渓流源頭部の微地形条件が土石流の発生・流動過程に与える影響

東京大学大学院新領域創成科学研究科（旧所属：東京大学農学部）　○石川怜志
筑波大学生命環境科学系　堀田紀文・今泉文寿
千葉県（旧所属：東京大学大学院農学生命科学研究科）　岩田知之
静岡大学農学部　土屋智

1. 研究の背景と目的

土石流の流下範囲の予測などに数値シミュレーションは有効な手段であり，実現象と比べても妥当な結果が得られる技術レベルに達していることから，現在さまざまな場面で用いられている。土石流の数値シミュレーションは通常，浅水流方程式に土石流の構成則と侵食速度式を適用することで実施される。ここで侵食速度式としては，(a)江頭ら(1988)，（b）高橋ら（1986）の式が幅広く用いられている。一方で，現在の土石流の数値シミュレーションにおいては，流れの急変部などで急激に侵食・堆積が生じるような非定常性の強い現象の再現性が十分でないという指摘も存在する。(c)鈴木ら（2009）は非連行型の侵食速度式を提案し，（a）式や（b）式を用いた場合には表現できなかったいくつかの現象の再現計算において妥当な結果を得ている。土石流の侵食・堆積過程については，そのメカニズムに未解明な部分が残されていること，実験や観測が困難なためにデータによる検証が難しいことから，現象の理解が十分に進んでいない。こうした非定常性の強い土石流の数値シミュレーションによる検討例は極めて少ない。

複雑な地形条件を有する渓流源頭部における土石流はこのような非定常性が強いと考えられる。また，その流下条件を適切に評価することは，下流域での防災の観点からも重要である。そこで本研究では，土石流が頻発する渓流源頭部において継続的な土石流観測の実施とデータの蓄積が行われている大谷崩一の沢で発生した土石流を対象とし，土石流の数値シミュレーションの適用性を検討する。具体的には，複数の土石流によって生じた河床変動に対して，上記（a）～（c）の侵食速度式による再現計算と，計算結果の差異を引き起こす要因の考察を行う。

2. 対象地-大谷崩一の沢

大谷崩は静岡県安倍川上流に位置する大規模崩壊地で，一の沢はその北部に位置する。山腹の平均傾斜は約 45°で土壌はほぼない。流路長約 650 m，年間平均気温約 7 度，年間降水量約 3000 mm である。一の沢は冬場の凍結融解により渓床へと土砂が供給され，夏秋の土石流によって土砂量が減少するという，明確な一年周期を有する。一の沢では 10 分間降水量が 5 mm 以上の激しい雨の時に土石流が発生しやすい。供給された土砂の堆積によって形成された地形が土石流の発生によって変化するため，一の沢は複雑に入り組んだ地形となっており勾配変化が激しい。一の沢は土石流発生域の上流と堆積域の下流とに分かれ，下流まで流下するものと途中で停止するものの 2 種類の土石流が存在する。

3. 方法

Imaizumi *et al*. (2006) は 2001 年 6 月から 10 月の間に地形測量と定点撮影を行い，土石流による土砂量の変動と土石流の発生の観測を行った。本研究では，まずそれらの土砂量の変化と堆積域の変化から堆積深を推定した。数値標高モデルから縦断勾配を算出し，堆積深を縦断勾配に重ねて河床縦断図を作成した。次に 2001 年の 8，9，10 月に発生した 3 回の土石流の河床変動の再現を行った。上で挙げた（a）～（c）の 3 つの侵食速度式を用いた数値シミュレーションにより得られた結果と土石流発生後の測量で得られた結果との比較を行った。計算のグリッドサイズは 1 m とし，計算領域は下流を含めず 420 m とした。

4. 結果

図-1 は，土石流発生後に土砂堆積域の変化を測量した結果である。繰り返し発生する土石流によって堆積域は全体的に下流へと移動した。また，堆積形状が変化していることも分かる。縦断勾配も局所的に変化しており，土石流の発生・流下によって地形条件は複雑に変化していた。2001 年に発生した土石流は，どれも 10 分間 5 mm 以上の降雨によって発生しており，それによる河床変動は，どの土石流イベントにおいても上流部にある土砂が流動化し途中で侵食と

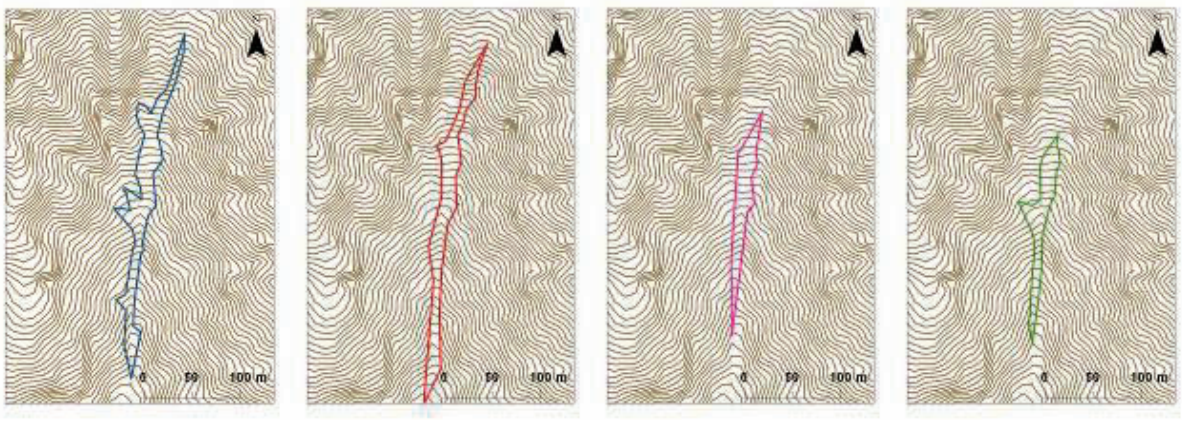

図-1　2001 年の土砂堆積域の変化　左から 6 月 3 日，9 月 2 日，9 月 13 日，10 月 20 日

堆積を繰り返しながら流下したと考えられる形で生じていた。例として 9 月 10 日に発生した土石流の観測結果とシミュレーション結果を図-2 に示した。シミュレーション結果では，どの式を用いても，最上流部の土砂が流動化して土石流化しており，土石流の発生状況に関して，シミュレーション結果は実現象と合致していた。観測値に比べて，（a）式では水が土砂を取り込むと土砂濃度が流動可能な限界値に素早く達し，同時に流動深と流量が極めて大きくなり，最終的には侵食量が過大となった。（b）式では上流部から徐々に侵食が起こり，それに伴って土石流中の土砂濃度は漸増した。最終的には，侵食量は過小で下流に向かって漸減し，堆積が下流部でわずかに生じた。（c）式では勾配変化に対応して侵食速度と土砂濃度が増減し，最終的な河床形状は侵食と堆積が繰り返されて形成された。これは，一の沢で発生する土石流の特徴をよく表している。

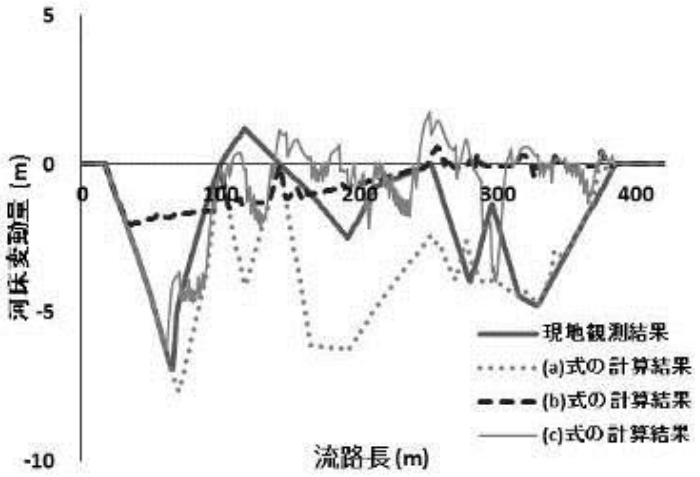

図-2　9 月 10 日に発生した土石流による河床変動

5. 考察

（a）式で侵食量が過大となるのは，急勾配による流速の上昇に連行して侵食量も上昇するためであると考えられる。（b）式では，侵食速度を実験定数によって抑制しているために河床変動量が過小な値を示していると考えられる。どちらの式においても，勾配によって一意に決定される平衡濃度を元に侵食か堆積かが決定されるため，急勾配である一の沢では侵食が極めて生じやすいと考えられる。

（c）式は，平衡状態の土砂量と現在の土砂量の差に比例する形で侵食・堆積が生じるという仮定から導出されており，河床勾配や平衡濃度だけでなく，流動深や流量もあわせて侵食速度の算出を行う。そのため，急勾配区間においても条件によっては堆積が生じると考えられる。特に，流量と流動深のパラメータが必要となる点に注意が必要である。流量は勾配によって値が左右され，流動深は流量の値に依存する。すなわち，地形の細かな変化に対応して，侵食速度が変動する。そのため，地形条件が複雑な渓流源頭部で発生する土石流を（c）式を用いて記述する場合に，微地形の影響が顕著に現れたと考えられる。

参考文献

江頭進治ら（1988）土石流の流動機構，水理講演会論文集, p485-490
Imaizumi,*et al*. (2006) Hydrogeomorphic Processes in a Steep Debris Flow Initiation Zone, GRL 33, L10404.
鈴木拓郎ら（2009）非連行型侵食速度式を用いた勾配・流路幅の変化点や砂防ダムにおける土石流の数値シミュレーション，砂防学会誌 62, 3, p14-22
高橋保ら（1986）変勾配流路における土石流の形成，京都大学防災研究所年報 29, B-2, p345-349