

## 土石流流下中に溪床表層の静止粒子が上方に移動するメカニズムに関する検討

中央大学大学院 学生会員 ○加藤 宏季  
中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

## 1. 序論

従来、土石流に関して土砂礫を連続体近似した考え方<sup>1),2)</sup>を用い、土石流による底面せん断力と堆積土砂の抵抗力が平衡状態となるように侵食や堆積が起こると考えている。これらの考え方は、土砂礫の運動について濃度を用いて評価しておりこれは一つの方法である。しかし、土石流は小さな土砂粒子だけでなく巨礫も存在することから、離散的に運動する個々の粒子の移動に着目する考え方によって、侵食や堆積を考えることも必要である。このような粒子スケールで考え各粒子にはたらく力の関係と粒子が離脱・堆積する要因を明らかにすることにより、底面に作用するせん断力に主として働く力を理解することや抵抗力や侵食量をより適切に評価できるようになることが期待される。

著者ら<sup>3)</sup>は、これまで礫粒子それぞれにはたらく力やトルクを解析可能なAPM法<sup>4)</sup>を用いて土石流による溪岸・溪床侵食メカニズムについて検討を行ってきており、そこでは次のようなことを明らかにしてきた。溪岸粒子・溪床粒子共に負の接触力が減少することによって流下方向に働く力に耐えられなくなり離脱した。溪岸粒子においては着目した粒子の下流側の粒子が着目粒子より先に流出することによって負の接触力が減少した。一方、溪床粒子は上方に移動し周りの粒子に対して相対的に高い位置に存在することによって十分な負の接触力を得ることができなくなった。しかし、溪床粒子が離脱前に上方へ移動するメカニズムについては未解明であった。本研究では、溪床粒子が上方へ移動するメカニズムについて検討を行う。

## 2. 数値実験条件

数値実験水路は、水路長 60 m、水路幅 8 m、勾配 20° の直線水路である。座標軸は、縦断方向に x 軸、横断方向に y 軸、垂直上向きに z 軸をとる。溪谷の上流端で、一定流量 10.0 m<sup>3</sup>/s を与えた。本研究では、長軸を石礫粒子の主慣性モーメントの最も大きい値に対する軸と定義し、図-1 に示すように y 軸まわりの回転の方向とトルクの正負を定義する。また、粒子の長軸と z 軸とがなす角度を  $\phi$  [度] としている。

## 3. 溪床粒子が上方へ移動するメカニズム

本数値実験では、着目粒子は初期状態で重心位置が  $(x, y, z) = (16.5[m], -0.20[m], 2.47[m])$  地点に位置していた。この位置に対して土石流フロントは約 9 秒～18 秒の約 9 秒間で通過し、着目粒子は約 18 秒時点で離脱した。この間に着目粒子は約 0.6m 上昇しており、これは着目粒子の粒径と同等である。

## a. z 軸方向にはたらく力

図-2 には、土石流流下時の溪床上の着目粒子にはたらく z 方向の無次元力の時間分布を示す。加藤ら<sup>3)</sup>は、土石流フロントが到達することにより土石流フロント中の粒子から下向きに力を受け、それが粒子の離脱の抵抗として働くとしているものの、図-2 より、正の方向に働く接触力と負の接触力の和をとるとフロント到達前後ではほぼ変化していない。土石流フロント通過中においては無次元接触力と無次元流体力が逆位相で変動し、無次元接触力と無次元流体力の大小関係が何度も入れ替わっており無次元接触力と無次元流体力のどちらが支配的とは言えない。このように、無次元接触力と無次元流体力が粒子を上方へ移動させることを明確に関係づけることは困難であり、キーワード 土石流、APM 法、溪床侵食、回転運動

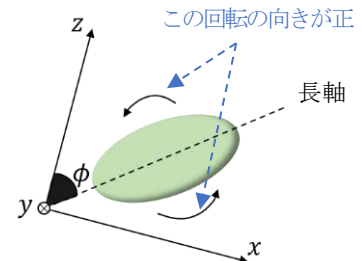


図-1 回転の方向とトルクの向きの定義

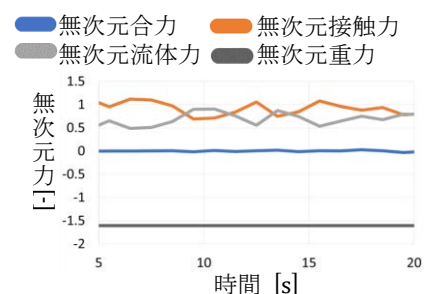


図-2 着目粒子にはたらく力

子を上昇させる要因は接触力と流体力による並進運動以外のものもあると考えられる。

**b. y 軸周りのトルク**

図-3 には、着目粒子にはたらくy軸まわりの無次元トルクを示している。無次元化にあたっては、流体力によるトルク、接触力によるトルクをそれぞれ  $mgd/2$  ( $m$ :質量,  $g$ :重力加速度,  $d$ :名目直径)で除している。図-4 は、着目粒子の重心位置のz方向と $\phi$ の時間変化を示す。図-3, 図-4 より、土石流フロント到達以前は流体力によるトルクが負の値、接触力によるトルクは正の値となり、和をとるとほぼゼロとなり着目粒子は姿勢を変化させていない。周囲の流体からトルクを受け回転しようとするものの、周囲の粒子群がその回転を妨げようとしているものと考えられる。土石流フロント通過中では、接触力によるトルクが負となっており接触力によって負の方向に回転し着目粒子は水路床に対して平行に近い姿勢へと変化していることがわかる。図-5 は初期、土石流フロント到達直前、土石流フロント通過中、着目粒子が離脱する直前のときの着目粒子とその周辺の様子をそれぞれ示している。図-5 において、赤い粒子が着目粒子であり周囲の粒子の色は各粒径である。図-5 より、着目粒子の下流側には粒径 0.8mの大粒径粒子(灰色の粒子)が存在しており、その粒子を回転軸として姿勢を変化させながらこの大粒径粒子を乗り越えるように上方へと移動している。そして、離脱する直前では下流側の大粒径粒子を完全に乗り越えている。以上より、下流側の比較的安定した大粒径粒子が支点となることによって土石流フロント中の粒子群からうける接触力が回転運動にはたらく、姿勢を変化させながら重心位置が高くなるように移動していると考えられる。

**4. 結論**

本研究では、これまで十分検討していなかった溪床粒子が離脱する前に上方へ移動するメカニズムについて検討を行った。主要な結果を以下に示す。①粒子の並進運動に寄与した無次元接触力や無次元流体力と粒子の上方への移動には明確な関係性が見られず、粒子が上昇する要因としては無次元接触力と無次元流体力による並進運動に加えて回転運動によるものと考えられる。②土石流フロントが到達する前は流体力によって負の方向に回転させようとするトルクが働くが、それを打ち消すように周囲の石礫粒子群からトルクを受けるため着目粒子は姿勢を変化させなかった。③土石流フロントが到達すると接触力が負の方向に働くようになり、着目粒子は姿勢を変化させた。これは、土石流フロント中の移動粒子による作用であると同時に支点として働く安定した粒子によるものであると考えられる。そして、姿勢を変化させることによって重心位置を上方へと変化させることができていると考えられる。

**参考文献**

1) 高橋：土砂流出現象と土砂害対策, 近未来社, 2006. 2) 江頭進治ら：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 3) 加藤ら：数値解析による溪岸・溪床侵食と土石流の発達機構の研究, 第 9 回河川堤防技術シンポジウム論文集, 2021 4) Fukuoka, S. et al. : Effects of sizes and shapes of gravel particles on sediment transports and bed variations in a numerical movable-bed channel, *Adv. in Water Res.*, 2014

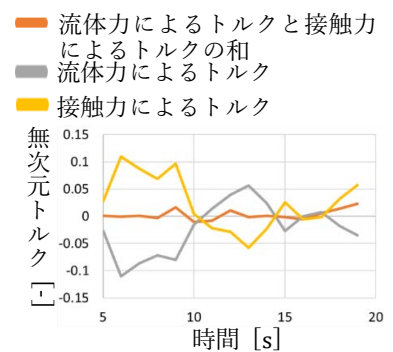


図3 着目粒子にはたらく無次元トルク

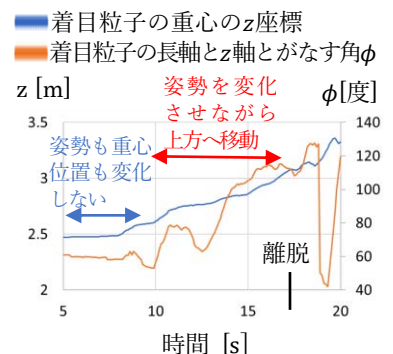


図-4 着目粒子の重心位置と $\phi$

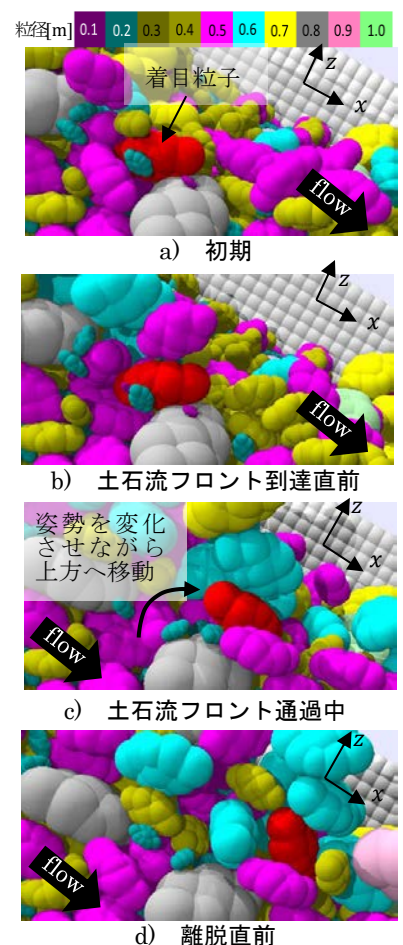


図-5 各時間における着目粒子とその周囲の粒子群の様子