

新潟大学農学部 ○生方貴大, 権田 豊, 川邊 洋

## 1. はじめに

本研究の対象とする底面水抜きスクリーン(以下スクリーン)は、スノコ状のデッキを河床に設置した土石流対策構造物である。流下してきた土石流は、スクリーン上に達すると、土石流内部に変化が生じ、減速・停止する。このスクリーン上での土石流の停止のメカニズムを解明することは、土石流の停止・堆積のメカニズムについて理解を深めるために非常に重要である(権田ら 2006)。

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。

$$\tau_{s0} = \{(\sigma - \rho_w)C + (1 - \gamma)\rho_w\}gh \tan \phi_s \quad (1)$$

ただし、 $\tau_{s0}$ :底面せん断応力の静的な成分、 $\sigma$ 、 $\rho_w$ :礫および水の密度、 $C$ :固相の濃度、 $g$ :重力加速度、 $h$ :流動深、 $\phi_s$ :固相材料の摩擦角、 $\gamma$ :スクリーン近傍の間隙水圧の大きさをあらわすパラメータ( $0 < \gamma \leq 1$ )である。

## 2. 実験方法

実験には、全長 335cm、幅と高さともに 20cm、流路勾配 19.7° の水路を用い、水路下端に同じ勾配で長さ 40cm、幅 20cm のスクリーンを設置した。このスクリーンには、隙間の間隔が 1mm, 2mm, 4mm のものと隙間のない板の計 4種類を用いた。水路下端から 240cm の所に仕切り板を一時的に固定し、上流側で 8.5kg の土砂(平均粒径 7.1mm)と 8.5kg の水を混合させた後、仕切り板を素早く引き上げることで土石流を発生させた。

流下している土石流の様子を、スクリーン側方から、シャッター速度 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。実験は、各実験ケースあたり 4 回行った。

## 3. 解析方法

撮影した各実験ケースの映像を 1/40 秒間隔でコマ送りし、スクリーンの上流端から 5cm, 10cm, 15cm の位置での土石流体中の粒子の速度  $u$  と流動深  $h$  を読み取った。それらを権田ら(2006)にならって、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、各実験ケースでのスクリーン

からの液相の流出速度  $w$  と土石流の底面せん断応力  $\tau_0$  を評価した。権田らは、 $\tau_{s0} \approx \tau_0$  とみなして、式(1)より間隙水圧の大きさの指標  $\gamma$  を算出する手法をとっていたが、今回は、式(4),(5)を用いて、権田らの行っていない底面せん断応力  $\tau_0$  の静的な成分  $\tau_{s0}$  と動的な成分  $\tau_{d0}$  の評価を行い、 $\tau_{s0}$  を式(1)に代入することで  $\gamma$  を算出した。

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

$$\frac{\rho_n^{t+\Delta t} \{h_n^{t+\Delta t} u_n^{t+\Delta t} - h_n^t u_n^t\}}{\Delta t} + \frac{\rho_n^t \{h_n^t u_n^{t2} - h_{n-1}^t u_{n-1}^{t2}\}}{\Delta x} = -\rho_n^t g h_n^t \frac{H_n^t - H_{n-1}^t}{\Delta x} - \tau_{0n}^t \quad (3)$$

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

ただし  $u$ :流速、 $w$ :スクリーンからの液相の流出速度、 $H$ :土石流体表面の標高、 $f$ :抵抗係数、 $\tau_0$ :底面せん断応力、 $\tau_{d0}$ :底面せん断応力の静的および動的な成分、 $\Delta x$ :格子点の間隔(=5cm)、 $\Delta t$ :刻み時間(=1/40 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

## ①先頭部と後続部の違いについて

撮影画像から土石流の先頭部では、礫が水より速く流下するため、礫間に空隙が目立つのに対し、後続部では礫間が完全に水で満たされ、礫と水が一体となって運動していることが確認された。権田(2006)の研究では、先頭部を対象に解析が行われていたが、間隙水圧を評価する場合には、後続部のような条件が望ましいと考えられる。よって、今回は後続部も解析対象とした。

## ②液相の流出速度の評価について

式(2)より算出した先頭部および後続部でのスクリーンからの水の流出速度  $w$  を図 1 に示す。各ケースにおいて、先頭部での  $w$  は後続部に比べ、ばらつきが大きいことがわかる。これは、土石流体の体積変化から連続式を用いて  $w$  を算出するこの評価法が、礫間に空隙が目立つ先頭部には不向きであるためと考えられる。また、

理論上では、スクリーン間隔が 0mm の場合は、 $w=0$  であるので、 $w$  の平均値がほぼ 0 に等しい後続部での解析の方が結果の信頼度は高いと考えられる。後続部では、全ケースにおいて  $w$  の平均値が 0 に近いことから、解析の対象とした極めて短い時間内では、スクリーン上での土石流体の密度、濃度の変化はほとんどないとみなすことができる。

### ③底面せん断応力の評価について

底面せん断応力の評価は、後続部を対象に行った。式(3)～(5)より算出した底面せん断応力とスクリーン間隔の関係を図2に示す。なお、底面せん断応力は、各ケースでの流動深の違いによる差をなくすため、流動深  $h$  で除している。 $\tau_0/h$  および  $\tau_{s0}/h$  は、スクリーン間隔が増加するにつれて大きくなる傾向を示した。 $\tau_{s0}/h$  の算出結果は、長谷川ら(2001)のモデル(式(1))から予測される結果と同じ傾向を示した。一方、 $\tau_{d0}/h$  は、スクリーン間隔が増加するにつれて小さくなる傾向がある。これは、動的な成分  $\tau_{d0}/h$  は流速の2乗に比例するものであり、流速がスクリーン間隔の増加にともない小さくなっていったためである。

### ④間隙水圧の指標 $\gamma$ の算出について

静的な成分  $\tau_{s0}/h$  を用いて  $\gamma$  を算出した結果と、 $\tau_{s0} = \tau_0$  とみなして  $\gamma$  を算出した権田らの結果を図3に示す。なお、図の点線は、権田ら(2001)による実験結果から予測される  $\gamma$  の変化の傾向を示したものである。算出した  $\gamma$  は、両者ともに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が、その減少率は異なり、各ケースにおいて、権田ら(2006)の算出結果の方が大きい。一方、今回算出した  $\gamma$  の変化の傾向は、過去の実験から予測される変化の傾向とほぼ一致し、このことから今回の  $\gamma$  の評価法は、権田ら(2006)の評価法に比べ精度は高いと考えられる。

## 5. まとめ

高速ビデオカメラの画像を解析することにより、底面水抜きスクリーン上での底面せん断応力および間隙水圧の評価を行った。高速ビデオカメラを用いること、解析対象を土石流先頭部から後続部へ変えること、また、底面せん断応力  $\tau_0$  の静的な成分  $\tau_{s0}$  と動的な成分  $\tau_{d0}$  を評価し、 $\tau_{s0}$  を用いて  $\gamma$  の算出をすることにより、解析の精度が向上することが示された。

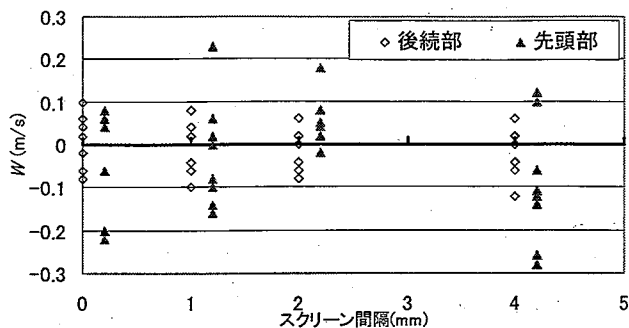


図1. スクリーンからの液相の流出速度  $w$

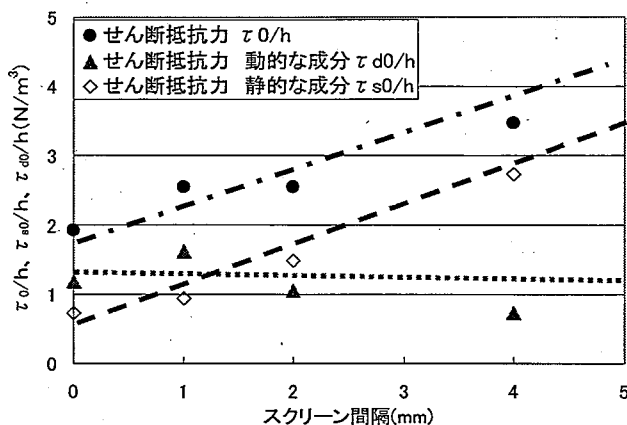


図2. スクリーン間隔と底面せん断応力の関係

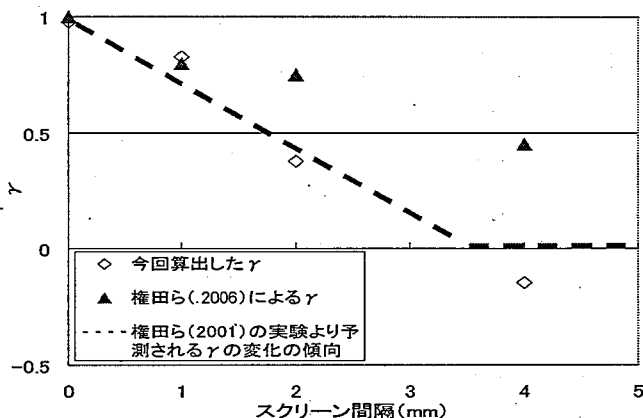


図3. スクリーン間隔と間隙水圧の指標  $\gamma$  の関係

## 参考文献

- 権田ら(2001):底面水抜きスクリーン上での土石流の停止機能に関する検討(2),平成13年度砂防学会研究発表会概要集,420-421
- 権田ら(2006):画像解析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,平成18年度砂防学会研究発表会概要集,420-421
- 長谷川ら(2001):底面水抜きスクリーン上における土石流停止機構の解明,新潟大学農学部研究報告,Vol53.No.2:179-191