

平成21年7月に山口県防府市石原地区及び 八幡谷溪流で発生した土石流の検討

STUDY ON DEBRIS FLOW OCCURRED IN ISHIHARA AND HACHIMANDANI,
HOUFU CITY, YAMAGUCHI PREFECTURE ON JULY 2009

中谷 加奈¹・前田 大介²・里深 好文³・水山 高久⁴

Kana NAKATANI, Daisuke MAEDA, Yoshifumi SATOFUKA and Takahisa MIZUYAMA

¹ 京都大学大学院農学研究科・日本学術振興会特別研究員 (PD) (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

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

² 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: maedai@kais.kyoto-u.ac.jp

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

E-mail: satofuka@se.ritsume.ac.jp

⁴ 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: mizuyama@kais.kyoto-u.ac.jp

Key Words: debris flow, Houfu, field survey, numerical simulation, sabo dam

1. はじめに

日本では毎年、土石流災害が各地で発生している。その背景には、地形が急峻であり地質も脆弱であるため、一度豪雨が発生すると土石流が発生しやすいことが挙げられる。土砂災害による被害の防止・軽減は防災科学上の命題であり、発生した災害の詳細な検討、ならびに効果的な対策の整備が不可欠である。

2009年にも7月末に梅雨前線の停滞による豪雨で九州北部・中国地方を中心に死者 22 名を伴う土砂災害が発生し、8月には台風9号の影響により、13道府県で計39箇所の土砂災害が発生した。本研究では、山口県防府市で発生した土石流災害を対象として、現地調査及び数値シミュレーションによって検討を実施した。

2. 平成21年7月に山口県防府で発生した土砂災害

平成21年7月21日、梅雨前線の停滞により中国地方は記録的な局地豪雨に見舞われた。山口県では、早朝

からの豪雨によって、各地で大規模な土砂災害や浸水被害が発生した。特に、期間降水量が最も多く花崗岩類の分布地域である防府市では、21日12時前後に局部的に大規模な土石流が発生し、住宅や老人福祉施設が直撃されるなどの被害により、死者14名、住宅被害は全壊30棟、半壊61棟と甚大な被害が生じた¹⁾。

本研究では、土石流の直撃を受けて2名の犠牲者がでた石原地区と、透過型砂防堰堤が効果的に機能することによって下流への被害が免れた八幡谷溪流について考察する。

3. 石原地区で発生した土石流災害

7名の犠牲者がでた特別養護老人ホームの西側に位置する石原地区は、矢筈ヶ岳北斜面の二か所から発生した土石流の直撃を受けた形で住宅地が被災し、2名が死亡した。

図-1 に示す石原地区における土石流の直撃を受けた家屋(地点番号 No.1)から、源頭部(No.15, 写真-7)までを踏査し、流動幅や最大移動痕跡高(河床標高か

ら流動痕跡の最大標高までの差)を調べた。測量結果、並びに考察を表-1 に示す。なお、No.0 は氾濫・堆積領域の様子を示している。

踏査からは、土石流が流下した溪流の側岸には、巨礫を含む土砂の堆積が広い領域で確認された(写真-3、写真-4)。流動幅は拡幅・狭窄を繰り返しており、狭窄部では堆積傾向が、狭窄部の直下流では侵食傾向が顕著であった。被災家屋(写真-2)の下流に位置する、緩勾配の農地や住宅等(写真-1)では細かな土砂が約1mの厚さで大量に堆積していた。氾濫・堆積の大部分は、地図中に示される道路よりも手前側で確認された。

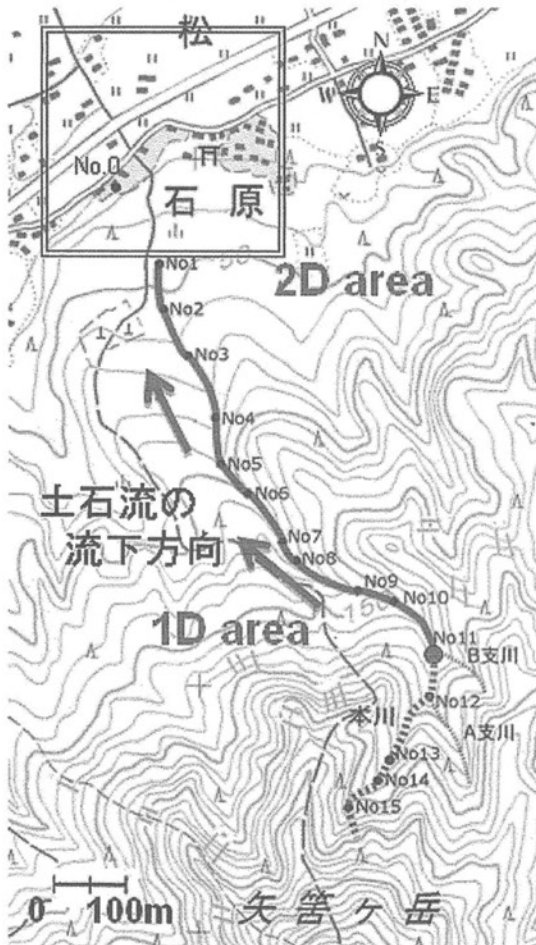


図-1 地図上で示される石原地区の調査地点番号と
4. で実施するシミュレーション領域との対応



写真-1 石原地区の下流域での氾濫・堆積状況 (No. 0)



写真-2 土石流の直撃を受けた家屋 (No. 1 右岸側に位置)



写真-3 石原地区 (No. 3 左岸側より下流を望む)



写真-4 石原地区 (No. 6 上流を望む)



写真-5 石原地区 (No. 8 上流を望む)



写真-6 石原地区 (No. 12 上流を望む)

表-1 石原地区の調査データ (測量は2010年11月3日実施, 「-」はデータ無)

地点番号	流動幅 (m)	最大移動痕跡(m)	河床勾配(°)	考察
0	-	-	-	氾濫・堆積エリア. 2009年7月27日(災害から6日後)の調査では, 足が沈み込む軟弱な堆積が, 道路付近まで約1mの厚さで確認された.
1	39.12	-	3.5	被害を受けた家屋付近. 1m級の巨礫が側岸に乗り上げ, 堆積していた. 河道中央部の平均的な土砂の粒径は, 約0.1-0.4m.
2	53.25	-	5.5	流れが二方向に分かれて, 一部は墓・林道に流れ, 堆積した.
3	13.19	5.1	8.2	巨礫の堆積が河道中央部でも確認される.
4	19.58	9.26	5.5	側岸に, 巨礫を含む堆積痕跡が見られる.
5	31.83	-	7.0 (流下側) 4.7 (堆積側)	流れが二方向に分かれて, 緩勾配領域では堆積した. 流木が多く確認された.
6	24.51	5.63	-	河道中央は侵食され, 側岸には巨礫が堆積していた.
7	12.77	8.36	7.5	流動幅が狭くなり, 0.5m級の礫の堆積が確認された.
8	15.88	5.29	9.6	露岩が確認された. ここでの勾配は基岩の勾配.
9	11.63	6.12	11.5	小崩壊の痕跡がある. 直下の両岸へ土砂が乗り上げて堆積した.
10	31.33	-	18.2(上流側) 10.0(下流側)	No.9の崩壊の直ぐ上流に位置する. この地点の上下流で勾配が大きく変化した.
11	21.77	5.81	10.5	支流が合流する.
12	26.69	-	14.5	支流が合流し, 顕著な土砂堆積がみられる. 侵食は無い.
13	16.43	5.5	9.5	側岸からの崩壊土砂の供給や, 流木が発生したような痕跡がある.
14	19.46	3.87	13.5	上流は勾配がやや緩くなる.
15	11.3	2.5	19.5	源頭部. 崩壊の下側では基岩が露出して, 崩壊の中腹より上においては, 土が覆っている箇所も見られる.

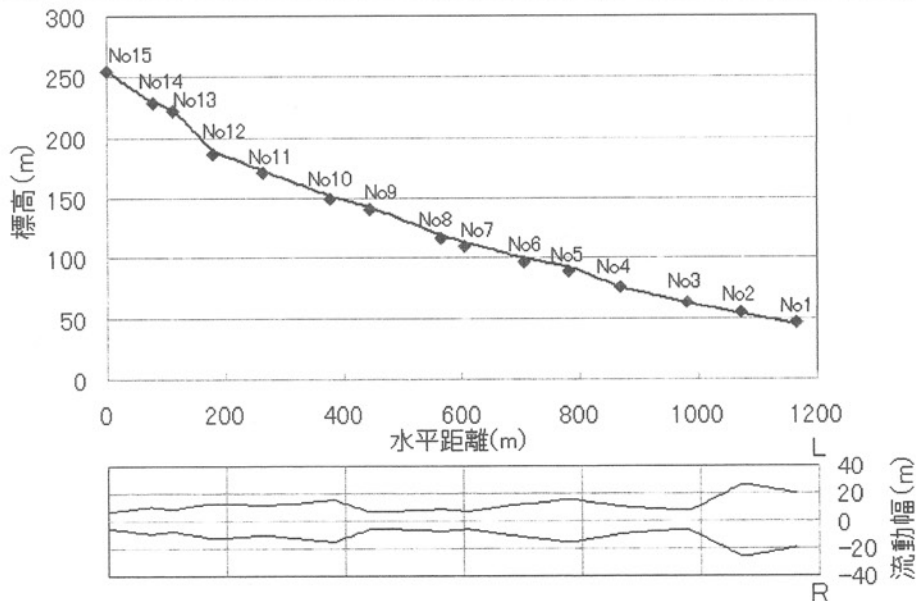


図-2 測量から得られた縦断面図と川幅 (縦断面図上に地点番号を表示, 水平距離はNo. 15を起点とする)



写真-7 石原地区源頭部 (No.15)

中・上流域では、基岩の露出(写真-5)が広い範囲で確認された。今回の調査や航測会社による災害の前後を比較した河床位から推定した土砂移動量は、出水が完全に終了してから得られた結果である。実際に土石流が、一度に発生・発達・流動・堆積したとは限らない。

4. 石原地区を対象とした土石流数値シミュレーション

石原地区を対象として、汎用土石流シミュレータ KANAKO²⁾を用いて数値シミュレーションを実施して、災害状況の再現や効果的な対策法を検討した。KANAKO は GUI を実装した汎用土石流シミュレータで、急勾配域の一次元計算から、扇状地などの緩勾配までの二次元計算を統合的に計算することや、砂防堰堤を設置した計算を実施することができる。

(1) 初期条件

石原地区の地形条件は No.12(写真-6)の位置を計算開始点として、表-1 ならびに図-2 の現地調査時に測量した標高並びに川幅を元に作成した。図-1 に、実線で示した No.12-No. 1 までの土石流の発生・流動区間(約 1km)を一次元計算領域として、また 400m 四方の正方形領域を二次元計算領域とした。

災害前後の航空写真の比較から、計算開始点において 10, 100 m³、一次元領域最下流端では 34, 100 m³ の土砂移動が推定される。そこで、一次元領域では

移動可能な堆積土砂を 24,000 m³ と設定した。いずれの土砂量も空隙を含む値である。

供給ハイドログラフは、以下のように仮定し、図-3 のように設定した。最初の 200 秒間は、砂防基本計画策定指針³⁾に従い、計算開始点から移動した土砂 10,100m³ から求められる土砂濃度とピーク流量を三角形状で与えた。さらに、200 秒後から計算終了時(7200 秒)までは、後続流として水のみを 15m³/s 供給し、一次元領域の移動可能土砂が侵食されるようにした。

なお、供給した水の総量 118,490m³ は、土石流が発生した 21 日 6-12 時までの 6 時間雨量 230 mm¹⁾ が全て、流域 (0.34km²) に流出したと仮定した際の総流量 78,200 m³ の約 1.5 倍となっている。

その他のパラメータは表-2 のように設定した。一様粒径で計算を実施した。平均粒径は No.1-No.15 の領域で調査時に確認された粒径から 0.55m と設定した。侵食・堆積速度係数については、土石流計算で一般的に用いられることが多い値⁴⁾を設定した。

(2) 計算結果

(1) で示した初期条件を用いて計算を実施した。図-4 では、右からアジア航空会社が計測した災害前後の河床位データの比較(右端)、KANAKO での再現計算における河床変動(中央)、ならびに一次元領域下流に高さ 10m の不透過型砂防堰堤を設置した条件下での計算結果(左端)を示している。

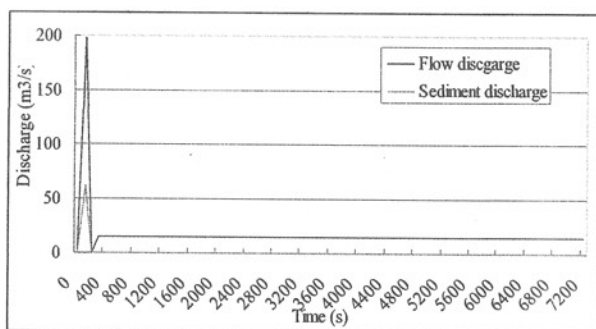


図-3 供給ハイドログラフ

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)	7200
計算の時間間隔(秒)	0.01
粒径(m)	0.55
砂礫の密度(kg/m ³) σ	2550
流動層密度(kg/m ³) ρ	1180
河床の容積濃度	0.6
重力加速度(m/s ²)	9.8

パラメータ	数値
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	60
一次元領域の計算点間隔 (m)	15
二次元領域の計算点個数	60×60
二次元領域の計算点間隔 (m)	6.7×6.7

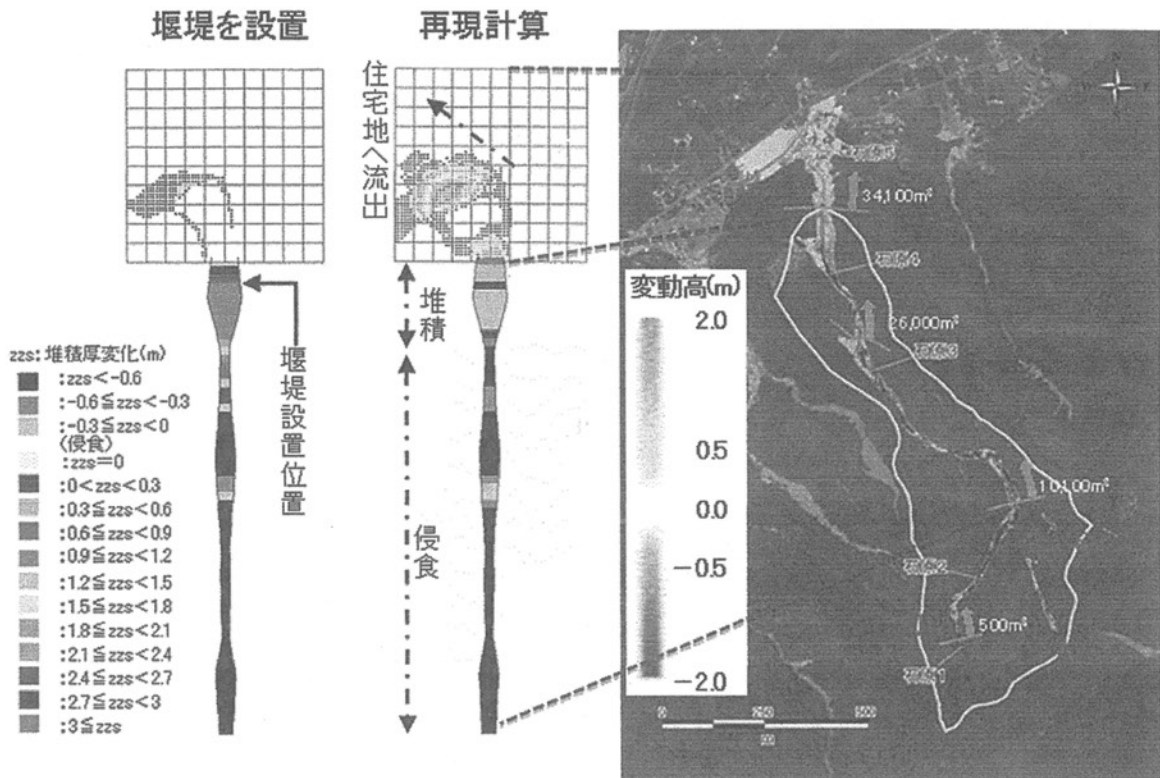


図-4 計算結果（左端：砂防堰堤設置，中央：災害状況）と航空写真からの河床位変化（右端）の対応

再現計算では、実際に発生した土石流とよく対応した計算結果を示すことができた。一次元領域では侵食によって土石流が発達して、二次元領域においては実災害と近い流動・堆積の傾向が確認された。

また、一次元領域下流付近（No.1-No.2の間）に堰堤を設置すれば、被災した土石流の直撃を受けた家屋（No.1）や集落（No.0）における被害も小さくできる可能性が示唆された。

5. 八幡谷溪流

防府市の各所で土石流被害が発生した一方で、佐波川流域の八幡谷溪流(図-5)では被害が生じていない。

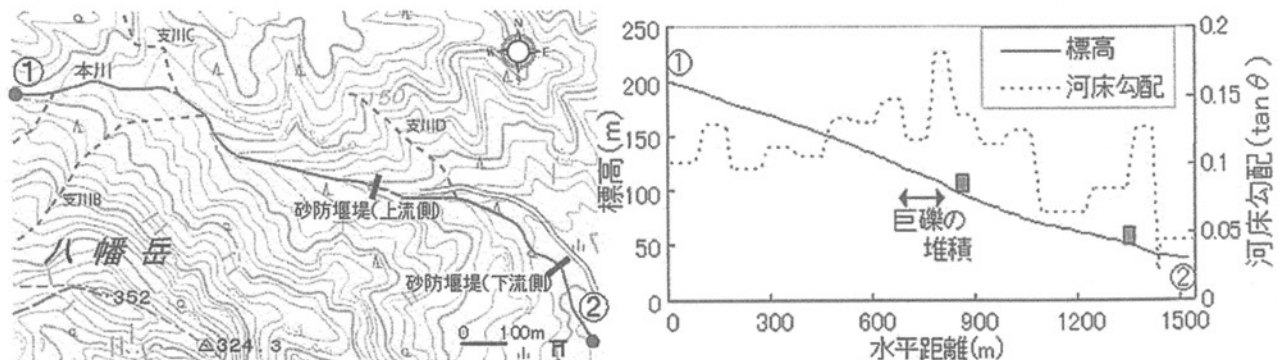


図-5 八幡谷溪流における堰堤位置（左図：①-②が流路）と、流路の縦断面図および河床勾配（右図：長方形は砂防堰堤）しかし、流木の閉塞によって堆積した土砂のほとんどがマサ土の細礫であったため、流木が発生・流下しなかつた。

これは、溪流にある砂防堰堤群が効果的に機能したことによる(写真-8)。溪流に設置された堰堤は、上流側がI型堰堤、下流側がB型堰堤と呼ばれる鋼製透過型砂防堰堤である。災害後および除石工事の際に捕捉、堆積状況を調査した。

透過型堰堤は通常、巨礫など大きなサイズの土砂閉塞によって、細礫分までも捕捉する目的で設計・設置されている。しかし、今回のケースでは、閉塞のほとんどは流木によるものであることが、堰堤の除石作業時の調査から明らかとなった(写真-9)。

流木は流れの先端部に集中することが、既往研究で確認^{5),6)}されている。閉塞状況から今回のケースでも同様の傾向が生じていると考えられる。

った場合、透過型堰堤が効果的に機能しなかった可能性が考えられる。

なお、砂防堰堤で閉塞する材料となる巨礫群は、上流域から流下した痕跡は見られるが ほぼ全て堰堤の100m 上流付近に堆積していた(写真-10)。この現象は、河道の狭窄やコンクリート製の林道の影響が考えられる。特に、林道の一部は巨礫により破壊され、衝突により巨礫の移動が停止したと推測されるものも多数あった。

流木による土石流の流れや構造物の機能への影響を検証するモデルは少ない。前田らは八幡谷溪流での現象を、流木を巨礫と仮定した上で透過型堰堤の閉塞を再現している⁷⁾。

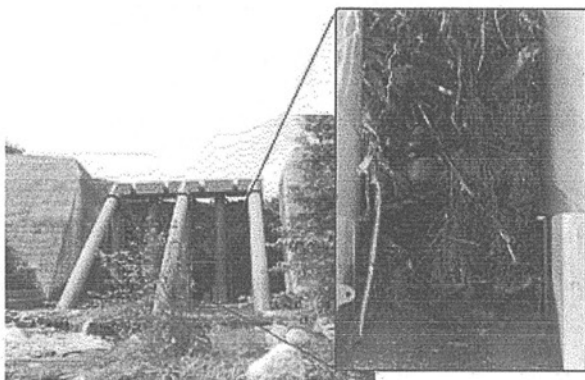


写真-8 八幡谷溪流における上流側の透過型堰堤（下流より望む）と鋼管の流木による閉塞状況

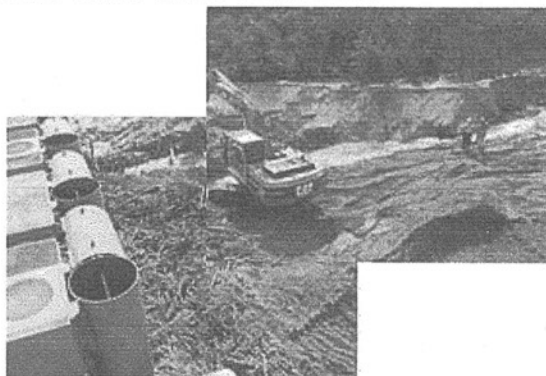


写真-9 透過型堰堤の上流側での除石作業



写真-10 八幡谷における堰堤上流側での顕著な堆積
一方で、流木と巨礫の密度差による影響や、流木は個別では構造物の機能への影響は少ないが集積する

ことによって鋼管の閉塞に寄与する点、巨礫が堆積しても流木は流動を継続する点などにおいて、流木を巨礫として扱う手法には限界がある。今後は合理的なメカニズムの解明ならびにモデルの構築が必須と考えられる。

6. おわりに

本研究においては、山口県防府で発生した土石流の中でも、石原地区について現地調査およびシミュレーションを実施して良好な再現結果を得た。

更に、居住エリアの上流側に不透過型砂防堰堤を設置すると、被害が大きく軽減することが示された。八幡谷溪流については、現地調査結果から流木によって透過型砂防堰堤が効果的に機能したことが示された。一方で、堰堤の本来のターゲットであった巨礫が堰堤の直上まで流動しなかった要因や、細礫分の多く含まれる土石流危険溪流での安全な透過型砂防堰堤の構造や設置については、今後も検討が必要であることが明らかとなった。

謝辞：本研究の遂行にあたり、石原地区の航空レーザー計測データを提供頂いたアジア航測株式会社の関係各位に、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 古川浩平・海掘正博・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.
- 2) 中谷加奈・和田孝志・里深好文・水山高久：GUI を実装した汎用土石流シミュレータ開発，第四回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.149-154，2008.
- 3) 国土交通省：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編），2007.
- 4) 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.
- 5) 水山高久・石川芳治・矢島重美：透過型砂防ダムによる流木捕捉効果，土木技術資料，30(11)，pp.47-52，1988.
- 6) 石川芳治・水山高久・福澤誠：土石流に伴う流木の発生及び流下機構，砂防学会誌，Vol.42，No.3，pp.4-10，1989.
- 7) 前田大介・中谷加奈・里深好文・水山高久：数値シミュレーションを用いた平成21年7月山口県防府で発生した土石流災害の検討，平成22年度砂防学会研究発表会概要集，pp.462-463，2010.

(2010.5.14 受付)