

京都府亀岡市千歳町を対象とした 土石流による影響範囲とソフト対 策の検討

中谷 加奈¹・天羽 勝巳²・藤本 祥之³・里深 好文⁴・藤田 正治⁵

Study on debris flows influence area and evacuation planning:
case study in Chitose-cho, Kameoka City,
Kyoto Prefecture, Japan

Kana NAKATANI¹ Katsumi AMOU², Yoshiyuki FUJIMOTO³,
Yoshifumi SATOFUKA⁴ and Masaharu FUJITA⁵

Abstract

When sediment disasters due to heavy rain occur, debris flows may occur almost coincidentally in close area such as Hiroshima disaster in 2014. From recent studies, houses existence may change the influence area. However, local government often plan the disaster reduction scenario on each torrent, and don't consider the houses influence. In this study, we conducted debris flow simulation using Hyper KANAKO system in Chitose-cho, Kameoka City, Kyoto Prefecture, Japan. We conducted simulation with and without considering houses to determine the influence area and compared with designated hazard area. We also considered the planned non-structural countermeasures safety on location and on time, such as evacuation route and shelters. The results showed that there are both safe area and dangerous area in designated hazard area. Prefectural road is not suitable for evacuation route. Some shelters were safe but some shelters might face danger.

キーワード：土石流，影響範囲，家屋，ソフト対策，数値シミュレーション

Key words : debris flow, influence area, houses, evacuation planning, numerical simulation

¹ 京都大学大学院農学研究科
Graduate School of Agriculture, Kyoto University

² 京都府建設交通部砂防課
Kyoto Prefecture, Construction Transportation
Department, Sabo Division

³ 亀岡市総務部自治防災課
Kameoka City, General affairs Department, Disaster
Prevention Division

⁴ 立命館大学理工学部
Department of Civil Engineering, Ritsumeikan University

⁵ 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. はじめに

日本全国に土石流危険渓流が十数万も存在し、危険渓流が隣接する地域も多い^{例えば1,2)}。豪雨による土石流発生時には、隣接する渓流からはほぼ同時に土石流が多発する事態が想定され、2014年8月に発生した広島土砂災害³⁾や兵庫県丹波市の土砂災害⁴⁾でも確認された。

土石流による被害軽減には、ハザードマップ作成や宅地規制、避難によるソフト対策が重要となるが、そのためには影響範囲を正確に把握する必要がある。通常、地方自治体が特別警戒区域(レッドゾーン)や警戒区域(イエローゾーン)を設定する際、勾配や過去の災害履歴や現地調査を基に各渓流を個別に検討する⁵⁾。警戒区域内に存在する家屋などの建物の影響や、隣接する渓流の影響や同時多発の事態は考慮しないことが多い。

土石流による影響範囲(土石流による水、土砂が到達した範囲)の検討には、数値シミュレーション^{6,7)}が有効である。近年では地形データ及びシミュレーションシステムの精度向上やUI(User Interface)の実装によるシステムの操作性の向上から⁸⁾、家屋を考慮した検討方法の提案や災害事例との検証が容易に行われ、その妥当性が確認されている^{例えば9,10)}。一方で、個別の渓流を対象とした検討は多数見られるが、地域全体を対象とした影響範囲やソフト対策について検討した事例は殆どない。

本検討では、京都府亀岡市千歳町の土石流危険渓流を対象としてHyper KANAKOシステム^{8,11)}を用いて土石流数値シミュレーションを実施した。解析では、家屋考慮の有無による影響範囲の違いや、警戒区域との対応を検証した。また、ソフト対策について、避難経路として想定される府道や避難場所の安全性を検討した。

2. 対象地と計算条件

本検討で用いたHyper KANAKOシステムでは、流れ方向のみを計算する二次元領域の土石流シミュレーションの支配方程式は(1)~(4)で構成される。

運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_b}{\rho_m h} \quad (1)$$

水・土砂を含めた全容積の保存式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} = i_b \quad (2)$$

土砂の体積の保存式

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial Chu}{\partial x} = i_b C_* \quad (3)$$

河床の連続式

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i_b = 0 \quad (4)$$

ここに、 h ：流動深、 u ：流速、 g ：重力加速度、 H は流動面標高で $H=h+z$ 、 z ：河床高、 C ：流動層濃度、 t ：時間、 C_* ：河床堆積物の体積濃度、 ρ_m ：流体相密度、 τ_b ：河床面せん断力、 i_b ：侵食・堆積速度である。二次元領域では、横断方向も考慮した式となる。

土石流シミュレーションに特徴的な運動方程式中の河床面せん断力、河床位方程式中の侵食・堆積速度は、本システムでは高橋モデル⁶⁾を採用している。高橋モデルでは急勾配の土石流領域から、掃流状集合流動(土砂流)、掃流砂までの移動形態を計算できる。

土石流の発生・流動から下流への氾濫・堆積の一連の挙動を表現するには、谷による地形の拘束を受ける山地渓流(流下方向のみに移動)の二次元領域から、谷による地形の拘束が無くなり土石流が流下方向だけでなく横断方向にも広がる二次元領域(扇状地や住宅地など)を連続的に解析する手法が有効で、和田らは境界部の相互の影響までを考慮した結合モデル⁷⁾を提案している。Hyper KANAKOでは結合モデルを採用することで、土石流の発生・流動から氾濫・堆積までを統合的に扱えるシステムとなっている。

2.1 対象地の概要

対象とした京都府亀岡市千歳町では、15の土石流危険渓流が指定されている。警戒区域の下流側を南北に縦断するように府道亀岡園部線が伸びて、この道路は災害時に車を用いた避難経路とし

て想定されている。山側の府道より東側には家屋が多く、府道より西側には田畑が多く存在する (Fig. 1, 1-15は溪流番号)。Fig. 1の背景図は京都府より提供されたオルソ画像、及び一部は国土地理院の発行する2万5千分1地形図である。

溪流6, 10, 14の三溪流は流域面積が小さく、山地の谷部分が明瞭でないことから解析対象から除外して、その他の12溪流を対象として解析を実施した。地形条件は国土地理院が公開する10mメッシュのデータを利用した。Fig. 1には家屋を考慮する場合の位置 (国土地理院の基盤地図情報参照)、計算で設定する谷部の一次元領域、住宅

などが存在する扇状地の二次元領域を合わせて示す。対象とした12溪流は谷地形が明瞭であったため、砂防基準点付近を一次元領域と二次元領域の境界とした。

対象地区には砂防堰堤や床固め等の砂防施設が多数存在する。その殆どは昭和40年代前後に造られて通常出水により空き容量が殆どなくなっており、地形判読からも施設ではなく地形と殆ど変わらない条件となる。このため、本検討では施設を考慮せずに解析を実施した。ただし、溪流7, 8は平成23年と25年に砂防堰堤が完成したため、下流への土砂流出は本解析結果より抑制されることが期待される。

2012年には千歳町から約6km南西に位置する亀岡市南条地区で土石流が発生して、京都学園大学のグラウンド付近の道路まで土砂が流出した。また、土石流は主に河床の侵食によって発達したこと、侵食深は1-3mであったことも報告されている⁹⁾。

2.2 計算条件

土石流の数値シミュレーションを実施する際には土砂を設定する必要がある。本検討では、2012年の亀岡市南条の土石流事例⁹⁾を参考に、土石流侵食深が1-3mであったことから、谷部 (一次元領域) の移動可能土砂厚を2mとした。代表粒径は10cmとした。現地調査からも (Photo 1, 溪流8の一次元領域下端付近) この設定は概ね妥当

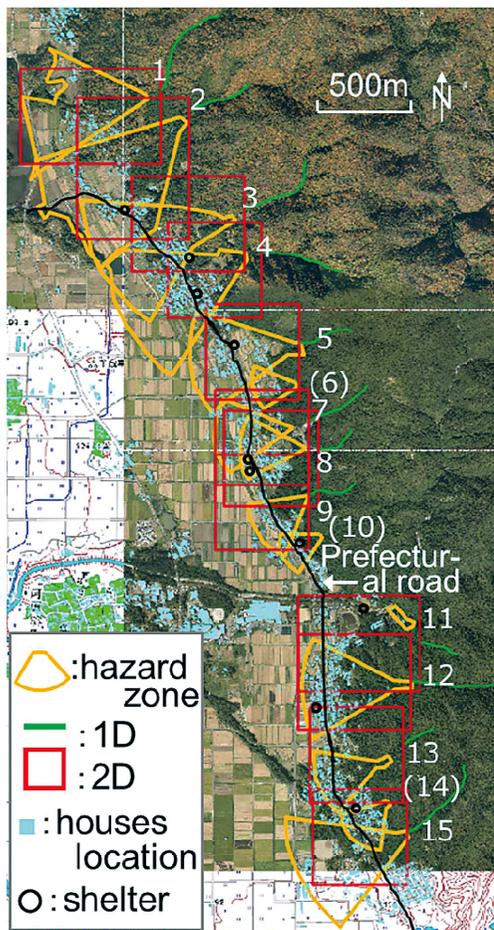


Fig. 1 Debris flow hazard zone designated by Kyoto Prefecture and simulation target area (1-15 shows the torrent number)



Photo 1 River bed surface on torrent 8 from field survey

と考えられる。対象地域の谷部（山側）の地質の殆どは付加体で、一部は付加コンプレックスのチャートブロックである¹²⁾。一次元領域の河道幅は一律10 mとした。各流域での移動可能土砂量（空隙込・m³）は

{ 溪流長 (m) × 河道幅 (m) × 移動可能土砂厚 (m) }
で算出される。

土石流シミュレーションには、土砂だけでなく水の供給、すなわちハイドログラフの設定が結果に大きく影響する要因である。降雨流出を検討する際、河川などの比較的大きな流域（流域面積10 km²以上など）では流出解析が有効な手法である。しかし、本研究で対象とするような山地溪流は流域面積が1 km²よりも小さい場合が多く、既往検討からも流出解析の結果と実測値の整合性が取れない場合があることが報告されている¹³⁾。そこで、本検討では雨量と流域面積から推定する手法⁹⁾を採用し、対象とする降雨データは100年確率の時間雨量とした。京都地方気象台の雨量データ（1930-2015年）から岩井・石黒の方法¹⁴⁾を用いて算定した100年確率の時間雨量は88.9 mm/hrだった。この時間雨量は、京都地方気象台の1916-2015年の期間に観測された時間雨量の最大値（88.0 mm/hr, 1980年8月26日）と同程度である。次に88.9 mm/hrの降雨が各溪流の流域面積全体に流出率0.7（山地）で流出した場合の総流量を算出した。日本で観測された土石流事例から 例えば¹⁵⁾、土

石流の継続時間（上流端供給水量の継続時間）を360秒として、供給ハイドログラフを作成した。上流からは水のみを供給して、設定した移動可能土砂が侵食されて土石流が発生・発達するシナリオを想定した。

解析対象とした溪流の流域面積、供給ハイドログラフのピーク流量、設定した移動可能土砂量、一次元領域の計算点数、二次元領域の計算点数（流下方向×横断方向）を Table 1に示す。一次元領域の計算点間隔は5 m、二次元領域は5 m × 5 mである。二次元領域には移動可能土砂は設定していない。

上流端から供給した各溪流のハイドログラフを Fig. 2に示す。その他、計算に用いたパラメータを Table 2に示す。

2.3 計算ケース

既往検討から、扇状地の家屋を考慮することが土石流の影響範囲に影響することが示されている一方で、警戒区域の設定では家屋などの建物の影響は考慮されないことが多い³⁾。そこで、家屋を考慮しない Case1（元地形）と、地盤高を上げる手法で家屋を考慮した Case2（二階建てを想定して6 m上げる）で解析を実施して（Table 3）、影響範囲の違いや設定された警戒区域との対応を確認した。また、解析対象の12溪流で同時に発生する事態を想定して、対象地域での道路や避難場所

Table 1 Torrent specifications and simulation settings

Torrent No.	Basin (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Movable sediment (m ³ , including void)	1D simulation point number	2D simulation point number (flow direction × cross direction)
1	0.23	48.0	11,200	112	152 × 104
2	0.36	74.3	7,800	78	122 × 104
3	0.28	58.2	9,400	94	122 × 104
4	0.29	60.8	9,300	93	102 × 104
5	0.18	36.7	6,100	61	102 × 104
(6)	(0.04)				
7	0.10	20.8	7,600	76	102 × 104
8	0.07	13.7	4,700	47	102 × 104
9	0.07	14.0	5,500	55	102 × 104
(10)	(0.03)				
11	0.04	7.5	4,500	45	132 × 104
12	0.27	56.1	13,100	131	122 × 104
13	0.06	11.8	3,800	38	102 × 104
(14)	(0.04)				
15	0.19	49.3	10,300	103	102 × 104

への到達の有無, 到達時刻から, 現状で想定されているソフト対策を検討した。

3. 計算結果

計算終了時における痕跡 H (水深 + 堆積厚の最大値) を Fig. 3 に, 計算終了時の堆積厚を Fig. 4 に示す。痕跡 H を前述のように定義したのは, 堆積が生じると河床高が初期状態から変わることから, 最大流動深だけでは実際に水・土砂が到達

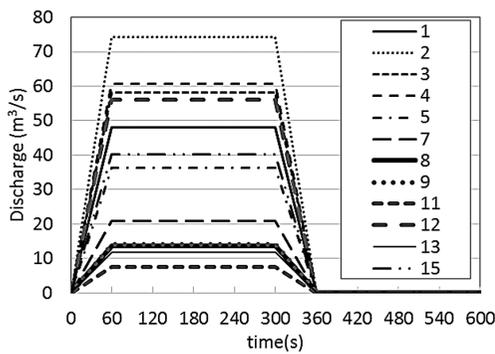


Fig. 2 Supplied hydrograph from upstream (1-15 shows the torrent number)

Table 2 Simulation parameters

Parameters/Variables	Value	Unit
Simulation time	600	s
Time step	0.01	s
Diameter of material	0.1	m
Mass density of bed material	2650	kg/m ³
Mass density of fluid (water and mud, silt) phase	1000	kg/m ³
Concentration of movable bed	0.65	
Internal friction angle	35	deg.
Acceleration of gravity	9.8	m/s ²
Coefficient of erosion rate	0.0007	
Coefficient of deposition rate	0.05	
Manning's roughness coefficient	0.03	s/m ^{1/3}
1D area interval	5	m
2D area interval (flow direction × cross direction)	5 × 5	m × m

Table 3 Simulation cases

Case	Houses condition
Case1	Without houses
Case2	With houses

する影響範囲や最大水位が表現できないためである。Fig. 3, 4には指定された警戒区域, 及び府道亀岡園部線, 対象地域に存在する避難場所を合わせて示す。

3.1 影響範囲の検討

結果から, 家屋の有無に関わらず, 20 cm 以上の痕跡 H を示す範囲は指定された警戒区域内に収まる。しかし, 警戒区域全体に到達するのではなく, 場所によって痕跡が大きな場所, 痕跡が小さな場所や到達しない場所も見られる。また, 府道には Case1 と Case2 とも土石流が到達した。

Case1 と Case2 を比較すると, 溪流 1 のように殆ど違いがないものもあったが, 多くの溪流で家屋考慮の有無で影響範囲が異なった。違いが出た溪流では, 家屋を考慮した Case2 では Case1 と比べて上流側で大きな痕跡を示す一方で, 下流では範囲だけでなく値も小さくなった。

溪流 2, 4, 12, 13 では家屋無しの場合の方が警戒区域の下流にまで到達した。一方, 家屋有りの Case2 では家屋が存在することで流れが阻害されて家屋周辺で横断方向に広がるため, 下流にまで到達する範囲は家屋無しの場合と比べて少ない。溪流 5 では, 家屋有りの Case2 で扇状地の中流部で流れが広がり, 下流の西方向へは北側と南側に流れが二つに分かれて到達した。溪流 9 では家屋が存在すると流れが南側に集中した。

堆積厚は, 両ケースとも谷出口 (一次元領域の下端) から警戒区域の中心線部に多く見られる。家屋を考慮した Case2 では, 警戒区域の上流側で顕著に堆積して, 下流側の堆積範囲や値が小さくなる溪流 (4, 5, 8, 9, 12 など) が見られる。これは, 家屋が存在することでその上流側で堆積が発生しやすくなること, 家屋の周辺に広がるのが要因だと考えられる。

以上より, 警戒区域の範囲内でも, 危険な場所と比較的安全な場所が存在して, その違いには家屋考慮の有無が影響する。建物の影響で土石流の氾濫・堆積範囲が変わることは既往災害でも確認されており^{3,9)}, きめ細かな検討を行うには家屋を考慮することが必要だと考えられる。

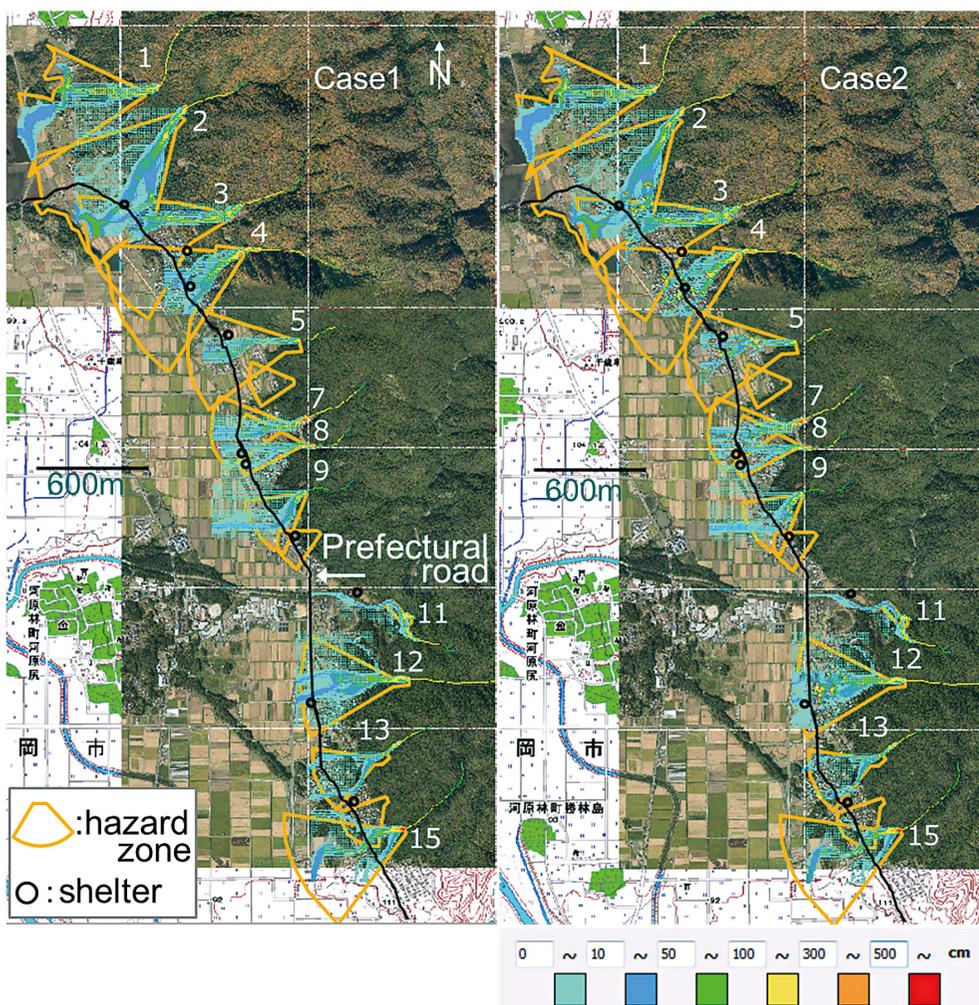


Fig. 3 Result of maximum flow depth and deposition thickness

3.2 ソフト対策の検討

解析対象の12溪流で同時に発生する事態を想定して、現状のソフト対策について道路や避難場所への土石流到達の有無、到達時刻を検討した。対象地で指定されている避難場所は10箇所である。

Table 4には府道亀岡園部線への流動深、堆積の到達時刻を、Table 5には避難場所（北から順に示す）の名前、溪流番号と合わせて流動深、堆積の到達時刻を示した。Table 4, 5の出力間隔は10秒で、流動深は10 cm 以上が到達した時刻を示す。

(1) 道路への影響

Fig. 3でも示されたが、家屋の有無に関わらず全ケースで10 cm 以上の流れが道路に到達した。一方で堆積は発生しないケースも見られた。このことから、土石流発生時に避難経路として亀岡園部線を利用することは難しいことが示された。家屋の有無によって、道路への到達時刻が変わらない溪流（1, 3, 8, 11）、早くなる溪流（2, 7, いずれも10秒差）、遅れる溪流（20-40秒程度が多い）が見られた。

なお、本検討はあくまで土石流の到達を検討し

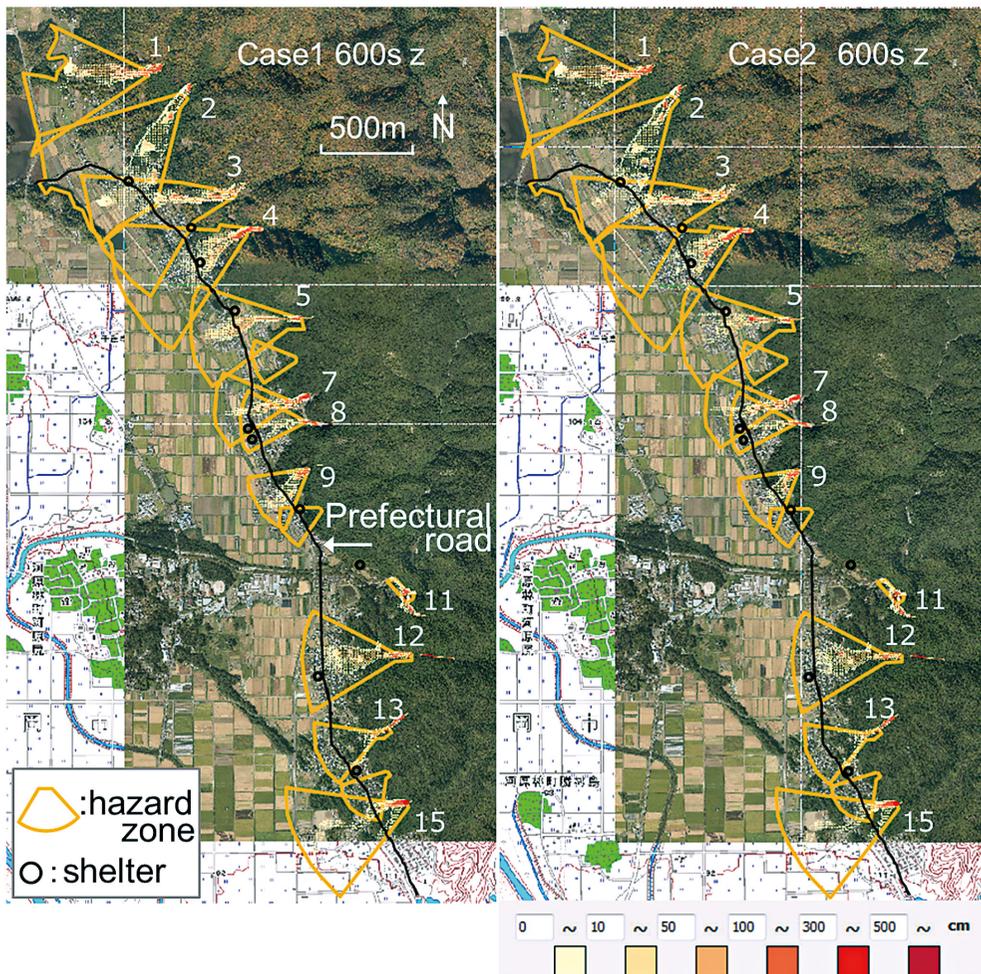


Fig. 4 Result of deposition thickness after the simulation

ているが、実際に土石流が発生するような豪雨では雨水による冠水も想定され、より危険側になると推測される。

(2) 避難場所への影響

土石流が発生した場合、流れが到達する避難場所が存在した。小口区会議所、出雲公民館（家屋無しの Case1のみ）、北谷区生涯学習センター、国分公民館の4箇所である。土砂災害への避難場所として位置を見直す必要がある。一方、どの場所も殆どが50 cm までの痕跡であることから、頑丈な構造物で二階建て以上であれば、災害発生前に移動を行い二階に避難することも選択肢の一つ

になりうる。

出雲公民館は、家屋を考慮した Case2では避難場所には到達しなかったが横の道路を流れた。七谷川野外活動センターでは、家屋考慮の有無に関わらず避難場所には到達しなかったが、横の流路を流れた。このような場合、避難場所そのものは安全でも経路の安全性を検討する必要がある。家屋の有無によって、到達時刻が変わるものもあるが、出雲公民館以外は到達の有無は変化しなかった。

(3) タイミングの検討

既往研究から家屋を考慮する方法が効果的と考

Table 4 Debris flow arrival time at Prefectural road

Torrent No.	Case 1		Case 2	
	Flow larger than 10 cm (s)	Deposition (s)	Flow larger than 10 cm (s)	Deposition (s)
1	180	190	180	190
2	300	300	290	300
3	220	290	220	290
4	210	240	210	280
5	150	210	170	250
7	210	270	200	260
8	190	didn't arrive	190	didn't arrive
9	240	250	240	290
11	600	didn't arrive	600	didn't arrive
12	240	430	260	470
13	230	440	240	didn't arrive
15	170	180	180	180

Table 5 Shelter specifications showing from the north side and debris flow arrival time

Name	Torrent No.	Case1		Case2	
		Flow larger than 10 cm (s)	Deposition (s)	Flow larger than 10 cm (s)	Deposition (s)
Koguchi-Sho-Kaigisho	2	310	310	300	300
Izumo-daiku Assembly Hall	3,4	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive
Izumo Community Center	4	360	340	didn't arrive	didn't arrive
Kitataniku-Lifelong Learning Center	5	150	200	170	230
Nakamura Farming Assembly Hall	7,8	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive
Chitose-cho Community Hall	7,8	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive
Eshimari Community Center	9	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive
Nanatani-gawa Outdoor Activity Center	11	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive
Kokubu Community hall	12	250	440	290	didn't arrive
Bishamon-ku Lifelong Learning Center	13,15	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive	didn't arrive

えられたため、以降は Case2のみを対象として同時多発の土石流による影響を考察する。解析は各溪流で個別に実施したが、結果を合わせて地域全体を見ることで同時に多発した場合のシナリオが検討できる。Fig. 5-7に計算開始から180秒、240秒、300秒後の10 cm以上の流動深、堆積厚を示す。

10 cm以上の流れは180秒までは溪流5を除いた11溪流では府道まで達しない。溪流5はTable 4に示すように170秒後に流れが到達する。このことから180秒までは、溪流4から北上、溪流6から府道を南下して移動することも可能である。避難場所は溪流5に位置する北谷区生涯学習センターも170秒後に流れが到達して180秒では10~20 cmの流動深が確認される。このことから、180秒から北谷区生涯学習センターへ避難することは

危険になる。

一方、240秒まで経過すると、溪流11と12を除く10溪流で府道に10 cm以上の流れが到達する。また、溪流1、15では堆積も道路上で確認されることから、240秒には道路を使用することは困難になる。避難場所は、溪流5の北谷区生涯学習センターに堆積が発生するため、この施設は180秒よりも危険となる。

300秒経過すると、道路から離れた溪流11を除く溪流で全て10 cm以上の流れが到達する。10 cm以上の流れが到達した溪流では、溪流8、12、13以外の8溪流で10 cm未満の堆積が道路上に確認される。避難場所は、溪流12の国分集会所に10 cm以上の流れが到達することから、この避難場所に300秒以降に避難することは危険となる。

同じタイミングで各溪流から土石流が発生した

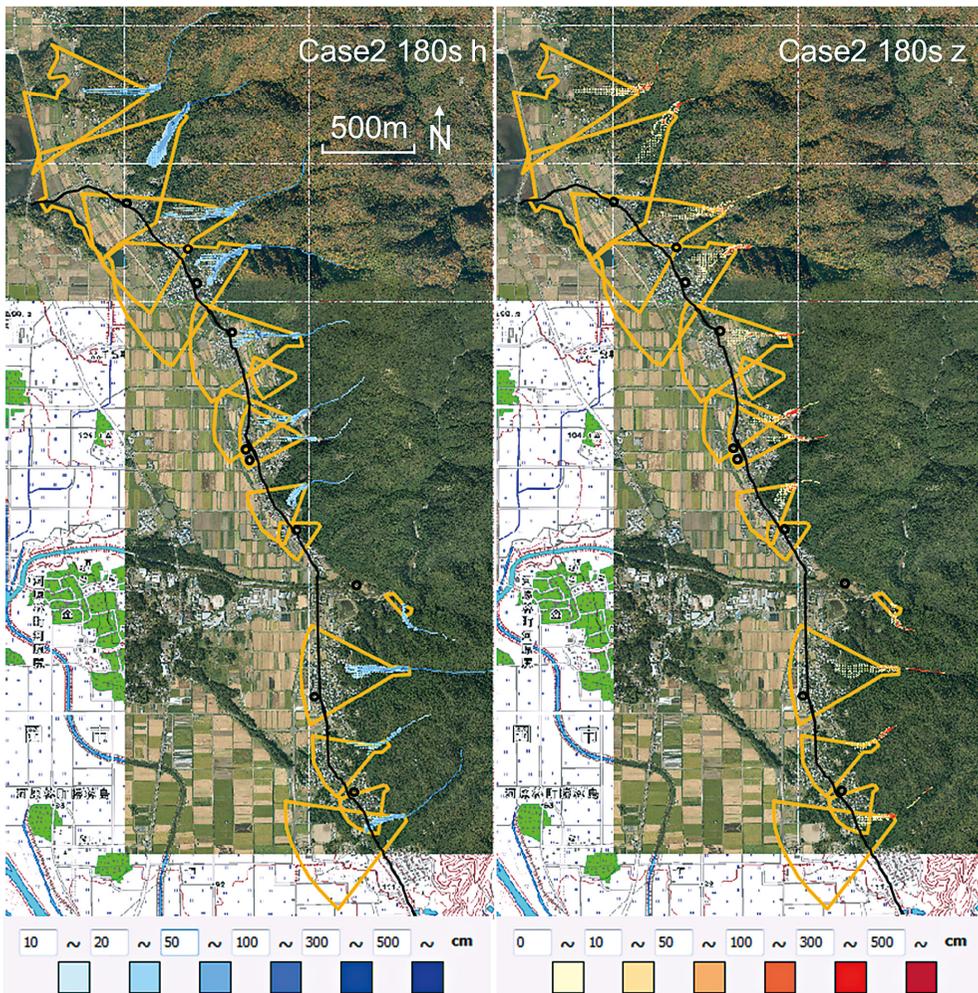


Fig. 5 Case2 result of flow depth and deposition thickness in 180s (left: flow depth, right: deposition thickness)

場合、3分までは道路を使った移動が可能だが、4分後にはほとんどの溪流で10 cm以上の流れが到達し、5分後には土砂堆積も生じることから、4分以降は道路を使用しない方が安全である。避難場所は、北谷区生涯学習センター以外では、3分までは10 cm以上の流れが到達しない。

災害発生前の避難が望ましいことは言うまでもないが、仮に発生タイミングが同じであった場合、溪流5の北谷区生涯学習センター以外の避難場所については、発生から3分までは移動を行うことも選択肢の一つに入れられると考えられる。

4. おわりに

本検討では、京都府亀岡市千歳町に存在する土石流危険溪流を対象として土石流数値シミュレーションを実施した。解析では、家屋考慮の有無による影響範囲の違いや、警戒区域との対応を検証した。また、土石流が同時多発した場合のソフト対策について、避難経路として想定される府道や避難場所の安全性を検討した。

結果から、家屋考慮の有無によって影響範囲は異なったが、20 cm以上の痕跡を示したのは警戒区域内だった。警戒区域の範囲内でも、高い痕跡

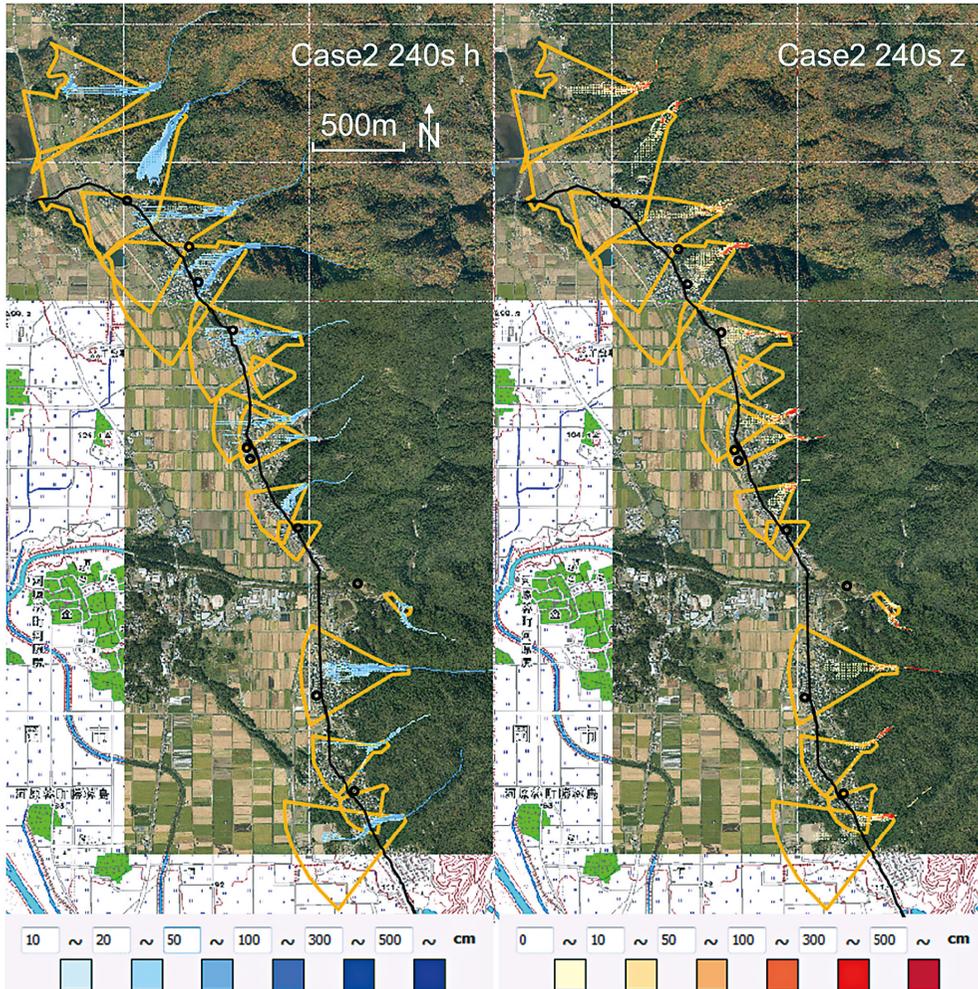


Fig. 6 Case2 result of flow depth and deposition thickness in 240s (left: flow depth, right: deposition thickness)

を示す危険な場所と、痕跡が付かないあるいは小さい安全な場所が存在した。家屋を考慮すると、家屋の上流側の顕著な堆積による高い痕跡が確認された。家屋が存在すると流れが阻害されて家屋周辺を回りこむ流れや堆積が発生して、下流での影響範囲や値が減少した。対象地域で避難経路として想定される府道は、土石流が発生した場合には、3分までは到達しないが4分以降はほぼ全ての溪流で10 cm以上の流れが到達すること、流れが到達する溪流の多くで道路上の堆積も確認された。このため、府道は土石流発生時の避難経路に

は適さないが、同時多発のシナリオを検討した場合には、発生後3分までは溪流4から北上、溪流6から南下することも一つの選択肢である。避難場所は、流れや堆積が発生する場所も存在した。また、避難場所には到達しなくても、その横の道路や流路を流れるケースも見られて、避難経路にも留意する必要がある。溪流5に位置する北谷区生涯学習センターは170秒後に流れが到達することから、土石流発生後にこの場所へ避難することは危険である。その他の避難場所は、180秒では到達しないため、府道と同様に同時多発シナリオ

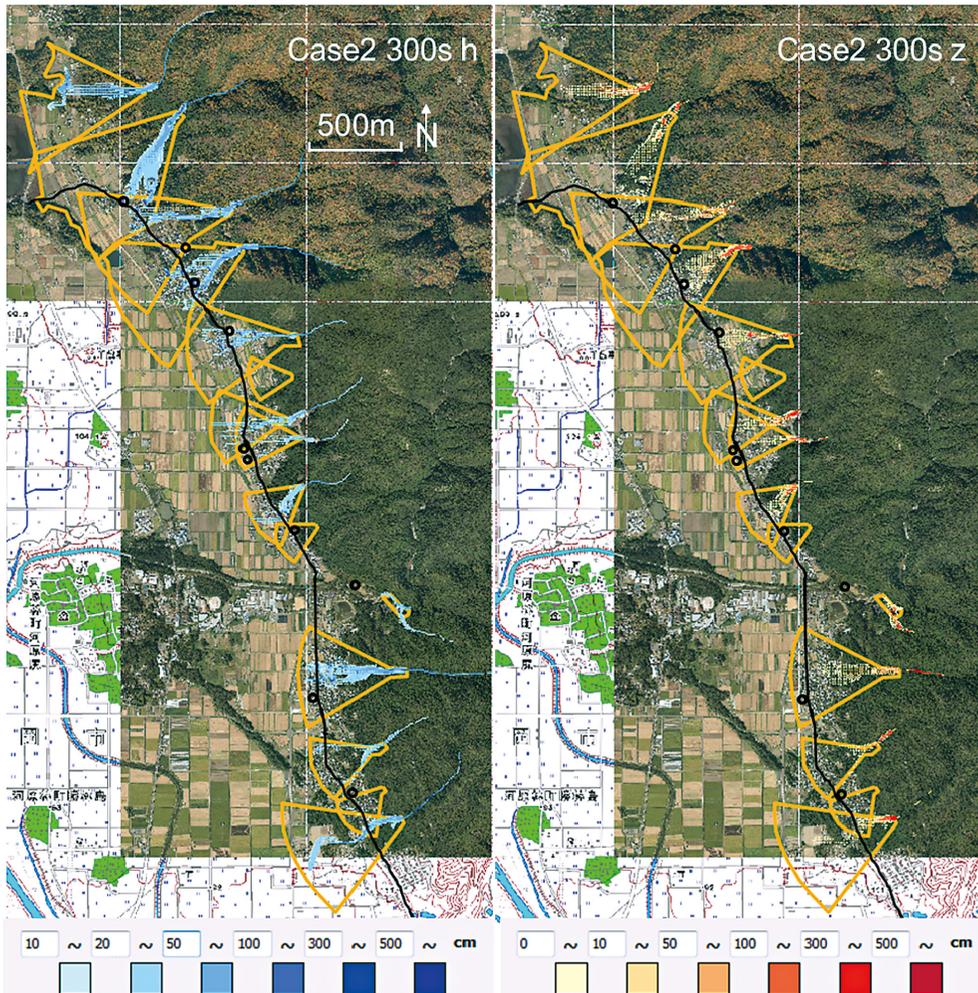


Fig. 7 Case2 result of flow depth and deposition thickness in 300s (left: flow depth, right: deposition thickness)

でもし発生後に避難場所へ移動するのであれば、180秒が目安となる。それ以降は、無理に避難場所に移動するよりも、土石流が影響しない近所への避難、自宅での垂直避難などが安全と考えられる。

本検討では、家屋を破壊されない頑丈な構造として地盤高を上げる手法を採用した。近年、RC構造など強度の高い住宅は多く、本検討で想定する土石流規模では、破壊が生じずに建物の存在によって流動・堆積範囲が変わることが妥当だと推測される。しかし、谷出口付近に強度が弱い木造

家屋などが存在する場合や、土石流規模が大きい場合には破壊が生じる可能性も十分にあることから、家屋破壊や部分破壊を考慮した検討も今後必要である。

また、実際に100年確率降雨が発生した場合でも、土石流は必ず発生する訳ではない。土石流の発生の有無、発生タイミングは現状でも研究途上の課題である。本検討では、比較的大きな降雨によって土石流が発生した状況を想定して、下流への影響を検討した。しかし、土石流などの土砂災害を検討する際、特に避難を検討するにはタイミ

ングは欠かせない情報である。今後は、CLラインや半減期を設定した降雨指標を用いて発生タイミングを検討した^{例えは16)}後に、土石流数値シミュレーションを実施して繋ぎ合わせるなどの方法を用いた統合的な検討を目指す。

謝辞

本研究は、平成27年度京都府受託研究「土砂災害情報高度化検討」及びJSPS科研費15K16312の助成を受けたものです。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 京都府建設交通部砂防課，土砂災害警戒箇所点検マップ
http://dobokubousai.pref.kyoto.jp/sabo/map_tenken, 2016年4月4日
- 2) 広島県土木建築局砂防課，土砂災害ポータルひろしま
<http://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/top.aspx>, 2016年4月4日
- 3) 海堀正博・石川芳治・里深好文・松村和樹・中谷加奈・長谷川祐治・松本直樹・高原晃宙・福塚康三郎・吉野弘祐・長野英次・福田真・中野陽子・島田徹・堀大一郎・西川友章：2014年8月20日に広島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害，砂防学会誌，Vol.67，No.3，pp.49-59，2014.
- 4) 松村和樹・長谷川祐治・藤本将光・中谷加奈・西川友章・笠原拓造・柳崎剛・鏡原聖史・加藤智久・岡野和行・鈴木崇・平岡伸隆：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，Vol.68，No.1，pp.60-67，2015.
- 5) 一般社団法人全国治水砂防協会：改訂版土砂災害防止法令の解説－土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律－第2版，pp.73-93，大成出版社，2016.
- 6) 高橋保・中川一：豪雨時に発生する石礫型土石流の予測，砂防学会誌，Vol.44，No.3，pp.12-19，1991.
- 7) 和田孝志・里深好文・水山高久：土石流の1次元・2次元シミュレーションモデルの結合，砂防学会誌，Vol.61，No.2，pp.36-40，2008.
- 8) 中谷加奈・美土路哲也・堀内成郎・里深好文・水山高久：土石流数値シミュレーションの一次元計算領域と二次元計算領域の設定方法の検討－GISと連携したHyper KANAKOシステムを活用して－，自然災害科学，Vol.33，特別号，pp.13-26，2014.
- 9) 中谷加奈・里深好文・藤田正治・水山高久：平成24年7月に京都府亀岡市南条で発生した土石流の検討－構造物の影響を考慮して－，自然災害科学，Vol.33，No.1，pp.17-27，2014.
- 10) 中谷加奈・小杉恵・里深好文・水山高久：扇状地における家屋の存在が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響－2013年10月伊豆大島土砂災害を対象として－，自然災害科学，Vol.34，特別号，pp.77-86，2015.
- 11) 堀内成郎・岩浪英二・中谷加奈・里深好文・水山高久：LPデータを活用した土石流シミュレーションシステム「Hyper KANAKO」の開発，砂防学会誌，Vol.64，No.6，pp.25-31，2012.
- 12) 産業技術総合研究所地質調査センター：20万分の1シームレス地質図
<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db084/index.html>, 2016年4月4日
- 13) 友村光秀・坂井大作・桜井亘・内田太郎・松本直樹：CCTV等の映像データを活用した山地流域の洪水流出特性の把握，平成28年度砂防学会研究発表会概要原稿集B，pp.4-5，2016.
- 14) 岩井重久・石黒政儀：応用水文統計学，森北出版株式会社，1970.
- 15) 池田暁彦・門馬直一・堀内成郎・山田利治：滑川北股沢で発生する土石流について，砂防学会誌，Vol.51，No.2，pp.31-38，1998.
- 16) 小杉賢一郎・水山高久：2014年7月9日に発生した長野県南木曾町の土石流災害の誘因となった降雨イベントの解析，砂防学会誌，Vol.67，No.4，pp.18-22，2014.

(投稿受理：平成28年4月8日
訂正稿受理：平成28年7月11日)

要 旨

土砂災害が発生する豪雨では、2014年の広島土砂災害のように隣接する溪流から土石流が同時に発生する場合がある。既往検討から扇状地の家屋は土石流の流動・堆積範囲に影響することが示されている。一方で、地方自治体は防災計画を各溪流で個別に設定して、家屋の影響も考慮しない場合が多い。本研究では、京都府亀岡市千歳町に存在する土石流危険溪流を対象に Hyper KANAKO システムで土石流数値シミュレーションを実施した。解析では、家屋考慮の有無による影響範囲の違いや警戒区域との対応を検証した。また、土石流が同時多発した場合のソフト対策について、避難経路として想定される府道や避難場所の安全性を検討した。結果から、警戒区域の範囲内でも危険な場所と比較的安全な場所が存在した。土石流発生時には府道は避難経路には適さず、一部の避難場所は水・土砂が到達することが示された。