

# 厚真川小流域における崩壊斜面からの流出土砂量の観測

Observation for runoff sediment from landslide surface over subcatchment of Azuma river

北海道大学大学院工学院環境フィールド工学専攻 ○学生員 宮崎功太郎 (Kotaro Miyazaki)  
 北海道大学大学院工学研究院 正員 星野剛 (Tsuyoshi Hoshino)  
 北海道大学大学院工学研究院 正員 山田朋人 (Tomohito Yamada)  
 (株) 福田水文センター 正員 橋場雅弘 (Masahiro Hashiba)

## 1. はじめに

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震により、北海道厚真町、安平町、むかわ町で大規模な土砂崩壊が生じた(図-1)。Kasai and Yamada(2019)によると、崩壊面積は我が国において明治以降最大となる48.4km<sup>2</sup>であり、土砂崩壊の発生箇所は6117箇所にも及ぶ[1]。関口・佐藤(2006)によると、本地震以前の既往最大の崩壊面積を記録した新潟県中越地震における崩壊面積は11.2km<sup>2</sup>であり[2]、本地震ではその約4倍の崩壊面積となる広い範囲での土砂崩壊であった。

特に崩壊が集中した厚真川流域では、降雨による土砂流出リスクの増大が予想される。厚真川流域に形成された崩壊斜面は流域面積の13%を占めており、降雨による厚真川への流出土砂量の増加が考えられる。厚真川本川では、河床への土砂の堆積による洪水流下能力の低下や、厚真川上流の厚真ダムと厚幌ダムへの土砂流入による貯水容量の低下が懸念される。このような被害リスクを考える上で、厚真川流域の流出土砂量(土砂流出リスク)の定量的な評価が必須となる。

本研究では、地震後の厚真川流域の降雨と土砂流出の関係性を把握するために、厚真川の小流域を対象とした水文、気象観測を行い、2019年と2020年の降雨イベントによる流出土砂量の算出を行った。得られた結果より降雨と土砂流出との関係性の定量化を試みた。

## 2. 観測対象流域、観測手法と土砂流出の算出法

### 2.1. 観測対象流域

水文観測の対象流域は、厚真町富里地区の厚真川の支川流域である(図-1(a)、(b))。この支川流域の流域面積は

国土地理院が提供する5m標高データから0.76km<sup>2</sup>と算出された。また、国土地理院の衛星画像から判別した崩壊斜面の面積は流域面積の54%にあたる0.41km<sup>2</sup>であった。これは厚真川全体での崩壊面積率と比べても大きく、対象流域の土砂侵食は地震による土砂崩壊の影響を強く受けていることが予想される。著者らのドローンによる観測から、本流域において二箇所の窪地の水たまりの存在を確認した。なお2019年から2020年にかけて、この水たまりは縮小傾向にある。土質は道央の火山噴火、カルデラ形成に由来する火山灰質土であり、下層から支筋カルデラ(Spfa-1)、恵庭岳(En)、樽前山(Ta-a、Ta-b、Ta-c、Ta-d)の順に堆積している。小山内ら(2019)は、本地震で発生した土砂崩壊は主にTa-dを滑り面として崩落していると指摘している[3]。

### 2.2. 観測手法、土砂流出量の算出

対象流域の水文観測および気象観測を行った。水文観測地点は厚真川本川と観測対象支川との合流部のコンクリート矩形水路である(図-2(a))。観測諸量は水位、水深、濁度、降水量であり、それぞれ超音波水位計、濁度・水深計(赤外線方散乱濁度計、圧力式水深計)、転倒マス雨量計を設置して観測した(図-2(b))。なお濁度計と水深計は一つの測器に内蔵されている。降雨と水位の観測インターバルは5分間隔であり、濁度と水深は5分毎に1秒間隔で10回計測が行われる。超音波水位計の観測値は、観測開始時の水位からの相対的な水位の変化であるため、観測開始時の水深(2019年、2020年ともに5cm)を現地で計測し、相対的な水位の変化を水深に変換している。

観測は2019年7月25日から11月13日、2020年7月



図-1 (a)厚真川流域の全体図と土砂崩壊、堆積地の分布図 (b)観測対象流域と観測地点 (c)観測対象流域の土砂崩壊斜面(2019年7月25日に著者らにより撮影)

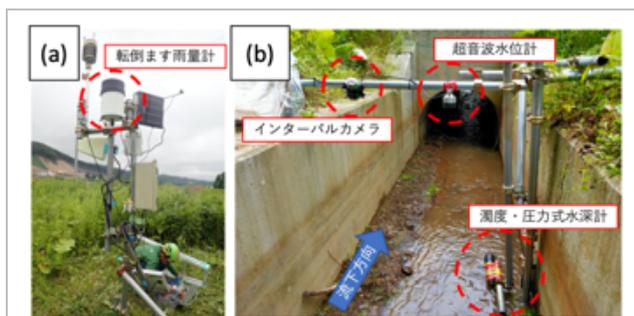


図-2 (a)気象観測地点の転倒ます雨量計  
 水文観測地点から東へ500mに設置  
 (b)水文観測地点の超音波水位計濁度・水深計、  
 インターバルカメラ(2020年7月16日設置時撮影)

16日から11月20日にかけて行われた。濁度計は2019年7月25日から8月14日まで河床に、8月14日から9月13日まで河道中央の水面上方に設置されていたが、それぞれ出水時に流れてきた土砂にセンサーが覆われる、流下物がひっかかるなど計測に不適な状態になった。そのため2019年9月13日以降は左岸水面上方に設置し、2020年は全期間にわたり右岸水面上方に設置した。本観測では濁度と水深は平水時には計測されず、濁度計が浸かる高水時のみ計測される。平水時と出水時の様子を図-3に示す。また、2020年観測期間中に濁度・水深計の電源が喪失したため、2020年8月11日から9月2日にかけて濁度、水深が欠測となっている。圧力式水深計は時間的に連続した水深を観測できていないため、本解析では欠損期間を除き超音波水位計の水位を水深に換算した値を用いる。超音波水深計の欠損期間は、高水時の圧力式水深計の水深を用いた。

観測された水深から流量を算出するために、河道近傍に30フレームレート(30枚/秒)のトレイルカメラ(昼間は可視カメラ、夜間は近赤外線カメラ)を設置し、2019年10月4日の出水時の表面流速[m/s]を推定した。推定手法はSpace-Time Image Velocimetry(STIV)法[4]である。STIV法は主として二次元(主流方向)の平均流速を求める非接触型流速測定法であり、水表面の流れ方向に想定した検査線上の輝度分布の時間変化を時空間プロットし、そこに現れる縞パターンの勾配から表面流速を求めるものである。なお断面平均流速は表面流速に浮子観測の更生係数である0.85を乗じて算出し[5]、断面平均流速か

ら流量 $Q$ を算出した。このようにして求められた流量 $Q$ に対応する水深 $h$ から $h-\sqrt{Q}$ 関係を作成し、連続的な流量 $Q$ を算出した。2019年10月4日イベントのピーク流量は5分間平均で $0.20\text{m}^3/\text{s}$ と全イベントの中で比較的大きくこのイベントを対象に $h-\sqrt{Q}$ 関係を作成した(図-4(a))。

赤外線濁度計の濁度は水中の浮遊物質からの赤外線の反射率[ppm]で表されるため、土砂量を求める際に単位を濃度に変換する必要がある。そこで反射率濁度-浮遊物質濃度関係を得るために2019年10月4日の出水時に採水を実施し、その分析を行った。10月4日イベントのピーク浮遊物質濃度は5分間平均で $33.8\text{g}/\text{m}^3$ と全イベントの中で比較的大きい。得られた反射率濁度-浮遊物質濃度関係から連続的な浮遊物質濃度を算出した(図-4(b))。

以上述べた流量、浮遊物質濃度を乗じることで流砂量が得られ、さらに時間積分することによりイベントごとの総土砂流出量を算出した。

### 3. 結果

観測期間における観測結果の日別値を図-5に示す。観測期間中の最大総降雨イベントは2019年9月23日であり、総降雨量は63.8mmである。水位は、降雨イベントの前と比べて降雨イベント後の方が小さく、あるいは大きくなるケースが多数見られることから、河床が洗掘される、あるいは流出土砂が堆積していることが示唆される。観測期間中最大の流出土砂量を記録した降雨イベントは2019年10月4日の降雨イベントであり、総降雨量44.8mmに対し、流出土砂量は26.3tであった(図-6)。

観測期間における主要な降雨イベントの流量-浮遊物質濃度関係を図-7(a)に示す。この図から、流量が同じでも浮遊物質濃度には大きな差が生じていることが示された。この差はイベント毎に異なるだけでなく、同じイベント中においても生じている。したがって土砂流出量を求めるモデルの構築にあたり、流量だけでなく、浮遊物質濃度の変化も考慮しなければならないことが示唆される。また、イベント中の流出土砂量の時間変化は流量ピークよりも浮遊物質濃度のピークが早い初期高濃度型と濃度ピークが遅い後期高濃度型の2つに分類される。図-5(a)において、右回りのループを描いているイベントが初期高濃度型であり、左回りのループを描いているイベ

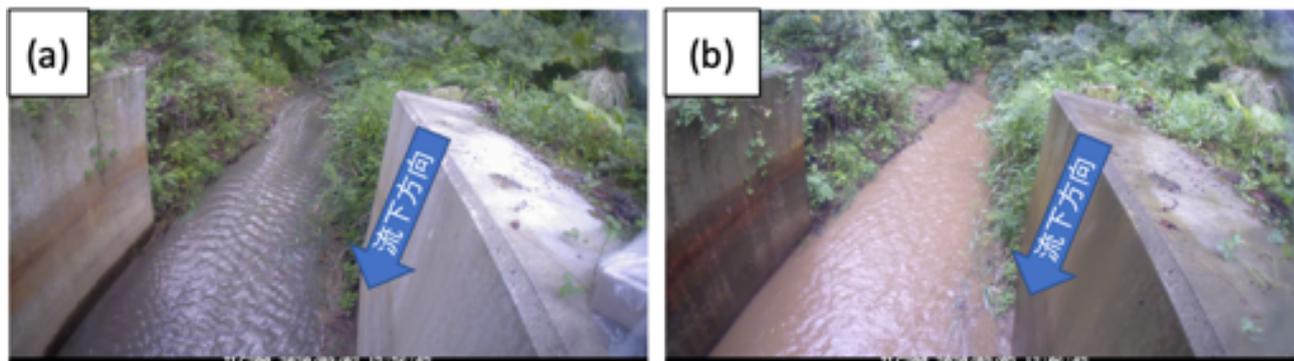


図-3 水文観測サイトのインターバルカメラ画像 (a)平水時(2020年9月2日) (b)出水時(2020年9月5日)

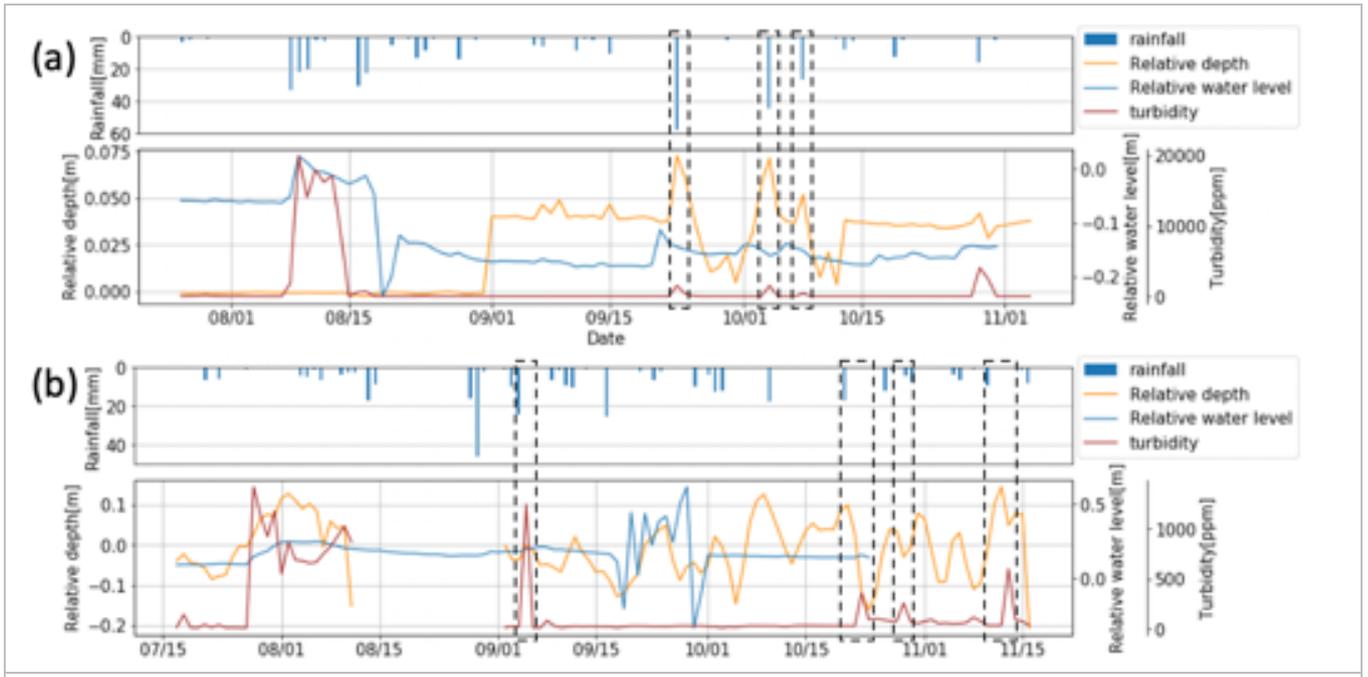


図-5 (a) 2019年と(b)2020年の日別値。破線で囲われているイベントを対象に解析を行った

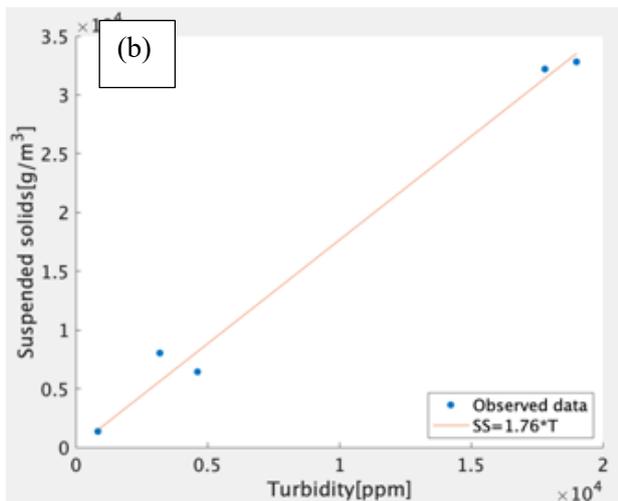
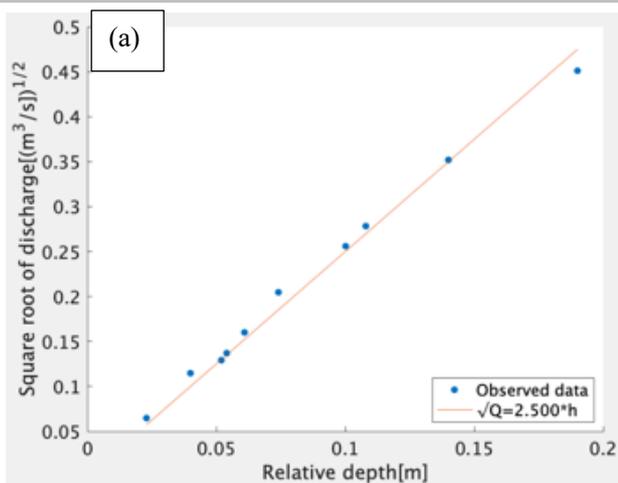


図-4 (a):2019年10月4日出水イベント時の  $h-\sqrt{Q}$  の散布図および線形近似式  
(b): 2019年10月4日出水イベント時の 反射率濁度-浮遊物質濃度の散布図および線形近似式

ントが後期高濃度型である。初期高濃度型イベントは2019年9月23日イベントのみであり、それ以外のイベントは後期高濃度型であった。2019年9月23日イベントは本観測期間中、最大総降水量を記録したイベントであることから、総降水量が流出土砂の時間変化に影響を及ぼすことが示唆される。

各イベントで算出された総流出土砂量は0.2tから26.3tであった。流域面積で除すると  $0.3\text{g}/\text{m}^2$  から  $34.6\text{g}/\text{m}^2$  となる。各イベントにおいて算出された総流出土砂量と総降雨量、平均降雨強度との散布図をそれぞれ図-7(b)、(c)に示す。総降水量と総流出土砂量との相関係数は0.85と強い相関が見られるが、平均降雨強度と総土砂流出量との相関係数は0.16と弱い。土砂浸食は主に雨滴の衝撃による土砂粒子の剥離と、水流による浸食によって発生する。これら浸食の激しさは総降雨量、平均降雨強度だけでなく、降雨の時空間分布や流域の初期土壌水分量からも影響を受ける。したがって土砂流出量を求めるモデルの構築にあたり、降雨の時空間分布および初期土壌水分量といった情報も考慮する必要性が示された。

#### 4. まとめ

観測期間中の本流域からのイベントごとの総土砂流出量は0.2tから26.3tであった。本観測地点の2019年と2020年の日最大降水量は63.8mmである一方、アメダス厚真観測点における既往最大の日降水量は187mmである。このことから、今後本観測期間中に発生した以上の土砂流出が発生する可能性がある。また、本観測では濁度計が水面に浸かっている間の浮遊している土砂のみ観測しているため、低水時の流出土砂および掃流砂を含めると、実際の総流出土砂量は算出値以上であると考えられる。また、本流域の土砂流出の関係性はイベントごとで大きく異なる。総流出土砂量は総降水量とはある程度の相関がみられるが、平均降雨強度とは線形関係ではな

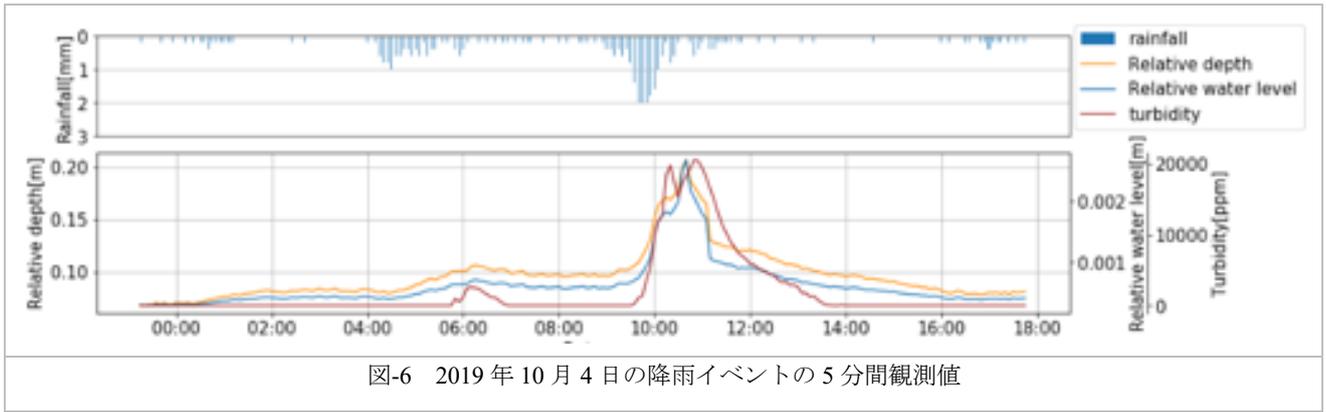


図-6 2019年10月4日の降雨イベントの5分間観測値

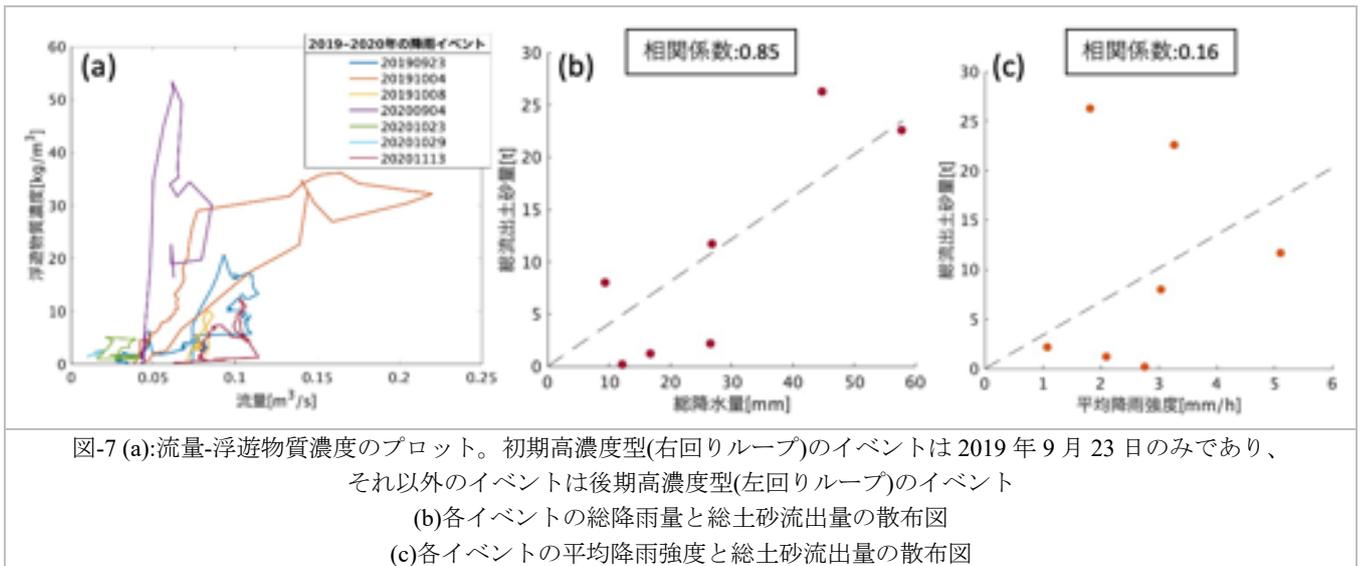


図-7 (a):流量-浮遊物質濃度のプロット。初期高濃度型(右回りループ)のイベントは2019年9月23日のみであり、それ以外のイベントは後期高濃度型(左回りループ)のイベント  
 (b)各イベントの総降雨量と総土砂流出量の散布図  
 (c)各イベントの平均降雨強度と総土砂流出量の散布図

いことが示唆された。加えて、流出土砂濃度の時間変化が観測期間中最大の降雨イベントのみ異なったことは、降雨と土砂流出の関係を把握する上で重要だと考えられる。

将来、総流出土砂量および降雨と土砂流出の関係は、降雨の特徴と流域の特徴によって変動すると考えられる。前者は総降雨量や平均降雨強度、降雨の時空間分布などが、後者は、崩壊斜面の植生の回復、土層の水平、鉛直分布などがあげられる。今後、土砂流出のモニタリングを続け、流出土砂量の推移と降雨、流域特性の関係から土砂流出機構および土砂流出リスクの将来変化の把握を試みる。

### 5. 謝辞

本研究の遂行にあたっては北海道河川財団の研究助成を受けた。また、科研費基盤研究(A) 19H00963、科研費基盤研究(B)19H02241 の支援を受けた。

### 参考文献

[1] Kasai, Mio, and Takashi Yamada. "Topographic effects on frequency-size distribution of landslides triggered by the Hokkaido Eastern Iburi Earthquake in 2018.," Earth, Planets and Space 71. 1 (2019): 1-12.  
 [2] 関口 辰夫、佐藤 浩、新潟県中越地震における斜面崩壊の特徴と分布、日本地すべり学会誌、2006、43

巻、3号、p. 142-154

[3] 小山内信智ら, "平成30年北海道胆振東部地震による土砂災害。" 砂防学会誌 71. 5 (2019): 54-65.  
 [4] 藤田一郎:河川表面流速の画像計測ソフトウェア KU-STIV 開発の背景とその応用、建設工学研究所 論文報告集第57号[報告]、2015年11月  
 [5]国土交通省:河川砂防技術基準調査編、第2章第4節