

【建設工学研究所論文報告集第 60 号〔報告〕2018 年 11 月】

## 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)

### Some Problems and Measures appeared during the Construction of the Real-time Hazard System for Slope Disasters at a Heavy Rainfall (9)

沖村 孝 鳥居 宣之 中川 渉 原口 勝則 鏡原 聖史  
 Takashi Okimura Nobuyuki Torii Wataru Nakagawa Katsunori Haraguchi Satoshi Kagamihara  
 笠原 拓造 江川 真史 孝子 綸 図  
 Takuzo Kasahara Masafumi Ekawa Rinto Koshi

#### 1. はじめに

平成 29 年は 7 月の九州北部豪雨や 9 月の台風 18 号、10 月の台風 21 号などにより数多くの土砂災害が発生した。国土交通省砂防部の調べによると、平成 30 年 3 月 22 日現在で 1,514 件の土砂災害が発生し、死者・行方不明者 24 名、負傷者 8 名、人家被害 701 戸の被害を生じ、発生件数および人家被害が過去 10 年間で最大となった<sup>1)</sup>。

中でも、7 月に発生した九州北部豪雨では、7 月 5 日～6 日にかけて活発な梅雨前線が停滞した影響などで、九州北部地方付近に線状降水帯が形成・維持され、これにより特に降雨が集中した福岡県朝倉市朝倉で最大 1 時間雨量が 129.5mm、7 月 5 日から 6 日までの総降水量が 586.0mm と記録的な大雨となった<sup>2)</sup>。この豪雨により、筑後川右支川の赤谷川や奈良ヶ谷川などの流域では、斜面崩壊や土石流、河床・河岸侵食などにより生産された多量の土砂や流木が洪水とともに流下し、河道が土砂と流木で埋まり、多くの家屋が被災した。また、近隣の大分県日田市小野地区では大規模な深層崩壊により河道閉塞が発生するなど、九州地方全体で 316 件もの土砂災害が発生し、死者 21 名、行方不明 2 名、全壊家屋 209 戸、半壊家屋 184 戸、一部損壊 134 戸となった<sup>1)</sup>。

このように、近年では、観測史上最大の降雨量や降雨強度が報告されることが毎年のように生じている。従来、土砂災害の発生時刻に関する危険度指標は、過去の被災経験から総降雨量あるいは土壌雨量指数や降雨強度のパラメータが用いられ、これら過去に観測された値とその時の崩壊発生の有無から、崩壊発生の危険度が経験的に求められ、土砂災害警戒区域に対する土砂災害警戒情報として使われている。しかし、近年のような過去に経験したことのない大きな降雨量に対しては、経験的に求められた指標や基準だけでは、十分な対応に結び付かない可能性がある。すなわち、過去に崩壊記録のない斜面で崩壊が発生したり、総降雨量によらず大きな降雨強度の出現時刻に崩壊が発生したりする可能性がある。これを解消するためには経験的なデータから危険度を判断するのではなく、降雨を入力した力学的な斜面安定解析から安全率を求め、この安全率から危険度を判定することが必要になる。また、空間や時系列に関して、よりきめ細かな予測情報を提供することが、警戒や避難情報の適切な発令に資するものであると考えられる。

筆者の一人は、かつて表土層崩壊を対象として地形を 10m 格子間隔で数値モデル化し、格子点（もしくはセルの中心点）に表土層厚を設定し、降雨を入力し、飽和横流れ浸透解析によりセルの地下水位を計算し、無限長斜面安定解析式を用いて、各セルで、時間ごとに安全率を計算する手法を提案した<sup>3)</sup>。近年、技術の開発により高精度の地形データや降雨データを入手できる状況になってきたこともあり、このモデルを用いてリアルタイムでハザード情報を計算できるようになってきた。このような環境条件下で、兵庫県のご協力を得て平成 19 年度より 3 ヶ年で「六甲山系土砂災害危険度予測システム」プロジェクトでかつて提案したモデルを実用化する機会に恵まれた<sup>4)5)</sup>。このモデルの構築、実用化に際して新たに出現した問題点などは、すでにこれまでの報告<sup>6)7)8)9)10)</sup>で詳しく紹介した。また、問題点への対策を組み込んだ「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」<sup>11)</sup>や留意事項<sup>12)</sup>をとりまとめた。その後、

バージョンアップとも言える新たな取り組みとして、安全率の変化量を加えた判定方法<sup>13)</sup>や、市街地内の小規模斜面にも対応する5mメッシュ併用型の解析方法<sup>14)</sup>を考案しその有効性について報告を重ねてきた。

本報告では、平成26年8月豪雨における土石流の発生事例を対象とした検証の結果、土石流の発生機構に関連した課題が確認されたため、土石流の発生機構を考慮した新たな判定方法を検討したのでその結果について報告する。

## 2. これまでの報告の概要

### 2.1 2010年報告<sup>6)</sup>

2010年報告<sup>6)</sup>では、モデルの概要説明を行った後、システム化に際して生じた課題について説明し、その対策手法の紹介を行った。その内容の主なものは、次のとおりである。

- 1) 地形のスムージング化
- 2) 地形分類と表土層厚
- 3) 人工改変地の扱い
- 4) 地盤条件の設定
- 5) 推定表土層厚の再検討
- 6) 植生条件の考察
- 7) 異なる地質条件への対応
- 8) 微地形条件（水面、沖積地等）への対応
- 9) 用いる雨量データの検討
- 10) 演算処理高速化の検討
- 11) アウトプットデータの表示方法の検討
- 12) 土砂災害警戒区域（急傾斜）への反映方法の検討
- 13) 土砂災害警戒区域（土石流）への反映方法の検討

### 2.2 2011年報告<sup>7)</sup>

2011年報告<sup>7)</sup>においては、2010年度の試験運用中に出現した様々な課題を、個別に検討した。その内容は以下のとおりである。

- 1) 昭和42年崩壊地の表土層の推定
- 2) 谷壁斜面に存在する浅い谷（0次谷）の表土層厚の推定
- 3) 谷壁斜面と谷底斜面境界部での表土層厚の不連続対策
- 4) 小起伏斜面における表土層厚の推定
- 5) シミュレーション降雨による異常セル推定表土層厚の補正
- 6) 土砂災害警戒情報解除のためのタイミング情報対策

### 2.3 2012年報告<sup>8)</sup>

2012年報告<sup>8)</sup>においては、その後の運用中に出現した課題について対策を検討した。その内容は以下のとおりである。

- 1) 0次谷および急傾斜地における層厚の調整
- 2) 表土層満水時の判定における不具合対策
- 3) シミュレーション降雨による局所的な不具合対策

## 2. 4 2013年報告<sup>9)</sup>

2013年報告<sup>9)</sup>においては、豊岡市を対象としてこれまで適用していない地質条件である北但層群や矢田川層群、照来層群、超塩基性岩などに適用した際に判明した課題と対策について述べた。その内容は以下のとおりである。

- 1) 難透水層の影響による崩壊への対応
- 2) 人家裏切土斜面の崩壊特性の把握と対応

## 2. 5 2014年報告<sup>10)</sup>

2014年報告<sup>10)</sup>においては、上郡町を対象としてこれまでに適用していない地質条件である相生層群や超丹波帯などに適用した際に判明した課題と対策について述べた。その内容は以下のとおりである。

- 1) 頂部小起伏面の周縁部に多発する崩壊への対応
- 2) 頂部小起伏面の自動抽出手法

## 2. 6 2015年報告<sup>12)</sup>

2015年報告<sup>12)</sup>においては、表六甲山系や豊岡市、上郡町と類似の地形・地質を有する三田市への適用において、表土層の設定などについて新たな留意点が得られたのでこれを報告した。その内容は以下のとおりである。

- 1) 有馬層群（丹波層群を含む）固有の層厚式の設定
- 2) 裸地、草地、とくしゃ地における粘着力の調整
- 3) 礫密度を考慮した土質パラメータ間の整合性の確認

## 2. 7 2016年報告<sup>13)</sup>における内容

2016年報告<sup>13)</sup>においては、2014年8月豪雨による丹波市の土砂災害を対象にシステムの検証を行う中で、崩壊の判定タイミングが実際の崩壊等が集中的に発生した時刻よりも数時間遅れる傾向にあることや、降雨が終了しても判定が長時間継続するという課題が確認されたため、安全率の絶対量に加えてその変化量を判定の指標とすることで、判定タイミングが改善されたのでこれについて報告した。

## 2. 8 2017年報告<sup>14)</sup>における内容

2017年報告<sup>14)</sup>においては、神戸市の市街地内に小規模斜面が土砂災害警戒区域として数多く分布しており、このような小規模斜面はその平面幅が狭いため10mDEMによって傾斜が的確に表現できない場合があるほか、人工改変の影響もあるためこれまで対象外としていた。しかしながら、神戸市からの要望によりその対応を検討する必要が生じた。このため、土砂災害警戒区域内を5mメッシュにて安全率を計算する方法について比較検討し、リアルタイム演算のスピードやシステム改修費用などを勘案して、地下水位については10mメッシュで演算した結果を適用し、安全率については5mメッシュごとに表土層厚や地盤物性値は市街内の小規模斜面固有の条件を検討する方法を採用することとした。

## 3. 土石流に対する危険度判定の精度向上に関する課題と対応

近年、豪雨の激化に伴い短時間に時間雨量80mmを越えるような強雨（短期集中型）が増加傾向にある。このような短期集中型降雨では、地中へ浸透しきれない雨水が地表面流となって一気に溪流へ流入することから、溪床堆積土砂が流動するタイプの土石流が発生しやすい。現行の土石流予測モデルでは、このような土石流の発生機構は十分に考慮されておらず、空振り判定の一要因となっていることが考えられる。

このため、本検討においては平成26年に丹波市で発生した土石流事例をもとに現行の手法による危険度判定の課題を整理し、予測精度の向上につながる新たな土石流判定手法について検討した。

### 3. 1 検討対象

本検討では、平成 26 年 8 月豪雨で土石流が多発した丹波市市島地区の土石流危険溪流（121 溪流）を対象に検討した（図 3.1、図 3.2）。市島地区の土石流災害では、斜面崩壊の崩土が流動化した「崩壊起因型」や溪床の不安定土砂が流動化した「溪床堆積土砂流動型」の 2 パターンが確認された。また、これらが複合的に発生した事例もあり、これを「複合型」と呼ぶこととした。



図 3.1 平成 26 年 8 月豪雨における  
兵庫県 の累積雨量（8/15～8/18）<sup>15)</sup>

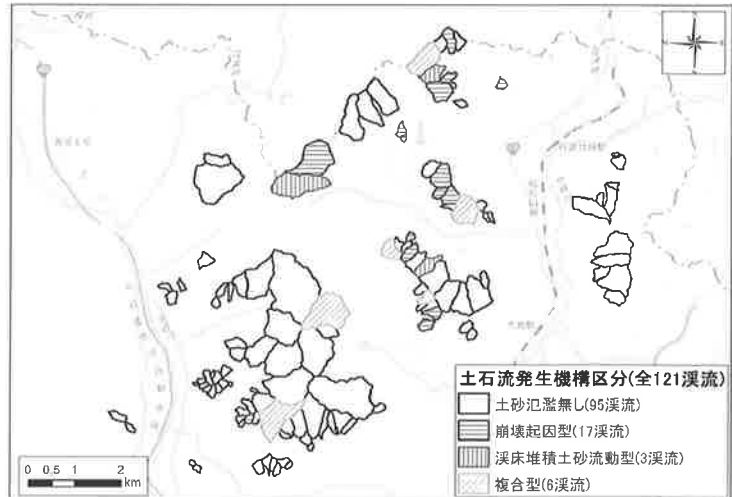


図 3.2 丹波市市島地区の土石流発生状況

市島地区近傍の北岡本観測所(国土交通省福知山河川国道事務所)における土石流発生時の降雨状況を図 3.3 に示す。図 3.3 によると、降雨期間中の最大時間雨量は 8 月 17 日 3:00 時の 91mm/h である。このときの雨量は同観測所の過去最大の時間雨量である 79mm(2006 年 8 月 12 日 15:00)を上回る。また、過去 28 年間の 3 時間雨量の最大値 111mm、24 時間雨量の最大値 274mm に対して、2014 年 8 月 17 日 3:00 時における 3 時間雨量 176mm、24 時間雨量 414mm であり、いずれも過去の最大値を更新している<sup>16)</sup>。

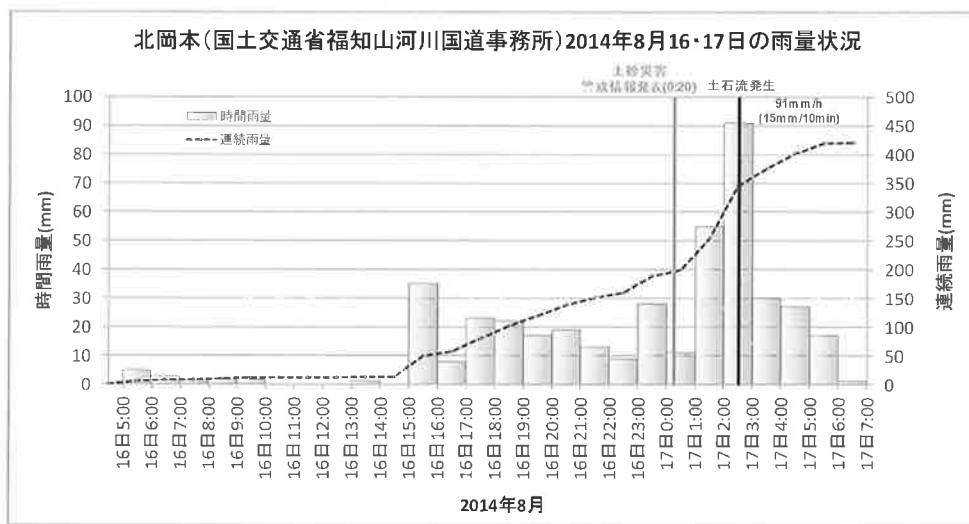


図 3.3 平成 26 年 8 月豪雨時の降雨状況(北岡本雨量観測所)<sup>16)</sup>

### 3. 2 現行の土石流判定手法の課題

現行の土石流判定手法は、図 3.4 に示すとおり縦軸に流域内の不安定土砂量に関する崩壊面積率を、横軸に総流量と関連する流域面積をとり、六甲山系における昭和 42 年災害時の土石流発生溪流と非発生溪流を比較的良好に分別する基準線を設定することで、これの超過・非超過に応じて危険度を判定するものとしている<sup>4)</sup>。

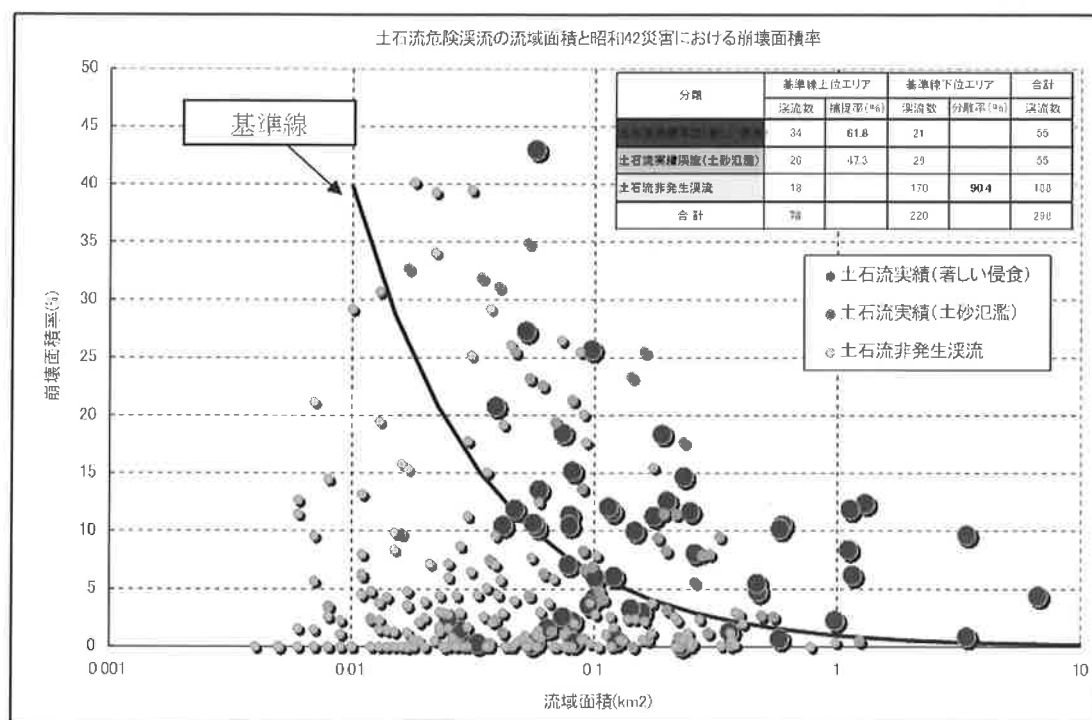


図 3.4 現行の土石流判定手法で用いる基準線

平成 26 年 8 月豪雨における丹波市市島地区の土石流発生事例について、現行の土石流判定手法の基準線と重ね合わせてその妥当性を検証した(図 3.5、表 3.1)。

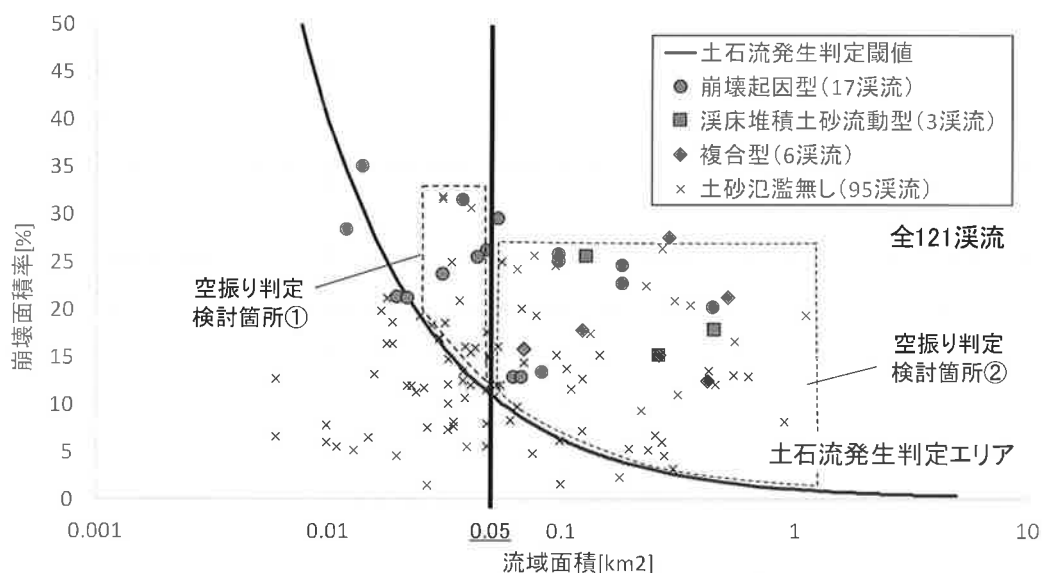


図 3.5 現行の土石流判定手法と丹波市市島地区の土石流発生事例との関係

表 3.1 現行の土石流判定手法による丹波市市島地区の土石流発生事例の捕捉状況

分類(災害実績)	土石流発生機構	渓流数 (A)	システムによる 土石流発生判定 渓流数 (B)	捕捉率(%) (B/A)	空振率(%) (B/A)
土石流発生	崩壊起因型	17	15	88.2	-
	溪床堆積土砂流動型	3	3	100.0	-
	複合型	6	6	100.0	-
	計	26	24	92.3	-
土石流非発生	-	95	58	-	61.1

図 3.5 をみると、流域面積  $0.05\text{km}^2(5\text{ha})$ 未満の渓流では崩壊起因型土石流が限定的に出現し、その崩壊面積率の下限值は 20%程度である。一方、流域面積  $0.05\text{km}^2(5\text{ha})$ 以上の渓流では崩壊起因型土石流は崩壊面積率の下限值が 13%程度と低く傾向が異なっている。この傾向の違いは、国土交通省（当時の建設省）による「土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領（案）、平成 11 年 4 月」<sup>17)</sup>において、崩壊起因型土石流と溪床堆積土砂流動型土石流の発生場を区別するための条件として「発生流域面積 5ha」としていることに通じるものと考えられる。また、流域面積 5ha 以上の渓流では溪床堆積土砂流動型土石流や複合型土石流が限定的に出現している。

現行の基準線に基づく捕捉率等を表 3.1 により確認すると、いずれの土石流の発生機構ともに 88.2%以上の高い捕捉率を示している。一方、土石流が発生すると判定したにもかかわらず非発生となった空振りが 61.1%以上と多い状況が確認された。

このため、空振りが発生した渓流（土砂氾濫なし渓流）について、その原因を空中写真判読などによって考察した結果、以下の課題が認められた。

#### 【課題】

- ① 流域面積 5ha 程度を境に崩壊起因型土石流が発生した渓流の崩壊面積率の下限值に違いが見られ、これに起因した空振りが多い（図 3.5 検討箇所①に分布する土砂氾濫なし渓流）。
- ② 流域面積 5ha 程度より大きな渓流では溪床堆積土砂の移動が確認できるもののその量が少なく流域内で移動が停止していることで空振りとなっているケースが多い（図 3.5 検討箇所②に分布する土砂氾濫なし渓流）。

### 3. 3 新たな土石流判定手法の検討

#### (1) 新たな土石流判定手法の作成方針

前項で整理した現行の土石流判定手法の課題を踏まえ、表 3.2 を方針として新たな土石流判定手法を検討することとした。

表 3.2 新たな土石流判定手法の作成方針

土石流の発生機構	流域面積 5ha 未満	流域面積 5ha 以上
崩壊起因型	<p>【特徴】</p> <p>小溪流のため崩壊土砂が流水の大小にかかわらず流域外に流出して被害を与える。</p> <p>【対応方針】</p> <p>崩壊面積率のみを指標として土石流判定を行う。</p>	<p>【特徴】</p> <p>崩壊土砂量が流水とともに下流の流路にて河床変動を生じながら流域外に土砂を氾濫させる。</p> <p>【対応方針】</p> <p>崩壊面積率と流量を指標として土石流判定を行う。</p>
溪流堆積土砂流動型	<p>【特徴】</p> <p>この領域での発生は確認されていない。</p> <p>【対応方針】</p> <p>土石流の発生実績は確認されていないが、安全な避難に配慮した判定とするため、崩壊起因型の判定を準用する。</p>	<p>【特徴】</p> <p>溪流堆積土砂量が流水とともに下流の流路にて河床変動を生じながら流域外に土砂を氾濫させる。</p> <p>【対応方針】</p> <p>溪流堆積土砂量と流量を指標として土石流判定を行う。ただし、溪流堆積土砂量は現地調査を要するためこれに代る指標を検討する。</p>
複合型	同上	<p>【特徴】</p> <p>上記の2つの発生機構の複合型。</p> <p>【対応方針】</p> <p>上記の2つの発生機構の土石流判定結果に基づいて判定する。</p>

## (2) 地表面の流量計算

新たな土石流判定手法で用いる流量の計算法は、降雨量に対して地中に浸透する水と地表面を流下する水の量に連続性を保った計算とすることが望まれる。しかしながら、分布型の流出解析モデルなど面的な流出解析手法の適用も考えられるが現時点ではリアルタイムでの演算が困難である。このため、ここでの流量計算は利用実績や計算のスピードを重視して以下の計算法を採用するものとした。

### ① 計算点の設定

10mDEM から自動発生させた溪流線に沿って 10m 間隔に計算点を設定する。

### ② 洪水到達時間の計算

全ての計算点において下式により地形条件に基づき洪水到達時間を予め計算し、次のステップの流量計算のためのパラメータとする。

$$T = L / W$$

ここで、

$T$ : 洪水到達時間 (s)

$L$ : 流路長(m)、10mDEM をもとに計測する

$W$ : 洪水流出速度 (m/s)

バイエルン式、 $W = 20 (h/L)^{0.6}$ 、 $h$ : 落差(h) を用いる

である。

## ③ 流量の計算

全ての計算点において、レーダ解析雨量や予測雨量をインプットとして合理式(ラショナル式)により時々刻々と流量を計算する。

$$Q = (1/3.6) \times f \times R \times A$$

ここで、

$Q$ : 流量 (m<sup>3</sup>/s)

$f$ : 流出係数

$R$ : 洪水到達時間内の降雨強度 (mm/h)、 $R = r/T$ 、 $r$ : 降雨強度 (mm)、 $T$ : 洪水到達時間 (s)

$A$ : 流域面積 (km<sup>2</sup>)

である。

## (3) 渓床堆積土砂量に代る指標の導入

渓床堆積土砂量は、多くの現地調査を要するとともに、出水ごとにその場所が変化するため、これを直接的に把握して用いることが困難である。このため、比較的取得が容易な地形条件から渓床堆積土砂量の大小を表す指標を検討するものとした。

まず、渓床堆積土砂の質や量は不明なものの流路の全区間になんらか存在しているものとする。このとき、高橋保(1987)<sup>18)</sup>による土石流の発生条件を適用すれば土石流の発生源となり得る溪流区間を概ね推定することができる。そこから下流に流出した土砂は河床において侵食と堆積を繰り返しつつ総量を変化させながらさらに下流へと流出する。土石流の発生予測よりも被害に至るかどうかの予測が本来的に重要であるため、発生源から流出した土砂が下流区間で河床変動を経て谷出口より下流に流出する土砂量を求めたい。しかしながら、河床変動計算によって求める手法があるものの、現地調査により把握できる情報が不足する中で適切なパラメータ設定が難しいほか、計算時間を要することからリアルタイムでの情報提供に用いるには難しい。

このため、渓床堆積土砂量に代る指標は、土石流の発生源における「渓床堆積土砂流出区間長」を「総溪流長」で除した比率とし、その比率が高いほど流下過程で土石流規模を維持・拡大しやすく谷出口下流へ影響を与えやすいと考えることとした。また、この比率のことを「渓床堆積土砂流出率 (%)」と呼ぶこととした。

ここで、「渓床堆積土砂流出区間長」の算定は、前述の高橋保(1987)<sup>18)</sup>による土石流の発生条件を適用するものとし、砂礫運搬形態の領域区分図(図3.6)に基づくものとした。

この領域区分図(図3.6)は縦軸に渓床勾配  $\sin \theta$ 、横軸に土石流発生危険度  $q_*$ (無次元流量)を定めており、図中のVIおよびVIIが土石流の発生領域を示している。図中の曲線Hは不飽和堆積層を対象に求めた土石流発生限界曲線を示しており、この限界曲線と一般的に知られる土石流の発生限界勾配  $15^\circ$  との交点である  $q_*=1\sim 2$  より大きい領域で土石流が発生すると理解されている(図中のハッチの部分)。

丹波市の土石流発生溪流について土石流発生危険度  $q_*$ を求めた一例を図3.7に示す。図3.7では二時期のレーザ計測データによる標高差分をもとにした侵食堆積の状況と土石流発生危険度  $q_*$ を溪流に沿って10mピッチで演算した結果を重ねて示している。同図をみると、溪流の上流域において差分による侵食域(青領域)と土石流危険度が高い溪流区間(赤点)が概ね整合している。また、下流の谷出口付近では、差分による堆積域(赤領域)と土石流危険度が低い溪流区間(白点)が概ね整合していることがわかる。



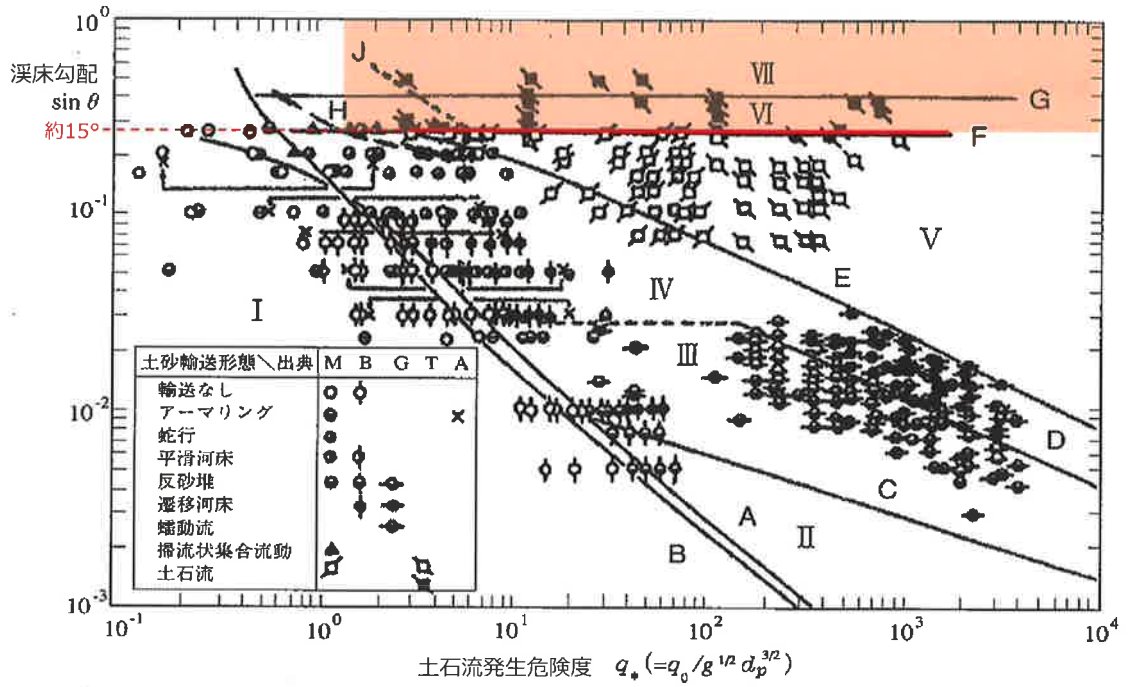


図 3.6 砂礫運搬形態の領域区分図<sup>18)</sup>

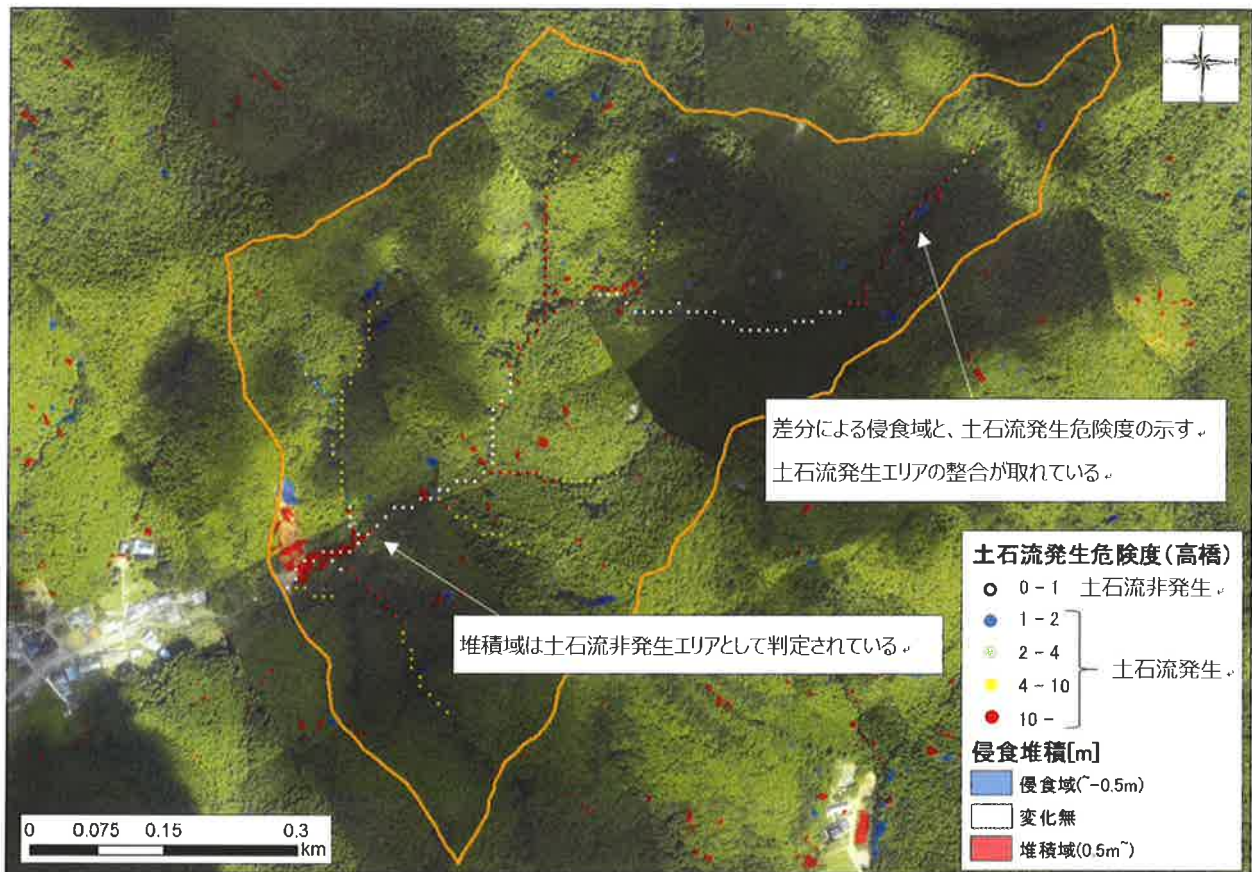


図 3.7 土石流発生危険度の計算事例

以上による「渓床堆積土砂流出率 (%)」を求める手順は以下のとおりである (図 3.8 参照)。

① 計算点の設定

地表面の流量計算と同じく 10mDEM から自動発生させた溪流線に沿って 10m 間隔に計算点を設定する。

② 地表面の流量計算

計算点ごとに、前項「(2) 地表面の流量計算」の方法にて計算する。

③ 勾配の算定

計算点ごとに、溪流線に沿って計算点より 200m 上流までの平均勾配を計算する。

④ 計算点ごとの土石流発生危険度  $q_*$  の算定

計算点ごとに、同地点の流量と勾配をもとに、土石流発生危険度  $q_*$  を下式により算定する。

$$q_* = q_0 / (g^{1/2} \times d^{3/2})$$

ここで、

$q_0$ : 計算点流量 ( $m^3/s$ )

$g$ : 重力加速度 ( $9.8 m/s^2$ )

$d$ : 代表粒径 (m)

※対象とする土石流の特性に応じて設定する

⑤ 渓床堆積土砂流出区間長の算定

土石流発生危険度  $q_*$  の計算結果に基づき  $q_* \geq 1 \sim 2$  となる区間長を計算点のポイント数として求める。

⑥ 渓床堆積土砂流出率の算定

渓床堆積土砂流出区間長 (ポイント数) を総溪流長 (ポイント数) で除して求める。

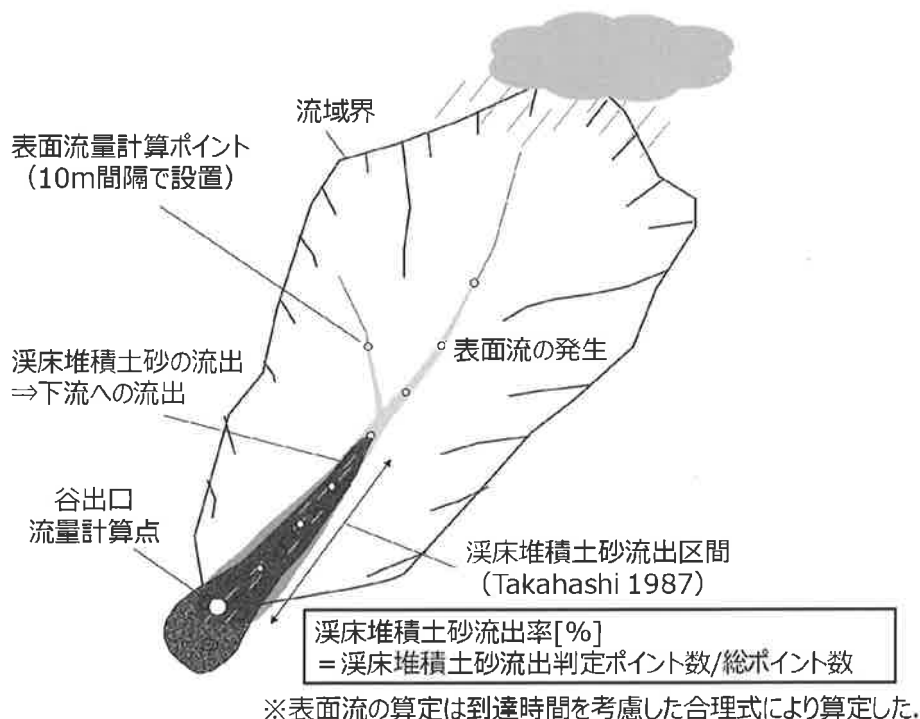


図 3.8 渓床堆積土砂流出率の概念図

(4) 新たな判定手法

これまでで検討した結果に基づき、新たな土石流判定手法を表 3.3 に整理した。次項において実際の災害事例に適用しその妥当性を評価する。

表 3.3 新たな土石流判定手法

土石流の発生機構	流域面積 5ha 未満	流域面積 5ha 以上
崩壊起因型	<p>【指標】：崩壊面積率＝ 10m メッシュごとの崩壊判定メッシュ数／流域全体の 10m メッシュ数</p> <p>【閾値】：谷出口より下流に土砂流出のあった溪流のうち、該当する土石流発生機構の事例をできるだけ多くカバーできる崩壊面積率を設定する。</p>	<p>【指標】：崩壊面積率（左に同じ）および地表面の流量（前述の地表面の流量計算による）</p> <p>【閾値】：崩壊面積率および地表面の流量の関係図上において該当する土石流発生機構の事例をできるだけ多くカバーできる境界線を設定する。</p>
溪床堆積土砂流動型	<p>土石流の発生実績は確認されていないが、安全な避難に配慮した判定とするため、崩壊起因型の判定を準用する。</p>	<p>【指標】：溪床堆積土砂流出率（前述の溪床堆積土砂量に代る指標の導入による）および地表面の流量（前述の地表面の流量計算による）</p> <p>【閾値】：溪床堆積土砂流出率および地表面の流量の関係図上において該当する土石流発生機構の事例をできるだけ多くカバーできる境界線を設定する。</p> <p>なお、溪床堆積土砂流出率の算定にあたっては土石流の代表粒径や土石流発生危険度 <math>q_*</math> の閾値を事前に設定する。</p>
複合型	同上	<p>上記の 2 つの発生機構の土石流判定について、いずれかが該当した場合に発生の危険性があると判定する（OR 条件）。</p> <p>このため、上記の 2 つの発生機構ごとの閾値設定において複合型の事例をそれぞれ含めて取り扱う。</p>

### 3.4 新たな土石流判定手法の妥当性検証

平成 26 年 8 月豪雨で土石流が多発した丹波市市島地区の土石流危険溪流（121 溪流）を対象に、これまでで検討した新たな土石流判定手法を適用して土石流の発生機構ごとに閾値を設定し、捕捉率や空振率などによって手法の妥当性を検証した。

#### (1) 閾値の設定

表 3.3 に示した新たな土石流判定手法により土石流の発生機構ごとに閾値を検討し図 3.9 にとりまとめた。

図 3.9 における閾値（ライン）は、氾濫を生じた土石流事例とそうでない事例をできるだけ良好に分離できるように設定したものである。

なお、溪床堆積土砂流出率の算定にあたっては、土石流の代表粒径を 30cm、土石流発生危険度  $q_*$  の閾値を 2 と仮定した上で検討を進めている。

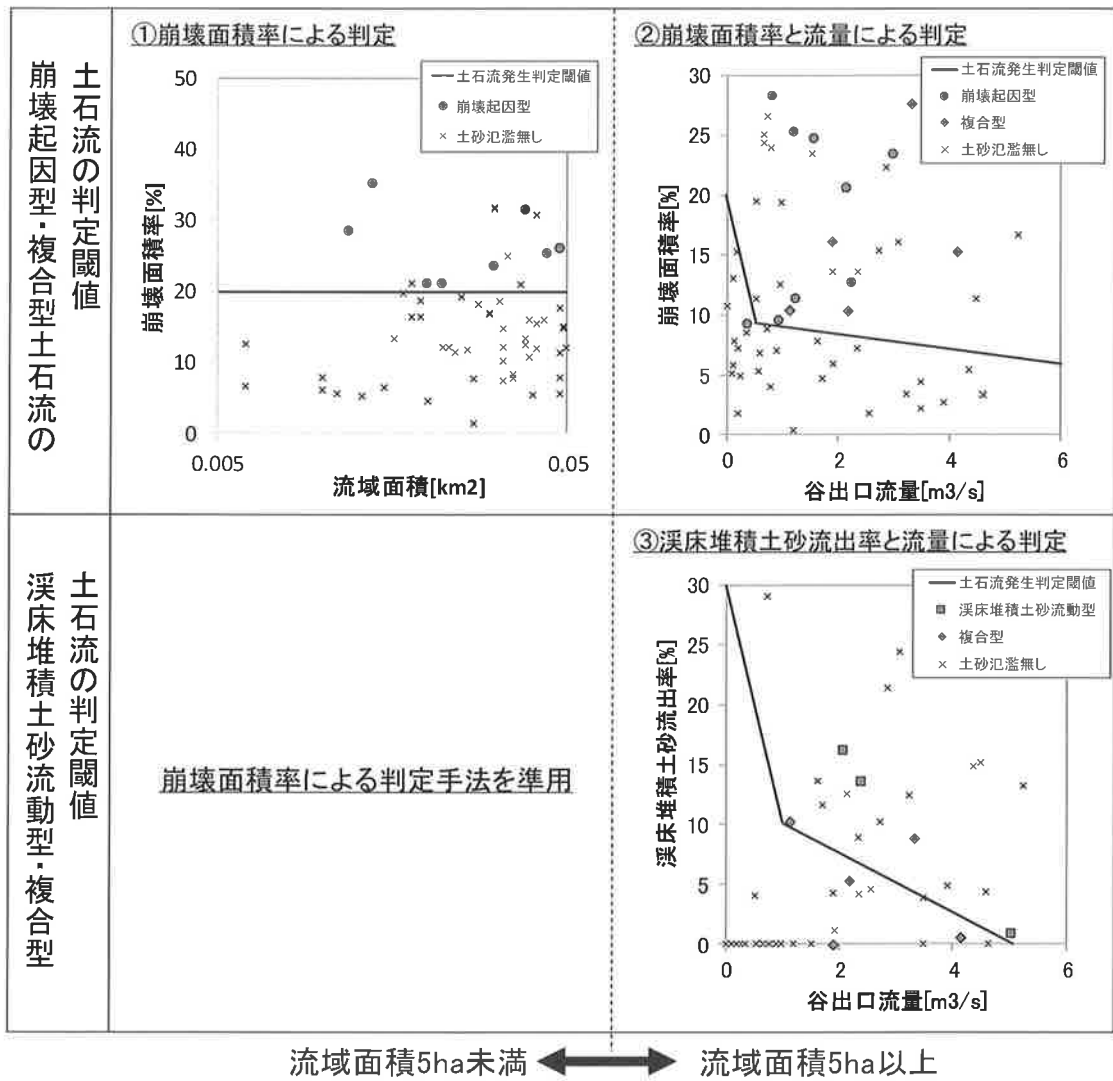


図 3.9 平成 26 年 8 月豪雨における丹波市土石流災害事例に基づく閾値の設定

(2) 捕捉率・空振率

以上までで設定した閾値について、土石流の発生機構ごとに捕捉率や空振率を整理し、表 3.4 および表 3.5 にとりまとめた。また、現行の判定方法と対比すると、捕捉率で現行の 92.3% から 96.2% に改善され、課題となっていた空振率で現行の 61.1% から 34.7% と大きく改善された。また、表 3.5 では発生機構ごとにみても空振率が改善されていることがわかる。

表 3.4 新たに検討した土石流判定手法による検証結果

分類(災害実績)	土石流発生機構	渓流数 (A)	システムによる土石流発生判定 渓流数 (B)	捕捉率 (%) (B/A)	空振率 (%) (B/A)
土石流発生	崩壊起因型	17	16	94.1	-
	渓床堆積土砂流動型	3	3	100.0	-
	複合型	6	6	100.0	-
	計	26	25	96.2	-
土石流非発生	-	95	33	-	34.7

表 3.5 各判定手法による空振率の改善結果

判定手法	対象とする 土石流発生機構	対象渓流数	現行手法の 空振率(%)	新たな手法の 空振率(%)
①崩壊面積率 による判定(5ha未満)	・崩壊起因型	58	36	12
②崩壊面積率と流量 による判定(5ha以上)	・崩壊起因型 ・複合型	62	91.1	35.6
③溪床堆積土砂流出率と 流量による判定(5ha以上)	・溪床堆積土砂流動型 ・複合型	53	91.1	33.3

### (3) 閾値超過のタイミング

閾値超過のタイミングについて、降雨の時系列に沿った超過判定渓流数の推移を図 3.10 にとりまとめた。

同図をみると、崩壊起因型土石流の発生タイミングは、降雨のピーク（図中①）からその1時間後に集中している。他方、溪床堆積土砂流動型土石流の発生タイミングについては降雨のピーク（図中①）に合致している。

いずれの土石流発生機構も降雨のピーク付近で判定が集中しており、土石流被害が多発したとされている AM2 時<sup>16)</sup>と概ね整合している。ただし、溪床堆積土砂流動型土石流で一部降雨ピーク前においても発生すると判定された渓流が認められる（図中②）。これは、前期降雨が少ない中で、短時間の高強度降雨による表面流の急激な増加が原因となって判定されたものと考えられるが、妥当な結果であるかどうか今後も詳細な検討を重ねる必要がある。

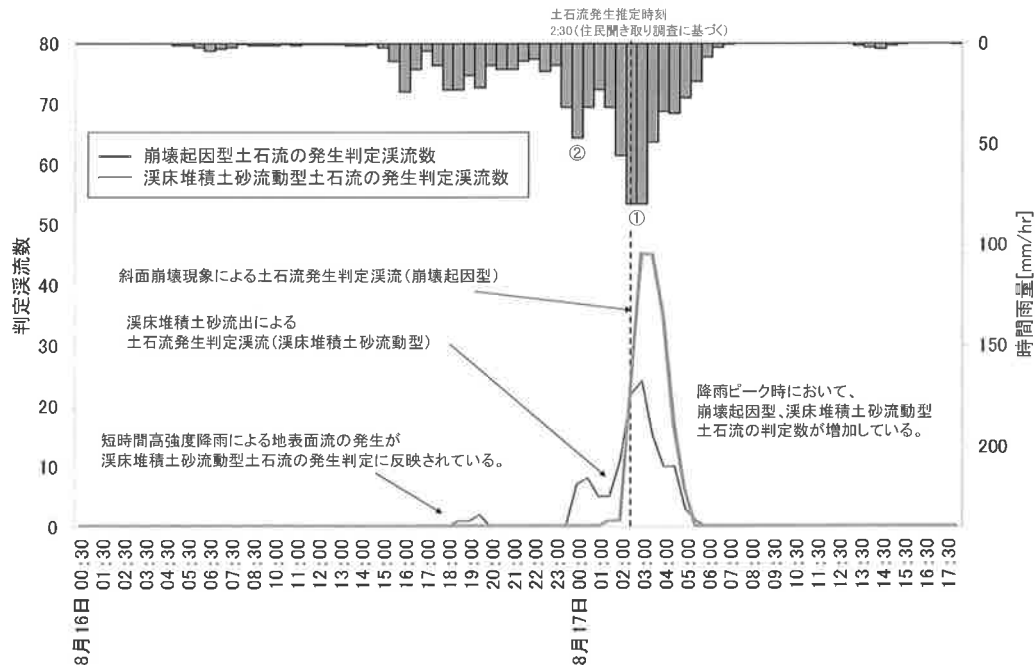


図 3.10 土石流発生判定結果と降雨の関係

## 4. おわりに

前報<sup>14)</sup>までは、崩壊の発生の「場」や「時」の予測に関する課題と対策について主に報告を重ねてきた。本報では、平成 26 年 8 月豪雨における土石流の多発事例を対象として現行の土石流判定手法の検証を行った結果、土石流の発生機構と関連した課題が確認されたため、土石流の発生機構を考慮した新たな土石流判定方法の検討を行いその結果について報告した。

検討の結果、丹波市域における崩壊起因型、溪床堆積土砂流動型、複合型の土石流に対し、それぞれの発生機構を反映した判定手法を適用することで現行の土石流判定手法の課題点であった空振率が半減し、さらに捕捉率についても向上した。

しかしながら、改善された空振率は未だ高い数値であること（約 35%）や、他地域への適用に際しては検証事例が丹波市の事例に限られているなどの課題が残っている。また、土石流発生危険度  $q_*$  の算定における平均粒径の設定方法や、判定タイミングが降雨のピークより早めに発生する事例の妥当性の検証など、今後も引き続き事例の検証を重ねて判定手法の改良を進めていきたい。

本プロジェクトの推進に関しては、兵庫県県土整備部砂防課の全面的なご支援を受けた。このような機会を与えていただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：報道発表資料、平成 29 年の土砂災害発生件数が確定しました～平成 29 年は過去 10 年で最大を記録～、平成 30 年 3 月 22 日
- 2) 気象庁：災害時気象報告（平成 29 年 7 月九州北部豪雨及び 6 月 7 日から 7 月 27 日までの梅雨前線等による大雨等）、災害時自然現象報告書 2018 年第 1 号、平成 30 年 2 月 7 日
- 3) 沖村孝・市川龍平：数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法、土木学会論文集、1985.
- 4) 沖村孝・鳥居宣之・尾崎幸忠・南部光広・原口勝則：豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築、新砂防、63（6）、4-12、2011.
- 5) Takashi OKIMURA, Nobuyuki TORII, Masatoshi MATSUMOTO, Mitsuhiro NANBU and Katsunori HARAGUCHI: Construction of the real-time hazard forecasting system in order to support evacuation from surface slope failure disasters caused by heavy rainfalls、International Symposium on Earthquake Induced Landslides and Disaster Mitigation at the 3rd Anniversary of the Wenchuan Earthquake、Chengdu、China、2011.
- 6) 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、119-137、2010.
- 7) 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、153-173、2011.
- 8) 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（3）、建設工学研究所論文報告集、54、159-183、2012.
- 9) 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、91-116、2013.
- 10) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則 ほか：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、45-66、2014.
- 11) 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、67-83、2014.
- 12) 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、17-36、2015.
- 13) 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、43-58、2016.
- 14) 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、58、29-39、2017.

- 15) 平成 26 年度 8 月 15 日から 18 日にかけての兵庫県の大雨について、神戸地方気象台、2014.
- 16) 松村和樹ら：2014 年 8 月の豪雨による兵庫県丹波市で発生した土砂災害、砂防学会誌、pp.68-1、2015.
- 17) 建設省河川局砂防部、土石流危険渓流および土石流危険区域調査要領（案）、1999.4.
- 18) Takahashi,T. : High velocity flow in steep erodible channels,Proc.IAHR Congress, Lausanne, pp.42-53, 1987.

## 著 者

沖村 孝	所員、理学博士、地盤工学
鳥居 宣之	所員(非常勤) 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
笠原 拓造	国際航業株式会社、砂防工学
江川 真史	国際航業株式会社、砂防工学
孝子 綸図	国際航業株式会社、砂防工学