

新潟大学農学部生産環境科学科 ○権田 豊  
 新潟大学大学院自然科学研究科 長谷川泰亮  
 新潟大学農学部生産環境科学科 山本 仁志  
 新潟大学農学部付属演習林 松崎 健

1. はじめに

土石流対策の構造物の一つである底面水抜きスクリーン（以下スクリーンと呼ぶ）は、スノコ状のデッキを溪流河床に設置したものであり、流下してきた土石流はスクリーン上で減速、停止・堆積する。従来この現象については、スクリーンによって土石流体中の土砂と水が分離されることにより生じる（たとえば、矢澤ら 1986）と説明されているのみで、その力学的なメカニズムについて検討されていない。そこで本研究では、単純な力学モデルを構築し、1次元の数値シミュレーションを行い、スクリーン上での土石流の運動メカニズムについて考察する。その結果を、模型実験のデータと比較することでモデルの妥当性について検証する。

2. スクリーン上での土石流の力学モデル

スクリーン上において、土石流体には主に、

- I : 土石流体中の液相の固相からの分離
- II : 土石流体中の液相の圧力の減少

の2つの現象が生じると考えられる。これらの現象を以下のようにモデル化する。

I : 土石流体中の液相部の固相部からの分離

スクリーンは土石流体の液相のみを選択的に透過するものと仮定する。透過速度  $w$  は高々  $\sqrt{2gh \cos i}$  のオーダーであると推測されることから、ここでは式(9)で与える。

II : 土石流体中の液相の圧力の減少

通常の河床上では、液相の圧力は静水圧分布をとる。スクリーン上では、河床が大気に解放されているため、河床における液相の圧力は大気圧と等しくなる。スクリーンの透水能が河床近傍での土石流体の空隙の透水能に比べ大きい場合、全水深で液相の圧力は大気圧と一致する。

(図. 1 (2)) しかし、スクリーンの透水能が河床近傍での土石流体の空隙の透水能に比べ小さい場合、スクリーンの上部で液相に間隙水圧が生じ、液相の圧力分布は図1 (3) に示すようになると考えられる。河床近傍の液相の圧力を  $\gamma \rho_w gh \cos i$  とすると、スクリーン部で河床面に働く静的なせん断力  $\tau_{s0}$  は式(10)となる。式(10)のパラメータ  $\gamma$  は、スクリーンの透水能と河床近傍での土石流体の固相の空隙の透水能の関数であると考えられるが、ここでは単純に

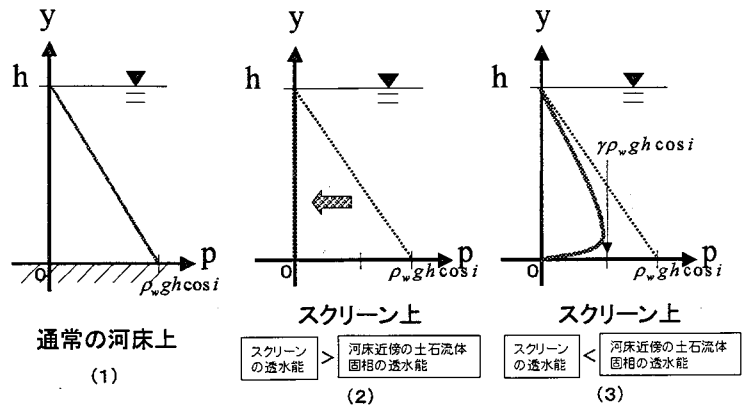


図.1 土石流体の液相の圧力分布

表.1 支配方程式系

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = w \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uh)}{\partial x} = \rho_w w \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho uh)}{\partial t} + \beta \frac{\partial(\rho u^2 h)}{\partial x} = \rho gh \frac{\partial H}{\partial x} - \tau_0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial Cuh}{\partial x} = 0 \quad (4) \quad \frac{\partial(1-C)h}{\partial t} + \frac{\partial(1-C)uh}{\partial x} = w \quad (5)$$

$$\rho = \rho_w(1-C) + \sigma C \quad (6) \quad \tau_0 = \tau_{s0} + \tau_{d0} \quad (7)$$

$$\tau_{d0} = -\frac{25}{4} [k_s \sigma (1-e^2) C^{1/3}] (d/h) |u| \quad (8)$$

$$w = \begin{cases} 0 & (\text{通常の河床上}) \\ \alpha \sqrt{2gh \cos i} & (\text{スクリーン上}) \end{cases} \quad (9)$$

$$\tau_{s0} = \begin{cases} (\sigma - \rho_w) C gh \cos i \tan \phi_s & (\text{通常の河床上}) \\ ((\sigma - \rho_w) C + (1-\gamma) \rho_w) gh \cos i \tan \phi_s & (\text{スクリーン上}) \end{cases} \quad (10)$$

$$\gamma = \begin{cases} 0 & (Pos \geq Pod) \\ 1 - (Pos/Pod) & (Pos < Pod) \end{cases} \quad (11)$$

ここで、 $\rho$  : 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、 $u$  : 平均流速、 $h$  : 土石流体の流動深、 $i$  : 河床勾配、 $H$  : 土石流体表面の標高、 $\tau_0$  : 底面せん断力  $\tau_{s0}$  : 底面せん断力の静的な成分、 $\tau_{d0}$  : 底面せん断力の動的な成分、 $g$  : 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  $\alpha$  : 係数

式(11)で与える。

### 3. 数値シミュレーションによる力学モデルの検討

#### 3. 1 数値シミュレーションの概要

幅・高さ共に 20cm, 全長 335cm, 勾配 16.0°, 水路床に土石流材料(礫)を粗度として一様に貼り付けた実験水路の下流端に全長 100cm の底面水抜きスクリーンを水平に設置。水路下流端から 240cm の部分を仕切り板で鉛直に区切り, 上流側で平均粒径  $d=0.475\text{mm}$ ,  $\phi_s=0.65$  土砂と水を混合し, 板を瞬時に解放し土石流(土砂濃度  $C=0.375$ , 体積  $=700\text{cm}^3$ ) を発生させることを想定した(図. 2 参照)。式(9)の  $\alpha$  は, 式(10)の  $\gamma$  と同様に, スクリーンおよび河床近傍の土石流固相の透水能等の関数であり,  $\alpha$  と  $\gamma$  は互いに従属であるが, 具体的な関係については不明なため, ここでは  $\alpha$  と  $\gamma$  の 2 つを計算のパラメータとし, それぞれを 0.1 ~ 1.0 の範囲で独立に変化させ, それぞれが結果に及ぼす影響について検討することとした。なお, スクリーンの摩擦係数は便宜上実験水路の摩擦係数で代用した。

#### 3. 2 数値シミュレーションの結果

図. 3 より  $\gamma$  が大きくなるほど土石流先端部の到達距離が大きくなるのがわかる。また  $\gamma$  の変化に比べ  $\alpha$  の変化が到達距離に及ぼす影響は小さいことがわかる。これは本シミュレーションの条件の範囲では, スクリーン上での土石流の挙動は, スクリーンの土石流液体相の圧力解放による底面せん断力の増加が支配的な要因となっていることを意味する。ここで, 河床近傍での土石流の固相の空隙率  $Pod$  は, 土石流体の断面平均濃度とは無関係にほぼ一定の値を取ると仮定し, 式(11)より図. 3 の横軸  $\gamma$  をスクリーン空隙率  $Pos$  に置き直すと図. 4 が得られる。図より  $Pos$  が大きくなると到達距離は小さくなるが, ある程度大きくなると ( $Pod$  より大きくなると) 到達距離は一定の値をとることが読みとれる。

#### 3. 3 模型実験との比較

数値シミュレーションと同一の条件で, 模型実験を行った結果を図. 5 に示す。数値シミュレーションで得られた結果と同様に, スクリーン空隙率  $Pos$  が増加するにつれて到達距離が小さくなるが,  $Pos$  がある程度大きくなると到達距離がほぼ一定となる傾向がある。ただし模型実験の場合,  $Pos$  が小さい範囲では, 土石流の先頭の到達距離は, 数値シミュレーションの結果の約 2 倍の値となっている。これは数値シミュレーションでは, スクリーンの摩擦係数を過大に評価しており, スクリーン上を運動する距離が長いものほどその影響が出たためと推測される。定量的な評価という観点からすればまだ不十分ではあるが, 数値シミュレーションと模型実験で, スクリーンの空隙率  $Pos$  に対する土石流先端部の到達距離の変化傾向について, 同様の結果が得られたということは, 本研究で提示した力学モデルが妥当であることを示していると考えられる。

### 4. まとめ

土石流体中の液相の固相からの分離, および土石流体中の液相の圧力の減少を考慮した, 底面水抜きスクリーン上での土石流の力学モデルを構築し, 数値シミュレーションを行った結果, 土石流体中の液相の圧力の減少にともなう河床面のせん断抵抗力の増加が, スクリーン上での土石流の運動の支配的要因であることが示された。

#### 参考文献

矢澤昭夫, 水山高久, 森田昭宏(1998):土石流を制御する構造物に関する実験, 土木技術資料, Vol28, No.8, pp.9-14

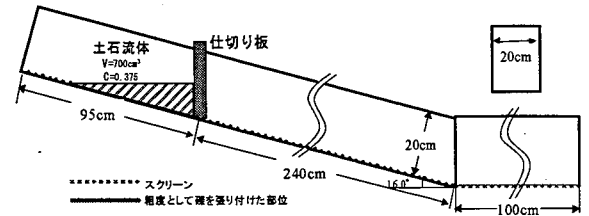


図. 2 水路概要

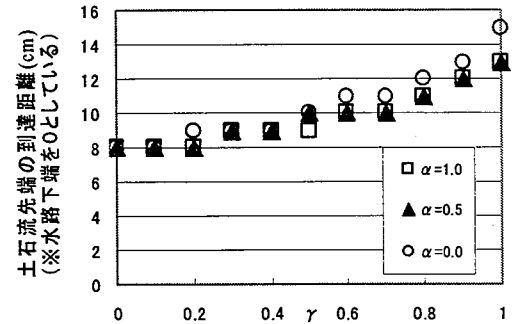


図. 3  $\gamma$  と土石流先端の到達距離の関係

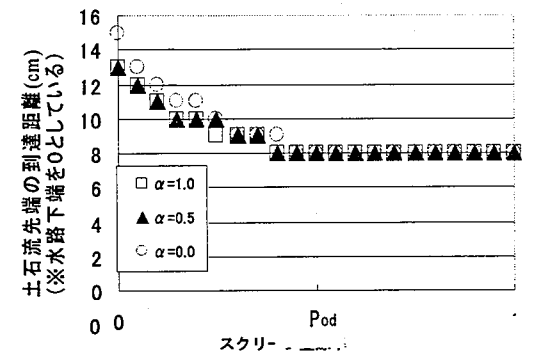


図. 4  $Pos$  と土石流先端の到達距離の関係

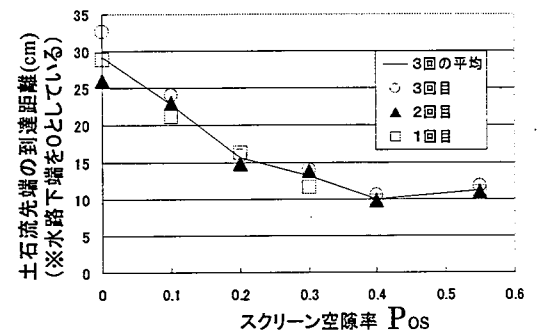


図. 5  $Pos$  と土石流先端の到達距離の関係 (模型実験の結果)