# 2014 年 9 月に恵庭岳山麓で発生した土石流の特徴

Characteristics of the debris flow that occurred in the foot of Mt Eniwadake in September 2014

寒地土木研究所	OIE	員	藤浪武史	(Takeshi Fujinami)
寒地土木研究所	正	員	阿部孝章	(Takaaki Abe)
寒地土木研究所	正	員	船木淳悟	(Jungo Funaki)

### 1. はじめに

2014 年に発生した主な土石流は、7月9日に台風8 号に伴う集中豪雨で長野県南木曽町の梨子沢の事例と、 豪雨により8月20日未明に土石流が多発的に発生した 広島市内の事例が挙げられる.特に広島市内の土石流で は、死者74名という甚大な被害が発生した.一方、北 海道では、9月10日から11日にかけての降雨により、 恵庭岳山麓に土石流が発生した.この降雨では、気象庁 が2013年8月に創設した特別警報が、石狩地方に対し 11日午前5時35分に北海道で初めて発令された.その 内容は、浸水及び土砂災害に関する大雨特別警報であり、

「これまでに経験したことのない大雨」に関する情報提供と注意喚起であった.この時の集中的かつ局所的な降雨には,同年8月の広島市内の豪雨と同様,風上に継続的に積乱雲が発生するバックビルディング現象が発生していたと言われている<sup>1),2)</sup>.

ところで、火山地域では一般的に脆弱で侵食に弱い地 質構造を有しており、降雨による土石流がたびたび発生 するため、古くから砂防事業や治山事業が行われてきて いる.

今回の恵庭岳山麓の土石流では、当該地域に居住者が いなかったことや国道の適切な通行規制等により、人的 被害が発生しなかった.しかし、集中的かつ局所的な降 雨がどこにいつ発生するか予測が困難な現状では、防災 担当者はあらかじめ想定した降雨規模における土砂移動 状況を、事前に把握していることが減災に有効である.

そのため、本検討では2014年9月11日に恵庭岳山麓 で発生した土石流の現地調査で得られた知見を示すとと もに汎用土石流シミュレータの適用可能性について速報 として報告するものである.

本稿では,第2章で発生した土石流の概要を説明し, 第3章以下で検討手法等について述べる.

#### 2. 発生した土石流の概要

土石流が発生した沢は2箇所確認しており,一箇所は 恵庭岳山頂部の爆裂火口から支笏湖に流入するポロピナ イ沢である. (図-1,2)二箇所目は,恵庭岳山頂か ら北麓を下り,国道453号沿いにポロピナイ沢に合流す る沢(以降「北麓の沢」という)である. (図-1)

現地近傍には,北海道開発局が設置した奥漁観測所が あり,11 日午前3時までの累計雨量は202mm,これよ り午前7時までの1時間降雨量はそれぞれ47mm, 77mm,52mm,34mmと大きな強度の降雨が長時間継続 した<sup>3)</sup>. (降雨量は速報値である) ポロピナイ沢の現地調査は,9月13日のほか10月18 日に湖畔から上流方向に治山ダムまでの約1.2kmの区 間を実施した.この区間の平均勾配は概ね5°~6°で あり,土砂堆積傾向が支配的であるが,段差箇所やその 下流では侵食が見られ,土石を堆積させた土石流に後続 して水分の多い流れの発生が推察できた.

また,現地調査から河道幅は土石流の発生前よりも拡 大していることが推察され,さらに,渓岸には高さが均 ーな樹林があることから以前にも同様の規模の土石流発 生<sup>4)</sup>が推察できた. (図-3)

#### 3. 検討手法

本検討では,現地調査で確認できたことを主として 論じるが,現地で確認できなかったことを補助的に検証 することを目的に再現計算を実施することとした.

適用実績が多い土石流シミュレータは、改正土砂災害防止法の施行により緊急調査初動期に貢献し国の機関を対象とした QUAD<sup>5)</sup>及び、一般向けに公開されている汎用土石流シミュレータの Kanako<sup>6</sup>等がある.



図−1 ポロピナイ沢位置図



図-2 ポロピナイ沢丸駒橋上流の土石流の状況 (9月11日 北海道開発局撮影)

本検討では、(一財)砂防・地すべり技術センターの Web サイトから無償ダウンロードできる Kanako Ver 1.44 を採用した.1次元モデルを採用した理由は、今回 の対象渓流は比較的直線状であることや、簡易に侵食・ 流動・堆積過程が把握できることからである.

Kanako Ver 1.44 に使用されている基礎方程式は,以下 の運動方程式(1)及び連続式(2),(3)及び(4)である<sup>7)</sup>.

$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial v M}{\partial x} = -gh\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_b}{\rho_m}$	•••(1)
$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = S_t$	•••(2)
$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial CM}{\partial x} = C_* S_t$	•••(3)
$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -S_t$	•••(4)

ここで, *M* は運動量フラックスを表し *M=vh*, *v* は断 面平均流速, *h* は流動深, *g* は重力加速度, *H* は流動面 標高を表し  $H=h+z_b$ ,  $z_b$  は河床高,  $\tau_b$ は河床面せん断応 力,  $\rho_m$ は土砂と水の混合物の密度を表し,

 $\rho_m = (\sigma - \rho)C + \rho \qquad \cdot \cdot \cdot (5)$ 

σは土砂の密度である.

(2)式で表される土石流の全容積の連続式のうち, *S*<sub>t</sub> は侵食速度である.また,(3)式で表される流水中の土 砂の連続式のうち,*C* は流動層の土砂濃度,*C*\*は堆積層 の濃度である.(4)式は河床の土砂の連続式を表してい る.

また, Kanako Ver 1.44 は,計算途中で土砂濃度の変更 が可能なことに加え,里深らの研究<sup>8)</sup>を踏まえ,土石流 の構成材料として大小2種類の粒径が考慮できることや, 土石流が不透過型貯砂施設を越流する条件を適切に設定 し施設周辺の流動・堆積過程の表現ができること等の特 徴を有している.

北麓の沢で実施した現地調査では,緩傾斜となる国道 合流地点(図-1)に多くの土石を堆積させており,合 流後のポロピナイ沢へは流水の影響が支配的と考えられ た.そのため,再現計算区間は恵庭岳山頂部の爆裂火口 から流下する沢を対象とした.

再現計算に当たり入力条件設定は、国土地理院地図 (電子国土 Web)画面上で標高が求められる.現地の 治山施設の状況に合わせ、計算区間上流端から 850m,

1,100m, 1,250m 及び 1,650m の 4 地点に高さ 5m の治山 ダム等を設置した.また,現地調査結果から,河道幅は 土石流発生後の値を設定した(図-4).なお,上流端 から 700m 区間は,急勾配であることや未踏査のため河 道幅を一律 10m と設定した.

土石流の再現計算には,**表-1**のパラメータを使用した.また,ピーク流入量については以下のように算出した.

再現計算上流端での集水面積は約 0.54km<sup>2</sup> である.また,大きな強度の降雨が継続したことから流出率を 1.0とし,午前 5 時までの 1 時間降雨量 77mm を使用した.

$$Q_p = \frac{1}{3,600} * fRA \qquad \cdot \cdot \cdot (5)$$

ここで、 $Q_p$ は流水量( $m^3/s$ )、fは流出率、Rは降雨 量(m/hr)、Aは流域面積( $m^2$ )であり、11.6  $m^3/s$  が求め られる.

また, 土石流の流量Q<sub>sp</sub>は,

$$Q_{sp} = \frac{c}{c_* - c} \cdot Q_p \qquad \cdot \cdot \cdot (6)$$

ここに,一般的な  $C_*$  の値 0.7 と C に 0.55 を代入して  $^{91}$ 土石流のピーク流入量 50  $m^3$ /s を求めた. なお,  $C_*$  及 び C の値設定には複数の提案がなされており, 今後検 討の余地がある.

土石流の流入波形の設定に当たり、参考とした図-5 の写真では、治山施設下流側の河床は土石流発生前に比 べほぼポールの高さの約2mの洗掘が確認できる.この ことから水分の多い後続流が継続したと推察できる.こ のため、一般的に採用される三角波形と異なり、図-6 及び表-2に示す流入波形を採用した.ここで、三角波



図-3 ポロピナイ沢土石流の状況(丸駒橋上流)



図-4 ポロピナイ沢の河床縦断と河道幅

表-1 計算に用いた主なパラメータ

計算に用いた主なパラメータ	
計算時間(秒)	7,200
土砂の粒径	
大径(m)	0.2
小径(m)	0.05
土砂等の密度(kg/m <sup>3</sup> )	2,650
マニングの粗度係数	0.03
当初の大径土砂濃度	0.15
当初の小径土砂濃度	0.15
変更した大径土砂濃度	0.05
変更した小径土砂濃度	0.05

形と逓減する後続流量直線との接続には、土石流の主体 となる三角波形を活かし接続時刻を変化させることとし た.

なお,土石流発生前の渓床データを保有していないため,現地調査で得られた渓流の特徴と再現計算結果との 比較を行うものとする.

### 4. 再現計算を通じた土石流の特徴に関する検討

現地調査で顕著であった土砂堆積と侵食の傾向につい て,汎用土石流シミュレータにより再現計算を行い,補 助的な検証を行う.なお,現地調査は計算区間上流端か ら 850m の箇所から 2,000m の箇所(湖畔)の区間を実 施している.

図-7は表-2に示す後続流量の差を考慮した 7,200 秒後の河床変動量を表したグラフである.計算区間上流 端直下は急勾配のため侵食するが,そこから 200m下流 では堆積し始める. 500m から 700m の区間では堆積と 侵食が交互に起きるためデータの詳細な分析が必要と考 える.



図-5 湖水橋下流の治山施設(上流端から 1,650mに相当)



図-6 計算に用いた土石流の流入波形

表―2 計算ケース表

ケース名	土砂等濃度 時刻(	まの変更 秒)	変更時点の混合 流量(m3/s)
	大径	小径	
ケース1	1,920	1,920	20
ケース2	2,160	2,160	10
ケース3	2,280	2,280	5

治山ダム(850m)から丸駒橋(1,300m)の区間は概ね堆 積傾向が基本となり、図-7の再現計算結果や1,100m に相当する地点から上流を望んだ図-3の状況と調和し ている.1,100m 地点において河床変動量が隣接地点よ りも小さい理由は、治山ダム等の設置による上流側の堆 積や河道幅が狭まることによる下流側の堆積が原因であ ると考えられる.また、後続する流量の差に関わらず、 同一地点毎の堆積傾向は類似している.

丸駒橋から湖水橋(1,550m~1,600m の中間)の間は,現 地調査では一様に堆積傾向が見られており,再現計算の 結果と概ね同様の傾向である.また,湖水橋下流では, 治山施設(1,650m)下流(図-5)を除いて,現地調 査では一様に堆積傾向が見られたが,再現計算結果も概 ねこの傾向を表している.

さらに、後続流の開始流量を 10 m<sup>3</sup>/s に設定したケー ス2における河床変動量の時間変化(図-8)を見ると、 2,400 秒から 7,200 秒にかけての流れによる上昇量は、 上流側の 800m~1,250m 区間は.下流側の 1,700m ~ 1,850m 区間よりも大きくなっていて、上流からの土砂 供給が支配的であることが推察できる.しかし、堆積傾 向の大小を区間毎に着目すると、800m~1,250m 区間と 1,700m ~1,850m 区間とでは、再現計算結果(図-7, 8) ほど現地調査では差異を見受けられなかった.(図 -9)



図-7 再現計算 7,200 秒後の河床高変動状況



図-8 ケース2における河床変動量の時間変化



# 図-9 上流端から 1,800m相当地点から上流を望む

土石流の痕跡については、渓岸の岸壁や橋梁などの構 造物から確認できた. 図-10 からは現河床から2~3 m高く、図-11 の湖水橋上流の自転車道橋桁の泥の付 着状況から桁下から河床高までの少なくとも胸の高さ (約 1.2m) 程度高いことがわかる. これらの再現につ

いては、本検討で使用したシミュレータでは不十分であった.

しかし,現地調査を実施した 850m~2,000m 区間の河 床変動の傾向は,再現計算結果と大きな矛盾は無く,こ うした1次元モデルでも事前予測に貢献できる可能性を 示している.



図-10 土石流の痕跡が見られる丸駒橋下流左岸 の岩壁(上流端から1,500m地点に相当)



図-11 湖水橋上流の自転車道橋桁(上流端から 1,550~1,600mに相当)

## 5.まとめ

本稿では,防災に備えた事前の状況想定が重要と考え, 土石流が発生した現地状況と汎用土石流シミュレータの 計算結果とを比較し、堆積侵食傾向が表現できているか、 課題が無いかを検討した.現地調査の結果、区間によっ て堆積粒径が異なることから流下形態が変化したことが 推察できる.(上流から図-3,10,11,5,9)

このような複雑な土石流の流下・堆積現象に対し, Kanako Ver 1.44 は,現地調査による堆積及び侵食傾向が 概ね表現できた.また,入力条件設定が容易で,この程 度の計算規模であれば約 30 秒間で1ケースが完了する 簡便性も有している.

なお,執筆時点では,土砂移動量などの詳細な分析や, 土石流発生時刻の解析の成果は明らかになっておらず, 今後公開が期待されるポロピナイ沢土石流の発生前後の 地形データ等から,詳細な土砂移動状況を踏まえた現地 での現象分析や再現計算の条件設定等の精査が必要であ る.

また,土石流には,土砂発生域-流下域-堆積域という 空間区分をされることが多いが,今回の土石流では,流 下しながら,側岸を侵食するという土砂生産形態も推察 できた.このような現象も考慮した計算モデルの開発が 望まれる.

## 謝辞

土石流発生当日に北海道開発局所有のヘリコプターが 飛行し,そこから撮影した現地画像の提供を受けました. ここに記して謝意を表します.

#### 参考文献

- 積乱雲次々と発生「バックビルディング形成」, 北海道新聞 2014年9月12日 16版 P.2 総合面.
- 2) (公社) 土木学会,土木学会中国支部,(公社)地 盤工学会:平成 26 年広島豪雨災害合同緊急調査団 調査報告書,平成 26 年 10 月 P.29.
- 国土交通省,水文水質データベース,URL: http://www1.river.go.jp (2014年12月11日参照).
- 小池省二:豪雨でも発生,対策が急務 土石流, 続・北の火の山,中西出版, P.145-147, 1998.
- 5) 清水武志,内田太郎,山越隆雄,石塚忠範:緊急調 査初動期の区域推定プログラム QUAD1.0 の設計 と開発,平成24年度砂防学会研究発表会概要集, P.494-495,2012.
- 1) 土石流シミュレータ「Kanako」URL: http://www.stc.or.jp/10soft/003frame.html (2014 年 12月11日参照).
- 7)中谷加奈,里深好文,水山高久:GUI を実装した土 石流一次元シミュレータ開発,砂防学会誌, Vol.61,No.2,P.41-46,2008.
- 8) 里深好文,水山高久:砂防ダムが設置された領域に おける土石流の流動・堆積に関する数値計算,砂 防学会誌, Vol.58,P.14-19,2005.
- 9) 芦田和男,高橋保,沢田豊明:山地流域における出水と土砂流出(5) -穂高砂防観測所の観測結果
  ー,京大防災研究所年報第19号B,昭和51年4月.