソフト対策が重要となる。本研究は、紀伊山系付加体特有の基岩内地下水位の変動と雨量との対応関係を明らかにし、紀伊山系の深層崩壊をターゲットとした、精度の高い警戒避難の発表ならびに解除に資する雨量データの解析・活用手法を検討することを目的として実施した。以下では、主として警戒避難の解除のタイミングに関して得られた知見を報告する。

### 2. 解析に用いたデータ

平成 23 年に発生した深層崩壊跡地やそれらの周辺の非崩壊斜面ならびに潜在的な危険斜面で集中的な調査が行われている 9 地区（赤谷，長殿，清水（宇井），北股，那智，坪内（冷水），栗平，熊野，三越）を対象として、降雨と地下水位のデータを解析した。

地下水位観測地点の総数は 140 である。データは全て 1 時間インターバルのものを使用した。観測の開始・終了時期は地点によって異なっており、解析期間の統一はしていない。

### 3. 解析方法

48 時間の無降雨期間を降雨イベントの区切りとし、「総雨量 10 mm 以上かつ地下水位上昇量 0.5 m 以上」の条件により解析降雨イベントを抽出した。時間雨量の時系列を用いて実効雨量を計算した上で、各降雨イベントにおける実効雨量のピーク値ならびにピーク発生時刻を特定し、地下水位のピーク値ならびにピーク発生時刻と比較した。

### 4. 結果と考察

#### (1) 実効雨量ピークと地下水位ピークの対応

図-1 には、栗平地区の W2 地点で観測された地下水位と半減期 120h 実効雨量を示した。実効雨量は地下水位と類似した波形を示しており、両者のピーク値の間には高い順位相関が認められた（NSEF 値

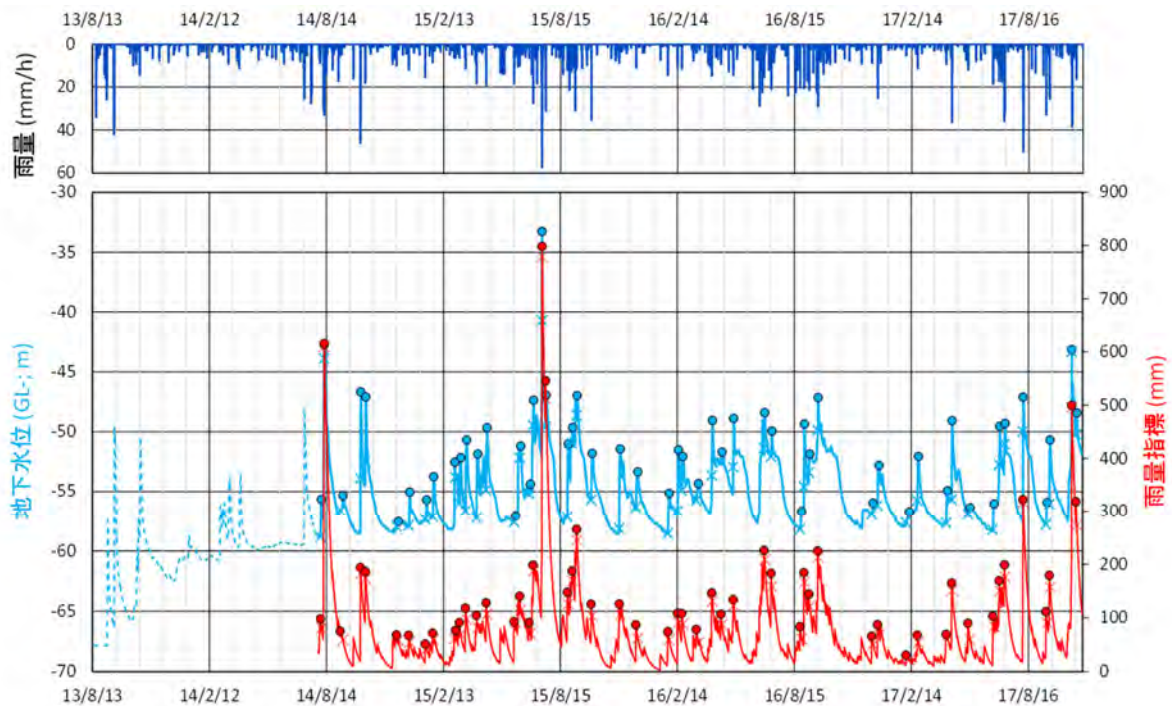


図-1 雨量，雨量指標（半減期 120h 実効雨量），地下水位の時系列（栗平地区 W2 地点）

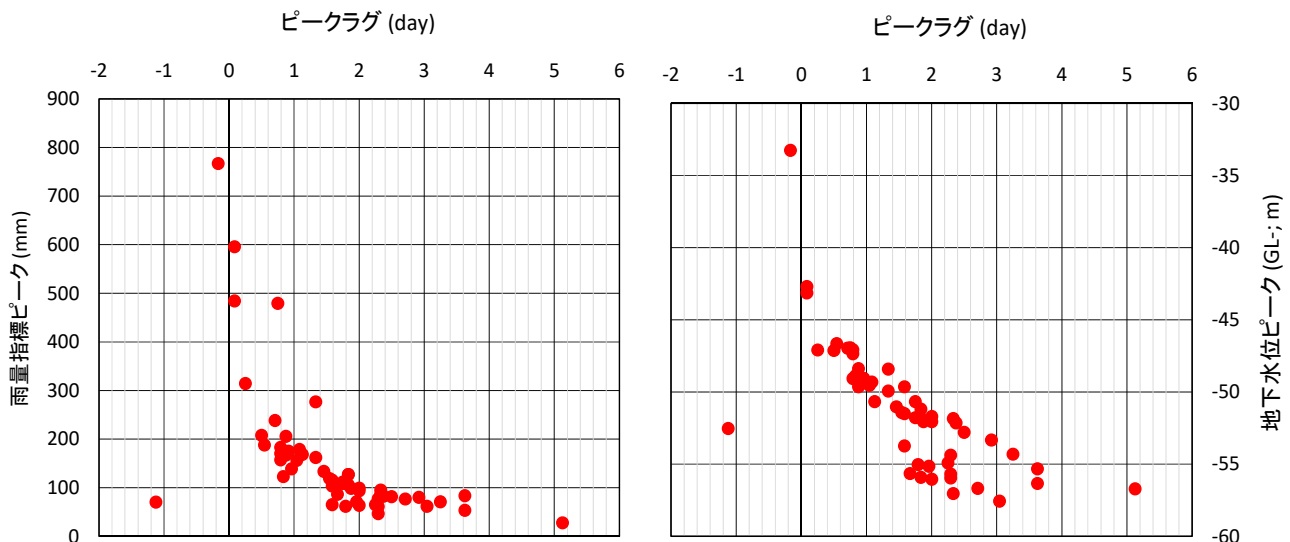


図-2 ピークラグと雨量指標ピーク（左）および地下水位ピーク（右）の相関（栗平地区 W2 地点）

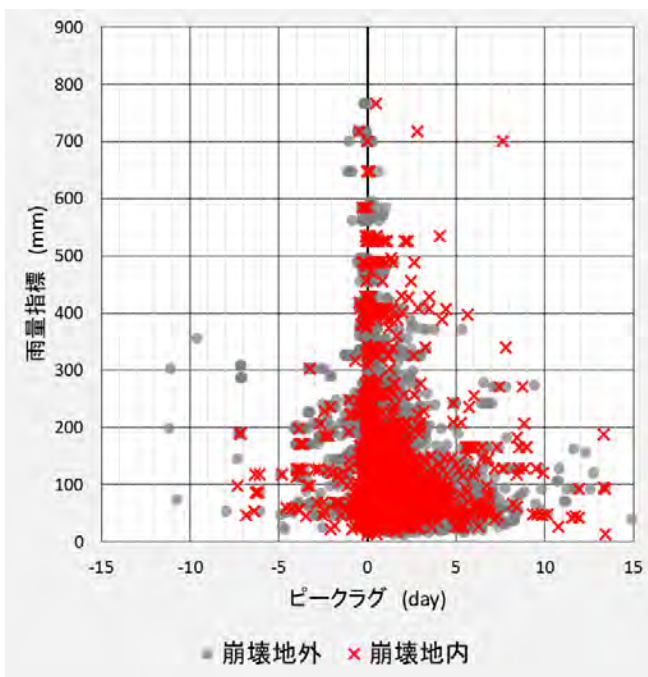


図-3 ピークラグと雨量指標ピークの相関（全観測地点）

＝0.803)。ただし、両者のピークは必ずしも同時刻に発生しているわけではない。一般に深い深度に存在する基岩地下水では降雨に遅れて水位上昇を示す傾向があり、このことが降雨ピークに遅れて深層崩壊が発生する一因だと考えられる。

そこで、地下水位ピークと実効雨量ピークのタイムラグ（地下水位ピークが実効雨量ピークからどのくらい遅れて出現するかを意味し、以下ではピークラグと呼ぶ）を計算し、実効雨量ピークとの相関をとったものが図-2の左パネル、地下水位ピークとの相関をとったものが図-2の右パネルである。実効雨

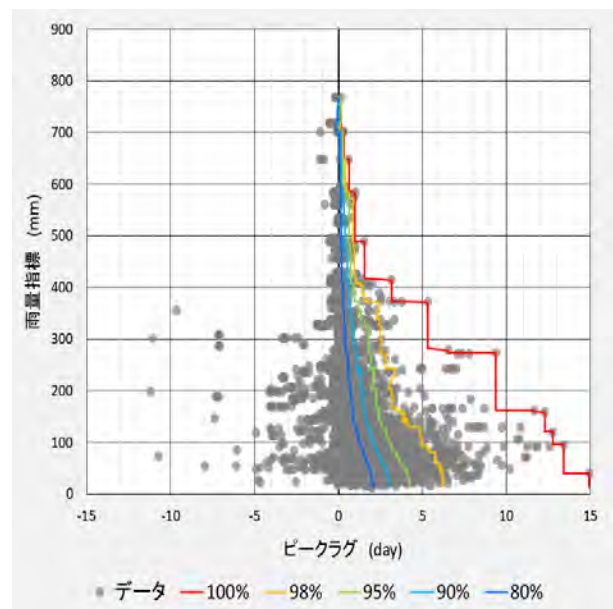


図-4 ピークラグと雨量指標ピークの相関（崩壊地外の全観測地点）図中の曲線は各種割合の包絡線を表している

量ピークや地下水位ピークが大きくなるにつれてピークラグが小さくなる傾向が認められる。すなわち、大規模降雨イベントではピークラグがゼロに近く、実効雨量がピークとなる時刻と比較的近い時間帯において地下水位ピークが出現していることになる。このような地点では、降雨ピークに極端に遅れた深層崩壊の発生は比較的少ない可能性が推察される。なお、ピークラグがマイナスになっている降雨イベントが数例存在しているが、これは地下水位のピークが雨量指標のピークよりも早く発生したことを意味している。



## (2) ピークラグの解析

次に図-3は、解析を行った全140地点について半減期120h実効雨量のピークとピークラグの相関を示したものである。雨量指標ピーク値が大きくなるほど、ピークラグは概してゼロに近づく傾向を示している。この図では、崩壊地の内部と外部の地点を区別しているが、崩壊地の内部にある地点においてピークラグがより大きくなるケースが多くみられる。この傾向は、特に雨量指標ピークが大きな大規模降

雨イベント時に強く表れている。崩壊地内部では、圧密されて透水性が低下した崩土が厚く堆積することでピークラグを大きくしている可能性が考えられる。未崩壊斜面における災害を警戒する場合には、崩壊地外部の地点の傾向を分析することが適切だと考えられることから、以下の解析では、崩壊地内部の地点を除外した。

図-4は、崩壊地外部の地点を対象とした「半減期120h実効雨量ピークとピークラグの相関」におい

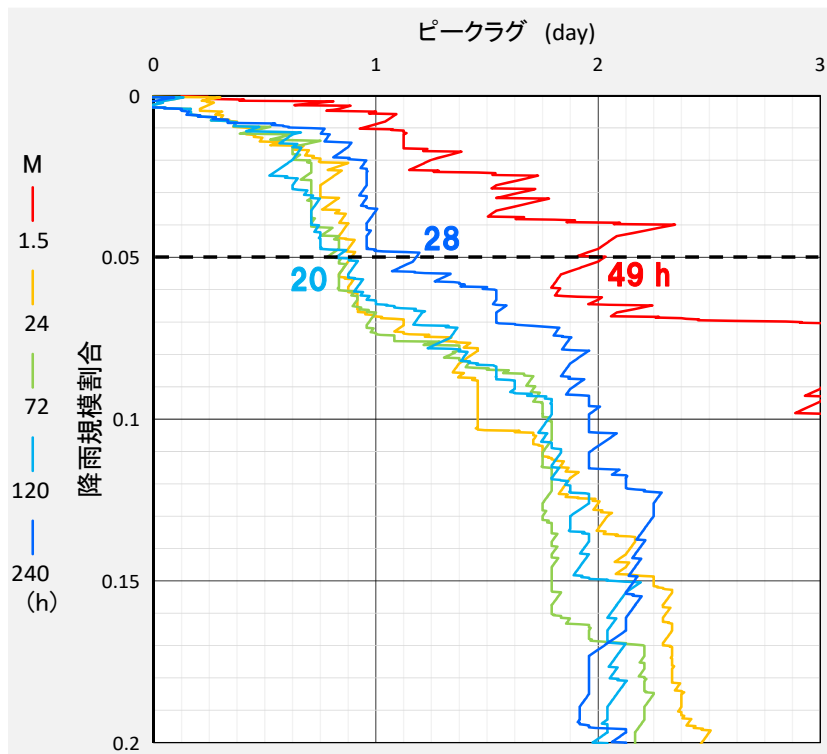


図-5 各種半減期の実効雨量について算定されたピークラグ包絡線  
縦軸の降雨規模割合は、各雨量指標の大きさを降雨規模を表した際に上位に位置するデータの割合を表している

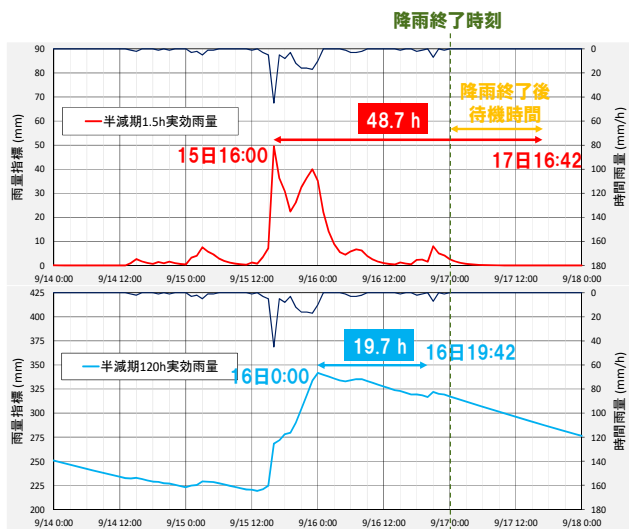


図-6 降雨後待機時間の算定例

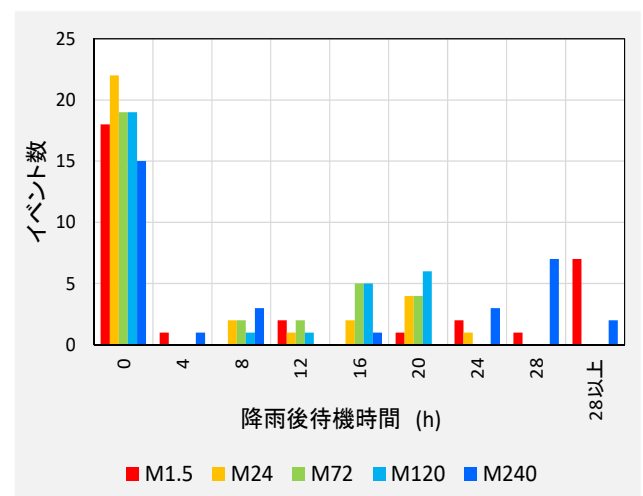


図-7 降雨後待機時間のヒストグラム



て、ピークラグの包絡線を引いたものである。例えば 95%包絡線は、実効雨量 300 mm において 1.74 day を示しているが、これは「実効雨量のピークが 300 mm 以上になる全てのデータのうち 95%は、ピークラグが 1.74 日以内に納まっている」ことを表している。包絡線のピークラグの値は、当然のことであるが、包絡割合を小さくするほど小さくなっている。また、雨量指標ピークが大きくなるほど小さくなっており、これは、規模が大きな降雨イベントほど地下水位ピークがより早く出現することを示している。

実効雨量の半減期 M を変化させて図-4 と同様の解析を行うことで得られた 95%包絡線を図-5 に示した。この図の縦軸の降雨規模割合は、各雨量指標の大きさで降雨規模を表した際に上位に位置するデータの割合を表している。降雨規模割合を 5%に設定した場合のピークラグは、半減期 1.5, 24, 72, 120, 240h 実効雨量でそれぞれ 48.70, 21.35, 18.70, 19.70, 28.35 h となった。よって、ここでの条件設定の下では、各雨量指標のピーク後にこれらの時間が経過すれば地下水位が低下すると推測できることになり、警戒避難解除のタイミングの推定に活用できる可能性が考えられる。そこで次節では、このピークラグを用いて避難を継続すべき時間を試算した。

### (3) 降雨後待機時間の算定

試算においては、まず気象庁のアメダス風屋の 1 時間雨量データを用いて、1979~2011 年の降雨イベントから積算雨量 300 mm 以上の 32 イベントを抽出し、各実効雨量のピーク発生時刻を算定した。この時刻に、上記のピークラグを加算した時刻を「避難を解除する時刻（避難解除時刻）」とみなした。ただし、この時刻が降雨継続中になる場合には、避難解除時刻を降雨終了時刻に設定した。このようにして得られた避難解除時刻と降雨終了時刻との差を、「降雨終了以降に避難を継続しなければいけない時間（降雨後待機時間）」として求めた。

試算の一例として、2009 年 9 月 14 日に発生した降雨イベントに関する結果を図-6 に示した。半減期 1.5h 実効雨量は 9 月 15 日 16:00 にピークとなっており、前述した「降雨規模割合を 5%に設定した場合のピークラグ」である 48.7h を採用すれば、避難解除時刻（地下水位が低下すると推測される時刻）は 9 月 17 日 16:42 となる。降雨終了時刻は 9 月 17 日 0:00 であることから、降雨後待機時間は 16 時間 42 分と計算される。一方、半減期 120h 実効雨量は 9 月 16 日 0:00 にピークとなっており、「降雨規模割合を 5%に設定した場合のピークラグ」である 19.7h を採用すれば、地下水位が低下すると推測される時刻は 9 月 16 日 19:42 となる。これは降雨終了時刻

(9 月 17 日 0:00) より早いことから、降雨終了時には警戒避難を解除できることになる。すなわち、降雨後待機時間はゼロと計算される。

このような計算を、全 32 降雨イベントについて各種半減期を用いて行い、算定された降雨後待機時間の分布をヒストグラムで表したものが図-7 である。いずれの半減期についても、待機時間がゼロの（すなわち、降雨終了をもって避難を解除できる）イベントが最多であるが、半減期 1.5h 実効雨量と半減期 240h 実効雨量を用いた場合には、降雨後待機時間が 24 時間以上となるイベントも多く存在している。一方、半減期 72, 120h 実効雨量では、待機時間は 24 時間以内に納まっている。降雨後待機時間の平均値は半減期 1.5, 24, 72, 120, 240h 実効雨量で、それぞれ 12.59, 4.48, 5.38, 6.16, 10.56 h となった。よって、ここでの条件設定の下では、半減期 24~120h 実効雨量を用いることで降雨後待機時間を概して短く設定できると考えられた。

## 5. おわりに

以上のように本研究では、深層崩壊に対する避難を解除するタイミングを検討する目的で、降雨後待機時間を算定する一連の手法を提案した。この手法は、対象とする崩壊の深度、捕捉割合（包絡線がカバーするデータの割合）、降雨イベントの規模（降雨規模割合もしくは雨量指標の閾値）等の条件を設定することによって、各種半減期実効雨量についてピークラグ（雨量指標のピークに対して地下水位のピークがどれだけ遅れて発生するか）を多数の観測データに基づき算出するものである。本研究では、この手法により得られたピークラグを用いて、降雨後待機時間の試算を行った。

今後、本手法を実用化していくためには、いくつかの課題を解決していかなければならない。具体的には、上記した各種条件のそれぞれについて、どのような根拠に基づき設定を行うかを検討する必要がある。加えて、算定された降雨後待機時間の有用性・信頼性について検証を行う必要がある。これらの課題について今後も研究を継続し、深層崩壊に対するソフト対策に貢献していきたい。

本稿は、河川砂防技術研究開発（深層崩壊に対する警戒避難の発表ならびに解除に資する雨量データ解析手法の構築；研究期間 2016~18 年度）成果概要を再録したものである。

# LoRa を利用した衛星/地上ネットワークによる安価な計測システム

和歌山大学  
近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

秋山演亮・山口耕司  
吉村元吾・田中健貴

## 1. はじめに

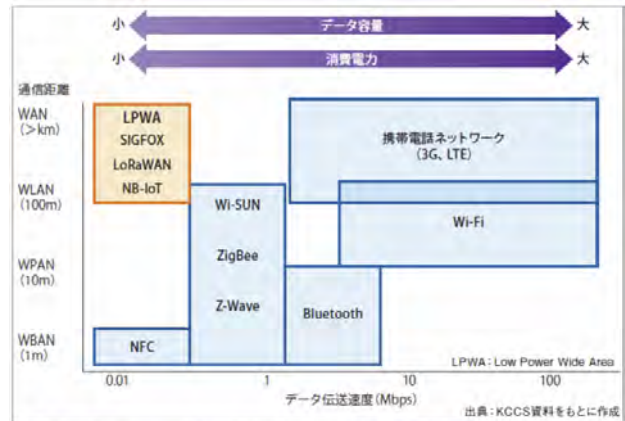
電子通信技術の発展と省電力化の推進により、既に市街地においては様々な通信環境を利用した IoT (Internet of Things) による ICT (情報通信技術) が発達し、M2M (Machine to Machine 機械間による情報伝達) により Big Data が収集されるシステムが急速に構築されつつある。収集されたデータは即座にインターネット上のクラウドサーバに集積され、データをモバイル端末等を用いた検索閲覧するシステムも併せて構築されており、データ利用が進められている。

しかし土砂災害や洪水等の発生現場となる山間部においては、街中のようにインターネットに接続された無線 LAN (Wi-Fi) 網や携帯電話網も使用することが出来ないことが多い。そのため、多くのセンサによりきめ細やかな情報収集を行い、防災 / 減災のための一助とすることが出来ていない。加えて、風雨にさらされる耐候性が求められる野外現場において、安価で利用可能な IoT 端末も普及していない。そこで本研究ではインターネット回線と接続するために衛星や新たな地上ネットワークを利用実証を行う事、また耐候性を持つ安価で利用可能な IoT 端末を開発、現場にて実証することを目的とした。

## 2. 災害監視に適したLPWA

LPWA(Low Power Wide Areas)と呼ばれる省電力でありながら長距離通信が可能な通信方法は、今後の災害監視に大きな役割を果たすと考えられており、様々な規格が提案されている (図1)。なかでも 2.4GHz 帯よりも集束された電波到達性を持ち、429MHz 帯よりも高スループットを有し、免許不要で遠くまで届く 920MHz 帯の無線は有望である。到達性も高く、干渉が少なく、低消費電力で大規模マルチホップも可能な同周波数帯では、LoRa(Low Power, Wide Area)と呼ばれる通信方法が提案され、提案者等も昨年度より様々な実証実験を進めてきた。LoRa にも様々な通信プロトコルが存在しているが、

LoRa wan を用いた TTN (The Things Networks) (<https://www.thethingsnetwork.org/>) と呼ばれる



出典: <http://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/5106/Default.aspx>

図 3 LPWA の種類と特性

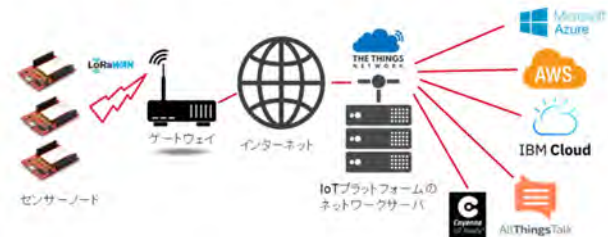


図 1 TTN のシステム概略図

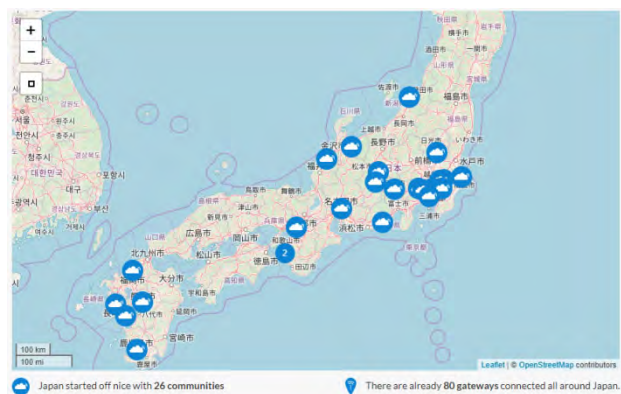


図 2 TTN Japan の受信局設置箇所

組織がヨーロッパを中心に組織され、アムステルダムやロンドン等では、市内全域が受信可能範囲として整備されるようになった。全世界的には 75,612 基もの受信局 (ゲートウェイ) が既に設置 (2019.06.18 段階) されている。TTN はオープン

なネットワークであり、全世界に8箇所設置されたサーバを使い、無料で自由に利用することが出来る。またあわせてエンドユーザ向けのプログラムもオープンソースとして公開されており、使い勝手が良い(図2)。そこで本年度からは日本各地の有志と協力し、TTNに参加して実証実験を進めている。既に都内・神奈川県・石川県・静岡県・和歌山県・大阪府・熊本県等で受信装置の設置を実施し、今後は点ではなく面的に受信範囲を広げていくために各地に協力団体・個人を募り、TTN Japanとして組織化を進めている。

### 3. 和歌山地域における実証試験

御坊地区に置いては、地域の自主防災組織から安価な水位計を設置する事が求められていた。従来、行政が設置する水位計は1箇所でも最低でも100万円以上と非常に高価である。昨年度より独自規格にて設置していた水位計のシステムを変更し、LoRanによるTTN仕様に変更を行った。受信設備は駅前のホテルに協力を依頼し、6階建て屋上に設置を行った。計測箇所までの距離は700m程あるが、安定的にデータを受信することが出来た。水位計は単三電池2本で毎分おきに推移データを送信しているが、電池交換を行わずに2ヶ月程度の連続送信が可能であることが確認できた(図4)。



図4 御坊に設置された水位計

また昨年度に引き続き、漁業関係者が落水時に位置情報の検出が出来るGPS付きのLoRan送信機の実証実験を進めた(図5)。近年では船舶を一人で操作する一人漁師が増えており、高齢化も影響し、船舶からの転落し行方不明となり、発見前に死亡する痛ましい事故が多発している。LoRaを使った場合、会場では数kmと受信可能範囲が広がることも

確認できた。今後、実用化に向けて漁協等とも協力して進める予定である。



図5 GPS付きライフジャケット

### 4 LoRa 衛星の整備

TTNに参加するLacuna社は、地上から送信されるLoRan電波を受信できる低軌道衛星の開発を行い、2018年度までに6機の打上・運用に成功している(図6左)。また地上から衛星に送信可能なゲートウェイの開発(図6右)も行い、実証実験を進めている。

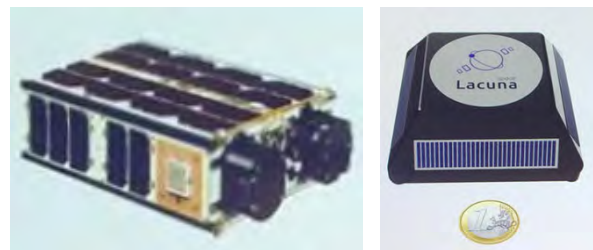


図6 LoRa 衛星と送信用ゲートウェイ

LoRa用衛星は6Uサイズ(10cm×20cm×30cm)と非常に小さく、製造費も最終的には1機単百万円程度まで低下すると考えられている。また打ち上げ費用も1000~2000万円程度と考えられており、従来の製造・打上に数百億円を有した静止軌道上の通信衛星に比べると非常に安価である。

低軌道では通信可能時間が限られることがネックであったが、極軌道に24機の衛星コンステレーションを構成すれば、日本付近上空を110回通過する(約13分おき)事に成り、1回の通信時間が10分程度であることを考えるとほぼ間断なく通信を行う事が脳である。またこの場合の衛星製造・打上のトータルコストは4億円弱と見積もることが出来、



従来の静止衛星を使った通信に比べると圧倒的に安価である。Lacuna 社は通信費用の見積もりとして 1 ゲートウェイ（周辺 1km 程度に設置した複数の LoRa 送信機からのデータを集約して衛星に送信が可能）の月間の通信量は数百円以下と述べており、従来のコストを大幅に低下することが出来る。

また我が国でも同じく LoRa を使った通信衛星の打上を 208 年 1 月に実施（衛星名「たすき」図 7）し、運用実験を行った。「たすき」は Lacuna 衛星よりもさらに小さい 3U（10cm×10cm×30cm）衛星であり、打ち上げコストも半額に抑えることが期待できる。



図 7 日本が打ち上げた LoRa 衛星「たすき」

Lacuna では 2019 年度中にも 24 機の衛星を打ち上げることとしており、日本も試験運用エリアとして講評されている。筆者等も今後、Lacuna 衛星を使った運用実証を実施する予定である。

## 5 LoRa 送信機の整備

また筆者等は LoRa によるデータ送信を広く広めるため基盤を作成し、配布を開始した（図 8）。本基盤では I2C を利用したデジタルセンサを 2 つ、ア

ナログセンサを 1 つ同時に接続することが出来、単三電池 2 本で 1~2 ヶ月程度の稼働が可能である。既に和歌山の工業高校を対象とした送信機製講習等

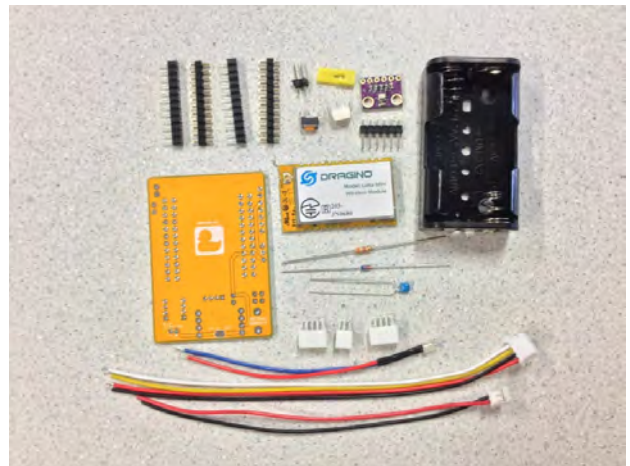


図 8 LoRa 送信機基盤セット

も実施しており、今後は各地で地産地消可能な LoRa を使った防災ネットワークの構築を進める予定である。

## 6 おわりに

LoRa wan を使った安価な計測システムは既に実用化を実現しつつあり、費用の安さもあり、今後、日本国内でも爆発的に運用可能範囲が広がると考えられる。また衛星利用も進んでおり、今後 5 年以内に国内のどこでも安価に通信を行う事が可能になると見込まれている。

筆者等は今後も運用実証と実用化を進め、紀伊半島全域などを対象に防災・減災に必要なセンサーネットワークの構築と運用を進めていく予定である。



# 1953年の7.18水害を対象とした斜面崩壊の素因分析について

和歌山大学システム工学部

田内裕人・藤田三四郎・江種伸之

## 1. はじめに

紀伊半島は、これまでに何度も豪雨による土砂災害に見舞われてきた。本研究では、1953年7月17日から18日にかけて発生した7.18水害を対象とする。この水害の記録は最も被害の大きかった旧花園村(現かつらぎ町花園)が中心で、それ以外については数少ない。一方、被害の全容把握を目的に、林野庁により同年12月、広範囲で空中写真が撮影された。本研究では、これらの空中写真をもとに、広範囲で斜面崩壊地(以下、崩壊地)を抽出し、地質や地形などの特徴を分析して、7.18水害としての土砂災害の素因を考察した。なお、本稿は第9回土砂災害に関するシンポジウムの原稿「1953年の7.18水害を対象とした斜面崩壊の素因分析」(以下、「発表原稿」と記す)をまとめ直したものである。

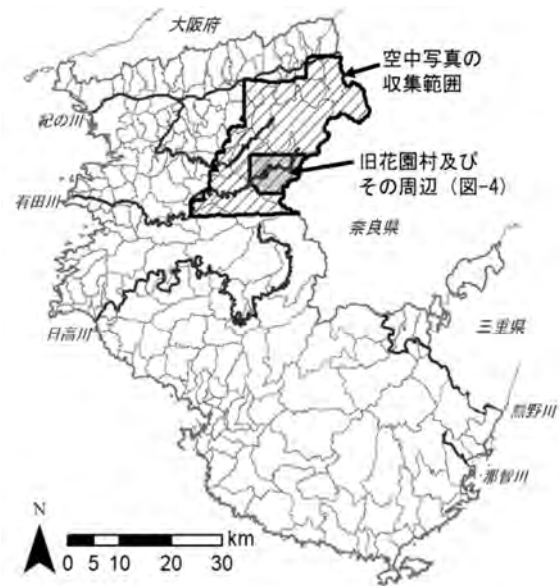


図-1 空中写真の収集エリア

## 2. 研究方法

### (1) 1953年に撮影された空中写真の収集

7.18水害時の降雨による被害把握のため、1953年11月15日から翌年2月9日にかけて林野庁により災害後緊急撮影が行われた。縮尺は1万5千分の1、または3万分の1である。この空中写真には有田川流域および周辺の崩壊地が記録されている。図-1は本研究で収集した空中写真の範囲である。最も被害の大きかった旧花園村を含み広範囲に及ぶ。

### (2) 空中写真のオルソ化

本研究では、航空写真のひずみを修正することを目的とし、得られた空中写真について Agisoft 社の PhotoScan(Ver.1.3.4) を使用しオルソ画像化を実施した。

### (3) 崩壊地の特定

図-2に、本研究で特定した崩壊地を示す。崩壊地の特定には ESRI 社の ArcGIS(Ver.10.4.1)を使用した。オルソ化した空中写真を GIS に取り込み、崩壊地点の源頭部にポイントをとった。なお、災害前の空中写真は存在しないため、対象とする豪雨による崩壊でない地点を選定している可能性を否定できず、解析精度に影響を与えていることも有り得ることに注意されたい。また、同ポイントには、既往資料による崩壊分布図から抽出した崩壊地も含まれる。特定した崩壊地は7044地点に及んだ。

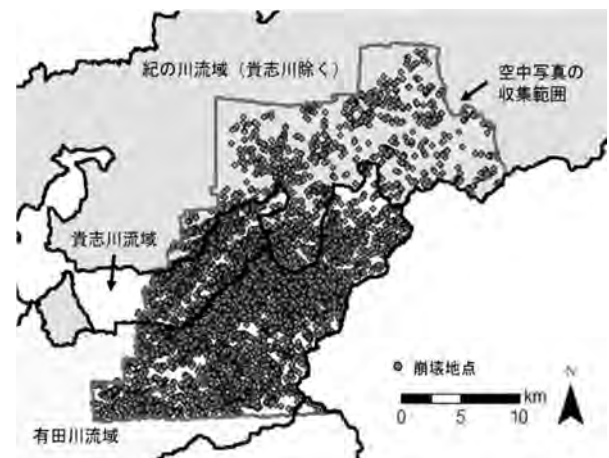
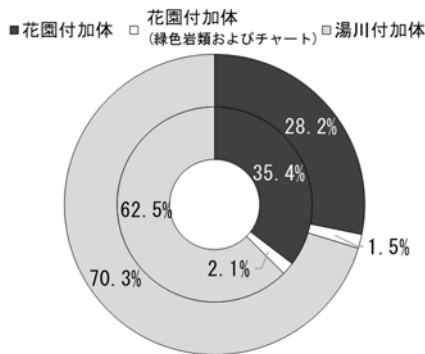


図-2 特定した全崩壊地点 (7,044 地点)

### (4) 崩壊地の素因(主に地形)の抽出

特定した崩壊地に対してGISを用いて素因を抽出した。地質データとしては、産業技術総合研究所地質調査総合センターの20万分の1日本シームレス地質図(基本版)を用いた。傾斜角、傾斜方向、起伏量、斜面形状(平面曲率、断面曲率)は、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ(以下、10mメッシュDEM)を用いて算出した。なお、当時の地形・地質データが得られなかったため、それぞれ2016年のものを使用した。各指標の詳細な算出方法は、発表原稿を参照されたい。



(内：崩壊地・外：旧花園村エリアの対象地域全体)

図-4 崩壊地と対象エリア全体の地質割合

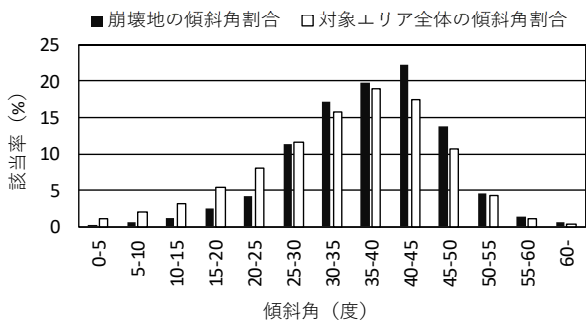


図-5 崩壊地と対象エリア全体の傾斜角割合

### 3. 結果と考察

発表原稿では、解析対象区域を最も崩壊が多発した旧花園村エリア(周辺区域を含む)、有田川流域全体および紀の川流域の崩壊地について、それぞれ素因の特徴をまとめた。本稿では、このうち旧花園村エリアの素因解析結果について紹介する。

図-4に旧花園村エリアの崩壊地・対象地域全体の地質割合を、図-5に崩壊地・対象地域全体傾斜角の割合を、図-6に崩壊地・対象地域全体の傾斜方向の割合を、図-7に崩壊地・対象地域全体の起伏量の割合を、そして図-8に崩壊地の斜面形状の割合をそれぞれ示す。まず地質に着目すると、エリア全体の割合に対して花園付加体での崩壊が若干多くなっている。崩壊地の傾斜角については、40度以上45度未満が最も多く全体の22.3%を示し、対象地域全体と比較し高角度の崩壊地が多く、傾斜角30度以上の崩壊地は全体の79.6%を占める。

傾斜方向は、崩壊地において南が最も多く、全体の20%を示した。傾斜方向が南東から南西の崩壊地は全体の55.3%となった。災害時には、紀伊半島の中央付近に前線が存在していたため、対象地域が前線の南側に位置し、北向きの風が卓越していた可能性がある。崩壊地の傾斜方向が南向き傾向となったのは、この北向きの風により南斜面に風雨が集中し、その影響で南斜面に崩壊が集中したと推察される。

崩壊地の起伏量については、30m以上35m未満が最も多く全体の18.9%を示し、起伏量30m以上の崩

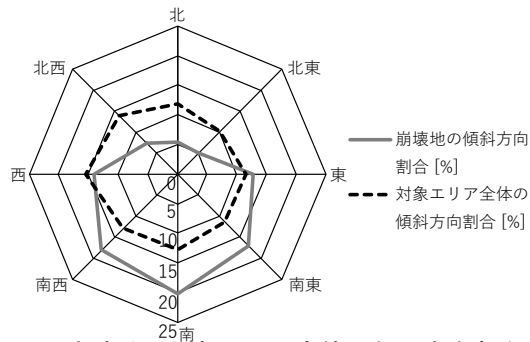


図-6 崩壊地と対象エリア全体の斜面方向割合

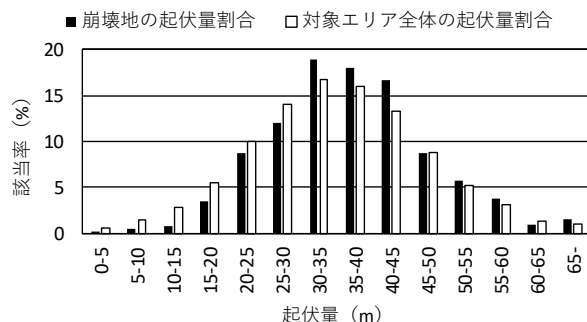


図-7 崩壊地と対象エリア全体の起伏量割合

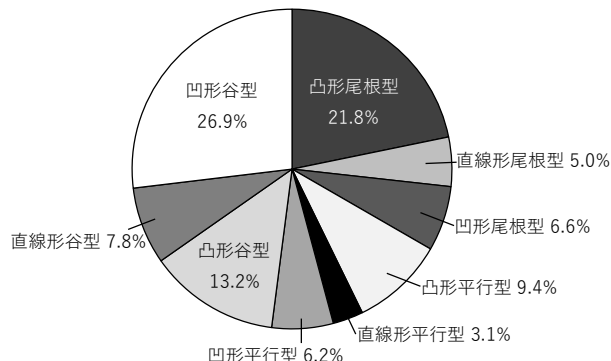


図-8 崩壊地と対象エリア全体の斜面形状割合

壊地は全体の74.3%であった。また凸形尾根型、凹形谷型の崩壊地が全体の48.7%を占めたが、対象地域全体もほぼ崩壊地と同じ分布であり、明確な傾向はみられなかった。

### 4. おわりに

本研究では、1953年7月の7.18水害を対象に、同年12月に撮影された空中写真を広域に収集し、これまで多くの記録が残されている旧花園村を含む広域での土砂災害の地質、地形などの素因を分析した。その結果、崩壊地の傾斜角、傾斜方位、斜面形状などの特徴が明らかになった。今後は、地質などに関して、より詳細な分析を行って、7.18水害の特徴をより明確にしていきたい。

謝辞：本研究は、(一社)近畿建設協会平成29年度研究助成およびJSPS科研費JP18K04345を受けて行われた。GIS図面などの作成に平井千津子氏、地質に関しては後誠介氏の協力を得た。ここに記し感謝の意を表す。

### 3. 学会活動

#### 3.1 学会誌掲載

タイトル	執筆者（連盟含む）	雑誌名	巻号	論文種別	発行年月
赤谷の深層崩壊後の土砂流出が川原樋川との合流点に及ぼす影響	井之本信、木下篤彦、田中健貴、桜井巨、内田太郎、臼杵伸浩、岡野和行、吉野弘祐	平成30年度砂防学会研究発表会概要集	No.83	論文	2018.5
ハイドロフォン・濁度計等を活用した天然ダム監視観測方法について	田中健貴、吉村元吾、菅原寛明、木下篤彦、臼杵伸浩、岡野和行、吉野弘祐	河川技術論文集	Vol.24	論文	2018.6
濁り成分の砂防堰堤湛水域での滞留過程に着目した崩壊・土石流発生監視手法に関する研究	西岡恒志、筒井和男、榎原伴樹、嶋山朋紀、木下篤彦、田中健貴	河川技術論文集	Vol.24	論文	2018.6
降雨と斜面の湧水の電気伝導度との関係に着目した深層崩壊危険斜面抽出手法に関する研究	西岡恒志、榎原伴樹、木下篤彦、田中健貴、海原荘一	河川技術論文集	Vol.24	論文	2018.6
2011年深層崩壊発生後の赤谷川流域からの土砂流出と川原樋川との合流点での河床上昇について	木下篤彦、田中健貴、桜井巨、内田太郎、臼杵伸浩、岡野和行、井之本信	河川技術論文集	Vol.24	論文	2018.6
流木の拳動と巨礫による河床上昇に着目した、平成23年台風第12号による那智川流域井関地区の氾濫メカニズムの検討	木下篤彦、筒井和男、西岡恒志、福田和寿、田中健貴、島田徹、江川真史、山田真悟	河川技術論文集	Vol.24	論文	2018.6
表層崩壊危機斜面における空中電磁探査解析と地下水位の変動に関する研究	榎原伴樹、西岡恒志、嶋山朋紀、坂口武弘、木下篤彦、田中健貴、河戸克志	第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集	-	論文	2018.9
合流点での河床変動に着目した、赤谷川流域からの土砂流出及び砂防施設の整備が川原樋川の河床変動に及ぼす影響	木下篤彦、田中健貴、桜井巨、内田太郎、臼杵伸浩、岡野和行、井之本信	第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集	-	論文	2018.9
航空レーザー計測による平成23年台風12号以降の熊野川支川神納川流域での土砂移動状況の把握	田中健貴、吉村元吾、菅原寛明、木下篤彦、船越和也、岡野和行、吉野弘祐、井之本信	第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集	-	論文	2018.9
流木と巨礫の堆積の影響に着目した、水理模型実験による平成23年那智川災害での井関地区の氾濫メカニズムの検討	木下篤彦、筒井和男、西岡恒志、福田和寿、田中健貴、島田徹、江川真史、山田真吾	第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集	-	論文	2018.9
高感度地震観測網による土砂移動発生箇所近傍の地盤振動特性	海原荘一、浅原裕、木下篤彦、田中健貴	第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集	-	論文	2018.9
台湾での天然ダム災害防止技術交流会議及び天然ダム対応訓練に参加して	木下篤彦	砂防と治水	Vol.51 No.4	論文	2018.10
昭和28年有田川水害時の体験者証言より得られた土砂災害から身を守る避難行動についての教訓	西岡恒志、榎原伴樹、坂口武弘、木下篤彦、田中健貴	日本地すべり学会誌	Vol.55 No.6	論文	2018.11
平成23年那智川水害時の消防職団員の対応と今後の被害軽減の取り組み	西岡恒志、筒井和男、小脇邦雄、榎原伴樹、坂口武弘、木下篤彦、田中健貴	日本地すべり学会誌	Vol.55 No.6	論文	2018.11
土砂移動早期検知のための流域監視手法	木下篤彦、田中健貴	土木技術資料	Vol.60 No.12	論文	2018.12
重力変形斜面の岩盤に発達する亀裂が溶出特性に与える影響	田中健貴、木下篤彦、吉村元吾、菅原寛明、小川内良人、横山修	日本地すべり学会誌	Vol.56 No.1	論文	2019.1
高精度地形データを用いた深層崩壊斜面の地形的特徴に関する研究	田中健貴・吉村元吾・菅原寛明・船越和也・染谷哲久・岡野和行	砂防学会誌	Vol.71 No.5	論文	2019.1
画像のRGB空間における濁水の立体分布と3次元ベクトル空間モデルを用いた流況変化検知手法の基礎的検討	五十嵐和秀・水谷佑・木下篤彦・井深真治・肥後明豪・池島剛・秋田寛己・水野秀明	砂防学会誌	Vol.71 No.6	論文	2019.3

### 3.2 学会発表

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
1	水理模型実験による平成23年那智川水害時の井関地区氾濫メカニズムの検討	木下篤彦, 筒井和男, 西岡恒志, 福田和寿, 田中健貴, 島田徹, 江川真史, 山田真悟	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
2	紀伊山地における重力変形斜面で採取したボーリングコアの溶出特性について	小川内良人, 木下篤彦, 菅原寛明, 田中健貴	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
3	那智川流域で発生する崩壊と地質・水文特性との関連—地質分布と地下水挙動—	辻野裕之, 吉村元吾, 菅原寛明, 田中健貴, 木下篤彦, 西岡恒志, 中村静也, 赤嶺辰之介	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
4	那智川流域における土砂災害予兆の検知事例報告	田中健貴, 吉村元吾, 菅原寛明, 木下篤彦, 島田徹, 江川真史, 山田真悟, 孝子綸図	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
5	紀伊山系栗平地区における地形変化と流出土砂量について	岡野和行, 吉村元吾, 菅原寛明, 田中健貴, 木下篤彦, 臼杵伸浩, 上田征香, 井元成治	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
6	IoT機器（衛星）を利用した低コストな現地観測情報収集システムに関する実証試験	秋山演亮, 山口耕司, 吉村元吾, 菅原寛明, 田中健貴	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
7	平成23年台風12号豪雨により発生した斜面崩壊の要因分析	南部啓太, 西岡孝尚, 澁谷啓, 菅原寛明, 松尾嘉和, 中田博貴	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
8	要因分析図を用いた砂防施設配置計画の検証	西岡孝尚, 南部啓太, 菅原寛明, 松尾嘉和, 中田博貴	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
9	降雨と湧水ECの關係に着目した深層崩壊危険斜面抽出手法に関する研究	西岡恒志, 榎原伴樹, 木下篤彦, 田中健貴, 海原莊一	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
10	那智川流域における斜面の水動態に対する考察	島田徹, 江川真史, 山田真悟, 孝子綸図, 吉村元吾, 木下篤彦, 菅原寛明, 田中健貴	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
11	紀伊半島に土砂災害を引き起こす降雨について	杉本利英, 吉村元吾, 菅原寛明, 田中健貴, 牧野裕至, 景山健彦, 藤田暁, 坂井紀之, 藤田浩史, 木谷和大	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
12	高感度地震観測網で観測された土砂移動発生箇所近傍での地盤振動の特性	浅原裕, 海原莊一, 木下篤彦, 田中健貴	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5



	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
13	基岩地下水位変動に着目した深層崩壊の発生予測に資する雨量指標の検討	千野佑輝, 小杉賢一朗, 吉村元吾, 菅原寛明, 田中健貴	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
14	土石流が発生する可能性のある降雨の早期の予測について	牧野裕至, 綱川浩章, 吉村元吾, 菅原寛明, 田中健貴, 杉本利英, 藤田暁, 坂井紀之	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
15	濁度成分の堰堤滞留効果に着目した崩壊監視手法に関する研究	筒井和男, 西岡恒志, 榎原伴樹, 木下篤彦, 田中健貴	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
16	砂防設備の下流における流砂水文観測について	塚原直幸, 西本晴男, 秋山一弥, 木下篤彦, 西岡恒志	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
17	赤谷の深層崩壊後の土砂流出が川原樋川との合流点に及ぼす影響	井之本信, 木下篤彦, 田中健貴, 桜井巨, 内田太郎, 臼杵伸浩, 岡野和行, 吉野弘祐	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
18	和歌山県有田川上流域における昭和28年(1953)の土砂災害について	井上公夫, 吉村元吾, 木下篤彦, 田中健貴, 菅原寛明, 坂口武弘, 西岡恒志, 中根和彦, 今村隆正	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
19	SH型簡易貫入試験による土層区分の堆積岩地質への適用	村田郁央, 長谷川陽一, 野呂智之, 松山淳, 松澤真, 野池耕平, 木下篤彦, 西岡恒志	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
20	地層境界付近の地下水位変状と空中電磁探査解析結果に着目した表層崩壊危険斜面抽出の研究	坂口武弘, 西岡恒志, 榎原伴樹, 木下篤彦, 田中健貴, 河戸克志	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
21	天然ダム形成箇所における無人化施工を活用した応急対策工事について	菅原寛明, 吉村元吾, 上田智宗, 山村登, 橋本雅行	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
22	土砂災害に対する警戒避難意識向上に向けた教育カリキュラムの検討	松木敬, 吉村元吾, 菅原寛明, 田中健貴, 此松昌彦, 江種伸之, 池田一平	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
23	降雨時における流砂水文観測を活用した天然ダム監視手法について	吉村元吾, 菅原寛明, 田中健貴, 木下篤彦, 臼杵伸浩, 岡野和行, 吉野弘祐	平成30年度砂防学会研究発表会	2018.5
24	赤谷の岩盤クリーブ斜面における水質形成過程に関する研究	木下篤彦, 田中健貴, 桜井巨, 小川内良人, 河戸克志	日本地球惑星連合2018年大会	2018.5

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
25	空中電磁探査技術を活用し、那智川流域での表層崩壊危険箇所の抽出手法の検討	木下篤彦、西岡恒志、田中健貴、桜井巨、河戸克志	日本地球惑星連合 2018年大会	2018.5
26	2011年深層崩壊発生後の赤谷からの土砂流出と川原樋川との合流点での河床上昇について	木下篤彦	2018年度・河川技術に関するシンポジウム	2018.6
27	流木の拳動と巨礫による河床上昇に着目した、平成23年台風12号による那智川流域井関地区の氾濫メカニズムの検討	木下篤彦	2018年度・河川技術に関するシンポジウム	2018.6
28	濁り成分の砂防堰堤湛水域での滞留過程に着目した崩壊・土石流発生監視手法に関する研究	西岡恒志、筒井和男、榎原伴樹、崎山朋紀、木下篤彦、田中健貴	2018年度・河川技術に関するシンポジウム	2018.6
29	降雨と斜面の湧水の電気伝導度との関係に着目した深層崩壊危険斜面抽出手法に関する研究	西岡恒志、榎原伴樹、木下篤彦、田中健貴、海原荘一	2018年度・河川技術に関するシンポジウム	2018.6
30	住民・マスコミ・首長への地すべり発生状況及び対策工の効果の分かりやすい説明方法について	榎原伴樹、崎山朋紀、木下篤彦	日本地すべり学会第57回研究発表会	2018.8
31	表層崩壊危機斜面における空中電磁探査解析と地下水位の変動に関する研究	榎原伴樹、西岡恒志、崎山朋紀、坂口武弘、木下篤彦、田中健貴、河戸克志	第9回土砂災害に関するシンポジウム	2018.9
32	Understanding of Important Factors Pertaining to Occurrence of Sediment Disasters in Nachi River Basin on September 4, 2011 Using the Data Mining Method	Takehiro SAKAGUCHI, Tsuneshi NISHIOKA, Kazuo TSUTSUI, Kazuhisa FUKUDA, Atsuhiko KINOSHITA, Yasutaka TANAKA, Noriko TADAKUMA, Soichi KAIHARA	interpraevent 2018	2018.10
33	Study on Method to Extract Hazardous Slopes for Deep-Seated Landslides, Focusing on Post-Rainfall Changes of EC	Tsuneshi NISHIOKA, Kazuo TSUTSUI, Kazuhisa FUKUDA, Takehiro SAKAGUCHI, Yasutaka TANAKA, Atsuhiko KINOSHITA, Kayoko MORI, Teruyoshi TAKAHARA	interpraevent 2018	2018.10
34	Attempt to Study Root System Distribution in Cryptomeria Forest Established Above Granite-Porphry Boulder	Kazuhisa FUKUDA, Tatsuma NAGAI, Takehiro SAKAGUCHI, Tsuneshi NISHIOKA, Kazuo TSUTSUI, Ryoichi OHNO, Yasutaka TANAKA, Atsuhiko KINOSHITA	interpraevent 2018	2018.10
35	Sabo works in Wakayama Prefecture -Evolution through learning a lesson from typhoon TALAS in 2011-	Keio CHITO, Yasuyoshi MIKI, Shigenori IMADA, Satoru MORIKAWA, Takehiro SAKAGUCHI, Tsuneshi NISHIOKA	interpraevent 2018	2018.10

#### (1) 砂防学会研究発表会

鳥取県米子市で開催された砂防学会研究発表会に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 30 年 5 月 16 日（水）～18 日（金）

会 場：米子コンベンションセンター「BiG SHiP」

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県、国土技術政策総合研究所、土木研究所、北海道大学、三重大学、京都大学

#### (2) 日本地球惑星科学連合 2018 年大会

千葉県千葉市で開催された日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 30 年 5 月 20 日（日）～24 日（木）

会 場：幕張メッセ国際会議場（千葉市）

参加機関：近畿地方整備局

#### (3) 2018 年度 河川技術に関するシンポジウム

東京都文教区で開催された 2018 年度 河川技術に関するシンポジウムに参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 30 年 6 月 12 日（火）・13 日（水）

会 場：東京大学農学部 弥生講堂

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県

#### (4) 平成 30 年度 砂防学会関西支部 砂防オープンゼミ

和歌山県那智勝浦町で開催された平成 30 年度砂防学会関西支部砂防オープンゼミに参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 30 年 7 月 1 日（日）

会 場：和歌山県土砂災害啓発センター

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県、国土技術政策総合研究所

#### (5) 日本地すべり学会第 57 回研究発表会

新潟県新潟市で開催された日本地すべり学会第 57 回研究発表会に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成 30 年 8 月 21（火）～24（金）

会 場：朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県



**(6) 第9回土砂災害に関するシンポジウム**

福岡県福岡市で開催された第9回土砂災害に関するシンポジウムに参加し、研究発表を行った。

期 間：平成30年9月18(火) 19(水)

会 場：九州大学医学部百年講堂

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県

**(7) 国際シンポジウム INTERPRAEVENT2018**

富山県富山市で開催された国際シンポジウム INTERPRAEVENT2018に参加し、研究発表を行った。

期 間：平成30年10月1日(月)～4日(木)

会 場：富山国際会議場

参加機関：近畿地方整備局、和歌山県

## 4. 広報・啓発活動

---

### (1) 防災授業支援

土砂災害に関する防災教育への取組として、那智勝浦町において、那智勝浦町色川小学校の小学校5年生、6年生を対象に、防災教育授業の支援を行った。

日 時：平成30年5月28日（月）、6月4日（月）

会 場：那智勝浦町立色川小学校、和歌山県土砂災害啓発センター（和歌山県那智勝浦町）

### (2) 地域講演会「考える、土砂災害」

和歌山県紀美野町において、「近年の土砂災害から学ぶこと」をテーマに、地域住民が土砂災害についての知識を深め、安全迅速な避難につなげることを目指す講演会を開催した。

日 時：平成30年10月27日（土）

会 場：紀美野町総合福祉センター（和歌山県紀美野町）

主 催：和歌山県

協 力：近畿地方整備局、紀美野町

参加者：約80名

### (3) 防災教育への取組

土砂災害に関する防災教育への取組として、那智勝浦町において、那智勝浦町太田小学校の小学校4年生、5年生、6年生を対象に、防災教育の試行授業を実施した。

日 時：平成31年2月5日（火）、12日（火）

会 場：那智勝浦町立太田小学校、和歌山県土砂災害啓発センター（和歌山県那智勝浦町）

## 5. 研修活動

---

### (1) 土砂災害対策に関する研修会①

和歌山県を訪れた中国山東省・山東師範大学の学生に土砂災害についての研修の受け入れを行い研究指導を実施した。

日 時：平成30年7月11日（水）

場 所：和歌山県土砂災害啓発センター・鳴子谷地区

実施機関：和歌山県

参加者：山東師範大学生 90名

### (2) 土砂災害対策に関する研修会②

土砂災害に関する研究を行う大学生の現地研修の受け入れを行うとともに、土砂災害の専門家による研究指導を行った。

実施機関：国土交通省近畿地方整備局

研修実績：キャンプ砂防（参加人数 6名）

・・・平成30年8月20日～24日

### (3) 土砂災害対策に関する研修会③

和歌山県を訪れた「世界津波の日」2018高校生サミットに参加の学生に土砂災害についての研修の受け入れを行い研究指導を実施した。

日 時：平成30年10月30日（火）

場 所：和歌山県土砂災害啓発センター・鳴子谷地区

実施機関：和歌山県

参加者：「世界津波の日」2018高校生サミット参加学生 160名



## 6. 平成30年度の主な活動

実施日	活動内容	場所	参加機関
平成30年			
5/16~17	平成30年度砂防学会研究発表会	鳥取県米子市	近畿地方整備局・和歌山県・国土技術政策総合研究所・土木研究所・北海道大学・三重大学・京都大学
5/28、6/4	防災授業支援	那智勝浦町 色川小学校 和歌山県土砂災害啓発センター	那智勝浦町教育委員会・和歌山県土砂災害啓発センター・大規模土砂災害対策技術センター
6/12~13	2018年度河川技術に関する シンポジウム研究発表	東京大学農学部	近畿地方整備局・和歌山県・国土技術政策総合研究所・土木研究所・北海道大学・三重大学・京都大学
6/13	大規模土砂災害対策技術センター 研究報告会	本省3号館1階	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・大規模土砂災害対策技術センター・和歌山県
6/14	大規模土砂災害対策技術センター 研究報告会	国総研2階	近畿地方整備局・国土技術政策総合研究所・大規模土砂災害対策技術センター・和歌山県
6/22	合同現地調査	那智勝浦町道井谷2号線	国土技術政策総合研究所・和歌山県・那智勝浦町
7/1	平成30年度砂防学会 関西支部オープンゼミ	和歌山県土砂災害啓発センター	近畿地方整備局・和歌山県・国土技術政策総合研究所・土木研究所・京都大学・和歌山大学・立命館大学
7/11	山東省師範大学への土砂災害研修	和歌山県土砂災害啓発センター	和歌山県
7/12	合同現地調査	海南市東畑地区・海南市下津町 塩津地区・和歌山市加太地区	国土技術政策総合研究所・和歌山県
8/9	合同現地調査	紀の川市道竹房橋五百谷線	国土技術政策総合研究所・和歌山県・紀の川市
8/27	合同現地調査	田辺市道串峠平治川線	国土技術政策総合研究所・和歌山県・田辺市
9/12	合同現地調査	日高町阿尾地区	国土技術政策総合研究所・和歌山県
9/25	合同現地調査	古座川町道下露平井三河線	国土技術政策総合研究所・和歌山県・古座川町
9/26	合同現地調査	和歌山市道	国土技術政策総合研究所・和歌山県・和歌山市
10/1~4	インタープリバント2018	富山県	近畿地方整備局・和歌山県・国土技術政策総合研究所
10/26	合同現地調査	和歌山県道那智勝浦古座川線	国土技術政策総合研究所・和歌山県
10/27	地域講演会「考える土砂災害」	紀美野町総合福祉センター	近畿地方整備局・和歌山県・紀美野町
10/30	『世界津波の日』2018高校生サミット 参加学生への土砂災害研修	和歌山県土砂災害啓発センター	和歌山県
11/20	合同現地調査	上富田町道王子谷線現地調査	国土技術政策総合研究所・和歌山県・上富田町
11/21	合同現地調査	田辺市道串峠平治川線	国土技術政策総合研究所・和歌山県・田辺市
	合同現地調査	和歌山県道那智勝浦本宮線	国土技術政策総合研究所・和歌山県
11/30	合同現地調査	紀の川市道竹房橋五百谷線	国土技術政策総合研究所・和歌山県・紀の川市
平成31年			
2/5,12	防災教育試行授業	那智勝浦町太田小学校・和歌山 県土砂災害啓発センター	那智勝浦町教育委員会・和歌山県土砂災害啓発センター・大規模土砂災害対策技術センター
2/15	合同現地調査	紀の川市道調月三和線	国土技術政策総合研究所・和歌山県・紀の川市

## 平成 30 年度 大規模土砂災害対策研究機構年報

---

発 行	平成 31 年 4 月
編集・発行	国土交通省 近畿地方整備局
住 所	大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44
連絡先	河川部 河川計画課 TEL 06-6942-1141 (代表)
機 構 H P	<a href="http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisanchi/kikou/">http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisanchi/kikou/</a>