

溪岸侵食を考慮した土石流の発達機構に関する研究

A study on the developmental mechanism of debris flow considering bank erosion

17D3104031B 加藤 宏季 (河川工学研究室)
Hiroki KATO / River Engineering Lab.

Key Words : debris flow, numerical movable-bed channel, bank erosion

1. 序論

豪雨による崩壊や天然ダムの決壊によって発生した土石流は、溪床だけでなく溪岸をも侵食することにより発達しながら流下し、河川・砂防施設や建物に甚大な被害を及ぼす。平成29年7月九州北部豪雨で大きな問題となった泥流と流木の発生原因は主に山腹の崩壊によるものであると報告されている¹⁾。このように、溪岸の侵食・崩壊を伴う土石流について検討することは重要なことである。

土石流の流下機構について、Grayら²⁾は室内実験により、土石流内の循環流によって水表面と底面では大粒径粒子からなる層ができ、その間の層は小粒径粒子からなることを明らかにした。

江頭は、土砂と水とを一体的に扱う一流体の土石流モデルにより、粒子間接触摩擦、粒子衝突、間隙流体のせん断がエネルギー散逸の主要な原因と考えた構成則を用い、また、溪床については、平衡濃度の概念を導入した侵食速度式を用い、土石流の数値シミュレーションを行った³⁾。このような、オイラー的解析法は、溪床の侵食のみが考慮されており、土石流流動時の溪岸侵食は考慮できない欠点を有している。

福田ら⁴⁾は粒子の運動をLagrange的に、流体の運動をEuler的に解析することにより、個々の粒子運動とそれが流れ場に及ぼす影響を考慮した数値移動床水路を開発し、現地での土石流を解析し、土砂や流木の流動機

構を説明している。さらに、土砂や流木を補足できる凸型鋼製フレームを提案し、その有効性を示している。

本研究では、福田らの解析法⁴⁾を用い、溪岸侵食を伴う土石流の発達を、数値実験により検討している。

2. 数値移動床水路の概要と実験条件

図-2に、用いた数値移動床水路の諸元を示す。水路長60 m、幅8 m、勾配20°の直線水路である。座標軸は、流下方向にx軸、横断方向にy軸、垂直上向きにz軸をとる。溪床・溪岸材料として、図-1のように、0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 mの10種類からなる粒度分布を用いた。すべての粒子は形状と密度が等しく、密度は2650kg/m³である。水路中に粒子群をランダムに投下し、溪岸の傾斜角は溪床から約30°となるように初期堆積縦横断河道をつくった。また、溪谷の上流端で、一定流量10.0m³/sを与えた。

3. 土石流フロント通過後の石礫構造

本実験では、土石流フロントの通過時間は10秒程度の短い時間である。

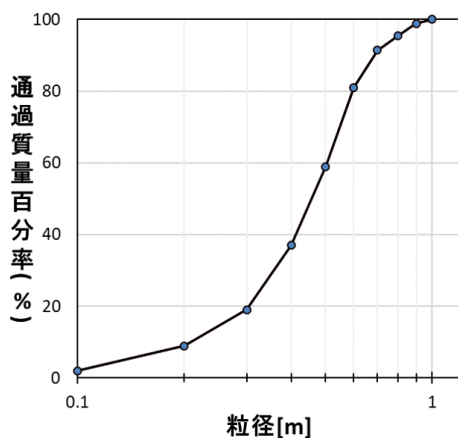


図-1 粒度分布

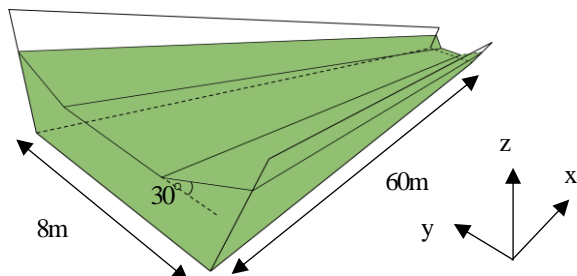


図-2 数値実験水路の諸元

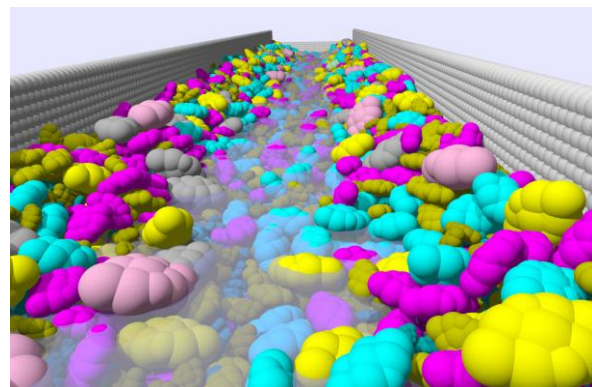


図-3 数値実験の初期状態(下流側から上流側を望む)

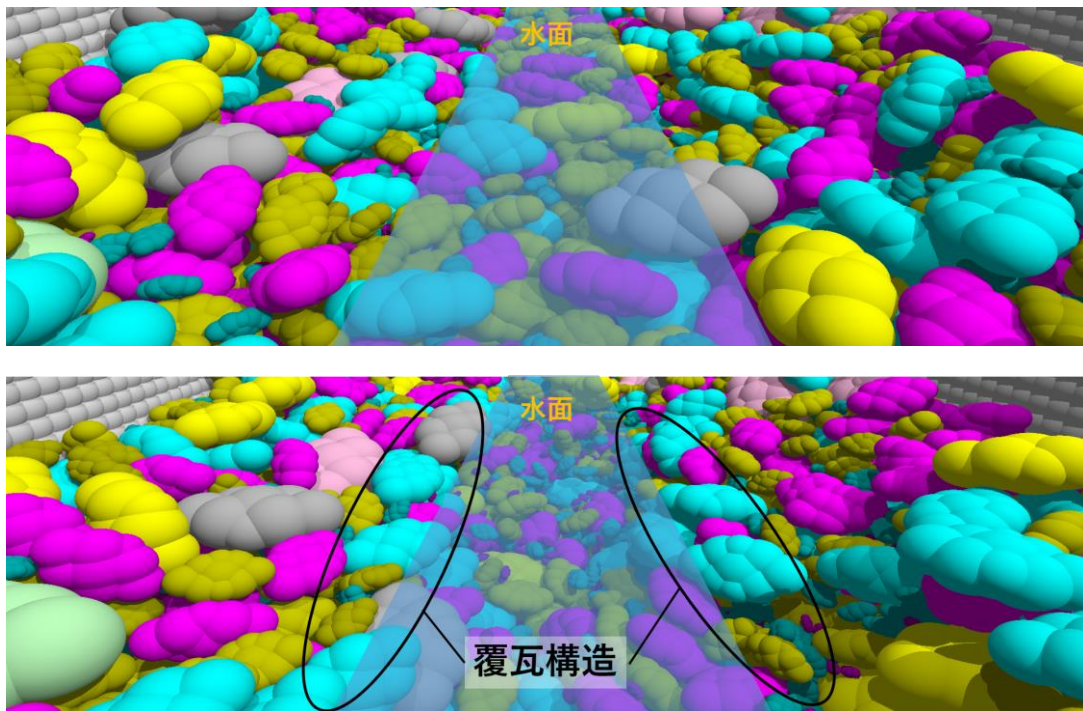


図-4 土石流フロント通過後の石礫構造の変化(上：初期, 下：土石流フロント通過後)

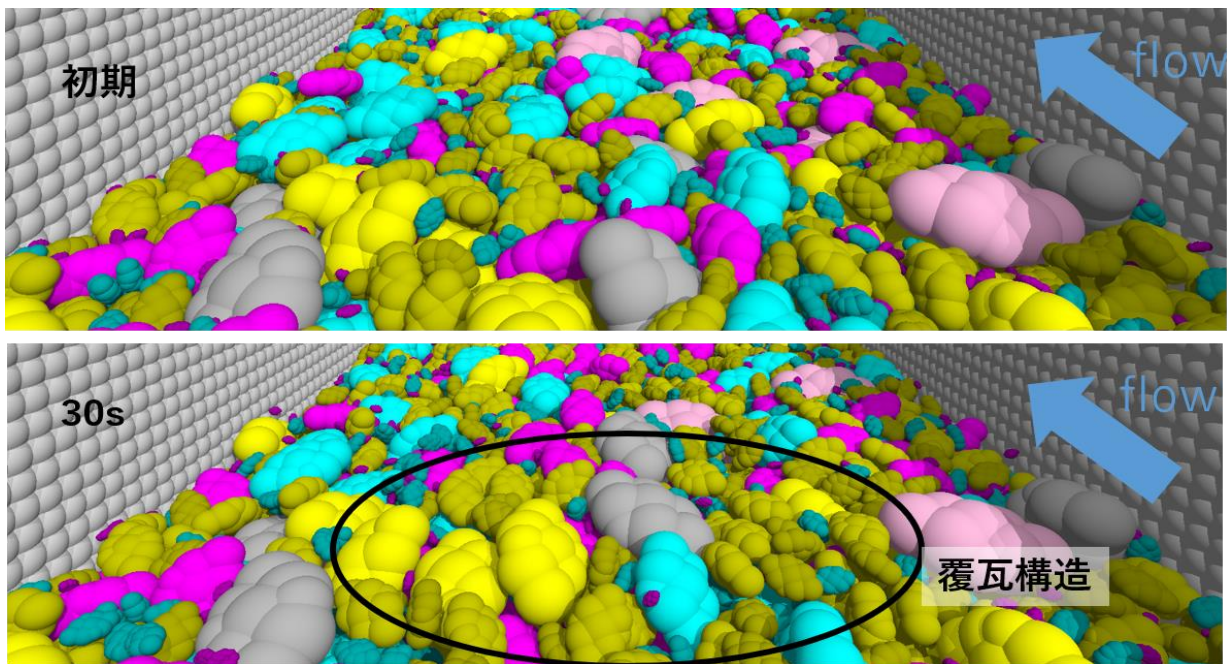


図-5 移動層と非移動層の境界での石礫構造の変化(上：初期, 下：土石流フロント通過後)

図-4は、土石流フロント通過後の渓床と渓岸の境界付近の石礫の並び方の変化を示している。土石流フロント通過後は長軸を流下方向に向け、流体抵抗力を受けづらい覆瓦構造の並び方をしている。

図-5は、渓床の移動層と非移動層の境界での石礫の並び方を示している。初期の時点では石礫は様々な姿勢をとっているが、土石流フロント通過後の30秒時点では、

全体的に石礫の長軸が流下方向を向く、覆瓦構造をなしていることがわかる。図-4, 5より、土石流フロント通過後の石礫群は、短時間のうちに移動しづらい構造をなしている

4. 土石流フロントによる渓岸侵食

3章では、土石流フロントが通過することにより、渓床や渓岸表層の粒子が覆瓦構造をとり安定な姿勢とな

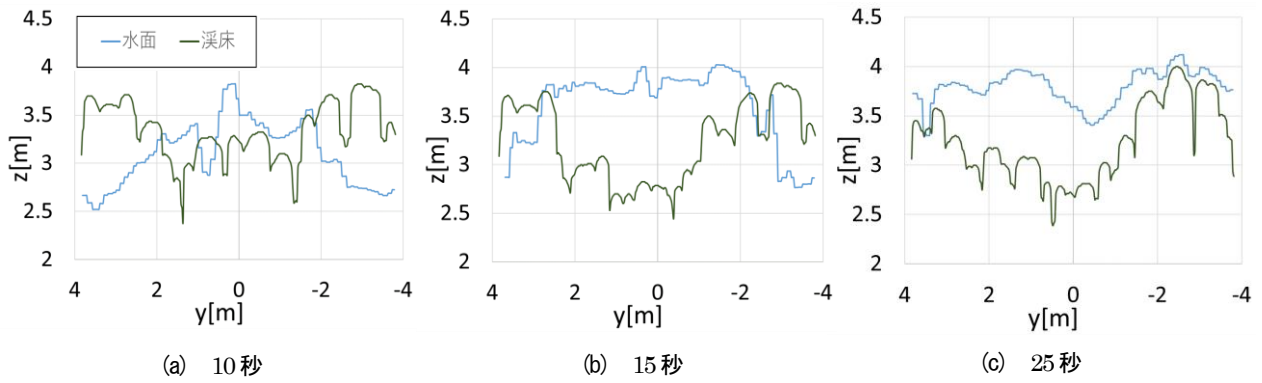


図-6 $x=20\text{m}$ における横断面図

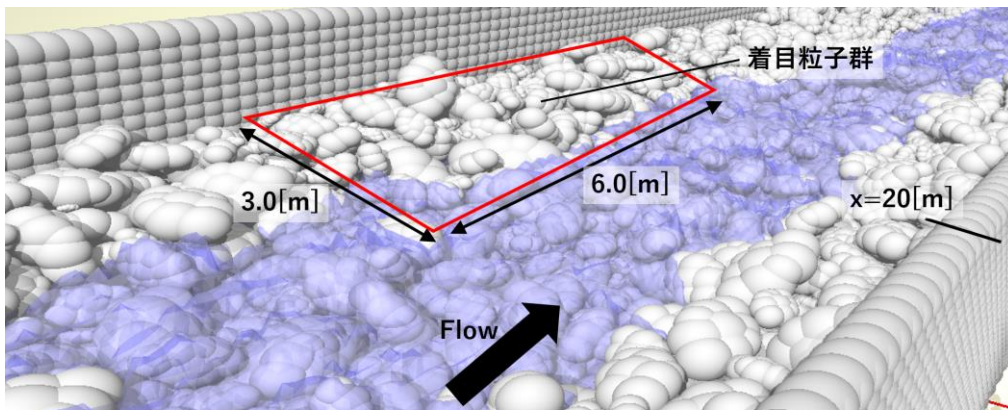


図-7 着目した粒子群

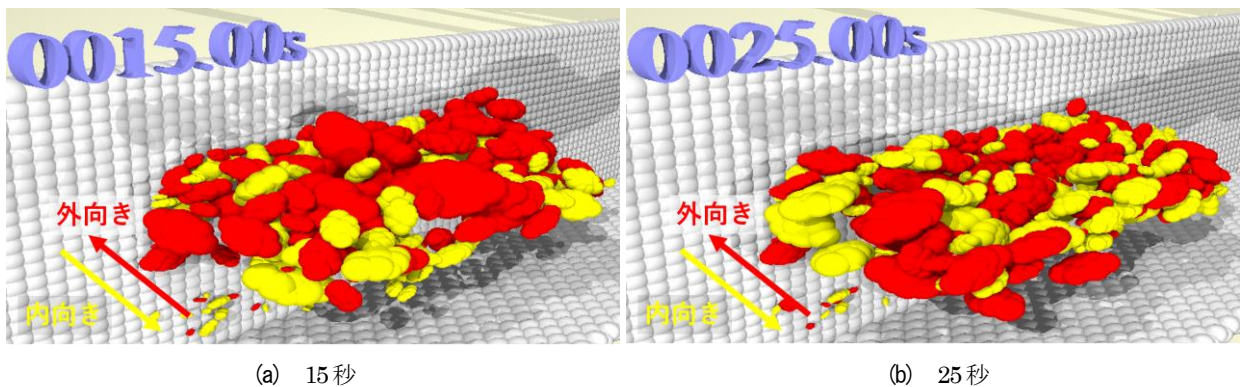


図-8 $x=20\text{m}$ での左岸表層粒子の横断方向に働く流体力(赤色:外向き, 黄色:内向き)

ることが明らかになった。本章では、土石流フロントが溪岸へ与える影響について検討を行う。

(1) 横断面形の時間変化

図-6は、上流端から20m地点における、土石流到達前(10秒)、土石流フロント通過中(15秒)、土石流フロント通過後(25秒)の横断面形状と、その時の水面形を示している。本研究では、粒子速度が0.3 m/s以下の粒子を静止粒子とし、境界形状を決めている。図-6より、土石流フロントが到達した15秒時点では水路中央付近では水位が高くなり、側壁付近では水位が低くなる。この時点では、溪床は洗掘を受けているが、溪岸はあまり侵食を

受けていない。その後の25秒時点では、側壁付近も水位が上昇し、掃流力が增大することにより溪床・溪岸ともに侵食を受けている。

(2) 溪岸表層の粒子に働く横断方向の流体力

図-8は、図-7に示すように、上流端から20m付近の左岸壁付近の表層粒子に働く流体力の横断方向を色分けで表示している。赤色が外向き、黄色が内向き力ある。図-8より、15秒時点に比べて25秒時点の方が黄色い粒子が多く、内向きの流体力をうける粒子が多くなっていることがわかる。25秒時点では内向きと外向きに流体力を受ける粒子の個数割合がおおよそ1:1である。以上より、

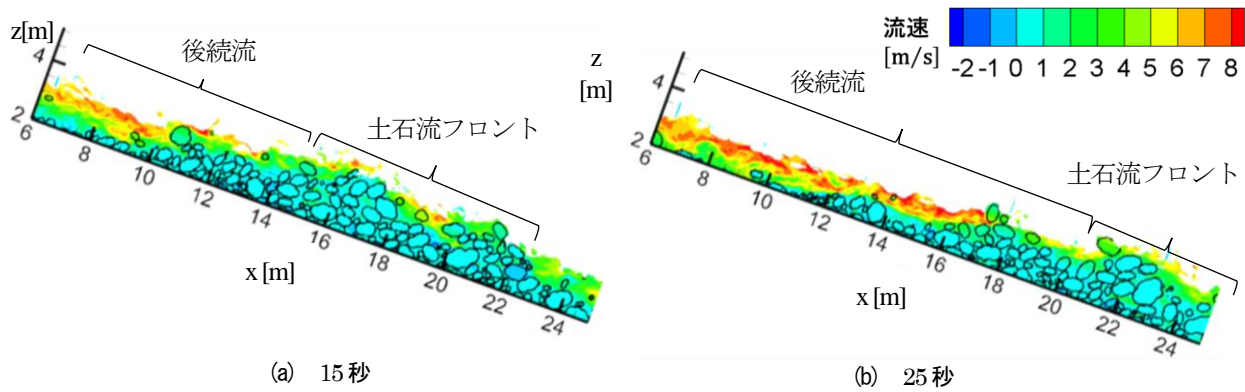


図-9 流速コンター図

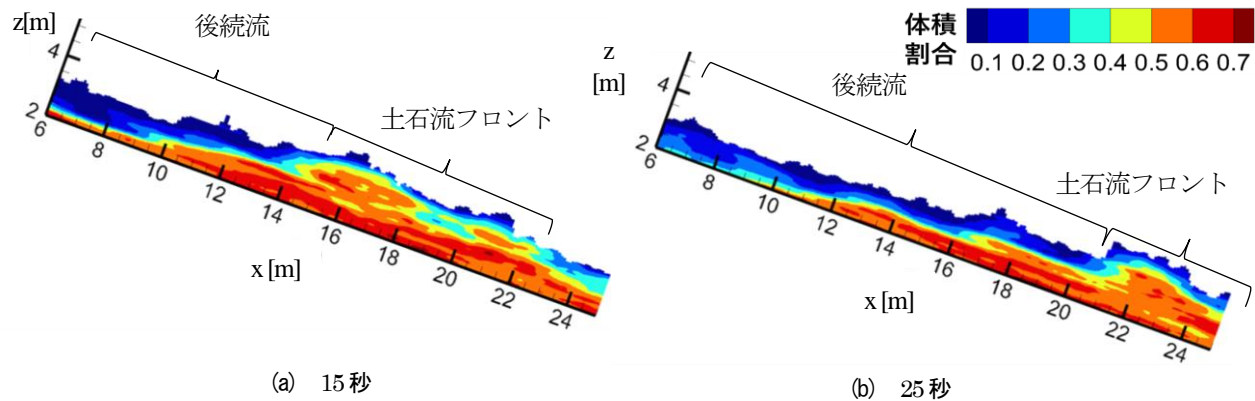


図-10 体積割合コンター図

土石流フロント通過時の水位の変化に伴う流体力が溪岸侵食に影響を与えることが明らかとなった。

5. 土石流フロント通過による流れ場の変化

図-9は、15秒と25秒時点における水路中心線上の流速コンター図であり、図-10は、水路中心線上0.5mの範囲で縦横断平均した粒子の体積割合を縦断コンター図で示している。図-9と図-10を比べると、後続流では、流速が大きくなっており、石礫の体積割合は小さくなっている。後続流では、抵抗となる流れ場の石礫が少ないため、溪床・溪岸の石礫が安定形状をとっているために流速が大きくなったものと考えられる。また、後続流は、安定した姿勢を保つ大きな石礫を運ぶことは出来ず、しかし溪床の中心付近の中小礫は輸送している。一方、土石流フロントでは石礫粒子群の体積割合が大きく、流速は小さい。土石流フロントでは、移動する石礫が多く、それらが抵抗となり流速が大きくなると考えられる。福田らは、土石流が構造物に及ぼす衝撃力を計測した数値実験⁹⁾において、濃度の減少とともに流速が大きくなる、同様の結果を得ている。

6. 結論

本研究では、溪岸の侵食を考慮した土石流の発生・発達過程について検討した。土石流フロントの通過に

より水位・流速が上昇し、それに伴い溪岸表層粒子に働く流体力が変化し、溪岸が崩壊し易くなることが明らかとなった。また、土石流フロントが通過し、不安定な石礫を押し流すことによって、残された溪床と溪岸表面の大きな石礫は長軸を流下方向にとり、安定な姿勢をとることが明らかとなった。今後は、溪岸表面の石礫が受ける力を詳しく分析し、溪岸崩壊の機構や覆瓦姿勢をとる機構を明らかにする。

参考文献

- 1) 染谷哲久, 藤村直樹, 石井靖雄, 西井洋史: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨における流木の発生および流出の特徴, 水利科学, No.365, 2019.
- 2) Gray, J. M. N. T. and Ancey, C.: Segregation, recirculation and deposition of coarse particles near two-dimensional avalanche fronts, *J.Fluid Mech.*, 629, 387-423, doi:10.1017/S0022112009006466.
- 3) 江頭進治, 伊藤隆郭: 土石流の数値シミュレーション, 日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌, 第 12 巻, 第 2 号, 2004.
- 4) 福田朝生, 福岡捷二: 凸型鋼製フレームを持つ砂防堰堤による流木を含む高精度数値解析法を用いた土石流補足効果の検討, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.76, No.2, I_1177-I_1182, 2020.
- 5) 福田朝生, 福岡捷二: 土石流流下時の分級と構造物に作用する衝撃力の数値移動床実験, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.73, No.4, I_799-I_804, 2017.