

# 平成 30 年 7 月豪雨における養父市域の崩壊箇所と表層崩壊リアルタイム ハザードシステムの判定について

## Consideration of Judgment Result of Hazard System due to Heavy Rain in July 2019 for Yabu City

植田 允 教      沖 村   孝      鳥 居 宣 之      中 川   渉  
Mitsunori Ueda   Takashi Okimura   Nobuyuki Torii   Wataru Nakagawa  
原 口 勝 則      鏡 原 聖 史      根 本 信 行  
Katsunori Haraguchi   Satoshi Kagamihara   Nobuyuki Nemoto

### 1. はじめに

著者らは、気象庁による観測雨量ならびに予測雨量を入力し、リアルタイムで表層崩壊の危険度を評価するシステムの構築・運用を兵庫県と共同で進めている。システムの構築に際して生じた課題と対策はこれまで数多く報告<sup>1)~9)</sup>されている。また、著者らは、養父市域において表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築手順<sup>10)</sup>に従ってモデルを構築し、リアルタイムの土砂災害判定を行っている。平成 30 (2019) 年 7 月豪雨では、養父市域で土砂災害警戒情報が発表され、土砂災害が発生している。本報告は、養父市域で構築したリアルタイムハザードシステムの概要と平成 30 (2019) 年 7 月豪雨によって崩壊した箇所における現地調査結果ならびにシステムの判定状況について比較考察を加えた。さらに他の降雨による判定結果との比較を行うことで、平成 30 年 7 月豪雨による斜面崩壊の特徴について述べる。

### 2. 養父市域のモデル構築

#### 2. 1 養父市域の地形・地質概要<sup>11)</sup>

養父市は兵庫県北部の但馬地域の中央に位置し、西は鳥取県、北は香美町・豊岡市、東は朝来市に、南は粟東市と接している。養父市位置図を図-1 に示す。市域は、東西約 32km、南北約 23km の範囲に広がり総面積は、422,78km<sup>2</sup> である。養父地域の地形・地質について述べる。養父市域は円山川水系に属し、東部を円山川が南北に縦断しており、八木川、大屋川などの支流が西部から横断し円山川に流入している。市域の地形は、全体として北但山地に位置する。西部は兵庫県下最高峰の氷ノ山(1,510m)を代表に妙見山、八伏山、ハチ高原、若杉高原などが存在する山岳高原地帯となっている。

標高は、西部の氷ノ山付近に標高 1,200~1,500 前後の山地が連なり、東に向かって順次高度が低下し、東端部では 400~500m の低山地が分布する。平野部は、円山川水系とその支流である八木川、大屋川の河川沿いに分布する。

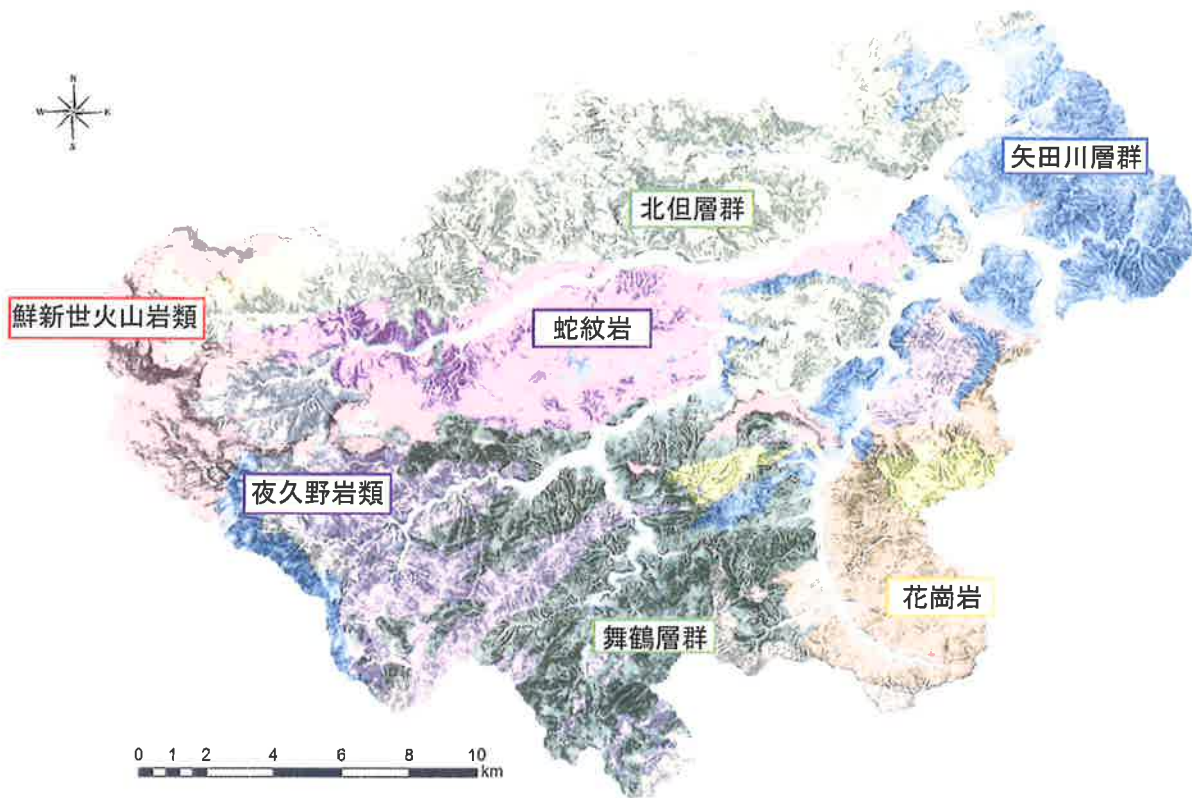
地質は、古生代~中生代にかけて形成された蛇紋岩、夜久野岩類、舞鶴層群、三郡変成岩類を基岩とし、ENE-WSW 方向へ帯状に分布している (図-2 参照)。市域の南部ではその上部に生野層群が不整合に堆積している。また、南東部において山陰型花崗岩が貫入しており、北部では北但層群に覆われている。西部の鉢伏山付近には、新生代第三紀鮮新世に活動した火山による安山岩などの火山岩類が分布している。谷部は未凝固の砂・泥が堆積し、沖積層が形成されて

いる。

各地質の地形的特徴を簡単に述べると、養父市の中央部に位置する蛇紋岩地域は、山頂が平坦になっており、開析も進んでいない。花崗岩や舞鶴層群は蛇紋岩とは異なり、かなり開析が進んでおり尾根も細くなっていることが確認できる。火山岩類は、山頂部に平坦面が存在しているが、谷の浸食もかなり進んでいることがわかる。北但層群は、舞鶴層群程細尾根ではないが、山頂部の平坦面は少なく、起伏も比較的小さいといった特徴がある。



図一 養父市位置図（地理院地図<sup>12)</sup> に加筆）



図二 養父市地質区分（1/10万兵庫県の地質図<sup>13)</sup> を基に作成）

2. 2 過去の災害とモデル構築

2. 2. 1 過去の災害事例

養父市域におけるリアルタイムハザードシステムを構築するため、過去の災害履歴について、地域防災計画などを参照し整理した。養父市では度々台風や集中豪雨、雪害による被害が発生している。地域防災計画<sup>13)</sup>によると近年の代表的な災害は、平成16(2004)年台風23号、平成21(2009)年台風9号で被害が発生していることが報告されていた。また、地域防災計画には記載されていないが、平成23(2011)年台風12号時も山腹で崩壊が発生しているとの報告<sup>14)</sup>があった。

リアルタイムハザードシステムは、各市町に対応した地盤モデルを作成、過去の災害事例をもとに当時の降雨をモデルへ入力することで、安定解析を行い、崩壊判定を算出する。その後、実際に発生した崩壊と崩壊判定状況の関係である捕捉率を求めることでモデルの信頼性を担保し構築している。捕捉率を求めるためには、過去の災害で発生した表層崩壊箇所を空中写真から判読する必要がある。そのため、災害時期直後に撮影されたものほど、判読しやすいため、検証災害事例は、文献で崩壊の記録があり、災害発生直後に空中写真が撮影されている平成16(2004)年台風23号(以下、H16年災害)と平成23(2011)年台風12号(以下、H23年災害)を検証対象災害とした。

検討対象災害における災害前後の空中写真をもとに各災害時に発生した崩壊地を空中写真判読して、GIS上に崩壊箇所をプロットした。

2. 2. 2 降雨特性

まず、H16年災害時の降雨特性について述べる。24時間累積降雨分布と判読崩壊地の分布状況の関係及び最大時間雨量が最も大きかった地域付近の観測所である八鹿観測所のハイトグラフを図-3に示す。養父市西部では、150mm

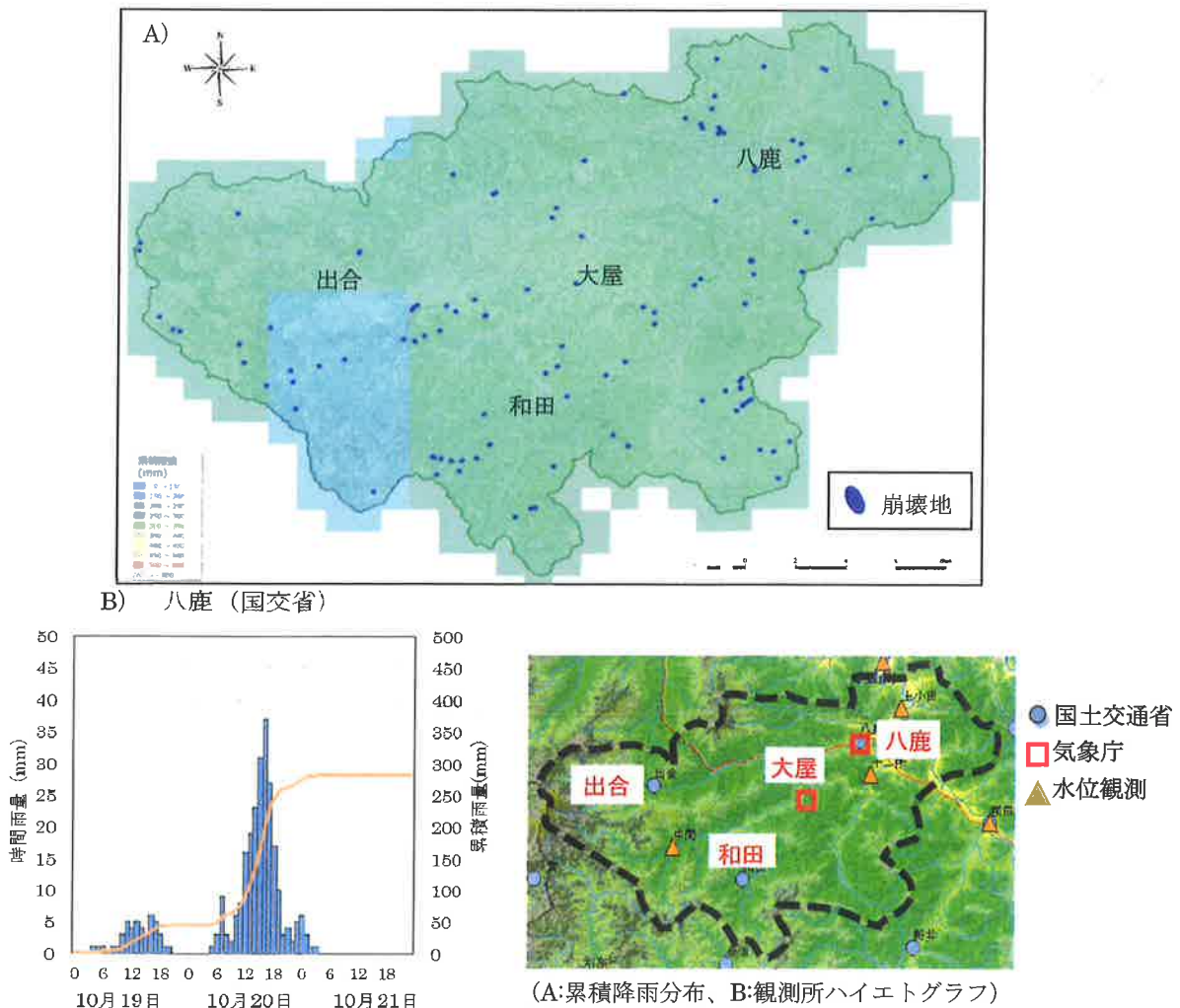


図-3 H16年災害時の降雨状況

～200mm/24hr、東部で 200～250mm/24hr 程度の降雨が観測されており、西部に比べ東部は降雨強度が大きいという特徴があった。養父市域全域に降雨があったため、判読崩壊地分布も養父市全域に渡って点在しているが、八鹿地区や養父市南東部に崩壊が密集している地域が確認できる。ハイトグラフから時間雨量 5mm/hr の前降雨があり、その後最大時間雨量 25～37mm/hr の降雨が連続して観測されている。以上のことから、H16 年災害時の降雨は、短時間集中型の降雨であったことがわかる。

つぎに、H23 年災害時の降雨特性について述べる。24 時間降雨等雨量分布と判読崩壊地の分布状況の関係及び最大時間雨量が最も大きかった地域付近の観測所である出合観測所のハイトグラフを図-4 に示す。対象となる降雨は 9 月 2 日～4 日の 3 日間に渡って降り続いており、市域の西部では累積雨量約 300mm を超える雨量が発生している。北東部の八鹿付近では累積雨量が 200mm 未満であった。降雨の面的な特性としては、北東から南西にかけて徐々に雨量が増加していることがわかる。累積観測所で観測された雨量に着目すると、和田、大屋、出合で総降雨量 400mm 以上が観測されている。また、観測所のハイトグラフを見ると、最大時間雨量 25mm/hr 以下の降雨が降り続けていることから、長雨タイプの降雨であったことがわかる。

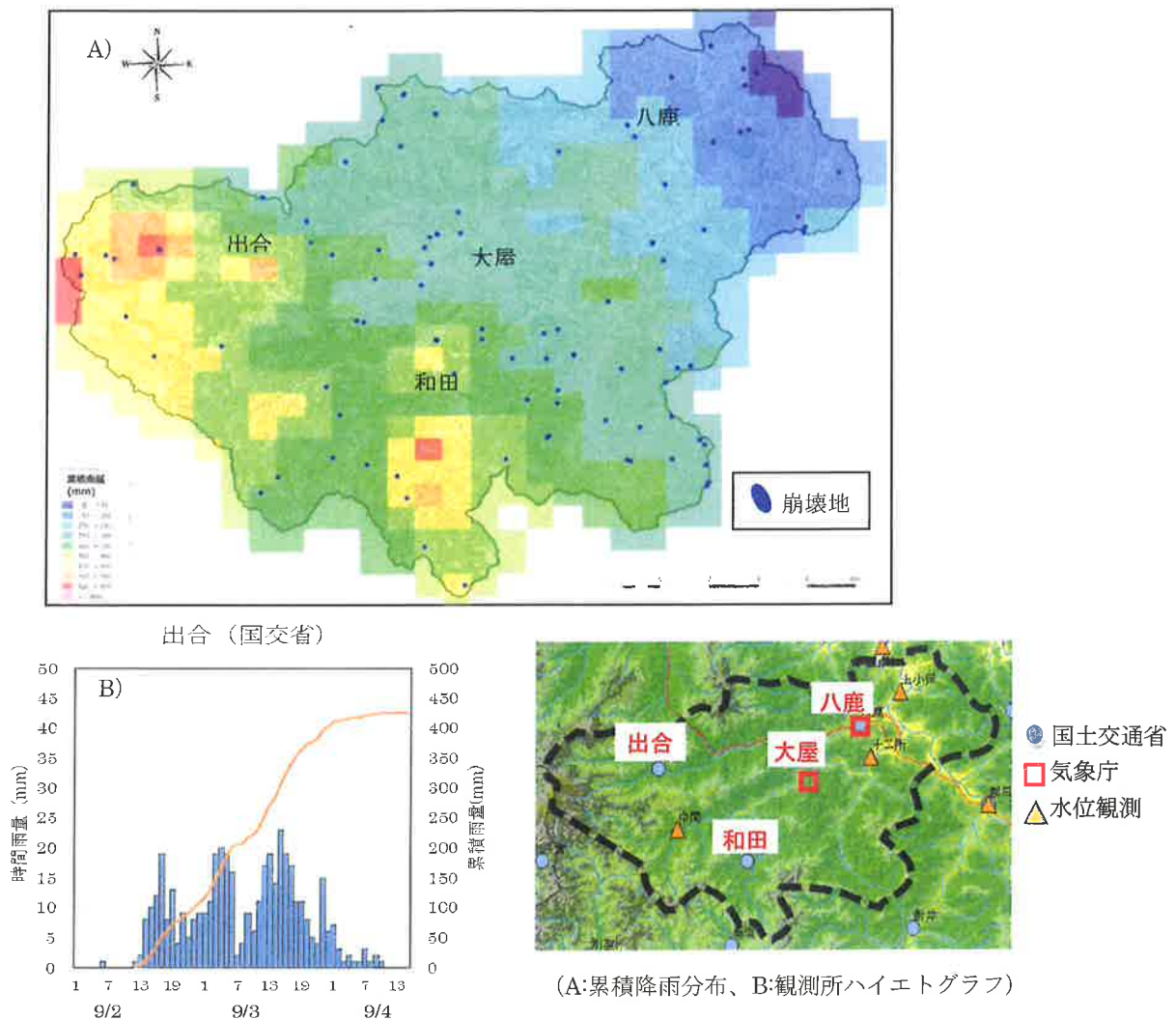
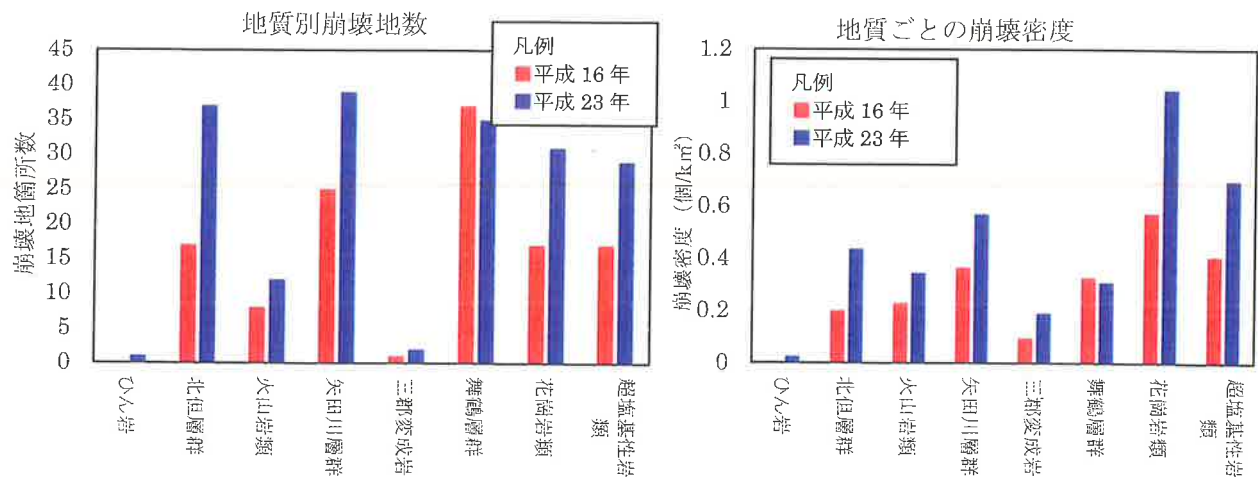


図-4 H23 年災害時の降雨状況

2. 2. 3 過去の災害における崩壊特性

再現計算対象崩壊地について、地質的・地形的特徴の整理を行った。地質別崩壊地頻度分布を図-5 に示す。H16 年災害の崩壊は、舞鶴層群で最も多くの崩壊地が確認でき、つぎに矢田川層群、北但層群で多く発生が確認できた特徴が見られた。また、H23 年災害の崩壊は、矢田川層群、北但層群、舞鶴層群で多くの崩壊が確認できる。しかし、三郡変

成岩及びひん岩では、両災害ともに崩壊が殆ど発生していなかった。また、崩壊密度を確認すると、両災害共に花崗岩で1km<sup>2</sup>当たりの崩壊個数が多く、つぎに超塩基性岩、舞鶴層群と続いている。



図一五 地質別崩壊地頻度分布

#### 2. 2. 4 モデルの構築及び検証

表層崩壊ハザードマップシステムを沖村ら<sup>10)</sup>で報告されている手法を用いて地盤モデルを作成した。地盤モデルの作成手法は、10m メッシュ地形モデルに微地形区分と地質区分を与え、各格子点に傾斜角及び表土層厚を設定し、物性値を格納することで作成した。地形モデルは、LP データから作成された数値地形モデルを使用した。しかし、LP データの地形は、崩壊後の地形を表現しているため、判読した崩壊のメッシュについては周囲の標高から埋め戻し処理を行った。その後、傾斜角を算出した。表土層厚は、ボーリングデータや試験結果などを参考にして、微地形区分と地質区分及び傾斜角から層厚を推定する層厚式(層厚＝傾斜勾配の関数式)を既往研究から参照し算出した。物性値は地質区分ごとに既往モデルで用いられている値を暫定値として与えた。またモデルは、自然斜面での表層崩壊を対象としているため、平地や対策工などの人工改変地、ため池などの水域は除外し、非計算領域とした。本地盤モデルに、各災害時に観測された降雨データを入力することで、セルの地下水を計算し、無限長斜面安定解析式を用いて、各セルの時間ごとの安全率(SF)を算出した。ここでセルの地下水は、連続式をもとに各セルの X 方向と Y 方向の流入出量と入力降雨の増分で決定される。安定解析では、地下水上昇による単位堆積重量の増加と間隙水圧の上昇から安全率を算出し、崩壊判定を評価する。安全率が  $SF < 1.0$  となると崩壊判定となる。作成した地盤モデルを用いて、先に述べた災害降雨による再現計算を実施した。再現計算は、各降雨データを入力し、判読した崩壊を予測できるかの検証計算である。

しかし、初期値再現計算を実施したところ各災害時捕捉率は H16 年で 72%、H23 年で 43% となり、芳しい結果は得られなかった。特に捕捉率が低かった地質は「北但層群」「火山岩類」「矢田川層群」の 3 つの地質であった。これは、他市域で設定されたモデルのパラメータが養父市域の地形・地質にうまく適合しなかったと考えられる。そのため、現地踏査を行い、解析に係わる要因の各パラメータについて見直しを行い、養父市モデルの最適化を行った。このうち「北但層群」には、地質時代の古い順番で「H<sub>1</sub> 高柳累層」、「H<sub>2</sub> 八鹿累層」、「H<sub>3</sub> 豊岡累層」、「H<sub>4</sub> 村岡累層」に細分化されており、「H<sub>3</sub> 豊岡累層」については、過去の既往研究の成果もあり、高い捕捉率を示したが、「H<sub>2</sub> 八鹿累層」、「H<sub>4</sub> 村岡累層」については、捕捉率が低いことがわかった。両者の違いは「H<sub>2</sub> 八鹿累層」は玄武岩、「H<sub>4</sub> 村岡累層」は泥岩が含まれていることが挙げられる。そこで、現在地質区分では一律に扱っている北但層群では、地質細分に合わせて、層厚や力学的性質が異なると判断し、それぞれの累層でパラメータを設定することとした。地表踏査と代表的な箇所で行った簡易動的コーン貫入試験の結果から、「H<sub>2</sub> 八鹿累層」では、簡易動的コーン貫入試験において想定した層厚より厚い結果が得られた。数少ないデータではあるがこの結果をもとに八鹿累層では層厚式を試験結果にフィットするように微調整を行った。

つぎに北但層群の各累層の地形傾斜角の頻度分布を整理した。また、捕捉率の低い「H<sub>2</sub>八鹿累層」、「H<sub>4</sub>村岡累層」について、表層土の物理特性を把握するために室内試験を実施した。その結果を図-6に示す。村岡累層の傾斜角は、他の累層より傾斜角が緩くなっていることがわかる。このことから、他の累層より地盤強度が小さいため、傾斜が維持できずにゆるくなっているものと考えられる。室内試験の結果においても、八鹿累層はレキ、村岡累層は細粒分が多く粘性土に分類された。このような物性の違いからが細粒分が多い村岡累層のほうが、材料的に弱く、現地系の傾斜がゆるくなっていると言える。数少ないデータであるが、この結果を参考に、村岡累層は、八鹿累層、豊岡累層よりせん断強度を低下させ、地盤強度の低さを考慮することとした。

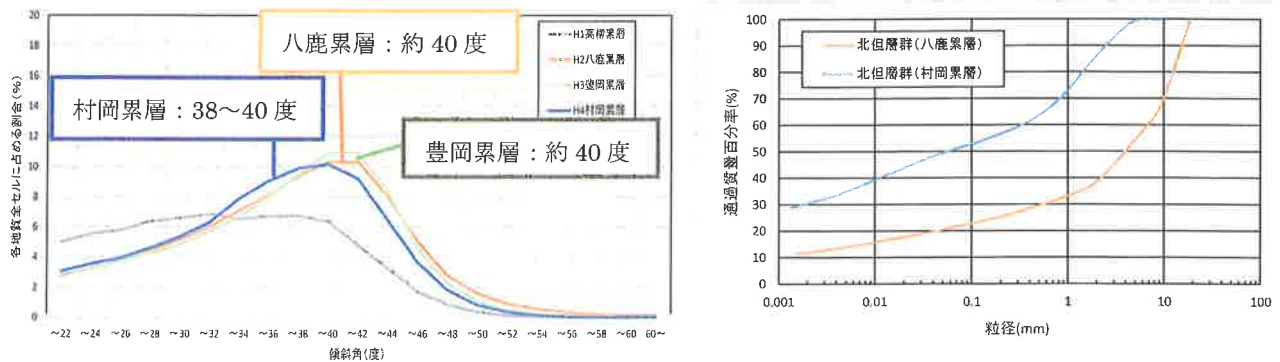


図-6 北但層群各累層における傾斜角頻度分布(左)と粒度試験結果(右)

「火山岩類」「矢田川層群」については、「H<sub>2</sub>八鹿累層」と同じく簡易動的コーン貫入試験で得られた結果と層厚式で想定した層厚より厚い結果が得られたため、層厚式を調査結果にフィットするように調整した。

以上の結果を反映した養父市域の最適モデルで、平成16年災害と平成23年災害の検証計算を実施したところ、捕捉率は向上し、H16年災害とH23年災害の2事例で80%以上の捕捉率を得ることができた。リアルタイムハザードシステムとして、平成30年4月より運用を開始した。

### 3. 平成30年7月豪雨による養父市域の崩壊

#### 3.1 養父市域の地形・地質概要<sup>1)</sup>

養父市におけるリアルタイムハザードシステム構築後、平成30年7月豪雨により養父市においても表層崩壊が発生した(以下、H30年災害)。そこで、リアルタイムハザードシステムの判定結果を用いて、システムの有効性を検証した。検証するにあたって、まずH30年災害時の災害報告を収集整理した。土砂災害の発生報告箇所は、養父市域では81箇所であった。ただし、この報告は、住民からの情報を基に作成されているため、民家に隣接した地点や道路周辺の報告が多くなっている。このため、山地内で発生した表層崩壊など、すべての崩壊地は考慮されていないことに留意する必要がある。

各災害報告で得られた崩壊箇所をGIS上にプロットし、養父市の地質区分と比較した結果を図-7に示す。災害が多数報告された箇所は、市域の北東部に位置する八鹿町市街地付近で多く挙げられていることがわかる。災害報告が最も多い地質は、矢田川層群であり、つぎに沖積層、舞鶴層群、花崗岩の順であった。舞鶴層群では、点在した箇所での報告があり、花崗岩では比較的集中した箇所での報告があった。災害箇所と累積雨量(1mメッシュ)を重ね合わせた結果を図-8に示す。平成30年7月豪雨は、台風7号および梅雨前線により6月28日~7月8日にかけて西日本を中心に広範囲で豪雨が観測された。養父市においても、八鹿雨量観測所で7月3日~10日まで降雨が観測されているが、図内のハイエトグラフでは、本格的に降雨が始まる7月5日~本格的降雨終了後の7月7日の各観測所の観測雨量を整理した。

解析雨量の累積雨量(1kmメッシュ)から、養父市全域で350mm以上の降雨であった。養父市西部の出合地区や大屋地区などで局所的に累積雨量500mm以上の雨が観測されている。一方、雨量観測所における時間雨量自体は、どの

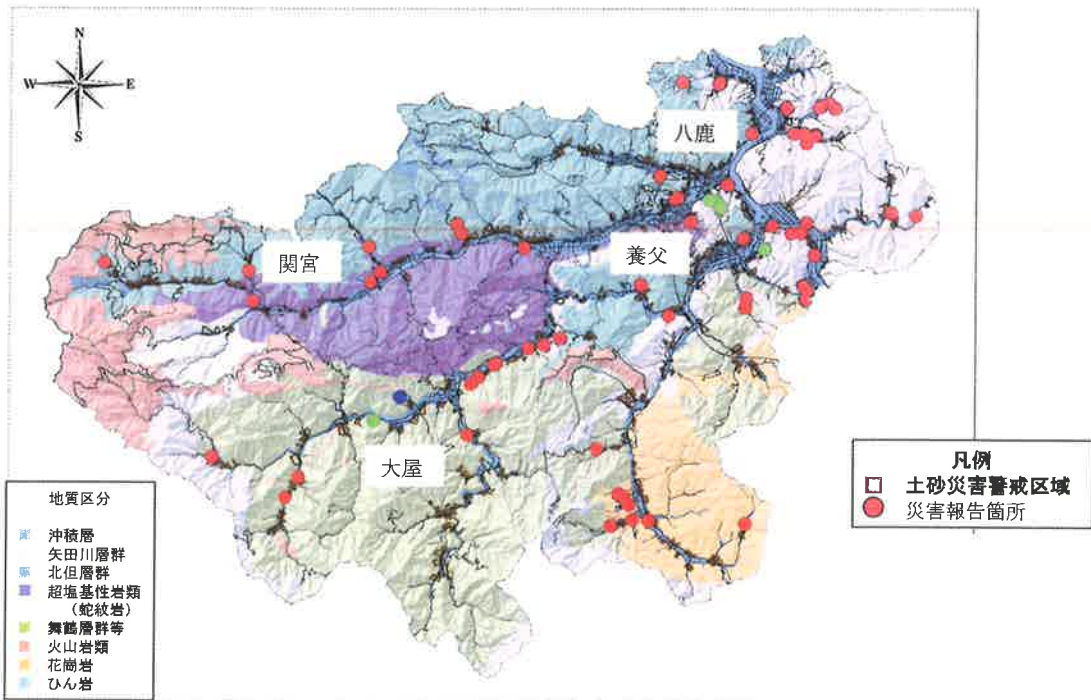


図-7 災害報告箇所と地質区分

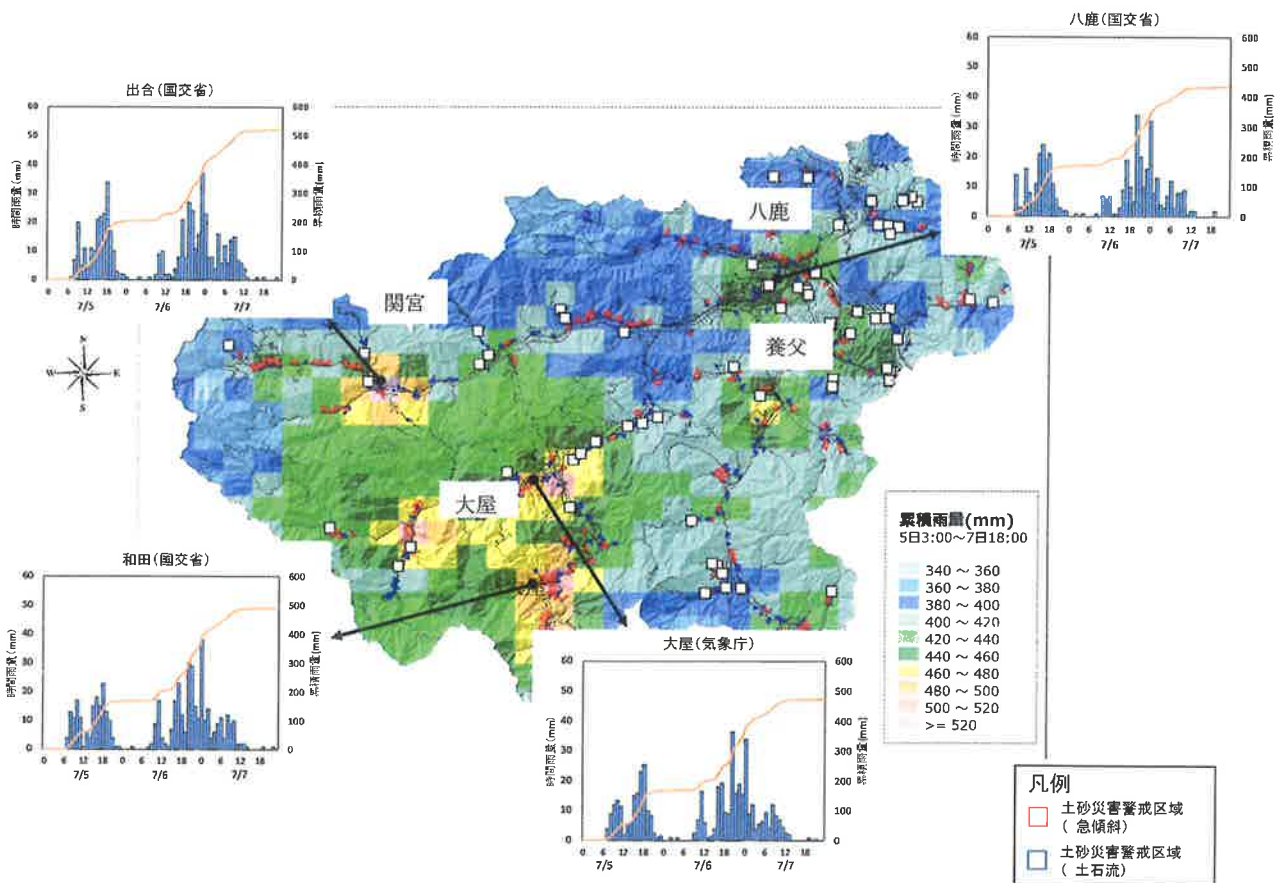


図-8 累積雨量と災害報告箇所の関係

観測所でも 40mm/hr を超えず、30mm/hr を 1 時間以上連続で記録した観測所はなかった。各雨量観測所の降雨パターンについては、いずれの観測所でも、7/5 に 20~35mm/hr の降雨が観測されており、その後 6 時間程の中休みを経て、7/6~7/7 にかけて 40mm/hr の降雨が観測されている。多くの災害報告があった八鹿町市街地付近の八鹿雨量観測所における時間最大雨量 39mm/hr、総雨量 477mm であった。

この降雨波形から、平成 30 年 7 月豪雨は、最大時間雨量が 30mm/hr 程度で長期間の降雨が観測される長雨タイプ降雨パターンであったと言える。

つぎに、図-8 に示すように累積雨量分布と災害箇所的位置を比較すると、累積雨量 380mm を越えるような降雨が観測されたところで土砂災害が報告されているという特徴があった。図-9 に観測結果のハイエトグラフと土砂災害警戒区域毎の判定状況を示す。図-9 A)に示す八鹿雨量観測所の記録によれば、前方降雨として 10mm/hr 以下の降雨が観測されており、その後、約 10 時間後に上述したような 2 つのピークを持つ降雨が観測されている。また、土砂災害警戒区域の判定状況と降雨の関係は、降雨ピークの 1 時間後である 7 月 5 日 21:00 から急傾斜では、崩壊判定箇所数が増加する。土石流は、急傾斜と異なり、1 回目のピークでは判定されず、2 回目の降雨により急傾斜で判定が出始める時刻とほぼ同時刻に判定され始め、ピークの 1 時間後に判定数が急増するという結果であった。

このことから、土砂災害警戒区域ごとの判定状況については、降雨パターンと調和的で、2 回の降雨ピークに応じ判定がされていたことがわかった。

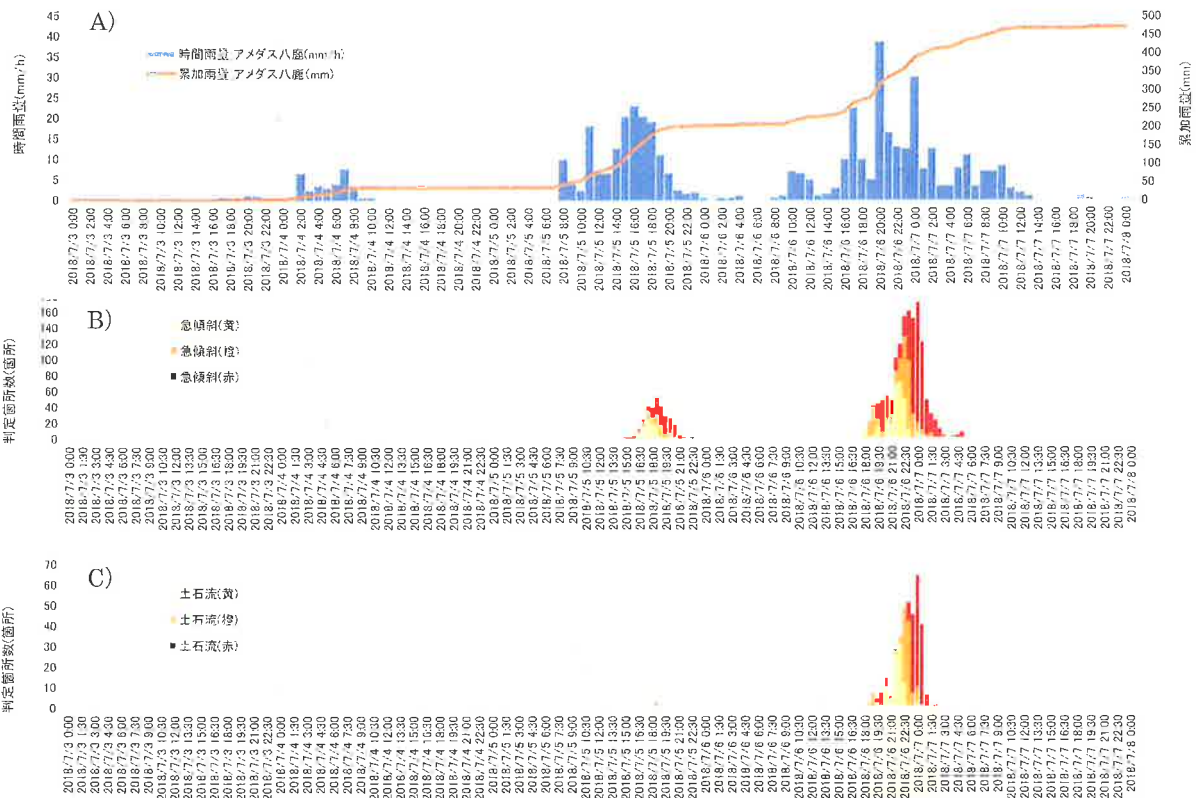


図-9 A) 八鹿雨量観測所におけるハイエトグラフ (平成 30 年 7 月 3 日~11 日) B) 土砂災害警戒区域 (急傾斜) 毎の判定状況 C) 土砂災害警戒区域 (土石流) 毎の判定状況

### 3. 2 崩壊地の踏査結果と崩壊メカニズムおよび判定

養父市で発生した災害の各調査結果と崩壊メカニズムならびにシステムの判定状況について述べる。



(1) 奥山谷川における土石流

災害報告で下流部に土砂流出が確認されている土砂災害警戒区域（土石流）で、システムにおいても土砂災害警戒区域（土石流）単位では、土石流発生の判定となっている箇所である。本崩壊は、過去の空中写真から H23 年に一度崩壊したことがわかっている。現地踏査では、上流部において崩壊地が確認できたため、踏査時に UAV による空中写真の



図-10 UAVで撮影した崩壊地の空中写真（青：H23年崩壊、赤：H30年に拡大した範囲）と現地状況（2018/9/7）

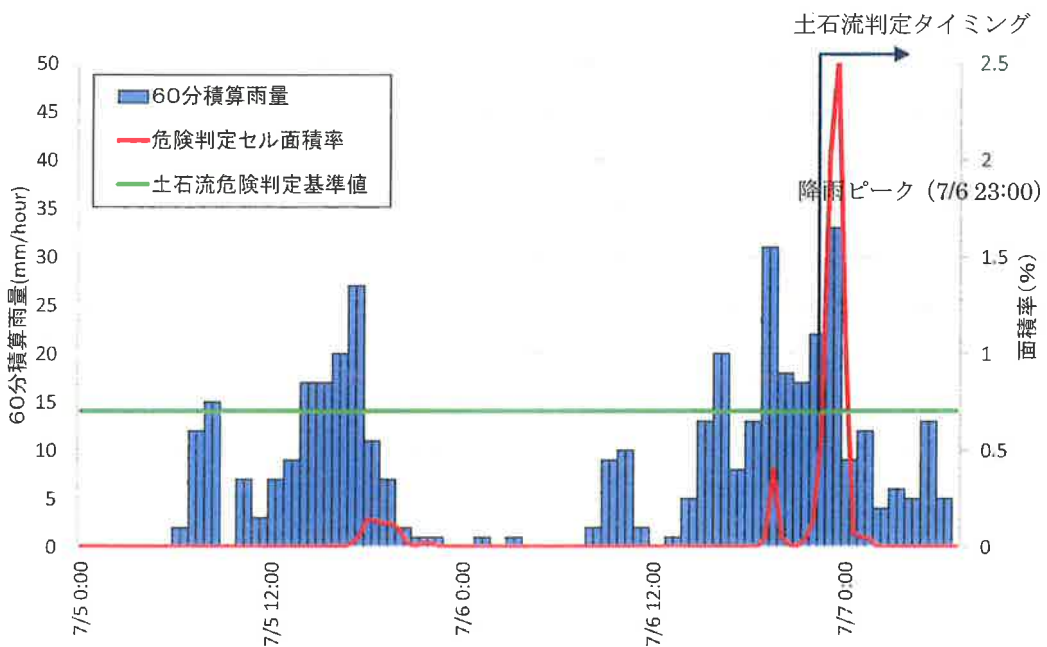


図-11 土石流判定結果（青点：奥山谷川 I の判定）

撮影を行い、崩壊の全容把握を行った。UAVで撮影した空中写真と過去の空中写真を比較し、崩壊判定も合わせて図-10に示した。この空中写真を確認すると崩壊地の側岸が拡大していることがわかる。このことから、本崩壊地は過去の崩壊地の拡大崩壊であった。また、システムにおいて崩壊地内ならびに拡大崩壊が発生した側岸で判定されていることから、崩壊地の場所の判定も適切であったと言える。

つぎに、土砂災害警戒区域（土石流）における判定手法は、過去の事例をもとにして流域面積と流域内の崩壊判定メッシュ数から行っている。ここで、当該箇所での1kmメッシュ解析雨量と当該区域内の崩壊判定メッシュ数の時系列変化を整理し、判定時刻について確認した。その結果を図-11に示す。今回発生した土石流の発生時刻については、不明であり、土石流の発生時刻からシステムの判定タイミングについて議論することはできないものの、土石流が最大時間雨量時刻頃に発生したと仮定すると、土石流判定は、最大時間雨量を観測した1時間前には判定されており、危険度を予測できていたと言える。

## （2）上網場における土砂災害

八鹿町上網場にある「上網場(1)II」の民家裏で発生した崩壊は、民家裏の斜面で背後に集水域を有していない比高の小さな斜面での崩壊で、システムでは崩壊を見逃した箇所である。平面図を図-12に示す。現地調査を行った結果、当該斜面は自然斜面であり、下端部に石積が施されていた。また、前述したように斜面上方に集水地形は確認できなかった。システムのモデルでは傾斜角は42度程度であったが、現地を確認した崩壊した側方斜面の傾斜は約50度の斜面であり、モデルの傾斜は実際より緩く表現されていた。ただし、この崩壊地は、人工改変された切土斜面で、崩壊面積が10m×10m以下の小規模な崩壊であったことから、10m×10m以上の大きさの自然斜面の表層崩壊の危険性を予測する本システムでは予測できない事例であった。このような人家裏の小規模な崩壊を予測するためには、如何に現地の地形を反映させるか、また層厚を設定するかなど課題が残っていると言える。

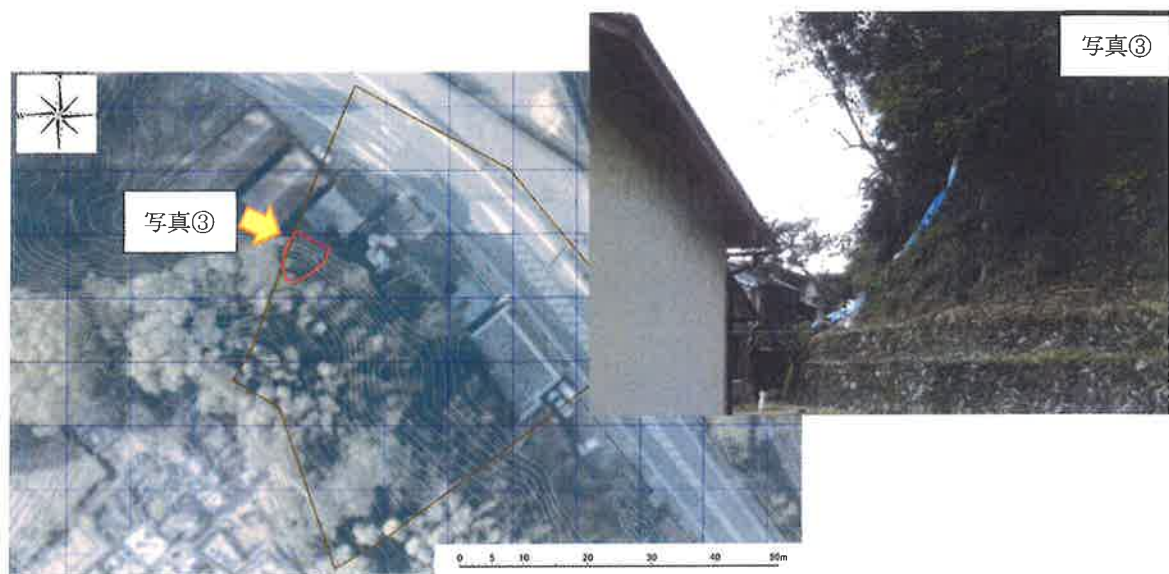


図-12 崩壊災害箇所と判定結果

## （3）朝倉地区における土砂災害

養父市朝倉地区では、土砂災害警戒区域外であるが国道に土砂が流出したとの報告があった箇所である。平面図と判定状況を図-13に示す。現地調査実施した結果、2つは山腹斜面で発生した崩壊で、残りの1つは溪床の堆積土砂を洗掘したものであった。崩壊発生源は急峻で、崩壊層厚は非常に薄い崩壊であったが、現地では僅かな凹地地形をしており、豪雨時に雨水が集中して、地下水位が上昇し崩壊したものと考えられた。本システムにおいて崩壊判定された箇所は、崩壊が発生した付近であり、2箇所の崩壊を捕捉できていたと言える。このことから、土砂災害警戒区域以外にも崩壊地を捕捉した事例があり、本システムの有効性を示す結果であった。

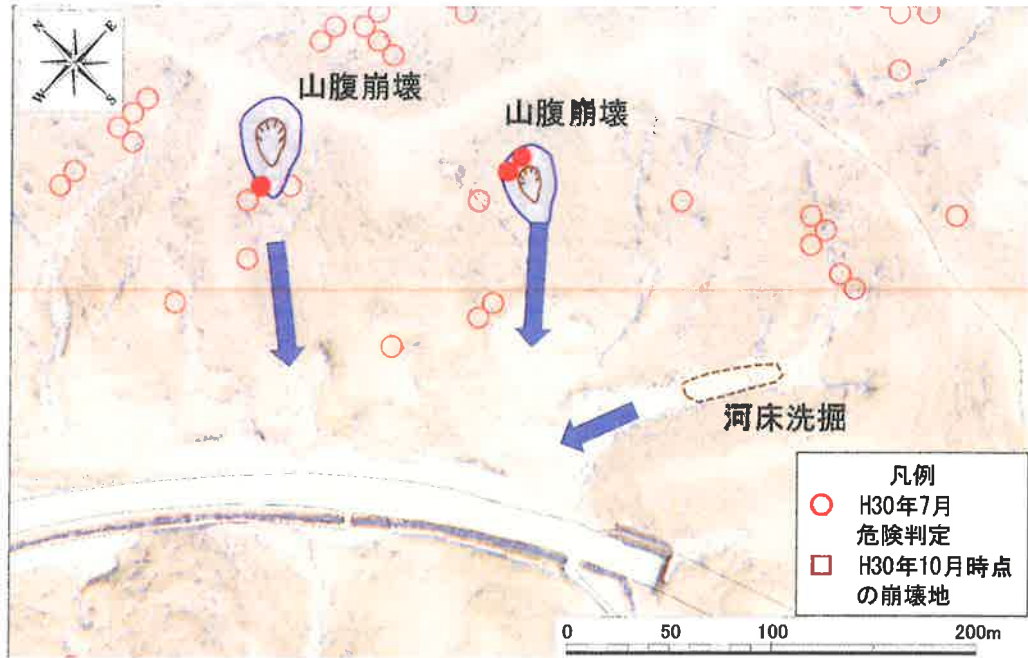


図-13 現地踏査結果における崩壊箇所とシステムによる崩壊判定結果の比較

### 3.3 崩壊箇所とシステム判定の考察

H30年災害によるシステムの判定結果を整理するため、災害報告箇所から本システムの判定対象（自然斜面で10m×10m以上の面積となる崩壊）となる土砂災害を机上と現地調査から絞り込んだ。本システムにおいて、対象とする土砂災害は、降雨に起因する自然斜面上で発生する表層崩壊である。よって、宅地や道路からの排水や河川の溪岸侵食による崩壊は除外した。また、上網場のような10m×10m以下の小規模の崩壊も現在の10mメッシュモデルでは表現しきれないため対象外とした。この処理により81箇所の災害の内、17箇所が対象災害であった。位置図を図-14に示し、

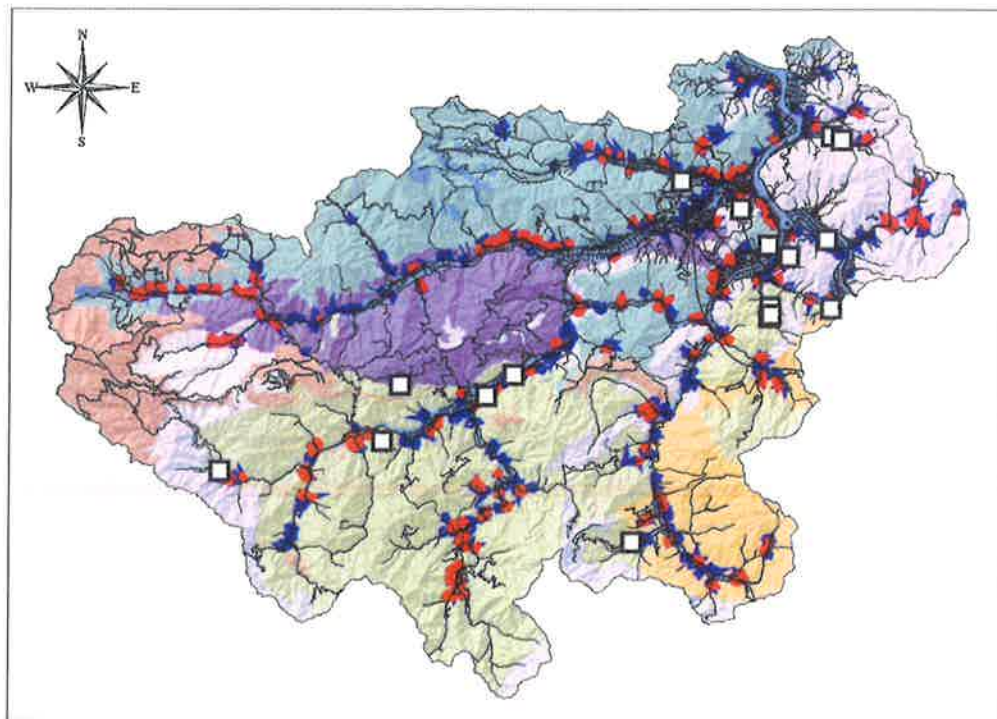


図-14 表層崩壊災害箇所

判定状況を表1に示した。判定手法は、崩壊発生箇所と崩壊判定メッシュ、急傾斜警戒区域を比較し、急傾斜警戒区域内で崩壊が発生している場合は、同じ急傾斜警戒区域内に崩壊判定メッシュが存在していれば、捕捉しているものと判断した。また、急傾斜警戒区域外で崩壊が発生している場合は、モデル構築時の再現計算と同様に発生した崩壊に20mのバッファを設定し、バッファ内に崩壊判定メッシュが存在していれば捕捉と判断した。この結果から、警戒区域内で発生した表層崩壊については、捕捉率100%であった。また、警戒区域外で発生した崩壊地を含めても、70%以上の捕捉率であったと言える。捕捉率の高い地質は、超塩基性岩と矢田川層群であり、両地質共に捕捉率100%をであった。ただし、4箇所については、予測できず見逃しとなっていた。この4箇所については、私有地であり、現地調査ができなかったため、今後、調査できれば、見逃した箇所の原因について検討したい。

表一 1 地質別判定結果（太枠：警戒区域内の崩壊）

No	所在地		警戒区域	地質	システムによる危険度判定
1	大屋町	横行	横行(1)Ⅱ	矢田川層群	捕捉
2	大屋町	大杉	奥山谷川Ⅰ	超塩基性岩類	捕捉
3	八鹿町	大江	口大江Ⅰ	矢田川層群	捕捉
4	八鹿町	小城	小城(1)Ⅰ	矢田川層群	捕捉
5	旧養父町	餅耕地	餅耕地(2)Ⅰ	花崗岩	捕捉
6	旧養父町	養父市場	養父市場(1)Ⅰ	矢田川層群	捕捉
7	八鹿町	幸陽		北但層群	見逃し
8	旧養父町	堀畑		花崗岩	見逃し
9	旧養父町	上野		舞鶴層群	見逃し
10	旧養父町	上野		舞鶴層群	見逃し
11	大屋町	夏梅		舞鶴層群	捕捉
12	大屋町	蔵垣		舞鶴層群	捕捉
13	八鹿町	小城		北但層群	捕捉
14	八鹿町	大江		矢田川層群	捕捉
15	八鹿町	朝倉		矢田川層群	捕捉
16	旧養父町	上野		舞鶴層群	捕捉
17	旧養父町	大久保		北但層群	捕捉

#### 4. 平成30年7月豪雨における斜面安定度の考察

H30年災害の判定結果からモデルの判定特性を考察する。実際にH30年災害で崩壊が発生したセルを対象にH30年災害時とモデル作成時に用いた過去災害時両方の水位、安全率及び安全率の変化量の推移を整理し、各降雨の降雨特性によって、水位や安全率の変化を確認した。確認箇所は、図-15に示すセルA、セルBとした。過去の判定結果を比較すると、H16年災害再現計算においてもH30年災害時と同じメッシュで崩壊判定が算出されていた。しかし、過去の空中写真ではH16年災害では崩壊は発生していない。また、H23年災害再現計算では崩壊判定となっていない。

H16年災害時とH30年災害時の水位、安全率、安全



図一 15 対象崩壊地と着目セル

率の変化量の時系列変化を図-16、図-17に示す。

図-16は、H16年災害時のセル付近降雨特性は、前降雨として、5mm/hr程度の降雨があり、前降雨終了から10時間後に本格的降雨が始まる。本格的降雨は、最大時間雨量33mm/hrでピークから3時間後に再び27mm/hrのピークが観測された後、徐々に降雨が弱まるというパターンであった。10/19 12:00から10/21 12:00までの安全率、地下水位の計算結果を確認すると、セルA、B共に前期降雨の時間雨量が5mm/hr程度と降雨強度が弱かったため、水位は大きく上昇せず、層厚の3割程度であった。その後、10/20 8:30の降雨から徐々に水位が上昇し始め、19時から20時に満水となっている。この水位上昇に伴い、安全率が低下し始め、セルAでは、27mm/hrのピークから2時間後に安全率が1を下回り崩壊判定されている。一方、セルBでは、同様の降雨ピークの1時間後に崩壊判定されている。このことから、降雨のピークを過ぎた時刻で崩壊判定されている結果となっており、斜面は危険な状態であったものの、継

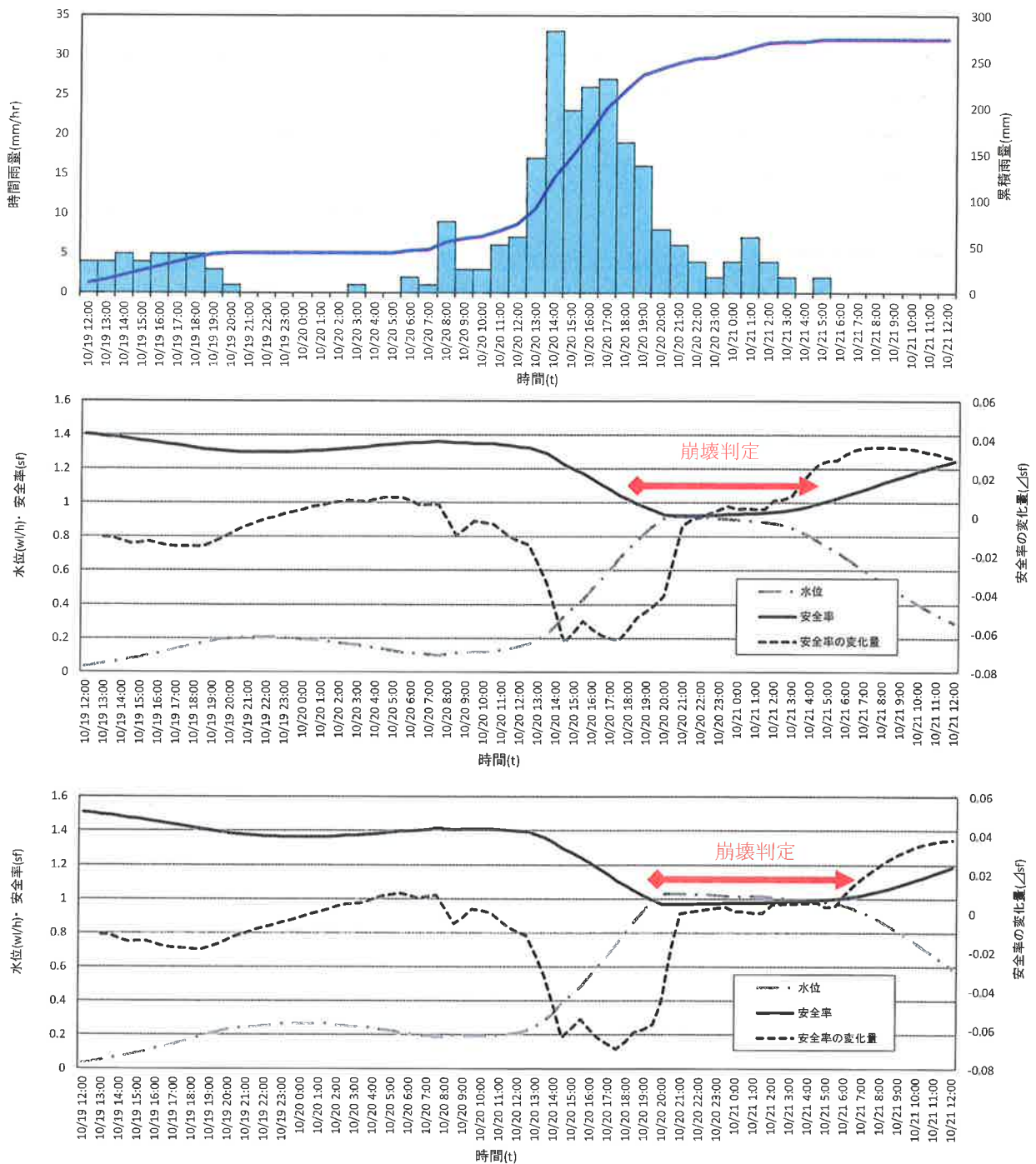


図-16 H16年災害再現計算結果(上:降雨パターン、中:セルA、下:セルB)

続降雨強度が小さく、安全率の変化率が上昇傾向であったため、崩壊に至らなかったものと推察でき、実際に崩壊が発生しなかったものと考えられる。

つぎに H30 年災害時の時系列推移を図-17 に示す。H30 年災害時におけるセル付近の降雨特性は、7/5 に最大時間雨量 29mm/hr、7/6~7/7 に 35mm/hr と 2 回のピークを持つ降雨で、7/4~7/7 までの 4 日間に渡って降雨が観測されていた。また、総降雨量については 900mm 以上と H16 年災害時と比べ 600mm 以上の多い特徴がある。

7/5 12:00 から 7/7 12:00 までの水位と安全率の推移を確認すると、7/5 では、先行降雨の影響でセル A では 5 日 22 時から 6 日の 2 時まで水位が満水となり、安全率が 1 以下となり、崩壊判定となっている。その後、降雨が少ない時

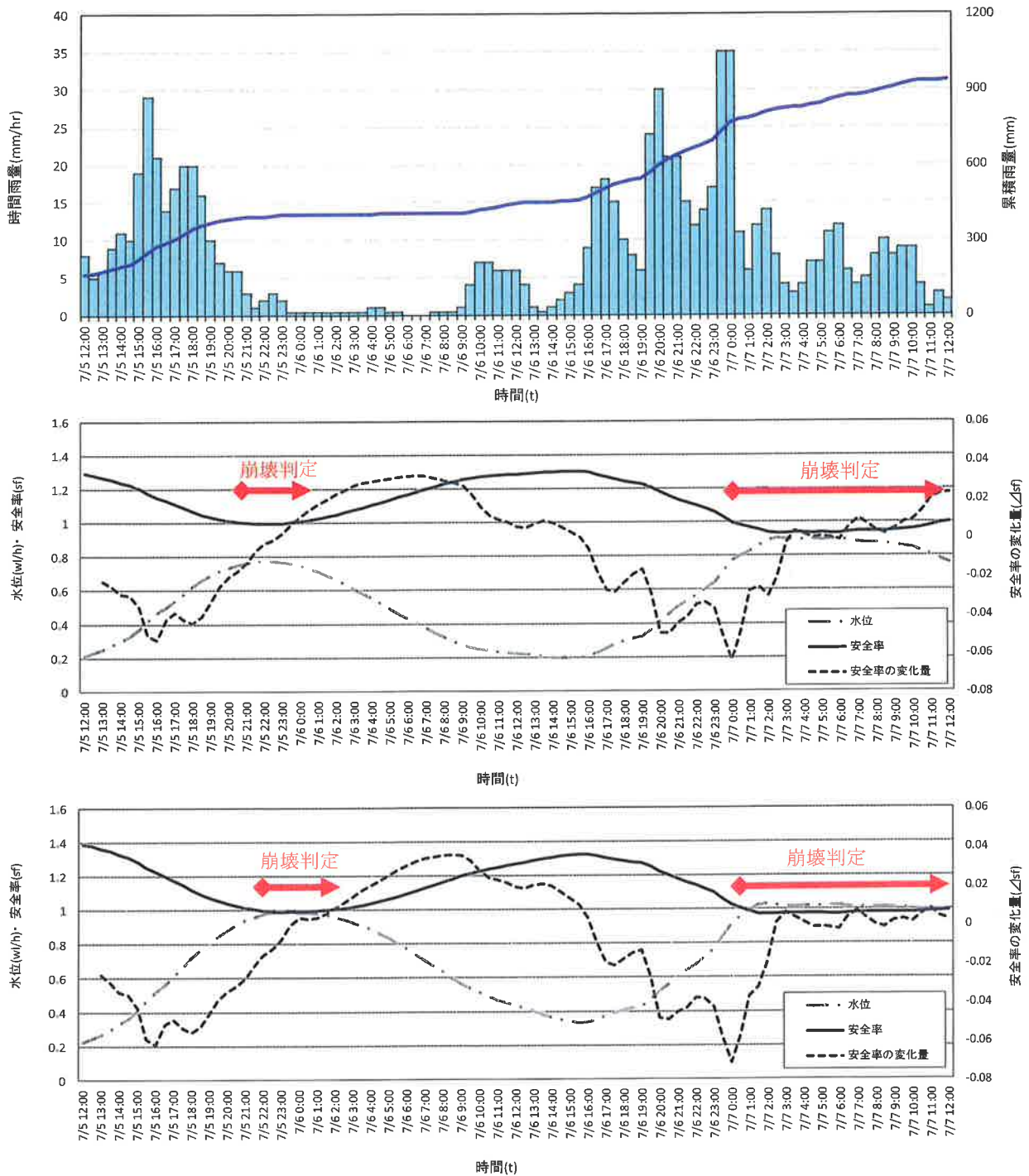


図-1 17 H30 年災害再現計算結果 (上: 降雨パターン、中: セル A、下: セル B)

間帯で水位が低下し、6日16時から7日0時まで急激に水位が増加、再び満水となり、崩壊判定となっている。7日0時に安全率変化率も大きく低下している。セルBも同様の挙動を示すが、セルAが崩壊判定となった5日の時刻では、満水状態になっておらず、7日に満水状態となっており、降雨による水位に違いが現れている。ただ、崩壊判定はセルAと同様である。このことから、2度、斜面が危険な状態となったこと。さらに後半の降雨の時間雨量も35mm/hrが2時間持続したこと。安全率が低い時間帯に、35mm/hrが2時間受けたことから、安全率の変化率が上昇し、崩壊に至ったものと推察でき、H16年と異なり、実際に崩壊が発生したものと考えられる。

2つの災害降雨による判定を比較したところ、実際に崩壊したH30年災害事例では、H16年災害時と異なり、2度安全率が1程度となっていること。さらに安全率1程度で、かつ安全率の変化量が大きい点の特徴である。崩壊が発生した降雨の特徴を表していると考えられる。

## 5. おわりに

本報告では、養父市における地形・地質を考慮した地盤モデルを作り、表層崩壊リアルタイムハザードシステムを構築した。その過程で、過去の災害事例からシステムの検証を実施し、現地調査を通して、養父市の崩壊特性を考慮したモデルへの最適化を行った。さらに、構築したシステムを用いて、平成30年7月豪雨で発生した土砂災害で検証を行った。

平成30年7月災害時におけるシステムの判定は、警戒区域内で発生した表層崩壊については、捕捉率100%であった。また、警戒区域外で発生した崩壊地を含めても、70%以上の捕捉率と良好な結果で、システムの有用性を確認できた。ただ、区域外で発生した崩壊地4箇所については、予測できず見逃しとなっていた。この4箇所については、私有地であり、現地調査ができなかったため、今後、見逃した箇所の原因について検討する必要がある。

つぎに、H30年災害事例では、H16年災害時のシステム判定状況と異なり、2山ピークを持った長期間の降雨であったことから、2度、安全率が1程度となったこと。さらに安全率1程度で、かつ安全率の変化量が大きい特徴が確認できた。

現在、運用しているシステムでは、対象としていない小規模の崩壊（10m×10mより小さい）や人家背後の人工改変地など実際H30年7月豪雨で崩壊した斜面も数多くあった。このような崩壊は、本システムでは予測、判定できない。そのため、本システムで予測できる崩壊と予測できない崩壊を定義し、システムの判定結果を活用してもらうことも重要である。今後、本システムの利用者に周知するとともに、改善できる事項については引き続き改善を進め、精度の高いシステムとしたいと考えている。

## 【謝辞】

本報告は、兵庫県のご支援を得て実施した業務成果の一部である。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

## 参 考 文 献

- 1) 沖村孝・鳥居宣之・南部光広・原口勝則：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策，建設工学研究所論文報告集，52，pp.119-137，2010.
- 2) 沖村孝・鳥居宣之・南部光広・原口勝則：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策(2)，建設工学研究所論文報告集，53，pp.153-173，2011.
- 3) 沖村孝・鳥居宣之・南部光広・原口勝則：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策(3)，建設工学研究所論文報告集，54，pp.159-183，2012.
- 4) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策(4)，建設工学研究所論文報告集，55，pp.91-116，2013.
- 5) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策

- (5), 建設工学研究所論文報告集, 56, pp. 45-66, 2014.
- 6) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則: 表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策(6), 建設工学研究所論文報告集, 57, pp. 17-36, 2015.
- 7) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・鏡原聖史: 表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策(7), 建設工学研究所論文報告集, 58, pp. 43-57, 2016.
- 8) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・鏡原聖史: 表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策(8), 建設工学研究所論文報告集, 59, pp. 29-39, 2017.
- 9) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・鏡原聖史・笠原拓造・江川真史・孝子綸図: 表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策(9), 建設工学研究所論文報告集, 60, pp. 29-43, 2018.
- 10) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則: 土砂災害のためのリアルタイムハザードシステムの作成手順, 建設工学研究所論文報告集, 56, pp. 67-83, 2014.
- 11) 養父市防災会議: 養父市地域防災計画, 2015.
- 12) 国土地理院 地理院地図  
<https://www.gsi.go.jp/>
- 13) 兵庫県: 兵庫の地質—兵庫県地質図(1/10万)一, 1996.
- 14) 兵庫県農政環境部農林水産局治山課: 平成23年台風12号・15号による山地・林道施設の被害と復旧対策について, 兵庫県治山林道協会機関紙「やまなみ」, 31, 6-8, 2012.

## 著 者

植田 允教	RAPIDE 合同会社, 空間情報学
沖村 孝	所員, 理学博士, 地盤工学
鳥居 宣之	所員, 神戸市立工業高等専門学校教授, 博士(工学), 山地防災工学
中川 渉	客員研究員, 応用地質株式会社, 博士(工学), 地盤工学
原口 勝則	客員研究員, 国際航業株式会社, 技術士(建設部門), 砂防工学
鏡原 聖史	客員研究員, 株式会社ダイヤコンサルタント, 博士(工学), 地盤工学
根本 信行	株式会社ダイヤコンサルタント, 空間情報学