

新潟大学農学部 ○権田 豊
 新潟大学自然科学研究科 陳 逸洲
 新潟大学農学部 川邊 洋, 山本仁志

1. はじめに

底面水抜きスクリーン(以下スクリーンとする)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の一つで、流下した土石流をスクリーン上で減速・停止させる機能がある。従来より、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上での土石流の挙動が研究されている。長谷川(2000)は、底面水抜きスクリーン上での土石流の力学モデル(式(1))を構築し、水路実験と数値シミュレーションによる土石流の停止距離を比較することにより、スクリーン近傍での間隙水圧の減少にともなう底面せん断力の増加が、土石流の停止現象を支配していること示した。

$$\tau_{0s} = \begin{cases} (\sigma - \rho_w)Cg h \tan \phi_s & (\text{河床上}) \\ \{(\sigma - \rho_w)C + (1 - \gamma)\rho_w\}g h \tan \phi_s & (\text{スクリーン上}) \end{cases} \quad (1)$$

ここで τ_{0s} :底面せん断応力の静的な成分, σ :土石流体中の固相(石礫)の密度, ρ_w :土石流体の液層(水)の密度, g :重力加速度, h :流動深, ϕ_s :固相内部摩擦角, C :土石流の固相の体積濃度, γ :間隙水圧の大きさの指標となるパラメータ($0 < \gamma \leq 1$)である。

さらに権田ら(2001)は、スクリーン近傍での間隙水圧の大きさの指標となるパラメータ γ をスクリーン間隔と土石流体中の粒径の単純な関数としてモデル化した。そして粒径の異なる土石流材料を用いた水路実験を行い、スクリーン間隔に対する土石流の停止距離の変化の傾向がモデルから予想される傾向(図.1)と一致することを示した。

このように従来の研究では、計測が容易な土石流の停止距離に注目し、水路実験の結果と力学モデルをベースとした数値シミュレーションの結果を比較することで、間接的に土石流の内部メカニズムを表現する力学モデルの妥当性を検証するという手法がとられている。しかし、モデルの妥当性を検証するには、スクリーン上で土石流の底面せん断応力を評価することが望ましい。そこで、本研究では、長谷川(2000)、権田ら(2001)の提案した底面水抜きスクリーン上での土石流の力学モデルの妥当性を検証することを目的に、水路実験を行い、画像解析により底面せん断応力の評価を試みた。

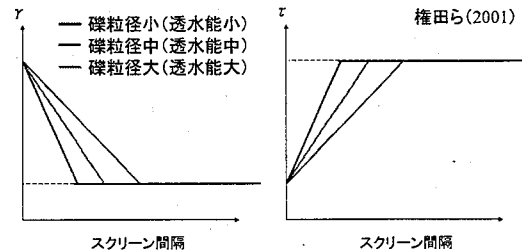


図. 1 権田ら(2001)のモデルから予想される、スクリーン間隔と間隙水圧の変化の指標 γ 、底面せん断応力 τ との関係

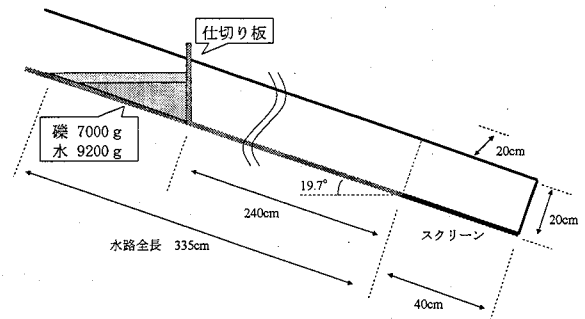


図. 2 実験水路概要

2. 実験概要

実験には、勾配は 19.7° 長さ33.5m 幅20cmの水路を用い、解析を容易にするために水路末端に水路と同じ勾配でスクリーンを設置した。(図.2)水路下流端から240mmの位置に仕切り板を設置し、上流側で一定量(7000g)の砂礫材料と水(約9200g)を混合させ、仕切り板を引き上げることで土石流を発生させた。土石流の流下する様子をスクリーン側方からシャッター速度を1/1000に設定したデジタルビデオカメラで撮影した。

実験条件は、スクリーン間隔4種類(0, 1, 2, 4mm)、土石流材料3種類(平均粒径1.7, 3.4, 7.1mm)を組み合わせた12通りとした。

3. 解析方法

土石流がスクリーンに進入した直後の極めて短い時間を解析対象とし、デジタルビデオカメラで撮影した各ケースの映像を1/30秒間隔のコマ割の静止画像に変換した。静止画像から土石流の形状と速度を読み取り、差分化した連続式

(式(2))と運動量保存則(式(3))に代入し、スクリーンからの水の透過速度 w 、底面せん断応力 τ_0 を評価した。

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

$$\frac{\rho_n \{h_{n+1}(t+\Delta t)u_{n+1}(t+\Delta t) - h_{n+1}(t)u_{n+1}(t)\}}{\Delta t} + \frac{\rho_n \{h_{n+1}(t)u_{n+1}^2(t) - h_n(t)u_n^2(t)\}}{\Delta x} \quad (3)$$

$$= -\rho_n g h_n \frac{H_n(t) - H_{n+1}(t)}{\Delta x} - \tau_{0n}$$

ここで、 u : 平均流速、 H : 土石流体表面の標高、 ρ : 土石流体の密度、 n : 格子点の諸量であることを示す添え字である。

4. 結果と考察

①スクリーンからの水の透過速度について

差分化した連続式(式(2))より算出したスクリーンからの水の透過速度 w を図. 4 に示す。スクリーン間隔が 0mm、つまりスクリーンから水が透過しない場合条件では、全ケースで w はほぼ 0 であり、このことは、画像解析から評価した、流動深、流速の値が妥当なものであることを示していると考えられる。また、他のケースでは、 w は数 [cm/s] であることから、土石流がスクリーンに進入した直後の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、濃度の変化は無視できると見なして良いと考えられる。

②底面せん断応力 τ_0 について

差分化した運動方程式(式(3))より算出した底面せん断応力 τ_0 とスクリーン間隔の関係を図. 4 に示す。異なる実験条件での底面せん断応力の値を比較できるように図の縦軸は、せん断応力と流動深の比 τ_0/h をさらに、スクリーン間隔 0mm の条件でのせん断応力と流動深の比 $\tau_0/h (s=0)$ で除して無次元化したものとしている。図より、同じ土石流材料の場合、スクリーン間隔が増加するほどそのスクリーン間隔の底面せん断応力は大きくなる傾向があることがわかる。また、同じスクリーン間隔では、粒径が小さくなるほどせん断応力は大きくなる傾向がある。

②間隙水圧の減少の程度を表す指標 γ について

長谷川(2000)が提案した底面水抜きスクリーン上での力学モデル(式(1))に、式(3)より推定したせん断応力 τ_0 および画像解析から読み取った諸量を代入し算出した間隙水圧の大きさの指標 γ を図. 5 に示す。 γ はおよそ 0~1 の範囲に分布し、スクリーン間隔が大きくなるほど、 γ が小さくなる傾向がある。また、土石流材料の粒径が小さくなるほど、スクリーン間隔に対する γ の減少の割合が大きくなる傾向がある。

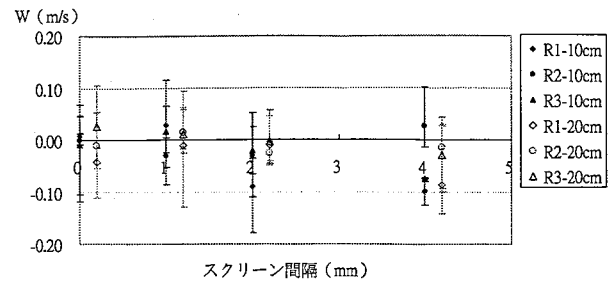


図. 3 スクリーンからの水の透過速度 W

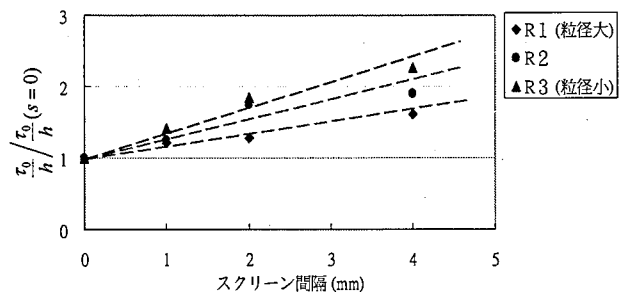


図. 4 スクリーン間隔と底面せん断応力の関係

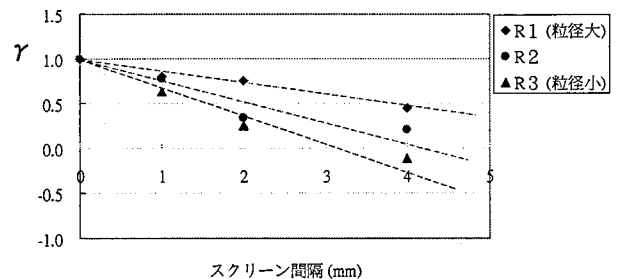


図. 5 スクリーン間隔と液相の圧力の変化率 γ の関係

①, ②の結果は、従来の長谷川、権田らの研究成果(図.1)と一致する。このことは、土石流の停止機構を含むモデルの合理性および、本研究で考案したスクリーン上での土石流底面せん断応力の評価方法の妥当性を示すものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、従来は計測が難しく直接評価することができなかったスクリーン上での土石流底面せん断応力 τ_0 を画像解析により評価する手法を考案し、水路実験によりその妥当性を検証した。今後は、底面せん断応力が実測できる条件で実験を行い、本手法によって算出される底面せん断応力の精度について検討を行いたい。

参考文献

- 長谷川(2000):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,新潟大学大学院自然科学研究科修士論文,24pp
- 権田ら(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年度砂防学会概要集,pp.86-87