

土石流による要配慮者利用施設への被害を 防止軽減するための検討

STUDY ON METHODS TO PREVENT DAMAGE AGAINST DEBRIS FLOW ON FACILITIES FOR VULNERABLE PEOPLE

中谷加奈¹・林 聖也¹・長谷川祐治²・小杉賢一朗¹・里深好文³

Kana NAKATANI, Seiya HAYASHI, Yuji HASEGAWA, Ken'ichirou KOSUGI

and Yoshifumi SATOFUKA

¹京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: kana2151@kais.kyoto-u.ac.jp

²広島大学大学院総合科学研究科 (〒739-8521 東広島市鏡山 1-7-1)

³立命館大学理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

Key Words: debris flow, landform data, resolution, simulation, facilities for vulnerable people, QOL

1. はじめに

土石流被害は扇状地の住宅地で多く、2014年の広島土砂災害では甚大な被害が発生した¹⁾。扇状地には要配慮者利用施設が多く存在し、2009年山口県防府市真尾の老人ホームが土石流で被災し、人的被害が発生した²⁾。土石流発生時には、建物の損壊や浸水・堆積だけでなく、電気・水道・ガス等のインフラが周辺で断絶し、被害が小さな建物までQOLが低下する場合がある。要配慮者利用施設では、インフラの中でも特に電力の断絶は健康にまで影響を及ぼしかねない。土石流対策は土砂を制御する砂防施設によるハード対策が有効だが、コストの面から全ての溪流に設置するのは難しい。避難やハザードマップ等の行政が主体となるソフト対策や、危険箇所暮らし住民自身が現状での具体的な危険を十分に把握して、各自で実施可能な対策を提案・検討すること(自助・共助)も被害軽減のために有効だと考えられ、土石流数値シミュレーションが効果的なツールとなりうる。

地方自治体が土石流被害の防止・軽減のために設定する警戒区域は、勾配や災害履歴、現地調査を基

に設定し³⁾、人工構造物の影響までは考慮されることは殆どない。しかし、警戒区域や扇状地の中でも土石流被害が比較的大きな箇所、小さな箇所が混在して、その違いは家や道路など人工構造物の影響が大きいことを筆者らは確認している^{4),5)}。一方、近年の土石流シミュレーションによる検討は、計算機性能や操作性の向上、地形情報の精緻化から国内外で多くの検討が進むが^{6),7)}、災害事例の再現や影響範囲の確認、個別箇所の安全性を確認するに留まる検討が多数である。また、扇状地の人工構造物を考慮した土石流挙動の検討には高解像度の地形データが有効だと示されてきたが⁸⁾、適切な解像度や地形データの種類に関する検討は十分でない。さらに、建物の安全性だけでなくQOLの考慮による電力供給施設の安全性との総合的な検討は行われていない。

本研究では、異なる地形データや解像度を用いて、要配慮者利用施設が存在する扇状地を対象に土石流数値シミュレーションを実施してその挙動の違いを確認するとともに、施設の安全性だけでなく電力供給設備の安全性を総合的に検討することで、効果的な対策の提案を行うことを目的とする。

2. 検討対象

(1) 対象地域の概要

流域面積 0.18km² の土石流危険渓流を対象に解析を行った。対象流域の谷出口付近には要配慮者利用施設や道路が存在し、田圃や住宅などの建物が位置する。対象地域の周辺では過去に土砂災害が発生したことが報告されている。

(2) 計算条件

計算には、高橋モデル⁹⁾を採用した Hyper KANAKO システム¹⁰⁾を採用した。土石流シミュレーションには地形条件と境界条件となる土石流ハイドログラフの設定が結果に大きく影響する。以下、設定方法を示す。

a) 地形条件の設定

地形データには国土地理院が全国のデータを公開する解像度 5m の数値標高データ（以降、GSI とする）、並びに本検討のために UAV で取得した解像度 0.5m の DSM(Digital Surface Model)のデータを用いた。ここでの DSM は、DEM(Digital Elevation Model) に建物の位置・形状・高さのみを反映した数値地形モデルを指す。GSI のデータは建物高さが考慮されていないため、国土基盤図情報から建物位置を取得し、2 階建て相当として一律で 6m 地盤高を上げる地形編集を行った。

谷部を一次元領域（河道幅は一律 10m）、谷出口からの扇状地を二次元領域とした。二次元領域のメッシュサイズには GSI は解像度と同じ 5m を、DSM では 1m ならびに GSI と比較を行えるよう 5m で計算を実施した。各計算ケースを表-1 に、対象地域の計算領域の設定を図-1 に示す。

また、計算領域内の配慮者利用施設、建物位置、谷出口付近に存在する電力供給設備の電柱位置を合わせて図-1 中にプロットしている。

更に、二次元計算対象とした領域は、図-1 中に示す谷出口から要配慮者利用施設周辺の建物が存在するまでの田畑が広がる範囲を領域 A、A と以降に示す領域 C の中間に位置して田畑が多く存在する領域

表-1 計算ケース.

Case	地形データ, 解像度	二次元領域の計算点間隔
1	GSI, 5m (建物は地形編集)	5 m × 5 m
2	DSM, 0.5m	5 m × 5 m
3	DSM, 0.5m	1 m × 1 m

B, 更に下流で建物密度が比較的高い領域 C に区分できる。この領域を用いて 3 章では結果を考察する。

b) ハイドログラフ、土石流諸元の設定

本検討は 2014 年広島土砂災害規模を想定⁴⁾してハイドログラフと土砂量を設定した。ハイドログラフは雨量と流域面積から推定する手法⁴⁾を採用し、2014 年広島土砂災害で記録した 247mm（24 時間雨

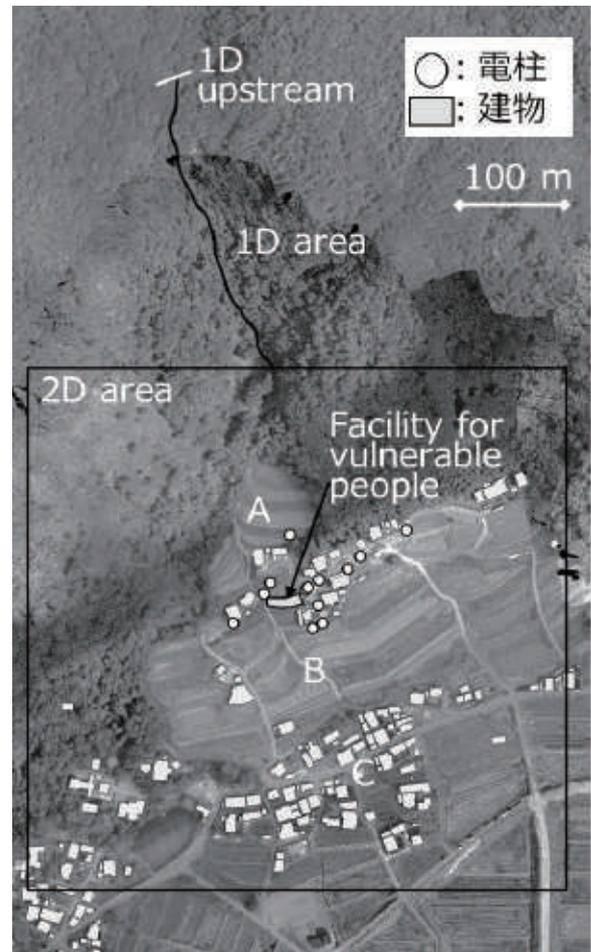


図-1 対象地域の概要、計算領域の設定.

表-2 数値計算に用いた各パラメータ.

パラメータ	数値
計算時間(秒)	600
計算の時間間隔(秒)	0.01
粒径(cm)	10
砂礫の密度(kg/m ³)	2650
流体相の密度(kg/m ³)	1000
河床の容積濃度	0.65
重力加速度(m/s ²)	9.8
侵食速度係数	0.0007
堆積速度係数	0.05
マニングの粗度係数(s/m ^{1/3})	0.03
一次元領域の計算点個数	88
一次元領域の計算点間隔 (m)	5
二次元領域の計算点個数 (流下方向×横断方向)	102×204 (Case1,2) 502×504 (Case3)

量)の降雨が流域に流出率 0.7 (山地) で流出した総流量を算出し、継続時間を 360 秒、ピーク継続時間を 240 秒とした。谷部の一次元領域に一律厚さ 5m で土砂 15,250m³ (空隙込) を設定した。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。

代表粒径は 0.1m, 河床の容積濃度は 0.65 を採用し、その他のパラメータは表-2 に示す。二次元領域は移動可能土砂を設定しない固定床条件とした。

3. 計算結果

上流端からの供給ハイドログラフ (水のみ) と、Case1-3 共通の一次元領域下端における総流量(水+土砂)、ならびに土砂濃度を図-2 に示す。一次元領域下流端ではピーク流量 280m³/s, 最大土砂濃度 0.40 を計算開始後 64 秒で示し、以降は総流量・濃度とも減少する。計算開始直後に侵食により土石流が急激に発達して、後半では侵食可能土砂の減少や、侵食による地形変化の影響で減衰したと考えられる。結果から Case1-3 とも発達した土石流状態で一次元領域を流下して、二次元領域へ流入したことが推測される。以降は、二次元領域に着目して結果を考察する。

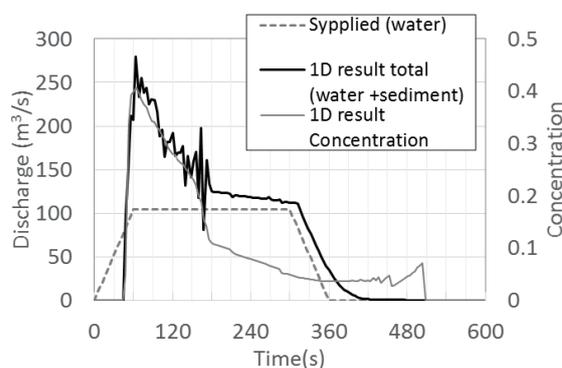


図-2 一次元領域下端での総流量と土砂濃度。

(1) 地形データ及び解像度による差異

図-3 に Case1-3 の最大水位を示す。最大水位は各メッシュの流動深と堆積厚の和の最大値を表し、災害調査で取得される最大痕跡と対応する。図-4 は図-3 の Case3 の四角枠の範囲を拡大した図を示した。

なお、図-3 の一次元領域での最大水位が Case1,2 と 3 で異なるように見えるのは、計算のシステム上二次元領域のメッシュサイズと同じ大きさで一次元領域が表示されるため、Case3 は小さく(色が薄く)示されるが、Case1-3 は共通で 5m 間隔を設定しているため計算結果は同じである。

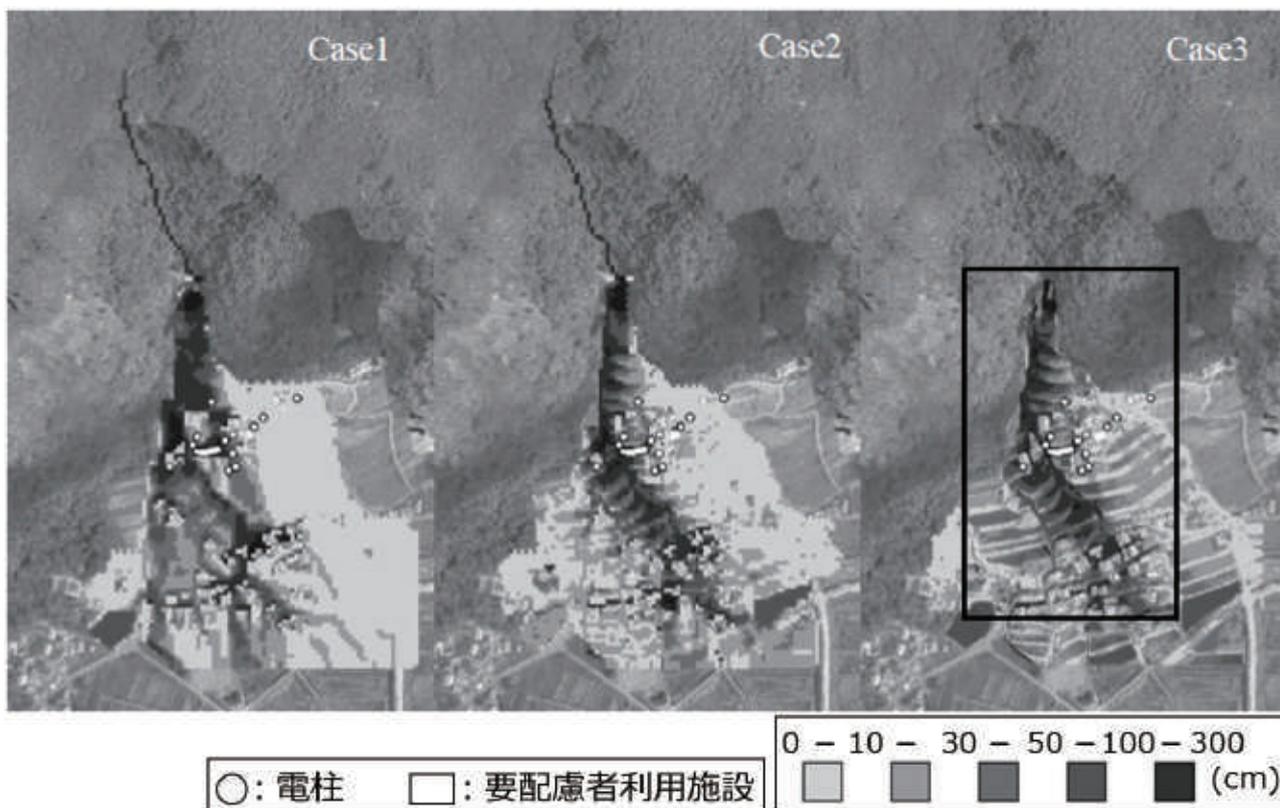


図-3 計算領域全体での最大水位 (白丸は電柱位置、白四角は要配慮者利用施設位置)。

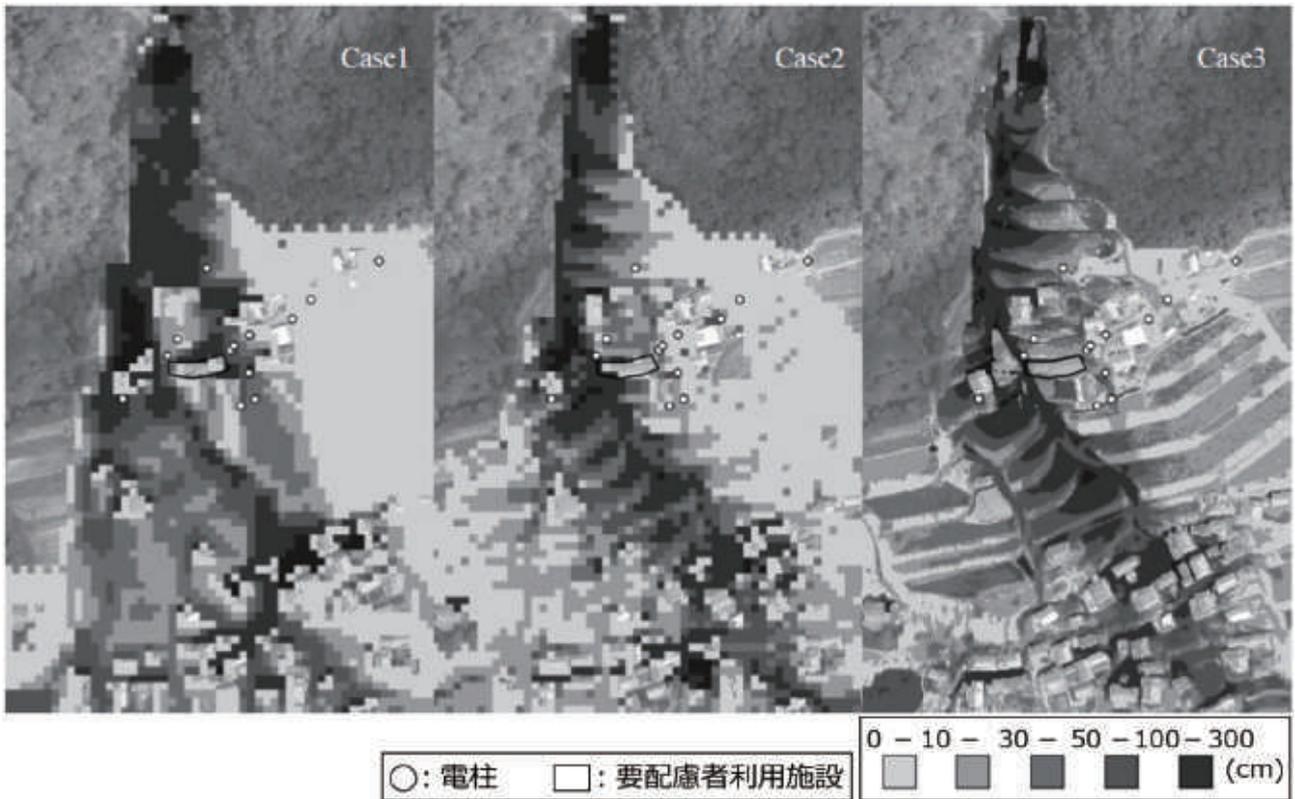


図-4 二次元領域の谷出口付近における最大水位（拡大図、白丸は電柱位置、四角は要配慮者利用施設位置）。

a) 地形データによる違い

Case1 では、谷出口を出た土石流は横断方向に広がりながら直線的に流下した。図-1 に示した領域 A では、広範囲で最大水位 100cm 以上を示し、田畑や道路などの土地利用の影響は殆ど見られなかった。一方、領域 B では、100cm 以上を示す範囲は道路上の一部にしか見られないが、30cm 以上の最大水位が広範囲に現れた。領域 C では、建物の上流側で広い範囲で 100cm 以上の最大水位が確認された。

Case2 及び Case3 では、Case1 と比較して土石流の流下幅は小さく、道路沿いを湾曲しながら流下した。A では最大水位 100cm 以上を示す範囲は Case1 より小さく、道路上とその周囲の田畑に限られた。B でも土石流の流下経路が主に道路上に限られた様子が確認できるが、土石流が横断方向に広がる Case1 と比較すると、土石流が集中的に流下するため 100cm 以上を示す範囲が大きい。C では主要な流下経路となる道路の下流に位置する建物の上流側では 100cm 以上の最大水位が見られるが、その範囲は Case1 より縮小した。また、Case2,3 では田畑への土石流の流下・堆積が見られ、その周辺と比較して大きな最大水位を示した。

以上より、GSI を用いた Case1 と DSM を用いた

Case2,3 を比較すると、Case1 では田畑や道路などの土地利用が反映されないまま土石流が流下するため流下幅が大きくなる。また、田畑への土石流の流下堆積が考慮されないため、特に下流側で田畑が広がるエリアでは DSM の計算結果と比較して最大水位が小さい。田畑ではその周辺と比較して標高が低く平らな地形であるため、一度土石流が到達すると堆積が起きやすく、田畑が反映される DSM で最大水位が大きくなったと考えられる。そのため、田畑の地形が反映されない Case1 は下流までの流下量が多く、その結果 C の建物の上流側で広い範囲で 100cm 以上の最大水位が現れたと考えられる。これまでの土石流事例でも谷から延びる道路上を土石流が流下経路とすることや^{1)4),5)}、扇状地上の田畑で堆積して遊砂池のような抑制効果が確認された¹⁾報告もあることから、DSM を用いた計算結果がより実現象に近いと考えられる。

b) 解像度による違い

解像度の異なる Case2 及び Case3 を比較すると、解像度の高い Case3 ではより広範囲で田畑への土石流の流下・堆積が明瞭に確認できる。また、A の上流部や B で Case2 より広い範囲に最大水位 100cm 以上の箇所が確認されることから、Case3 は田畑の影

響で上流側の堆積が増え、下流への流下が抑制されたと推測される。

Cでは、Case2で300cm以上の顕著な最大水位が確認できる。Cでは建物が比較的密集して、建物と建物の間隔が狭い箇所が多いため、5mメッシュを用いたCase2では建物の間隔が正確に表現されずに、土石流の流下が阻害されて、1mメッシュを用いたCase3の計算結果と比較して大きな最大水位を示す箇所が生じたと考えられる。

本検討での土石流規模であれば、田畑での堆積がより反映され、狭い建物間の距離も表現されるCase3がより実現に近い挙動を示すと推測される。

(2) 要配慮者利用施設における考察

a) 要配慮者利用施設の被害予測

以降では、実現に近い土石流挙動を表現すると考えられるCase3について考察する。図-5は要配慮者利用施設（以降、施設Xと呼ぶ）付近をさらに拡大したもので、中央付近の黒枠が施設X、白丸が電柱、a-cは以降の考察で用いる電柱である。

施設X付近の最大水位は、土石流が道路沿いを流下すること並びに施設Xの上流側の建物の存在により流れが阻害されて、図-5に示す施設Xの左側（右岸側）では100cm以上の最大水位が見られる一方、左岸側では顕著に小さい。このため、建物の右岸側の強度を集中的に上げて、頑丈な高い塀などで補強することで、効果的に対策が行えると考えられる。また、利用者の居室や、悪天候時に集まる部屋を建物の左岸側に寄せて設けることによって、土石流による人的被害が軽減出来ると考えられる。

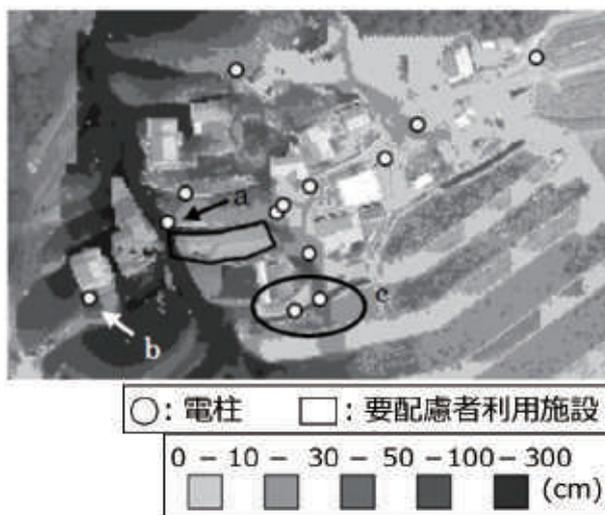


図-5 Case3の要配慮者利用施設周辺の最大水位(拡大図)。

b) 電力供給施設（電柱）の被害予測

土石流は道路沿いを主経路として流下するため、道路上に位置する図-5に示す電柱aでは唯一100cm以上の最大水位が確認される。また、土石流は湾曲した道路の外側で内側よりも田畑への流下堆積が多いことから、図-5に示す電柱b付近でも100cm以上の最大水位が確認される。一方で、湾曲した道路の内側に位置するその他の電柱では最大水位が30cm以下の場所に存在するものが殆どで、被害の可能性は低い。また、図-5に示すcなどの一部の電柱の近辺で30cmを超える最大水位も見られる。対象地には田畑が多く存在するため、農業用などに作られた水路が多い。本検討で取得したDSMは0.5mメッシュのため、一部の範囲では水路地形も反映される。水路は標高が周囲地盤より低くなるため、水面高さが同じでも水位が大きくなることから、c周辺で最大水位が高いと考えられる。

以上より、電柱a及びbをより安全な位置へ移動する、もしくは補強することで、土石流後も施設X並びに近隣の建物のQOLを保つことができると考えられる。

4. おわりに

本研究では、要配慮者利用施設のある土石流危険渓流を対象に、異なる地形データや異なる解像度で計算した結果を比較するとともに、要配慮者利用施設における利用者のQOLを考慮した電力施設の安全性までを含めた被災予測の検討を行った。

本検討からは、国土地理院が公開するデータとUAVを用いて高精度で撮影したデータでは、道路や田畑などの土地利用の再現性の有無で大きな差が生じた。また、本検討では解像度よりも地形データによる差が大きかった。これは、対象地では田畑が多く存在し、舗装されていない田畑の地表面標高を取得するには高い測量精度が必要なことに加えて、建物が少ないため1mメッシュなど高解像度を用いなくてもある程度実現に近い結果が得られたことが要因として考えられる。舗装された道路を土石流が移動経路とするような住宅地では、解像度の影響による差が大きく現れる可能性もあるため、今後は土地利用が異なる地域での検討を進め、比較検証を行う。また、計算では同じ解像度を用いても元の地形データの精度によって結果が変わる可能性があることから、今後土石流数値シミュレーションを防災対策に活用する際に十分留意する必要がある。

要配慮者利用施設や周囲の電柱への被災状況の検

討からは、顕著な水位・堆積が見込まれるのは局所的であった。施設や谷出口から近い位置の電柱や、施設内でも谷出口に近い箇所にて特に危険度が高く、危険な箇所に集中的な対策を行うことで（例えば、該当電柱の補強、施設の谷側に頑丈で高い塀等を設置、主な居住エリアを谷と反対側に設ける等）効果的な対策が提案出来ることがわかった。一方、計算で示される危険度分布は地形データや解像度によって変化し、更には土石流規模（供給ハイドログラフや土砂量）や構成材料（巨礫・細粒・流木）にも影響を受ける。詳細な危険箇所や危険度分布を予測して効果的な対策を提案するために、異なる土石流シナリオについても今後検討を進める予定である。

謝辞：本研究は、公益財団法人関西エネルギー・リサイクル科学研究振興財団の研究助成を受けたものです。国際航業株式会社の関係各位には詳細な地形データの取得・活用についてご協力頂いた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1)海堀正博, 石川芳治, 里深好文ら・他 13 名: 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.
- 2) 古川浩平, 海堀正博, 久保田哲也, 地頭菌隆, 権田豊, 杉原成満, 林真一郎, 池田暁彦, 荒木義則, 柏原佳明: 2009 年 7 月 21 日山口県防府市での土砂災害緊急調査報告, 砂防学会誌, Vol.62, No.3, pp.62-73, 2009.
- 3)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.
- 4)中谷加奈, 小杉恵, 里深好文, 水山高久: 家屋や道路が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響-2014 年 8 月に発生した広島土砂災害を対象として-, 砂防学会誌, Vol.69, No.5, pp.3 -10, 2017.
- 5)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.
- 6)竹林洋史, 江頭進治, 藤田正治: 2013 年 10 月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析, 河川技術論文集, Vol.20, pp.391-396, 2014.
- 7)阿部孝章, 藤浪武史, 矢部浩規: 2014 年 9 月支笏豪雨災害により発生した恵庭岳土石流の再現計算, 第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.199-204, 2016.
- 8)中谷加奈, 里深好文: 土石流の規模と地形データの解像度が到達範囲に及ぼす影響, 土木学会論文集 B1 (水工学) vol.74, No.4, pp. I_1201-1206, 2018.
- 9)Takahashi T.: Debris flow. Balkema, Rotterdam, 1991.
- 10)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.
- 11)建設省土木研究所: 昭和 61 年 7 月京都府南部土石流災害調査報告書, 土木研究所資料, 第 2543 号, 1988.

(2018. 5. 18 受付)