

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)

Some Problems and Measures appeared during the Construction of the Real-time Hazard System for Slope Disasters at a Heavy Rainfall (5)

沖村 孝 鳥居 宣之 中川 渉 原口 勝則
Takashi Okimura Nobuyuki Torii Wataru Nakagawa Katsunori Haraguchi

笠原 拓造 山内 政也 嵯峨根 朋子 伊藤 正美
Takuzo Kasahara Masaya Yamauchi Tomoko Sagane Masami Ito

1. はじめに

2014 年 7 月 30 日から 8 月 26 日にかけて台風 12 号、11 号ならびに前線に伴う暖気流の影響により西日本の各地で豪雨が発生し、気象庁は、これら一連の豪雨に対し「平成 26 年 8 月豪雨」と命名した。平成 26 年 8 月豪雨による地域の降水量は、西日本地域において平年の 2 倍を超える月間降水量を記録した¹⁾。このうち 8 月 15 日から 17 日は、西日本から東日本に停滞する前線上を低気圧が東進し、南から暖かく湿った空気が流れ込み前線の活動が活発化して、大気が不安定化したことにより近畿地方では、降り始めからの総雨量が京都府福知山で 357.5mm、兵庫県丹波市で 280.0mm を観測し、土砂災害等により兵庫県で 2 名（丹波市、川西市 各 1 名）、京都府で 1 名の尊い命が犠牲となった。

また、8 月 19 日夜から 20 日朝は、北海道付近から対馬海峡付近にかけて南西の方向に停滞前線が延びており、前線に向かって日本の南海上から暖かく湿った空気が流れ込む状況にあった²⁾。このとき、広島市付近では、上空の寒冷渦の影響などで大気が不安定になるとともに、地表付近では南から暖かく湿った空気が流入する一方、上空 1,500m 付近や 3,000m 付近では強い南西の風となっていた³⁾。地表付近の南風は、広島市の西方の山地により地形性の上昇気流となって積乱雲を発生させ、これに上空の南西風とぶつかって積乱雲を強化しながら、風下である北東の方向に押し流した。これにより、積乱雲が連続的に発生する「バックビルディング現象」が起きたと考えられている³⁾。

この積乱雲は、被災地付近に停滞し、幅の狭い地域に局地的な大雨をもたらした。広島市安佐北区では 1976 年の観測開始以来最大の月最大 3 時間雨量 217.5mm（4 時 30 分更新）を記録した⁴⁾。一方で、ほぼ同じ時刻（1 時半から 4 時半まで）の他地域の雨量は、広島市中心部でも 50mm 以下の地域があるなど、大雨が局地的であったことがわかっている²⁾。この豪雨は、未明に発生した土石流などで 74 名の尊い命が犠牲になったほか、家屋や土木構造物などに対して甚大な被害をもたらす結果となった。また、この災害では、深夜における土砂災害の危険性に対する避難勧告発令の遅れや、土砂災害警戒区域指定が十分に進んでいないことも、問題点としてクローズアップされた。

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多い。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に崩壊が発生したり、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⁵⁾。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⁶⁾⁷⁾。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⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾で詳しく紹介した。また、このシステムの豊岡市における適用に際して生じた課題とその対応については、前報¹¹⁾で紹介した。本報告は、豊岡市に続いて、六甲山系とは異なる地形・地質への適用を試みた上郡町に関して、地域特性への対応方法について報告を行うものである。具体的には、上郡町において出現する代表的な地質である、相生層群や超丹波帯における泥岩・砂岩分布地域の崩壊特性や地質的な特徴などを考慮したモデルを作成したほか、上郡高原面の周縁部に多発する崩壊を再現するための検討と対応を実施した。その結果、再現計算において、捕捉率の高いモデルを構築することに成功した。

2. 2010 年報告⁸⁾における内容

2010 年報告では⁸⁾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) 土石流土砂災害警戒区域（土石流）への反映方法の検討

これらについては 2010 年報告⁸⁾で詳しく説明しているため、ここでは省略する。

3. 2011 年報告⁹⁾における内容

2011 年報告⁹⁾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。それらは以下の諸課題で、これらに関する対策の概要を述べた。

- 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

これらについては 2011 年報告⁹⁾で詳しく説明しているため、ここでは省略する。

4. 2012 年報告¹⁰⁾における内容

2012 年報告¹⁰⁾においては、その後の運用中に出現した課題について検討した。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

これらについては 2012 年報告¹⁰⁾で詳しく説明しているため、ここでは省略する。

5. 2013 年報告¹¹⁾における内容

2013 年報告¹¹⁾においては、このモデルを、これまで適用していない地形・地質条件を有する地域である豊岡市に適用する際に判明した課題と対策について適用を試みた。まず、地形・地質の特徴について整理するとともに、課題と解決方法について述べた。主な課題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

これらについては 2013 年報告¹¹⁾で詳しく説明しているため、ここでは省略する。

6. 地形・地質が異なる他地域への適用時に判明した課題と対策

6.1 検討対象エリアの概要

6.1.1 地形・地質

検討対象の上郡町は、準平原からなる西播磨山地に位置する、標高 300~400m の小起伏山地である。南北を流れる千種川沿いは浸食がすすみ、深い谷地形をなしている。また、リニアメントに規制された、西北西-東南東方向と北東-南西方向の谷が顕著に発達している。この地域の特徴は、後述するように台地上の地形が顕著なことである。図 6.1.1 に、上郡町の地形を示す。

地質は、白亜紀火山岩類の相生層群が主に分布しており、その他、白亜紀花崗岩類、古生代の超丹波帯堆積岩類、夜久野岩類などが分布している。

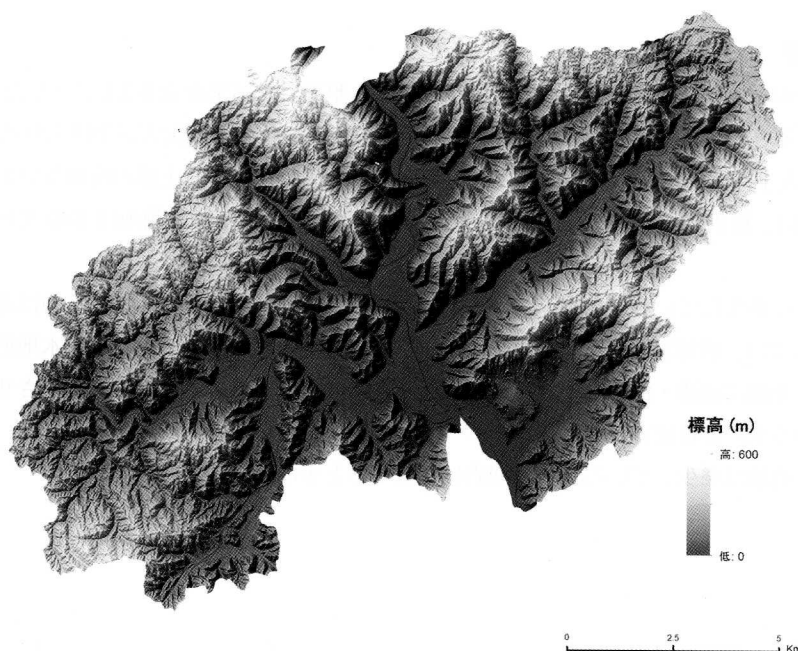


図 6.1.1 上郡町の地形 (10mDEM による標高マップ)

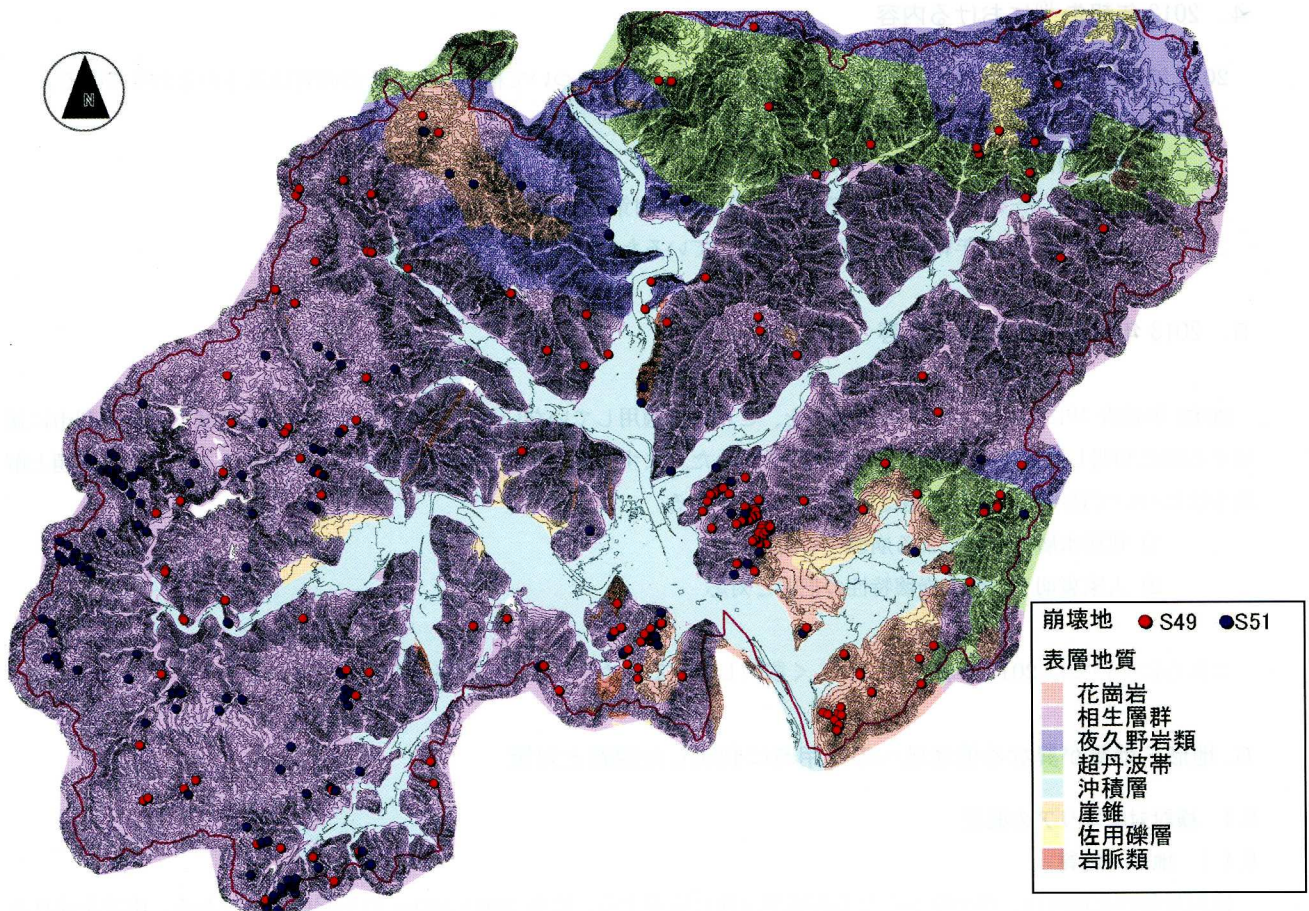


図 6.1.2 上郡町の地質と崩壊地の分布

図 6.1.2 には上郡地区の地質図ならびに昭和 49 年、51 年の崩壊地分布を示した。地質は相生層群が全体の 70% 程度を占め、残りを花崗岩、夜久野層群、超丹波帯の頁岩・砂岩が占めている状況である。

6.1.2 過去の豪雨災害

上郡市における過去の主要な豪雨災害について、既存資料から整理した結果を表 6.1.1 に示した。

戦後の災害記録によると、広範囲で発生した土砂災害は、S49、S51 年の台風災害が挙げられる。S49 年災害では、総雨量 285.5mm、最大 1 時間降水量 48.0mm であり、航空写真の確認により、上郡市南東部の正福寺で表層崩壊が集中した。S51 年災害では、総雨量 780mm、最大 1 時間降水量 34.0mm で斜面崩壊箇所は S49 よりも少ない傾向がある（写真判読による）。

比較的斜面崩壊が多く発生している S49 年災害についてみると、崩壊が多く発生しているのは花崗岩の分布域である（図 6.1.2 参照）。ここでは、頂部斜面直下の谷頭や上部谷壁斜面で崩壊が発生しており、集水地形をなしている箇所が多い。多量の降雨が表土層に浸透・飽和して崩壊が発生し、飽和による出水により表土を流下させるといったメカニズムで崩壊が発生しているものと推定される。

その他の地質でも、崩壊は発生しているが、花崗岩に比較すると少ない。

表 6.1.1 上郡町の過去の豪雨災害

発生年月日	災害の名称	災害の状況	概況
昭和 38 年 (1963 年) 7 月 11 日	梅雨前線	7/11 (梅雨前線による大雨) 千種川で濁流の水位が 3m に達し、上郡大橋を残し各地 (河野原橋、赤松大橋、苔縄橋、隈見橋) の橋梁が次々と流出。 千種川両岸の道路冠水。	<ul style="list-style-type: none"> ・期間降水量：169.5mm (千種：10 日 9 時～12 日 9 時) ・最大 1 時間降水量：31mm (千種：11 日 10 時)
昭和 45 年 (1970 年) 8 月 14-15 日 8 月 21 日	台風第 9 号 台風第 10 号	8/21 (台風 10 号) 各所で床下浸水、堤防崩壊、大枝新田橋・柳川橋等流失。 公共土木関係被害：150,000 千円、農林関係：50,000 千円、激甚災害の指定受ける。	<ul style="list-style-type: none"> ・日降水量：108mm (上郡：日界 9 時)
昭和 49 年 (1974 年) 7 月 6-7 日	台風第 8 号 梅雨前線大雨	全町の河川とため池が危険水位を突破、各所で河川の氾濫・決壊、橋梁流出及び山崩れ。 ●住家被害 全壊 2 戸/半壊 2 戸、床上 613 戸/床下 1,531 戸 ●その他被害 土木関係：676,613 千円 農林関係：809,395 千円 その他：223,003 千円	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 285.5mm ・連続降雨量 285.5mm ・最大 1 時間降水量 48.0mm ・日雨量 280mm (6 日 9 時～7 日 9 時) ・10 分間最大降水量 17.0mm (7 日 8 時)
昭和 51 年 (1976 年) 9 月 10 日	台風第 17 号 秋雨前線	9/8～9/13 各所で河川の崩壊・決壊、ため池決壊、また山崩れ、道路決壊が目立つ。 ●人的被害 死者 1 名 ●住家被害 全壊 4 戸/半壊 4 戸*床上 358 戸/床下 1108 戸 ●その他被害 土木関係：1,040,223 千円 農林関係：584,412 千円 水道関係：32,587 千円 その他：238,870 千円	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 780mm ・連続降雨量 646mm ・最大 1 時間降水量：34.0mm
昭和 51 年 (1976 年) 9 月 29 日	台風第 21 号	<災害救助法適用> 千種川の越水 床上浸水 215 戸 床下浸水 562 戸	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 217mm ・連続降雨量 212mm ・最大 1 時間降水量：29.0mm
昭和 51 年 (1976 年) 10 月 20 日	台風第 23 号	被害報告なし	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 162mm ・連続降雨量 93mm ・最大 1 時間降水量 11mm ・最大風速：22.9m/s(姫路)
平成 18 年 (2006 年) 7 月 15-20 日	梅雨前線	被害報告なし	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 180mm ・連続降雨量 77mm ・最大 1 時間降水量 14mm
平成 19 年 (2007 年) 7 月 12-14 日	台風第 4 号と 梅雨前線	停電 1200 世帯 佐用駅にて雨量計が規制値を超え、姫新線が 14 日に 4 本、15 日に 10 本が運休	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 166mm ・連続降雨量 83mm ・最大 1 時間降水量 20mm
平成 21 年 (2009 年) 8 月 9 日	台風第 9 号の 影響を受けた 大雨	8/9～8/10 千種川の越水・決壊 半壊 17 戸 床上浸水 41 戸 床下浸水 76 戸	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 180.5mm ・連続降雨量 139mm ・最大 1 時間降水量：23.5mm
平成 22 年 (2010 年) 5 月 23-24 日	比較的 まとまった雨	5/24 がけ崩れ H=1.2m、奥行き 2.0m	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 124mm ・連続降雨量 72mm (87mm) ・最大 1 時間降水量：15mm (6mm) ※ () 内は県土整備局報告書の値
平成 23 年 (2011 年) 9 月 2-5 日	台風第 12 号	被害報告なし	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 225mm ・連続降雨量 198mm ・最大 1 時間降水量：17mm
平成 23 年 (2011 年) 9 月 19-21 日	台風第 15 号	被害報告なし	<ul style="list-style-type: none"> ・総雨量 111.5mm ・連続降雨量 82mm ・最大 1 時間降水量：16mm

6.2 代表的な地質における崩壊特性とモデル構築上の課題

上郡町において出現する代表的な地質について、過去の災害関連資料や空中写真判読、地表踏査などをもとに崩壊特性について整理し、リアルタイムハザードシステムの適用にあたっての課題を整理した。

6.2.1 相生層群における崩壊特性

相生層群における地形地質の概要と崩壊特性について表 6.2.1 にとりまとめた。

表 6.2.1 相生層群における崩壊の特性およびモデル構築上の課題

相生層群		
表層崩壊の分布		
模式断面図		
地形	上郡町の北部および南東部を除く山地～丘陵地。 山頂は急峻で山麓は緩斜面。樹枝状の溪流が発達する。	
地質	白亜紀後期の火山岩類：相生層群 主に流紋岩質溶結凝灰岩 比較的風化に強く、風化層は薄い。初生ないし構造的な高角度節理が発達 風化するにつれ開口割れ目となりやすい。	
斜面崩壊状況	発生数	少ない (S49 年災害)
	平面位置	<ul style="list-style-type: none"> ・狭小に延びる頂部斜面直下の上部谷壁斜面に崩壊が多発している。 ・崩壊地周辺は概ね植林地であるが、植樹から間もないため、幼木が分布するのみで、植生に乏しい。
	断面位置	<ul style="list-style-type: none"> ・斜面形態は概ね谷型凹状を呈する。 ・崩壊地の勾配は 40～50° 程度の急傾斜面である。
	崩壊形態	<ul style="list-style-type: none"> ・崩壊地の規模は幅 5～20m、長さ 10～30m、深さ 0.5～1m が多い。 ・流出土砂は土石流となり、下流域まで斜面を削りながら流下したため、崩壊規模を大きくした。
崩壊メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> ・植生が未発達で、根系による表土の緊縛抵抗が低下していたところに、多量の降雨が表層に浸透して飽和したため、表層崩壊が生じた。 	

