

土石流フロント内部の石礫まわりの流れ場に関する研究

中央大学 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

土石流に関する研究は数多く行われており、現地観測結果¹⁾²⁾や模型実験³⁾より以下のようなことが知られている。まず、土石流の先端に段波上の波面が形成される特徴がある。特に、石礫型土石流では最大波高が先頭部に混入する最大粒径程度となることが多い。土石流フロントでは、多量の巨礫が集積することで流動性が低くなり流速が小さい。逆に、ボディ部では石礫の濃度はフロントほど高くなく流動性も大きいため流速は大きい。本研究では、フロントとボディは図-1のように定義する。

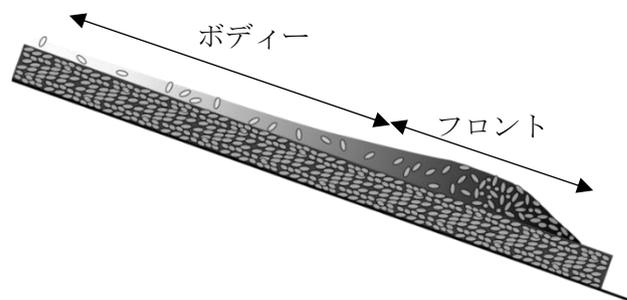


図-1 土石流フロント部とボディ部の定義

また、土石流通過前の横断面形がV字形であったとしても土石流流下後には、U字形や矩形の断面となり、土石流が溪床だけでなく溪岸も侵食することも示されている¹⁾²⁾。このように、土石流は溪岸や溪床の土砂礫を侵食し、高速なボディ部からフロント部へと土砂礫を輸送し成長する。Lyu et al.⁴⁾は、溪岸を有する水路に土石流を発生させる実験を行い、溪谷の侵食プロセスを明らかにした。この実験結果によれば、土石流フロントは緩い箇所を侵食する程度で後続のボディ部において、まず溪床侵食が起きる。それに伴い溪岸が急傾斜になり、最終的に崩落が起こる。

以上のような知見を基に様々なモデル⁵⁾⁶⁾が考えられてきたが、土石流現象の複雑さゆえにあいまいさが残る。石礫と間隙流体との相互作用の効果のような土石流内部の現象については精度よく計測することは困難であるため、数値解析を用いた現象解明が期待される。本研究では、土石流内部の石礫と流体の運動を抗力係数等の仮定を極力設けずに解析可能なモデル(APM法⁷⁾)を用いて数値実験を行い、土石流フロント内部の石礫と周囲の流体運動の関係について検討し、流体運動の役割を考察する。

2. 数値移動床実験の概要と実験条件

本研究で用いた数値実験水路は、水路長 60m、幅 8m(左右岸 2m ずつ、溪床 4m)、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。換算粒径 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 m の 10 種類の非球形粒子群を用いた。すべての粒子の形状と密度は等しく、その密度は 2650 kg/m³である。

溪谷の上流端では一定流量 10.0 m³/s を与えた。下流端には、河床と山腹からの流出量を抑制するために堰を設けた。数値解析法には、福田らの解析法⁶⁾を用い、流れは Euler 的に、粒子運動は剛体として Lagrange 的に解析する。本研究では、メッシュサイズ $\Delta = d_{min}/4 = 0.025[m]$ とし、通水時間は 30 秒である。

3. 実験結果の検討

Lyu et al.⁴⁾の侵食プロセスとの比較より、本数値実験結果の評価を行う。図-2 には、 $x = 5[m]$ 地点における溪谷の横断面形状の時間変化を示す。この地点では、 $t = 15[s]$ の時点では土石流フロントは通過している。図-2 より、徐々に溪床が洗掘され、溪岸が急傾斜となっていく様子がわかる。本研究では 30 秒間しか通水しなかったため、溪岸が崩壊するには至らなかったが、このまま通水を続ければ溪岸は崩壊を起こしていたものと考えられ、Lyu et al.⁴⁾の侵食プロセスと同様の結果となっていると考えられる。

キーワード 土石流, APM 法, 流動特性

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL : 03-3817-1615

4. 土石流フロント内部の流れ場

図-3 には、土石流フロント通過中における水路中央断面の流れ場の様子を示す。ベクトルとコンターは共に流速を示す。図-3 において、水面付近だけでなく平均溪床高付近においても、高速流が発生していることがわかる。x=20m 付近(青枠の領域)を拡大すると、流れが移動粒子に当たり水面方向に向かう流れと溪床方向に向かう流れに分かれ、水面付近から順に、流体が高速で流れる層、移動粒子の層、流体が高速で流れる層となっていることがわかる。移動粒子が存在することによって水面付近と平均溪床高付近に流れが集中し、局所的に流速が大きくなっているものと考えられる。また、移動粒子に当たり潜り込んだ流れが大きい流速で溪床付近を流れていることにより、土石流フロントが溪床から受ける抵抗力が減少し土石流の流動性が高まっているものと考えられる。

5. 結論と今後の課題

本研究では、石礫は Lagrange 的に、流体は Euler 的に解析できる APM 法を用いて土石流フロントの流動特性について検討を行った。その結果は、Lyu et al. の実験結果と同様な結果である。移動粒子群の間隙を流れる流体は石礫の影響を受け、水面付近から順に、流体が高速で流れる層、移動粒子の層、流体が高速で流れる層が形成されていた。特に、高速な流速場が溪床付近で発生していたことにより、移動粒子群の流動性を高めていると考えられる。しかし、本研究で用いた粒子群は非常に粗いため空隙の大きさも大きい。そのため、間隙流体の通水性は高い状態であると考えられる。今後は、粒度分布を変更した数値実験を実施し、粒径との関係も検討していく。また、今回明らかになった流れ構造が移動粒子に具体的にどれほどの影響を及ぼしているのか数値実験結果をより詳細に分析し明らかにする。

参考文献

- 1) 諏訪浩：土石流の観測，新砂防，Vol. 45, No.1 (180), 1992
- 2) Hedda Breien et al. : Erosion and morphology of a debris flow caused by a glacial lake outburst flood, Western Norway, Landslides 5, 2008
- 3) Richard M. Iverson et al. : The perfect debris flow? Aggregated results from 28 large-scale experiments, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 115, F03005, 2010
- 4) Liqun Lyu et al. : The role of bank erosion on the initiation and motion of gully debris flows, Geomorphology, 285, 2017
- 5) 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
- 6) A. Armanini et al. : Submerged granular channel flows driven by gravity, Advances in Water Resources, 63, 2004
- 7) 福田朝生ら：土石流水路実験を用いた数値移動床水路による高濃度粒子群と水流の力学的相互作用の検討，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.72, No.4, I_859-I_864, 2016

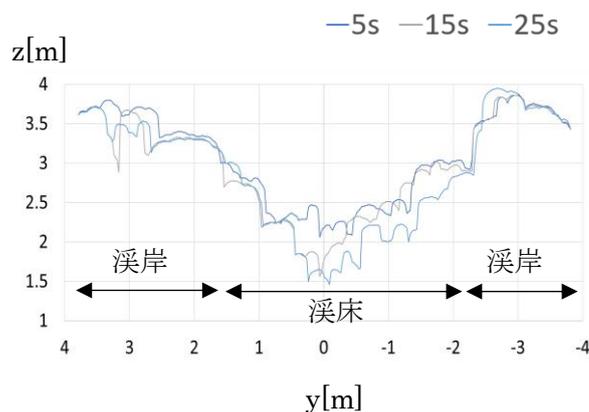


図-2 x=5m 地点での横断形状の時間変化

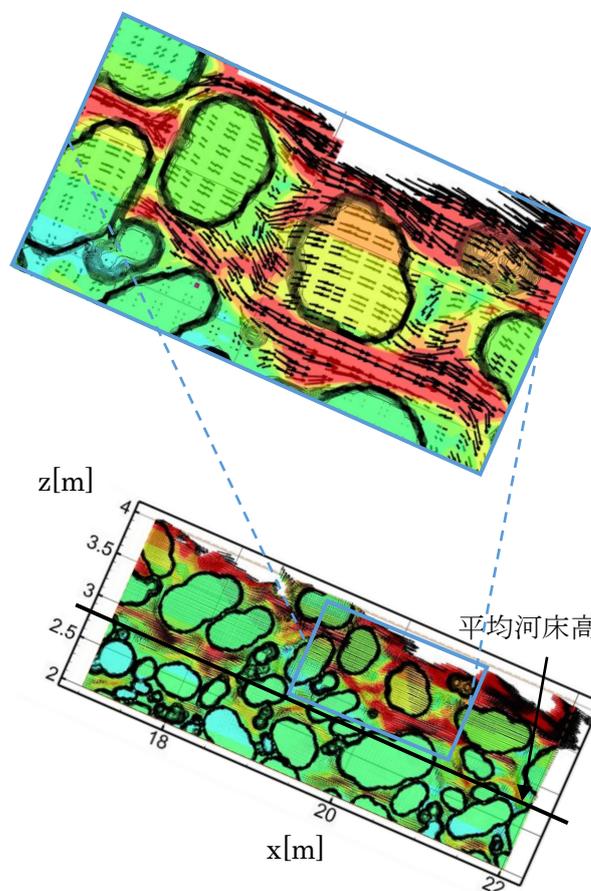
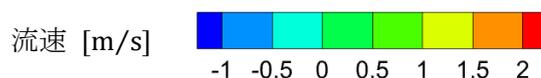


図-3 土石流フロント通過中の流れ場の縦断面図