

改良した画像解析手法による底面水抜きスクリーン上での土石流の停止機構の検討

新潟大学農学部 ○鈴木紫野, 権田 豊, 川邊 洋

1. はじめに

従来、土石流の停止・堆積メカニズムの解明を目的に、底面水抜きスクリーン(以下、スクリーン)上での土石流の挙動の研究が進められている。長谷川ら(2001)は、スクリーン上で生じる「スクリーン近傍での間隙水圧の減少」を考慮し、スクリーン上での土石流の底面せん断応力を、以下のようにモデル化した。

$$\tau_{s0} = \begin{cases} (\sigma - \rho_w)Cg \tan \phi_s & (\text{通常河床上}) \\ \{(\sigma - \rho_w)C + (1 - \gamma)\rho_w\}g h \tan \phi_s & (\text{スクリーン上}) \end{cases} \quad (1)$$

τ_{s0} : 底面せん断応力の静的な成分, σ, ρ_w : 固相および液相の密度, C : 固相の濃度, g : 重力加速度, h : 流動深, ϕ_s : 底面における固相材料の摩擦角, γ : スクリーン近傍の間隙水圧の変化をあらわすパラメータ ($0 \leq \gamma \leq 1$) である。

長谷川らの構築したモデル(以下、力学モデル)を検証するには、底面せん断応力 τ_0 を評価する必要があるが、スクリーン上で τ_0 を計測することは困難である。そこで権田ら(2006)は、画像解析により読み取った土石流体の速度 u と流動深 h を、差分化した連続式および運動量保存則に代入し、 τ_0 を評価する手法(以下、 τ_0 評価法)を考案した。生方ら(2007)はこの τ_0 評価法を改良することで解析の精度を向上させ、力学モデルの妥当性を示した。しかし、これらの研究では力学モデルの検証が優先され、 u, h の扱い方や τ_0 評価法の妥当性について十分に検討されていない。

そこで、本研究では τ_0 評価法の確立を目的とし、① τ_0 評価法の改良(水路部における液相の流出速度 w の評価による u, h の処理方法の検討)および② τ_0 評価法の妥当性の検証(力学モデルから求めたみかけの摩擦角 ϕ_s と実測した摩擦角 ϕ_s の比較)を試みた。さらに改良した τ_0 評価法を用いて、力学モデルの妥当性を検証した。

2. 実験方法

実験には、全長 335 cm、幅・高さ 20 cm、水路勾配 19.7° の河床に砂礫を貼り付けた模型水路を用いた。水路の下端には水路と同じ勾配で長さ 40 cm、幅 20 cm のスク

リーン(隙間の間隔 0 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm の計 4 種類)を設置した。水路下流端から 240 cm の位置に仕切り板を固定し、上流側で 8.5 kg の水と 8.5 kg の土砂(平均粒径 7.1 mm、密度 2.54 g/cm³)を混合させた後、仕切り板を引き上げることで土石流を発生させた。2 つの撮影範囲① -15 cm ~ -10 cm、② 5 cm ~ 10 cm (スクリーン上流端を 0、流下方向を+とする)を設け、流下する土石流を、スクリーン側方からシャッタースピード 1/2500 秒に設定した高速デジタルビデオカメラで撮影した。なお、範囲①を撮影する際は、隙間の間隔が 0 mm のスクリーンを用いた。

3. 解析方法

撮影した各実験ケースの映像を 3/125 秒間隔でコマ送りし、-15 cm、-10 cm、5 cm、10 cm の位置での u と h を読み取った。それらを差分化した連続式(式(2))および運動量保存則(式(3))に代入し、 w と τ_0 を算出した。さらに、式(4)、(5)を用いて底面せん断応力の静的な成分 τ_{s0} を求め、式(1)に代入し間隙水圧の指標 γ を算出した。生方は読み取った u と h をそのまま式(2)、(3)に代入し w と τ_0 を算出している(以下、生方の算出法)。しかし、土石流の場合、両式は本来 u と h を時空間にわたり平均した値に対して成立する式であるため、 w と τ_0 を評価するためには平均した u と h を用いるべきだと考えられる。そこで今回は、移動平均した u と h を式(2)、(3)に代入し、 w と τ_0 を算出した(以下、今回の算出法)。移動平均時間は、5 コマ(15/125 秒)および 10 コマ(30/125 秒)とし、移動平均時間が結果に与える影響も検討した。

$$\frac{h_n(t + \Delta t) - h_n(t)}{\Delta t} + \frac{h_n(t)u_n(t) - h_{n-1}(t)u_{n-1}(t)}{\Delta x} = w_n \quad (2)$$

$$\frac{\rho_n \{h_n(t + \Delta t)u_n(t + \Delta t) - h_n(t)u_n(t)\}}{\Delta t} + \frac{\rho_n \{h_n(t)u_n^2(t) - h_{n-1}(t)u_{n-1}^2(t)\}}{\Delta x} = -\rho_n g h_n \frac{H_n(t) - H_{n-1}(t)}{\Delta x} - \tau_{0n} \quad (3)$$

$$\tau_{0n} = \tau_{s0n} + \tau_{d0n} \quad (4) \quad \tau_{d0n} = -\rho_n f |u_n| u_n \quad (5)$$

ρ : 土石流体の密度, H : 土石流体表面の標高, f : 抵抗係数, τ_{s0} : 底面せん断応力の動的な成分, Δx : 格子点の間隔 (=5cm), Δt : 刻み時間 (=3/125秒), n : 格子点の諸量であることを示す添え字である。

4. 結果・考察

4.1. τ_0 評価法の検討

① τ_0 評価法の改良

生方の算出法および今回の算出法により求めた水路部 (-10 cmの位置)での w の時間変化を図1に示す。水路部では液相が底面から流出しないため、理論上 w は常に0で一定である。図1より、生方の算出法で求めた w は解析時間(約 1.5 秒)内において著しく変動しているが、今回の算出法で求めた w は一定してほぼ 0(平均 -0.01m/s)をとり続けた。したがって、 τ_0 評価法には移動平均した u と h を用いるべきだと考えられる。また、移動平均時間を5コマから10コマに変えても、算出された w に大きな差はみられなかった(図1)。これより、移動平均時間は5コマで十分だと考えられる。

② τ_0 評価法の妥当性の検証

5コマ移動平均した u 、 h を用いて算出した τ_{s0} の時間変化を図2に示す。 h の違いが τ_{s0} に与える影響を除くため、縦軸には τ_{s0}/h を用いている。 τ_{s0}/h が解析時間内でランダムに変動しているため、時間平均した τ_{s0}/h を式(1)に代入し、みかけの摩擦角を求めた。スクリーン間隔 0 mm 上では 26.5° 、流路部上では 38.7° となり、両者は実測した摩擦角(板上では 28.7° 、水路部と同様に砂礫を貼り付けた板上では 42.9°)と近い値であるため、 τ_0 評価法は妥当であるといえる。またこの結果から、 τ_{s0}/h を評価する際は、 τ_{s0}/h が時間変動することを考慮し、時間平均した値を τ_{s0}/h とみなす必要があると考えられる。

4.2. 力学モデルの検討

今回の算出法により求めたスクリーン上(10 cmの位置)での w は、水路部に比べ変動するものの全ケースにおいてほぼ 0 を示すことから、土石流体の密度 ρ 、濃度 C の変化はほとんどないとみなすことができる。よって、 ρ 、 C ともに一定値として解析を進めた。

解析時間にわたって時間平均した τ_{s0}/h を、式(1)に代入して求めた γ を図3に示す。なお、図上の点線は

力学モデルから予測される γ の変化の傾向を示したものである。 γ は、スクリーン間隔の増加にともない小さくなる傾向を示す。これは、力学モデルから予測される変化の傾向とほぼ一致する。また、解析時間を 1/10 秒間と極めて短く設定した生方の結果に比べ、今回の解析結果の方が力学モデルから予測される傾向により近い。

5. まとめ

水路部での w の評価および力学モデルから求めたみかけの摩擦角と実測した摩擦角の比較により、 τ_0 評価法の妥当性が示された。また、移動平均した u と h を τ_0 評価法に用いることで、解析の精度が向上し、力学モデルの妥当性がより明確に示された。

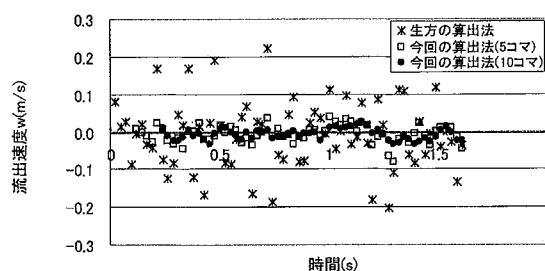


図1. 水路部における w の時間変化

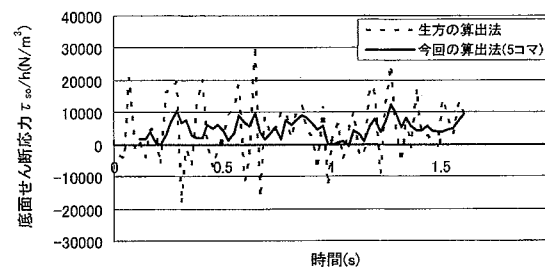


図2. 水路部における τ_{s0}/h の時間変化

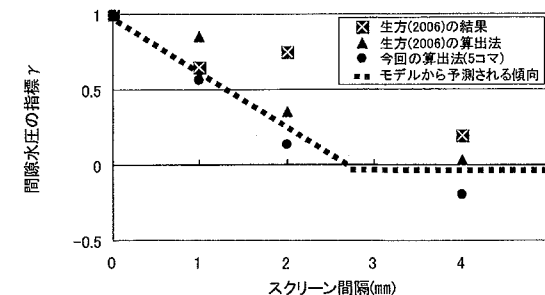


図3. スクリーン間隔と γ の関係

参考文献

- 長谷川ら(2001):新潟大学農学部研究報告, Vol153, No. 2, 179-191
- 権田ら(2006):平成18年度砂防学会概要集, 420-421
- 生方ら(2007):平成19年度砂防学会概要集, 428-429