

溪床堆積物が土石流化する場の検討ーヒル谷源頭部を対象とした数値解析ー

京都大学大学院工学研究科 ○岩井智哉

京都大学防災研究所 宮田秀介, 山野井一輝, 藤田正治

1. はじめに

一度、土石流が発生するとその流域では中長期的に土砂流出が活発となる。このような土砂動態のシミュレーションや中長期的な予測を行うには土石流の発生を土砂動態シミュレーションに組み込む必要があるが、その知見は十分には得られていない。そこで、本研究では岐阜県高山市のヒル谷源頭部を対象に数値解析を行い、土石流が発生しやすい場の条件について検討した。既往の解析では全層飽和時のみ表面流が発生する水移動モデルが採用されていたが、観測の知見¹⁾では必ずしもそうではない。本研究では、中層が不飽和でも表面流が発生する現象や、そのような状況での土石流の発生についても考慮した。より不安定化するのが堆積層の下端であるか、表層付近であるのかについても検討した。

2. 解析モデル

山野井らによる土砂動態解析モデルであるSiMHiS: Storm Induced Multi-Hazard Information Simulator²⁾を用いて解析を行った。流域地形モデルは通常は江頭らによる、河道の合流点ごとに単位河道・単位斜面に分割する方法³⁾をとる。しかし、土石流の発生は溪流スケールで起こる局所的な現象であり、河床勾配等の入力データをより詳細にする必要があるため、河道を本来2分割するところを図1の通り、より細かい12分割とした。

斜面における降雨流出モデルや河道における水の輸送モデルにおいては表面流と浸透流において個々に質量保存則を立式し、河道においては表面流や浸透流の水深が求められるよう、改良を行った。次に、高橋による方法⁴⁾に倣って飽和した層を対象に安定性を検討した。水と土砂の重力の下流向きの成分から堆積物の表面から深さ z の地点までの範囲にある土塊が滑ろうとする力 $\tau(z)$ が計算できる。解析により得られる表面流水深、浸透流水深から深さ z の地点

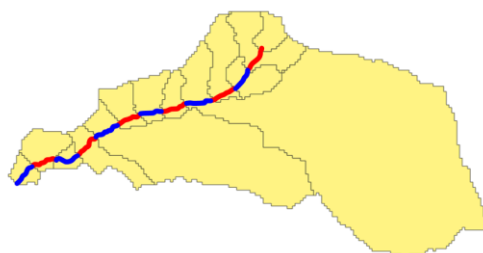


図1 単位河道・単位斜面に分割されたヒル谷流域

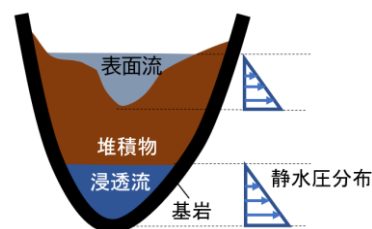


図2 中層不飽和時の水圧の分布

における水圧が得られ、 τ 同様に求めた全応力と水圧の差から有効応力 σ' を得る。ここで、中層が不飽和の際は図2の通り、浸透流の水面以深でも静水圧分布であると仮定した。さらに、粘着力を c 、内部摩擦角を ϕ とすると

$$\tau_L = c + \sigma' \tan \phi$$

として滑りに抵抗する力 τ_L が算出される。さて、

$$F_{deb} = \min_{d \leq z \leq D} F(z) \left(F(z) = \frac{\tau_L(z)}{\tau(z)} \right)$$

として土石流発生に関する安全率 F_{deb} として定義した。ここで、 d, D はそれぞれ平均粒径、堆積層厚である。 $\tau_L(z)/\tau(z)$ が z に関して単調に増加または減少すること等から、

$$F_{deb} = \min\{F(d), F(D)\}$$

すなわち、 F_{deb} が堆積物のごく表面付近または下端における $F(z)$ の値で評価されると捉えて差し支えない。

解析期間は2018年7月9日から対象流域で土石流が発生した2020年7月8日までの2年間としたが、結果を詳細に検討するのは2020年6月4日以降とし、それ以前は慣らし計算の期間とした。降雨デ

ータは対象流域に最も近いアメダス栃尾観測所のものを用了。上記の方法により、 F_{deb} に関する堆積層厚と粘着力、河道における浸透能、マンシングの粗度係数、透水係数の感度分析を行った。

3. 解析結果と考察

まずは河道における浸透能 f を 100mm/h、マンシングの粗度係数を $0.24 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ に固定し、分割した単位河道のうち、最上流に位置するもの（河床勾配は 24.3° ）における F_{deb} を計算した結果と用いた降雨データを図 3 に示す。ここで、河道の透水係数が $k = 1.0 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ 、堆積層厚が $D = 1.0 \text{ m}$ の場合を基本ケースとし、Case I で $(k, D) = (1.0 \times 10^{-4}, 1.0)$ 、Case II で $(k, D) = (1.0 \times 10^{-2}, 5.0)$ とした。

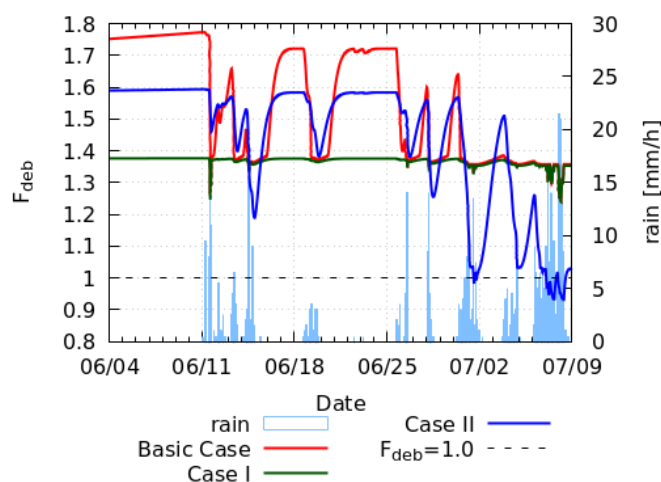


図 3 降雨データと F_{deb} の計算結果

Case II において 7 月 8 日に $F_{deb} < 1$ となったが浸透流水深は層圧の 5m にはわずかに達していなかったため、全層が飽和していなくても土石流が発生しうることが示唆される。

図 3 で示したものの以外の (k, D) の組み合わせにおいても解析を行い、2020/6/4~7/9 における F_{deb} の最小値を図 4 に示す。グラフの右下の領域、すなわち堆積層厚 D が大きく透水係数 k が小さい領域で F_{deb} が小さくなっており、特に堆積層厚は F_{deb} に大きく寄与していると言える。 f の値を 100mm/h から 0, 10, 1000mm/h に、 n の値を $0.24 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ から 0.05, 0.15 $\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ に変更して解析を行ったが、土石流の発生・非発生に与える影響はさほど大きくなかった。また、

上記の解析は既往研究を参考に粘着力 $c = 4.94 \text{ kPa}$ としたが、これを 4 倍、2 倍、 $1/2$ 倍、 $1/4$ 倍、 $1/8$ 倍にした場合の結果は図 5 のようになる。粘着力の値は F_{deb} の値を大きく左右し、粘着力が小さいほど F_{deb} も小さくなる。

現地観測等により本研究で用いた理論の検証を行うことが今後の課題である。

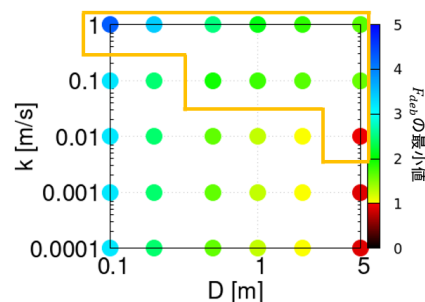


図 4 F_{deb} の最小値

黄枠内は F_{deb} が最小の際も堆積物の一部が飽和状態であることを示す

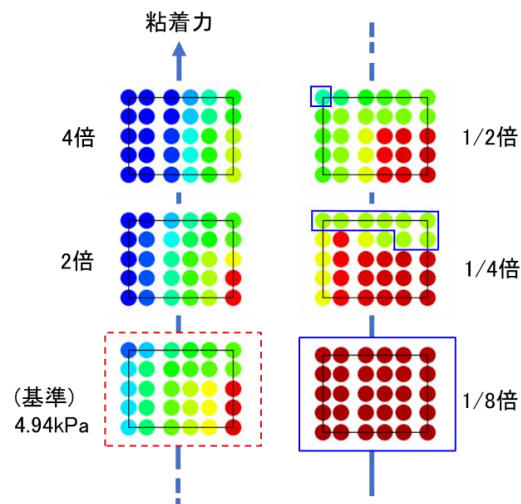


図 5 異なる粘着力での解析結果

青枠内は堆積層下端より表層付近の方が不安定であることを示す

参考文献

- 1) 水谷太郎・里深好文・堤大三・水山高久：砂防学会誌, Vol.61, No.3, pp.27-30, 2008
- 2) 山野井一輝, 藤田正治：砂防学会誌, Vol.69, No.6, pp.15-23, 2017
- 3) 江頭進治・松木敬：水工学論文集, 第 44 巻, 2000
- 4) 高橋保：京都大学防災研究所年報第 20 号 B-2, pp.405-435, 1977