

1 緒言

現行の土石流対策は、環境保全や流砂系管理のため、水や砂をそのまま通すことが可能な透過型砂防堰堤が主流である。この構造は、土石流発生時には巨礫が透過部を閉塞し、土石流の後続部を捕捉するものとされている。この場合、直立構造であるので堰堤に土石流の衝撃力が直接作用する。そのため、それに耐える丈夫な部材を使用しなければならない。しかし、写真-1 に示す底面水抜きスクリーンは、スノコのような形状の鋼製構造を河床と平行に配置している堰堤であり、土石流の衝撃力をまともに受けない構造となっている。その機能は、流下してくる土石流を水と土石に分離させ、土石流を停止・堆積させるものである。しかし、礫と流水の分離による停止機構を推定・予測する手法は確立されておらず、実験的検討で現行の設計は成り立っている。

そこで本研究は、礫間を流れる水の挙動を表現するため、個別要素法を応用した水滴要素を提案し、土石と水の分離における土石流の停止機構の内部メカニズムを検討したものである。

2 実験の概要¹⁾

実験装置は、直線水路の下流端にスクリーン捕捉工を設置したうえで、捕捉工から 2.0m 上流に礫モデルを堆積させ、さらにその上流 1.0m に水を貯め、一気に開放し土石流を形成流下させるものである。流路底面は、三角形棧粗度を敷き詰めた。

底面水抜きスクリーンモデルは、底面長 60cm、幅 25cm の範囲で、底面板幅 10mm の板を底面板間隙 10mm で載きつめた。底面板下部は、上流から下流に向かって 95mm ずつに区分された 6 か所の水槽に分けられている。

表-1 に、実験で使用した供試体を示す。供試体は、比重 1.2 の軽石である。粒径 25~20 mm の大粒径（緑）、粒径 20~15 mm の中粒径（黄）および粒径 15~10 mm の小粒径（赤）である。本研究では、流量 10L、勾配 17° の条件下の実験を対象とする。

3 解析概要

3.1 水滴要素の概要

提案手法は、水滴要素と礫要素を混合した解析により底面水抜きスクリーンの土石流の停止機構を再現解析するものである。水滴要素は停止した礫要素（固体）の間隙をすり抜けられることに特徴がある。このため、水滴要素に以下の性質を有するように工夫した。

- 1) 基本形状は球形であるが、礫要素の間隙の形状にかかわらず、水滴要素がすり抜ける運動をする。
- 2) 礫要素との相対速度に基づく力を及ぼす。



写真-1 底面水抜きスクリーン

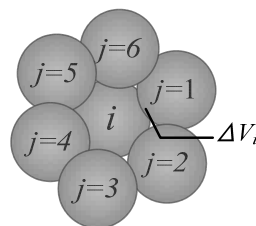


図-1 水滴要素の接触状態

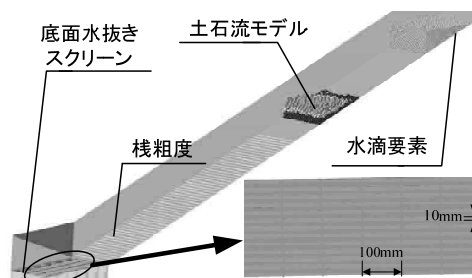


図-2 堰堤モデルと初期位置

表-1 供試体

供試体	比重	粒径	写真	解析	備考
1	1.2	20~25			1.0 ℓ
2		15~20			1.5 ℓ
3		10~15			1.5 ℓ

- 3) 図-1 に示すように i 要素と接触している j 要素の有する内圧を平均化することで異方性のない圧力を周囲に与える。

3.2 解析モデル

図-2 は、解析初期における礫要素および水滴要素の配置と底面水抜きスクリーンモデルを示す。側面、底面および堰堤部は、平面要素を用いてモデル化した。流下区間における底面は、実験における三角形棧粗度を表現するため、径が同じ円柱形要素を実験と同間隔で配置している。土石流に混在する礫モデルは、実験の礫径と粒度分布を一致させた。ただし、礫要素は、集合体要素モデルを用いて、6 個の等球径からなる要素を用いた²⁾。なお、要素モデルの凸度は、実験で使用した礫の安息角を測り、これと一致するように定めた。

4 解析結果

4.1 水と礫の分離挙動

図-3は、各水槽に貯った水量を実験と比較して示す。流水のみの解析は、実験とほぼ一致する結果となっている。これは、底面水抜きスクリーンの間隙ですり抜ける抵抗と上流から到達した水滴要素群の流速が再現できることを示している。一方、礫混じりの解析については、実験に比べて水が遠くの水槽まで到達していることがわかる。

4.2 底面スクリーン上の挙動

図-4は、実験と解析の同時刻におけるスクリーン上の礫と水の様子を示している。実験では、礫がスクリーン上に到達した後、流水が礫塊に衝突し、礫を堰上げしながら流れている。一方、解析では水滴要素が停止した礫塊に乗り上げており、異なる挙動となっている。しかし、流れの過程や礫と水の混合と分離の巨視的な挙動は概ね一致している。

4.3 土石と水の分離メカニズムと停止機構

図-5に、接触力図と速度ベクトル図を示す。まず、図-5(a)～(d)の接触力図において、赤色の円柱で表示されているのは、礫間の接触力であり、径が太いほど大きな力を示している。同様に礫と水の接触力は、水色で表示している。まず、 $t = t_0 + 0.3s$ は、土石

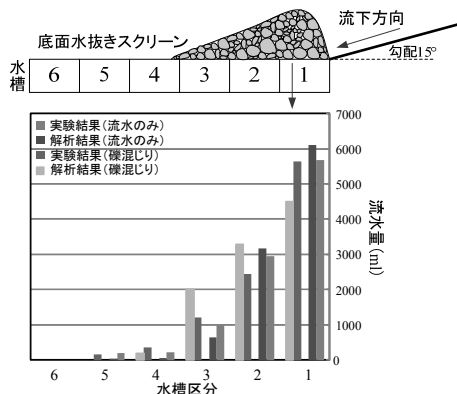


図-3 流量～水槽区分関係

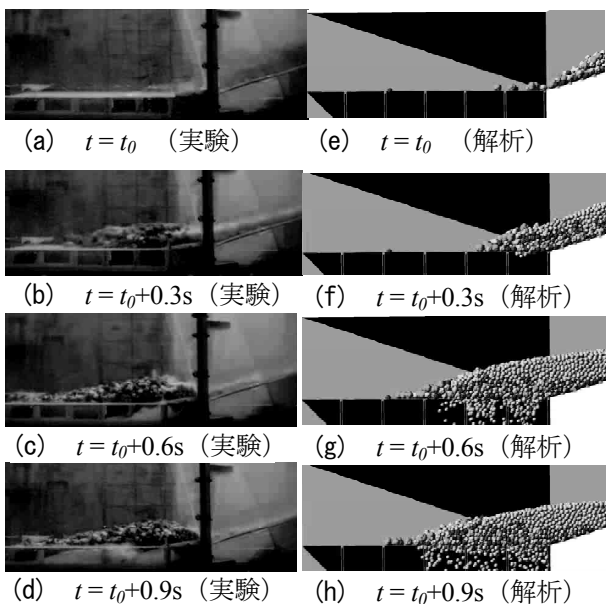


図-4 実験と解析の比較 (時刻歴)

の先端で大きな接触力が底面より生じており、礫に制動力が働いている。一方、その間後方から追いついた礫と水は礫を前方に押しているが、先端にある礫の制動力より弱く、礫塊が停止する様子が見られる。次に $t = t_0 + 0.6s, 0.9s$ では、流水が水槽へ流れ落ちるので土石を前方へ押す力は、消失してしまう。この現象は、図-4(e)～(h)の速度ベクトル図においても判る。すなわち、水色の線で生じられている水滴要素の速度ベクトルが停止した土石の間を流れ、停止した礫間を通過している。しかし、水滴要素は礫間内で急激に速度が小さくなり、抗力が失われていることがわかる。

5. 結言

本研究は、提案した水滴要素を用いて底面水抜きスクリーンを対象に、土石と水の分離によって生じる土石流の停止機構の再現解析を試みたものである。

- 1) 流水のみの解析は、流量や流下状態も実験とほぼ同様の結果を得られた。
- 2) 礫混じりの解析は、堆積した礫塊において実験で得られたような形状を得ることができなかった。しかし、水が抜けることで礫塊が停止するメカニズムについては、概ね同様の結果を得られた。
- 3) 土石流の停止機構における内部のメカニズムと停止の先頭部の制動力と押す側の水圧の大小関係で停止することを可視化することができた。

参考文献

- 1) 小原史稔, 堀口俊行, 香月智: 底面水抜き型土石流捕捉工における土石流の停止機構に関する基礎実験, 第40回土木学会関東支部技術研究発表会公演概要集, 2013.3
- 2) 堀口俊行, 澁谷一, 香月智, 田附正文: 集合体要素の形状特性が安息角に及ぼす影響に関する解析的検討, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.1095-1104, 2012.3

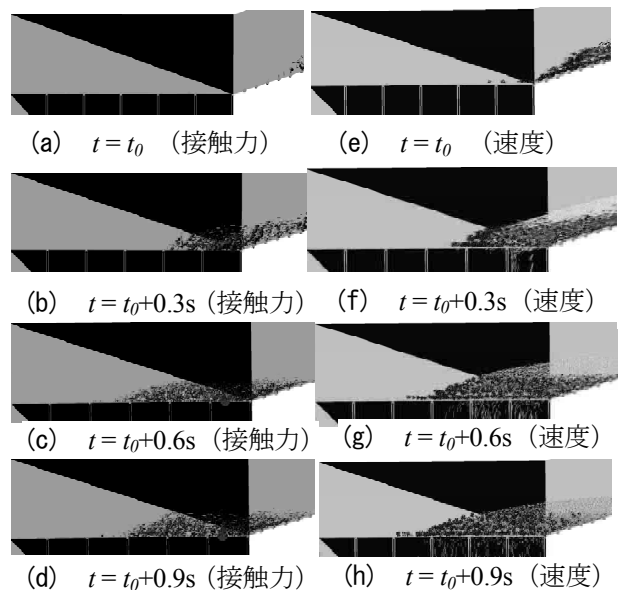


図-5 接触力図と速度ベクトル図