

降雨及び浸透過程が土石流の流下に及ぼす影響に関する研究

○佐々木 楽・山野井一輝・川池健司・中川一

○Gaku SASAKI, Kazuki YAMANOI, Kenji Kawaike, Hajime Nakagawa

In order to propose a model of debris flow that can take into account the effect of preceding rainfall, An experiment was conducted to verify the effect of the difference in the moisture content of the ground on the runoff volume of debris flow, a numerical analysis was conducted for verification. Based on the experiment, a numerical analysis was conducted to evaluate the relationship between rainfall conditions and the amount of debris flow considering the local scale. From the results of the experiment and the numerical analysis, it was found that the smaller the moisture content of the ground, the smaller the amount of sediment runoff. This result suggests that the flow of the debris flow is affected by the difference of the preceding rainfall.

1. 序論

気候変動に伴う豪雨の発生件数の増加に伴って、土石流の発生件数は増加傾向にある。土石流のシミュレーションを行う際、地盤の含水率は飽和していると考えることが一般的である。しかし、先行降雨が少ない、突発的な豪雨が原因となる土石流など、必ずしも地盤が飽和しているとは限らず、その場合の土石流の流下は飽和時とは異なることが考えられる。里深¹⁾らは、土石流本体からの間隙流体の河床への浸透損失を考慮した数値計算を提案している。しかし、当研究では水路実験との比較による検証が行われおらず、また、先行降雨が土石流に及ぼす影響を考慮することには主眼が置かれていない。

そこで、本研究では、先行降雨の影響を考慮可能な土石流の流下モデルを提案することを目的に、移動床地盤の含水率の違いが土石流による河床位の変化、土砂流出量に及ぼす影響に関する水理実験を行った。その後、河床の飽和・不飽和浸透過程と土石流の流下過程を結合した数値シミュレーションモデルを構築し、実験結果との比較を行なった。

2. 水路実験と数値解析手法の概要

水路実験の概要は図-1に示すとおりである。用いた水路は、幅13.7cm、長さ470cm、勾配が18°の直線水路である。下端から1mを移動床区間とし、残りの区間を固定床区間とした。固定床区間表面には珪砂3号を固着させ粗度を付与した。移動床区間には相対水深と透水係数を制御するため、

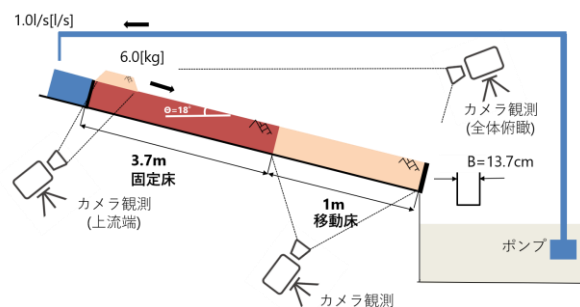


図-1 実験概要

3号と8号の珪砂を5:2の割合で混ぜた材料を厚さ10cmとして配置した。上流端近傍に6.0kgの珪砂3号の土砂を配置し、上流端に1.0l/sの水を供給することで土石流を発生させた。本実験では、じょうろを用いて初期の移動床部の含水率を、飽和(case 1)、地表面付近のみを飽和(case 2)、絶乾(case 3)と変化させた。観測項目は、カメラ撮影を用いた河床位、水位、および土石流到達時間と、下流端での採取による土砂流出量（流出開始時から5秒間隔）である。

3. 数値解析手法の概要

数値解析では土石流の流れを浅水流方程式で、河床抵抗は土砂濃度に応じて決定される高橋²⁾の1次元の土石流シミュレーションを基礎とした。河床の侵食・堆積速度式は高橋²⁾の飽和時と不飽和時それぞれの場合の時に用いられる式を用いることとした。河床内の水の浸透にはRichards式による1次元不飽和浸透解析を行い、Brooks-

Corey の式にて変数を関係づけた。なお、この式にて用いる飽和透水係数や最小・最大含水率は保水性試験を別途行うことにより推定した。また、河床表層の浸透能は一定値とした。

4. 水路実験と数値解析の結果および考察

土石流の先頭部が水路下流端を通過した時刻から 5 秒経過後の河床位を図-2 に、下流端における流出土砂量の時間変化を図-3 に示す。ここでは、5 秒経過後以降は移動床区間に流入する土石流の濃度がゼロとなったため、この時点での河床位をプロットした。図-2 から、 $x'=10[\text{cm}]$ 付近を除いて、case 1 では計算値と近い河床位が生じていることがわかる。ただし、 $x'=10[\text{cm}]$ 付近では、固定床と移動床の境界部の影響で急激な洗堀が生じており、

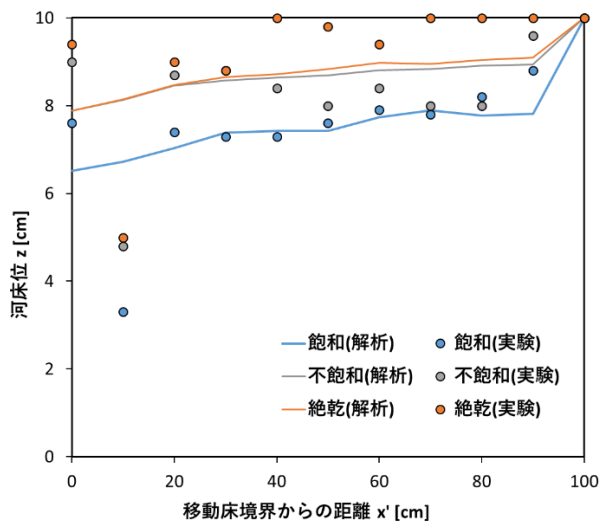


図-2 $t=5[\text{s}]$ における河床位

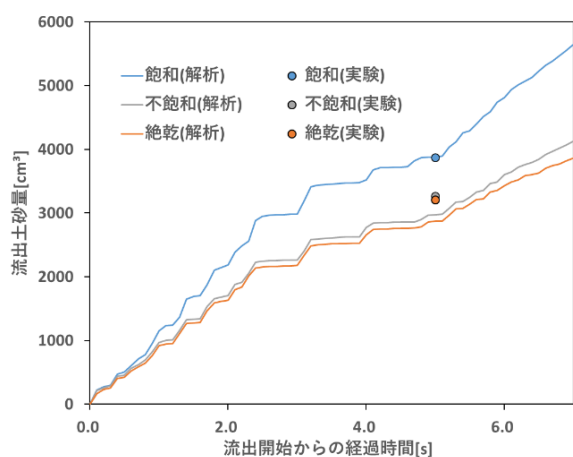


図-3 下流端における流出土砂量の時間変化

これにより解析の結果と剥離が生じた。

case 2, case 3 でも、おおむね $x'=10[\text{cm}]$ 周辺以外で計算値に近い結果が得られた。

これらの差は観測値よりも実験値の方が大きくなったものの、その大小関係は矛盾なく再現されている。図-2 より、実験・解析ともに河床への浸透が生じる不飽和状態の方が、侵食速度が小さい傾向が表れた。これは、地盤への浸透による土石流中の土砂濃度が大きくなり、侵食速度が低下したからと考えられる。シミュレーションでも同様に、河床への浸透を考慮したことで、case 2, case 3 条件では侵食速度が低下し、 $t=5[\text{s}]$ 時点の河床位が大きく評価された。

Case 2 の解析結果が飽和よりも Case3 時の河床位の変化に近くなった。この理由は、地盤の浸透速度よりも土石流の侵食速度が速いために、流下開始 0.6 秒後には表層の飽和層がすべて侵食されたためと考えられる。また、図-3 より case1 と case2, 3 の間に、流出開始時から 1.0 秒~3.0 秒の区間で流出土砂量に顕著な差が生じていることがわかる。

5. おわりに

本研究の結果から、発生前の地盤の含水率が土石流の侵食過程に影響が及ぶことが示された。今後は実際の土石流の規模と降雨を想定したシミュレーションを行い、降雨及び浸透過程が土石流の流下に及ぼす影響の評価を行う。これにより、例えば透水係数が高い地盤等、より実態に近い予測が可能になると想定できる。また、本研究で提案したシミュレーションを 2 次元に拡張することで、土石流の規模だけでなく、流動範囲への影響についても考察を進める予定である。

参考文献

- 1) 里深好文: 溪床堆積物の不飽和浸透過程を考慮した石礫型土石流の発生・発達に関する数値計算, 水工学論文集, vol53, p697-702, 2009
- 2) 中川一: 土石流ハイドログラフの計算” 水理公式集例題プログラム集, p17, 2002
- 3) 高橋保: 土石流の機構と対策, 近未来社, p11, 2004,