

新潟大学農学部 ○権田 豊  
新潟大学農学部 上岡秀之  
新潟大学農学部 山本仁志  
新潟大学農学部 川邊 洋

### 1.はじめに

土石流災害対策上、扇状地での土石流の氾濫現象を把握することは非常に重要である。従来の土石流の研究の多くは、飽和した地盤（河床）上での挙動を対象としたものであり、土石流の氾濫計算を行う場合、地盤が飽和していることが前提となっている。しかし、扇状地は粗い礫で構成され、礫間の間隙が比較的大きいため、透水性が高い。このため不飽和な状態の地盤上に土石流が氾濫する可能性は十分に考えられる。したがって、扇状地での土石流の氾濫計算を精度良く行うためには、不飽和地盤上での土石流の挙動についての知見が重要と考えられる。筆者らは、不飽和地盤上での土石流の挙動を明らかにするために、河床の透水能が高く、河床間隙水が排水されやすい構造を持つ、底面水抜きスクリーン上での土石流の挙動について検討をおこなっている。ここでは、スクリーン上に土砂が堆積した状態での土石流の挙動について、模型実験を行った結果を報告する。

### 2.実験の概要

実験には全長335cm、幅・高さ共に20cm、勾配19°の水路を用いた。水路床は、平均粒径3.4mmの礫を一様に貼り付けた固定床とし、その下流端に全長100cm、幅20cm、片面アクリル張りのスクリーンを設置した。水路下流端から240cmの部分に仕切り板を鉛直に設置し、その上流側に2500cm<sup>3</sup>の土石流材料（平均粒径3.4mm）と5500cm<sup>3</sup>の水を混合し、仕切り板を引き上げることで土石流を発生させた。スクリーンには間隔が0.1, 2, 4, 8mm（空隙率は順に0.9, 17, 28, 44%）の5種類のものを用いた。スクリーン上には、土石流材料と同一の礫を、水平に敷き詰めた。礫を敷きつめる厚さ（堆積厚）は、0.1, 2, 4cmの4種類とした。スクリーン間隔と堆積厚の組み合わせで計20ケースの実験を行った。スクリーン部をデジタルビデオで撮影し、土石流の挙動を解析した。

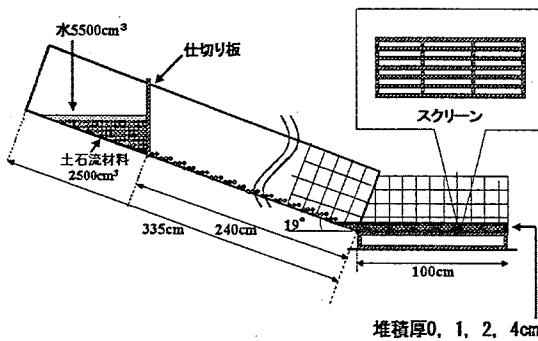


図. 1 実験水路

### 3.予測される結果

長谷川ら（2001）は、底面水抜きスクリーン上での土石流の挙動を支配しているのは、スクリーン近傍の間隙水圧

の減少にともなう、底面せん断力 $\tau$ の増加であることを示した（式(1)）。権田ら（2001）は、スクリーンの透水能 $Pos < Pod$ のとき、スクリーン近傍で間隙水圧が生じると考えられることから、間隙水圧の程度 $\gamma$ を式(2)のようにモデル化した。さらにモデルから予測される到達距離の変化の傾向と模型実験の結果が一致することを示した。

表. 1 数式一覧

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

$$\gamma = \begin{cases} 0 & (Pos \geq Pod) \\ 1 - (Pos/Pod) & (Pos < Pod) \end{cases} \quad (2)$$

ただし $\rho$ : 土石流体の密度、 $\sigma$ ,  $\rho_w$ : 固相および液相の密度、 $C$ : 固相の濃度、 $h$ : 土石流体の流動深、 $\tau_{so}$ : 底面せん断力、 $g$ : 重力加速度、 $\phi_s$ : 固相材料の摩擦角、 $Pos$ : スクリーンの空隙率、 $Pod$ : 河床近傍での土石流体の固相の空隙率である。

これらの研究成果をふまえると、本実験の結果は次のように予測される。

#### 1) 堆積土砂の水分状態と間隙水圧の関係

スクリーンに堆積した土砂が不飽和の場合、堆積土砂の空隙はほぼ大気圧とみなせると仮定すると、堆積面近傍の土石流体中の土砂の透水能 $Pos$ と堆積土砂の透水能 $Pod$ に差はないと考えられる。よって、土石流底面での間隙水圧は発生せず（=0）底面せん断力は堆積土砂の飽和度によらず一定となる。

堆積土砂が飽和した場合、間隙水圧が発生する。スクリーン近傍の間隙水圧と堆積面近傍の間隙水圧が比例すると仮定すると、スクリーンの透水能 $Pos$ が大きくなるほど、堆積面近傍に発生する間隙水圧は小さくなり、底面せん断力は大きくなる。スクリーンの透水能 $Pos$ が堆積土砂の透水能 $Pod$ より大きくなると間隙水圧は0となり、底面せん断力は堆積土砂が不飽和の場合と等しくなる。

#### 2) スクリーン上での間隙水圧の時間変化

スクリーン上に土砂が堆積している場合、土石流がスクリーンに進入すると、底面せん断力は、通常の河床上よりも増加し、堆積土砂が飽和するまでその値は変わらない。飽和後は、スクリーン間隔が、スクリーンの透水能と堆積土砂の透水能が一致するスクリーン間隔 $S_*$ よりも小さな場合、スクリーン間隔が小さくなるほど、底面せん断力は小さくなる。スクリーン間隔が $S_*$ よりも大きな場合、底面せん断力の値は不飽和の状態と変わらない。（図. 2）

#### 3) スクリーン間隔、堆積厚と土石流の到達距離の関係

つまり、土砂が堆積したスクリーン上での、土石流の底面せん断力の大きさは、①堆積土砂が飽和しているか否か、飽和している場合は、②スクリーンの間隔によって異なる。

土石流の到達距離は、底面せん断力の履歴を反映したものである。したがって、堆積土砂が飽和するまでに要する時間( $\propto$ 堆積土砂の厚さ)および、スクリーンの間隔により、土石流の到達距離が変化する。(図. 3)

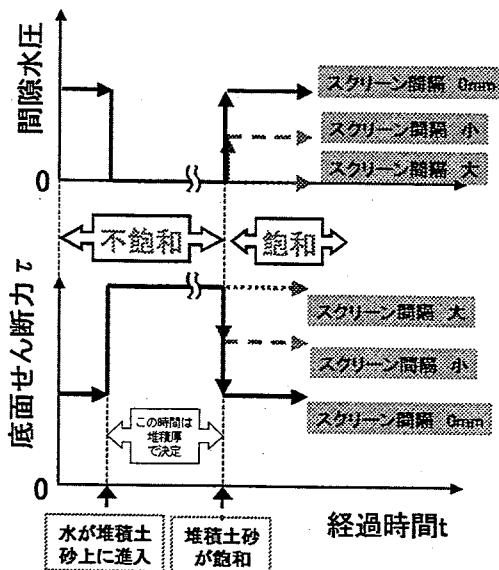


図. 2 堆積土砂上に進入した土石流の間隙水圧、せん断力の時間変化(概念図)

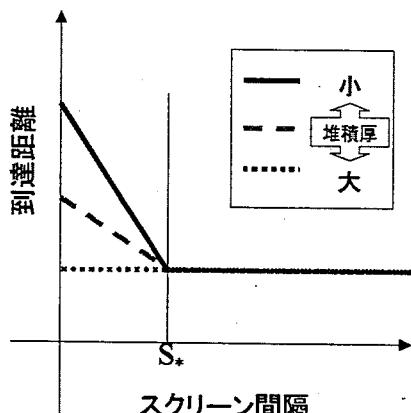


図. 3 スクリーン間隔、堆積厚と到達距離の関係(予測)

#### 4. 結果と考察

デジタルビデオ画像を見る限り、全ての実験ケースで、スクリーン上に堆積した土砂が土石流により侵食されることは無かった。

図. 4 に土石流の到達距離とスクリーン間隔の関係を示す。図. 4 (a) より本実験の場合、 $S_*$ は2mm程度であると推定される。

スクリーン間隔が0.1[mm](< $S_*$ )の場合、スクリーン間隔が大きくなるほど土石流の到達距離は減少している。また、到達距離は堆積厚0.1, 1, 2, 4[cm]の順に減少している。しかし、スクリーン間隔が4.8[mm](> $S_*$ )では、到達距離はスクリーン間隔、堆積厚によらずほぼ一定とみなせる(図. 4 (b) ~ (c))。

以上のように、およそ予想通りの結果が得られた。これは、この予測のベースとなっている、堆積土砂の水分状態と間隙水圧の関係についての考え方、およびその根本にある力学モデルの妥当性を示していると考えられる。

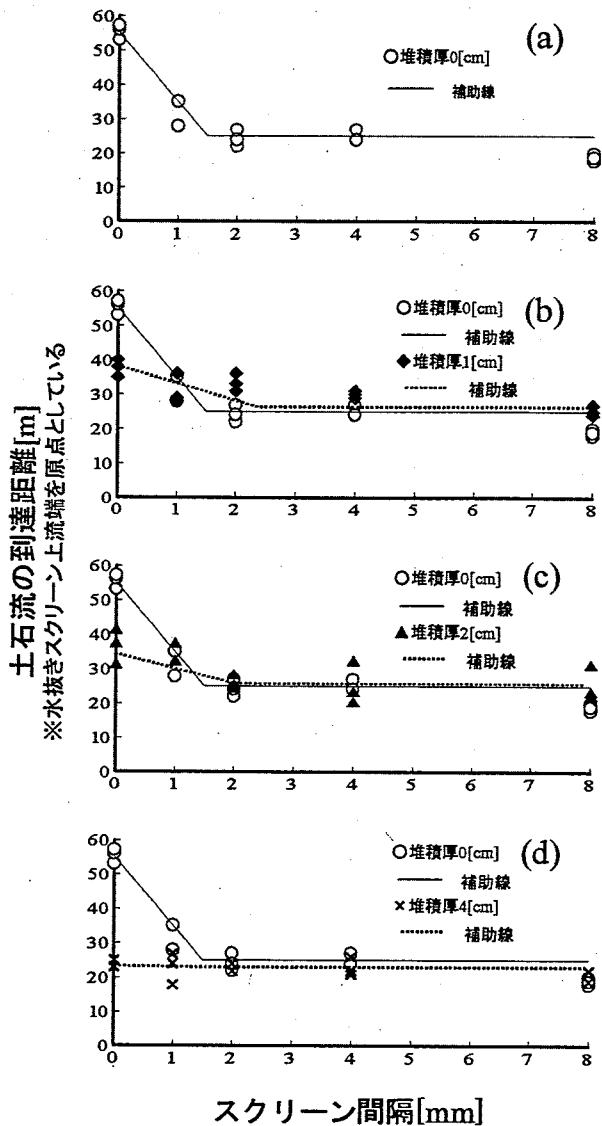


図. 4 到達距離とスクリーン間隔、堆積厚の関係

#### 5. おわりに

土砂の堆積した底面水抜きスクリーン上における土石流の挙動を実験的に検討した結果、スクリーンの間隔だけでなく、不飽和状態の堆積土砂の厚さも土石流の挙動に強い影響を与えることがわかった。また、土石流の到達距離とスクリーン間隔、堆積厚の関係は長谷川ら(2001)の提案した力学モデルでおよそ説明できることがわかった。

今後は、今回設けた仮定の下で長谷川らの力学モデルをベースとした数値シミュレーションをおこない、実験結果と比較することにより、さらに不飽和地盤上の土石流のメカニズムについて検証したい。

#### 参考文献

- 権田、深澤、松崎、山本、長谷川(2001)：底面水抜きスクリーン上での土石流の停止機構に関する検討(2)，平成13年度砂防学会研究発表会概要集, pp86-87
- 長谷川、山本、権田(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, 第53巻2号, pp179-pp191