

流路工等の構造物が土石流の氾濫範囲に 及ぼす影響

STUDY ON DEBRIS FLOW FLOODING AND DEPOSITION
CONSIDERING HOUSES AND ARTIFICIAL CHANNEL

糸数哲¹・中谷加奈¹・山野井一輝²・長谷川祐治³・藤田正治³
Tetsushi ITOKAZU, Kana NAKATANI, Kazuki YAMANOI, Yuji HASEGAWA
and Masaharu FUJITA

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: itokazu@kais.kyoto-u.ac.jp

²京都大学大学院工学研究科 (〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

³京都大学防災研究所 (〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

Key Words: *debris flow, numerical simulation, debris flow prone torrent, evacuation, artificial channel*

1. はじめに

土砂災害の発生による人的被害の防止・軽減を図るため、土砂災害警戒区域の指定や土砂災害ハザードマップの作成・配布等が行われている。土砂災害に対するソフト対策を進める上で、土石流の氾濫・堆積範囲を予測し、危険箇所を事前に把握しておくことは重要である。土砂災害発生時の土砂の氾濫・堆積範囲の予測に関しては、土石流数値シミュレーションモデルが有用なツールとして挙げられ、土石流氾濫域の地形を考慮したシミュレーションが可能である。土石流氾濫域に存在する家屋が土砂の堆積に影響を与えることが数値計算^{1) 2)}や水路実験³⁾によって確かめられているが、土石流の流下・氾濫範囲に影響を及ぼすと考えられる構造物は家屋以外に流路工があり、より現実的な土石流の氾濫・堆積過程を再現するためには、家屋だけでなく、流路工の影響も確かめる必要がある。構造物の存在によって土石流の流下・氾濫範囲がどのように変化するのかを確かめることは、構造物の種類や規模が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響を検討する上でも意義がある。本研究では、土石流数値シミュレーションモデルを用いて、家屋・建物ならびに流路工を考慮する

ことで土砂の堆積範囲がどのように変化するかを調べ、土石流氾濫域に存在する家屋ならびに流路工が土石流の氾濫範囲に及ぼす影響について検討した。また、家屋・建物ならびに流路工を考慮した場合の氾濫域の浸水深の変化を調べ、避難路の安全性についても検討した。

2. 数値シミュレーションの概要

(1) 解析対象地

京都府内の土石流危険渓流(流域面積: 0.127 km²)を対象に検討を行った(図-1)。対象流域は東北東向きとなっており、主に付加体堆積物が分布している。対象渓流の平均溪床勾配は約19度である。解析対象地域は、昭和42年7月豪雨の際に地すべりや山頂崩壊が発生し、水路や道路が決壊する災害が発生している。解析対象渓流は流路工が設置されており、流路工沿いには家屋や建物等が存在する。流路工は流路が湾曲しており、流下方向が東方向から南方向へ向きを変える(図-2)。流路工は谷出口付近(図-2 ①付近 右上写真)では水路床幅が約4 m、深さが約5 mであるが、高速道路南側(図-2 ③付近 右下写真)では水路床幅が約2 m、深さが約1.5 mと

なっており、谷出口付近に比べ流路工の断面が小さい。

(2) 解析方法

本研究では、汎用土石流シミュレータ HyperKANAKO システム⁴⁾を用いて土石流数値シミュレーションを行った。土石流シミュレーション時に用いたパラメータを表-1に示す。本解析では、0.01秒間隔で計算を行い、計算時間を1,300秒とした。土石流の砂礫密度および流体相密度は、京都市内で発生した土石流を対象に再現計算を行った既往研究⁵⁾を参考に、それぞれ $2,650 \text{ kg/m}^3$ および $1,180 \text{ kg/m}^3$ とした。土石流シミュレーション時に用いる地形条件は、国土地理院提供の5m DEMデータから作成した。一次元計算領域の計算点間隔を5mとし、二次元計算領域のメッシュサイズを $1\text{m} \times 1\text{m}$ に設定した。二次元計算領域内の1mメッシュの標高は、5m DEMデータから内挿補間によって求めている。本解析では、一次元計算領域は移動床、二次元計算領域は固定床として計算を行った。二次元計算領域のメッシュの高さを変えることで家屋・建物ならびに流路工を考慮した。試行計算を行い、浸水範囲内の家屋・建物ならびに流路工にあたるメッシュの高さを変更した。家屋・建物の高さは、建物の階数から設定し、流路工については、複数地点の水路床および周辺地盤の標高データの差から流路工の深さを算定し、流路工にあたるメッシュを掘り下げて表現した。

図-3に計算時の供給ハイドログラフ(水のみ)を示す。供給ハイドログラフは、1916年～2015年に京

都地方気象台で観測された最大時間雨量(88.0 mm/h)から設定した。土石流シミュレーションに関する既往研究⁶⁾を参考に、土石流発生時の流出率を70%(流出係数0.7)とした。土石流の継続時間は、土石流の観測事例⁷⁾を参考に、土石流継続時間を360秒、ピーク継続時間を240秒として供給ハイドログラフを設定した。すなわち、雨量88.0 mmに流域面積(0.127 km^2)を掛けた水量の70%が上記の土石流継続時間で流出したと仮定して供給ハイドログラフを設定した。なお、計算開始時の流量(初期流量)は設定せず、供給ハイドログラフで設定した流量での計算を行っている。

移動可能土砂量は、崩壊面積率および平均崩壊深から設定した。ここでは、本研究の対象流域と同様の地質が分布する流域において調べられた降雨強度と崩壊面積率の関係⁸⁾を参考に崩壊面積率を5%とし、

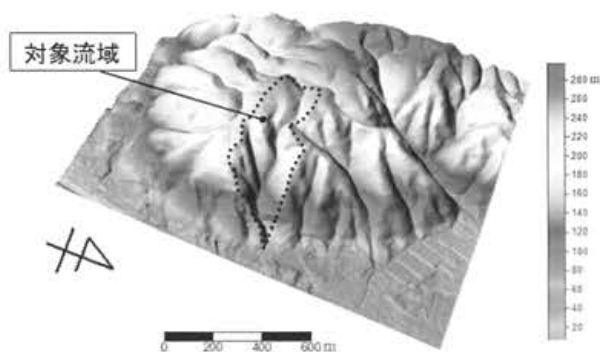


図-1 対象流域の位置および地形



図-2 対象溪流と流路工

表-1 シミュレーションに用いたパラメータ

パラメータ	値
計算時間(秒)	1,300
計算の時間間隔(秒)	0.01
土砂の粒径(m)	0.05
土砂の内部摩擦角(度)	35
砂礫の密度(kg/m ³) σ	2,650
流体相の密度(kg/m ³) ρ	1,180
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
マンニングの粗度係数(s/m ^{1/3})	0.03
一次元領域の計算点個数	53
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)	801×1002
二次元領域の計算点間隔(m×m)	1×1

平均崩壊深を 1.5 m と仮定して移動可能土砂量を算定した。算定した移動可能土砂量 (9,508 m³) を土石流発生溪流 (一次元領域) 上に一様に堆積 (河道幅 5 m, 堆積厚 7.3 m) させ、上流からの水の供給によって土石流を発生させた。一次元領域の河道幅は一律 5 m に設定しており、移動可能土砂の粒径は、現地で行った河床堆積物の礫径調査に基づき 5 cm とした。

3. 結果と考察

(1) 堆積厚

図-4 に、家屋・建物や流路工を考慮しない場合の、計算開始 600 秒後の堆積厚を示す。計算開始 600 秒までにほとんどの土砂は堆積して、氾濫過程もピークを越えてその後は減衰する。土石流氾濫域は階段状の地形を呈しており、土砂の堆積域が比較的緩勾配となっているため、土石流発生溪流から流出した土砂の大部分は谷出口付近に堆積する。対象溪流の流路が湾曲しているのに加え、土砂の堆積域が概ね北から南に向かって傾斜するため、その影響で土砂の堆積域が南東方向に伸長する傾向を示した。土砂の一部が東西方向に走る高速道路 (図-4 中央) に達するが、高速道路よりも南側には土砂がほとんど堆積しない結果を示した。これは、流路工を地形メッ

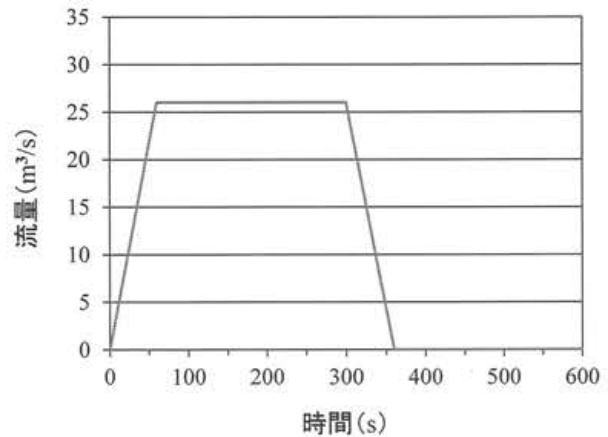


図-3 供給ハイドログラフ

シュで表現していないために高速道路下を土砂が流下せず、土砂のほとんどが高速道路北側で堆積するためである。

次に、図-5 に家屋・建物や流路工を考慮した場合の、計算開始 600 秒後の堆積厚を示す。構造物を考慮しない場合と同様に、土砂の堆積域が南東方向に伸長する傾向を示すが、建物 (図-5 中の☆印) に達した土砂の一部が建物西側に流入し、構造物を考慮しない場合と比べ、建物の西側において土砂の堆積範囲が南に伸長する結果を示した。また、流路工を考慮したことで、流出土砂の一部が流路工内を流れ、高速道路よりも南側まで流下 (土石流は高速道路下を流下) する結果を示した。土石流が高速道路南側まで流下し、流路工が浅い区間で氾濫する結果となり、構造物を考慮しない場合と比べ、土砂の流下・氾濫現象をより現実に近い形で再現することができた。なお、流路工にあたる部分の堆積厚が 3 m 以上となっているが、これは流路工の底からの堆積厚を示しており、計算開始前の流路工周辺地盤からみた土砂の堆積厚は最大で約 0.8 m である。

(2) 痕跡

図-6 に、家屋・建物や流路工を考慮しない場合の、計算開始 600 秒後の痕跡を示す。痕跡は土砂の堆積厚+水深の最大値を示しており、堆積厚の計算結果 (図-4) と重複しない範囲は水深の最大値を表わしている。洪水流の一部は東側に直進して高速道路北側に氾濫し、一部は地盤が低くなる南東方向に氾濫する結果を示した。本研究対象地の地形データは、概して高速道路の標高が高く、道路、線路の順に低くなるため、氾濫した水は東方向に流れ、道路や線路上を流れることで、高速道路南側に氾濫域が広がる傾向を示した。



図-4 計算開始 600 秒後の堆積厚
(家屋および流路工の考慮なし)



図-5 計算開始 600 秒後の堆積厚
(家屋および流路工の考慮あり)



図-6 計算開始 600 秒後の痕跡
(家屋および流路工の考慮なし)



図-7 計算開始 600 秒後の痕跡
(家屋および流路工の考慮あり)

次に、図-7に家屋・建物や流路工を考慮した場合の、計算開始600秒後の痕跡を示す。構造物を考慮しない場合と同様に、洪水流の一部は高速道路北側に氾濫するが、構造物を考慮しない場合に比べて氾濫範囲が小さく、土石流が流路工内を流下することによって氾濫範囲が高速道路南側に広がる結果を示した。高速道路南側で氾濫した水は道路や線路上を流れ、局所的に集中する結果を示した(図-7中の○印)。洪水流が集中する場所は線路下のアンダーパス(写真-1)であることから、氾濫箇所よりも低い位置にアンダーパスがある場合には、氾濫水が集中して洪水流の流路となる可能性があることに留意する必要がある。

家屋・建物ならびに流路工の考慮なしのケース(図-6)、考慮ありのケース(図-7)共に道路上や線路上を氾濫水が流れる結果を示していることから、地形条件設定用のDEMデータのメッシュサイズより広い構造物はある程度地形として反映されるが、流路工のような幅の狭い構造物は地形として反映されないことがあるため、土石流の流下・氾濫現象をより現実に近い形で再現するためには、DEMデータのメッシュサイズよりも小さい流路工を考慮する必要があると思われる。

(3) 流動深の時系列

土石流発生による氾濫水が線路下のアンダーパスに集中する結果を示したが、氾濫水の流動深(水深)は避難路の安全性に大きく影響し、水深によっては通行が困難または危険な状態となる。浸水時の歩行の困難さには水深と流速が影響するが、流速よりも水深がより大きく影響し、水深が股下高(成年男子で80cm程度)を越えると歩行が困難になる⁹⁾こと

から、水深80cm以上は住民のほとんどが通行困難な水深と考えられる。また、高齢者を想定した場合には水深20cm以上で歩行が困難になる¹⁰⁾ことから、図-2中の地点番号②～④における水深の時系列を図-8に示す。検討地点は図-7の浸水範囲の中で住民が避難路として利用することが考えられる道路のうち、高速道路北側の道路(地点②)、高速道路南側の住宅地内の道路(地点③)、および氾濫水が集中する傾向を示したアンダーパス(地点④)とした。谷出口の東側に位置する道路上(地点②)では、浸水はあるものの、水深は20cmに満たなかった。高速道路南側の流路工沿いの道路上(地点③)は、流路工を考慮しない場合には浸水範囲に含まれないが、流路工を考慮した場合には氾濫域となり、計算開始後約240秒後から約490秒後まで水深20cm以上となった。地点②および③では水深が80cm以上とならなかったが、線路下のアンダーパス(地点④)では計算開始後約420秒後に水深20cm以上となり、約430秒後から約1,100秒後まで水深が80cm以上とな



写真-1 線路下のアンダーパス

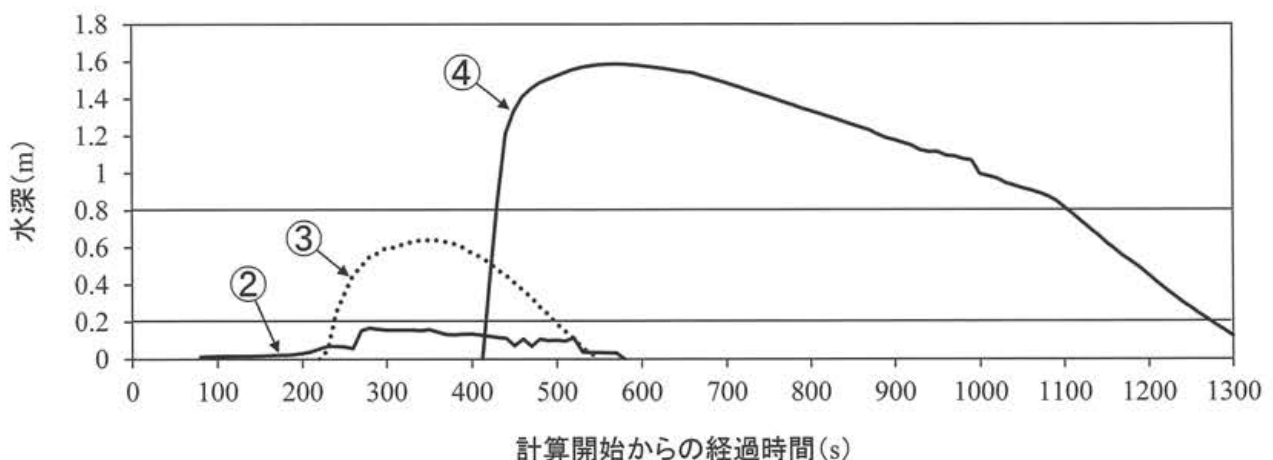


図-8 地点②～④における水深の時系列

った。図-8に示す結果は、氾濫水が集中する場所においては比較的水深が大きい時間帯が長くなる可能性があり、避難路としての通行には特に注意を要する場所であることを示している。

4. まとめ

家屋・建物ならびに流路工等の構造物の有無による土砂の堆積範囲の違いを比較した結果、構造物の存在によって土石流の氾濫・堆積範囲が変化し、地形モデルに流路工形状を反映させることで土砂・水の流下・氾濫現象をより現実に近い形で再現することができた。流路工等の構造物を考慮して土砂・水の氾濫範囲を再現したことで、考慮しない場合とは異なる場所で氾濫域が拡大することが確認された。さらに、避難路としての利用が予想される場所での水深の変化が再現でき、アンダーパスへの水の集中が示されたことから、避難計画のさらなる精度向上に資することが期待される。

謝辞：本研究を行うにあたり、京都府砂防課より貴重なデータの提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 中谷加奈・奥山悠木・長谷川祐治・里深好文・水山高久：扇状地における家屋が土石流の氾濫・堆積に与える影響，砂防学会誌，60巻，4号，pp.15-23，2012.
- 2) Kana NAKATANI, Satoshi HAYAMI, Yoshifumi SATOFUKA, Takahisa MIZUYAMA：Case study of debris flow disaster scenario caused by torrential rain on Kiyomizu-dera, Kyoto, Japan; applying Hyper KANAKO system, proceedings of the 2014 International Debris-Flow

Workshop, 2014.

- 3) 中谷加奈・小杉恵・長谷川祐治・里深好文・水山高久：家屋が存在する扇状地における土石流の挙動に関する実験的検討，砂防学会誌，67巻，6号，pp.22-32，2015.
- 4) 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，64巻，6号，pp.25-31，2012.
- 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，33巻，1号，pp.17-27，2014.
- 6) 小杉恵・中谷加奈・長谷川祐治・里深好文・水山高久：家屋の存在が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響-2014年8月広島土砂災害を対象として-，平成27年度砂防学会研究発表会概要集B，B-76-B-77，2015.
- 7) 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，51巻，2号，pp.31-38，1998.
- 8) 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，68巻，1号，pp.60-67，2015.
- 9) 須賀堯三・上阪恒雄・白井勝二・高木茂知・浜口憲一郎・陳志軒：避難時の水中歩行に関する実験，水工学論文集，38巻，pp.829-832，1994.
- 10) 浅井良純・西元大貴・大西良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：浸水体験実験による高齢者の地下空間浸水時避難困難度の検討，土木学会第63回年次学術講演会講演概要集，63巻，2号，pp.41-42，2008.

(2016.5.31 受付)