

河床条件の差異が土石流の流出特性に及ぼす影響

京都大学大学院工学研究科 ○矢野むつみ, 岩井智哉
 京都大学防災研究所 中谷加奈, 山野井一輝

1. はじめに

土石流の発生予測に用いられる土砂動態解析モデルは、飽和河床を前提とした河道内の浸透流を考慮しないもの¹⁾²⁾が殆どである。急勾配の上流域では不飽和河床上で発生する土石流もある³⁾が、浸透流に影響する透水係数や浸透能は解析に含まれず、浸透流を考慮するための実測データの不足も課題である。

被害予測には土石流シミュレーションが適用されるが、既往研究では山地斜面や自然溪流を想定した凹凸の大きな粗い河床を対象とすることが多い一方、山間部では岩盤の露出区間や、道路等の凹凸が小さい場所でも土石流は流出する。中谷ら⁴⁾は、粗面河床と滑面河床を用いた実験を行い、滑面では粗面と比べて土砂流出が短時間で発生し、流速が大きく、流れ内部の流速や土砂の挙動が粗面とは異なること、底面摩擦が土石流挙動に影響することを明らかにした。

土石流の発生に関しては岩井ら⁵⁾が示すように、水だけではなく堆積層厚が土石流発生に影響するとの指摘もあるが、土砂層厚の分布を調査して考慮した研究は殆どない。また、土石流の流下過程に関する数値シミュレーションでは溪床に移動可能な土砂を均一な厚さで設定される。土石流流出のシミュレーション結果について、水の供給量による影響評価は行われているが、溪床の土砂量についてはその適切な条件設定や結果への影響に関する検討は十分とは言えない。

本研究は河床材料の透水係数や粘着力、堆積層厚の空間分布や底面摩擦の河床条件に着目して、土石流挙動を適切に表す計算方法の提案を目的とする。本稿では、前段として現地観測により河道の透水係数および数値シミュレーションや地形解析から粘着力、堆積層厚の空間分布を推定した結果を示す。

2. 観測方法

対象地である、神通川水系に属する足洗谷の支川、ヒル谷の上流で流量、堆積層厚、川幅、河床勾配を計測した(図-1, 3○地点)。流量は、ヒル谷支川上流の岩盤の露出した地点で表面流を直接採取し、採取量を採取時間で除すことで得た。堆積層厚に関しては、上流で観測した流量がすべて浸透流となり、かつ表面流が生じていない飽和している地点で、SH型貫入試験を用いて横断方向に3箇所計測し、断面形状を推定した。また、これらの実測値を用いて連続式およびダルシー則から透水係数を算出した。

3. 解析方法および条件

対象流域は、足洗谷流域の小流域、ヒル谷流域とし、山野井らによる土砂動態解析モデル SiMHIS^{6) 7)}に岩井らが改良を加えたもの⁵⁾を用いて、12分割されたヒル谷の各単位河道に透水係数や粘着力、堆積層厚を入力条件とし、数値解析による土石流発生判定を行った。降雨データは、2020年1月1日から6月30日までは対象流域から約7km地点にあるアメダス栃尾観測所の10分間雨量を、土石流が発生した2020年7月8日を含む2020年7月1日から2020年7月10日までは国土交通省によるCバンドレーダ雨量データの10分間雨量を用いた。透水係数は観測結果を使用した。粘着力については、実際の土石流発生時に安全率 F_{deb} が1を下回るような粘着力 c を推定するために0.05kPa間隔で $c = 3.5 \sim 4.0$ kPaまでの11ケースで感度分析を行い、真砂土を対象とした実験結果⁸⁾から設定された $c = 5.0$ kPaの条件と比較した。堆積層厚については、各単位河道で空間分布を与えた場合と一様に1.0mで与えた場合を比較した。堆積層厚の空間分布の作成方法(図-2)は、土石流発生前のヒル谷の0.5mメッシュのDEMデータから、スプライン補間を用いて河道部の基岩面のDEMデータを推定し、DEMデータによる河床位と推定した基岩面の差をとることで、堆積土砂量を計算し、各単位河道を長方形断面と仮定して、堆積土砂量を単位河道の水平長さおよび川幅で除すことで堆積層厚の空間分布を作成した(図-3)。また、これら以外の浸透能やマンニングの粗度係数等の入力条件は岩井ら⁵⁾と同じ条件で解析を行った。

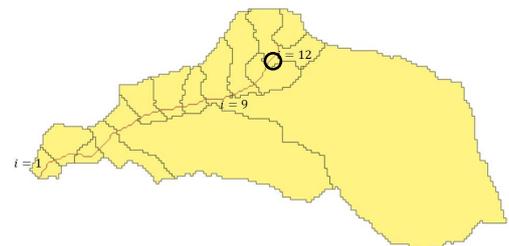


図-1 単位河道・単位斜面に分割したヒル谷流域

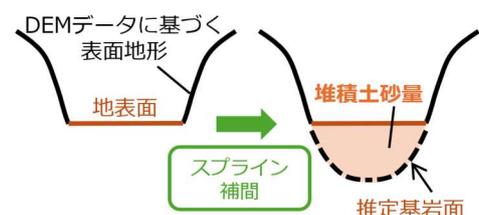


図-2 スプライン補間による各単位河道の堆積土砂量の推定方法

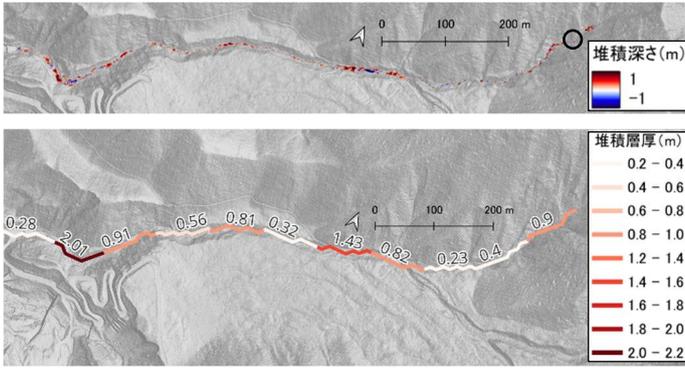


図-3 各単位河道の堆積深さ（上段）および堆積層厚分布の推定結果（下段）

4. 結果と考察

(1) 観測結果

流量 Q は4回の計測値の平均をとった結果、 $7.4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ となり、この流量が堆積土層内を完全に飽和した地点での断面積 A は 1.1 m^2 となった。したがって、連続式 $Q = vA$ から流速 v は $6.7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ となった。河床勾配は実測により0.125であり、これが動水勾配 i と等しいものとして、ダルシー則 $v = ki$ に代入し、透水係数 k は $5.4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ となった。なお、断面積の計算では表-1のようにSH型貫入試験から推定された3箇所での堆積層厚より断面形状を推定し算出した。

表-1 貫入試験による堆積層厚の結果

右岸からの距離 (cm)	堆積層厚 (cm)
50	122
100	47.5
150	46.9

(2) 解析結果

各単位河道の堆積層厚を一樣に与えた場合とスプライン補間によって空間的に与えた場合、また粘着力を $c = 3.5 \text{ kPa}$ と 5.0 kPa で与えた場合の土石流の安全率 F_{deb} の結果は図-4のようになった。なお、ヒル谷支川最上流の源頭部に位置する単位河道 channel 12で最も安全率 F_{deb} が低くなることから、図-4では単位河道 channel 12の解析結果のみを記載した。7月7日から8日にかけて最大 80 mm/h を超える豪雨が短時間で降った影響により、どのケースでもヒル谷で土石流が発生した7月8日に安全率が最も低くなった。また感度分析の結果から安全率 F_{deb} が1を下回る粘着力は $c \leq 3.63 \text{ kPa}$ となった。次に各単位河道における安全率 F_{deb} の最小値を図-5に示す。空間的に層厚を与えた場合（図-5実線）と一樣で与えた場合（図-5点線）を比較すると、channel 10および11で変化がみられた。このことから空間的に堆積層厚を与えることにより局所的に安全率が低い区間を絞ることができた。

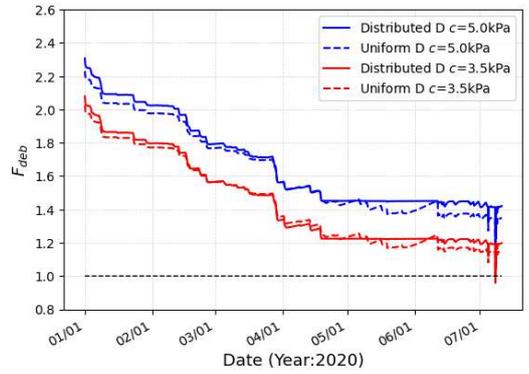


図-4 channel 12での安全率 F_{deb} の解析結果

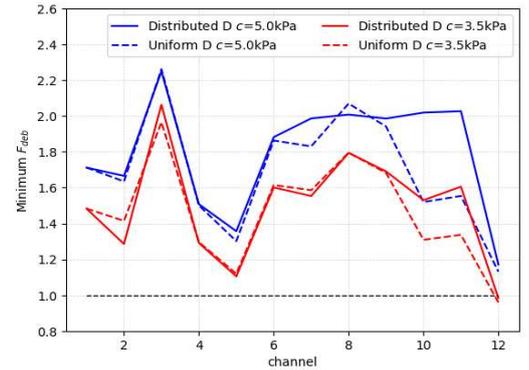


図-5 各単位河道における安全率 F_{deb} の最小値

5. 結論

本研究では、観測によって河道の透水係数を推定し、浸透流を考慮した土砂動態解析モデルSimHisを用いて、堆積層厚を空間的に与えた場合の土石流発生に関する解析を行い、堆積層厚の与え方によって安全率が変化する結果を得た。また、粘着力の値を推定することができた。今後は、これらの結果を用いて、底面摩擦の違いを考慮した土石流シミュレーションを行う。

謝辞

利用した国土交通省 C バンドレーダ 雨量データは、国土交通省より提供されたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 高橋ら, 水工学論文集, Vol.44, pp.717-722, 2000
- 2) 富田ら, 砂防学会誌, Vol.66, No.1, pp.3-12, 2014
- 3) 諏訪ら, 京都大学防災研究所年報, No.32B-1, 1989
- 4) 中谷ら, 砂防学会研究発表会概要集, 2024
- 5) 岩井ら, 砂防学会誌, Vol.77, No.5, pp.17-24, 2024
- 6) 山野井: 京都大学学位論文, pp.167, 2017
- 7) 山野井, 藤田, 砂防学会誌, Vol.69, No.6, pp.15-23, 2017
- 8) 八木, 矢田部, 土木学会論文集, 1985