

土石塊停止機構における礫と水の分離シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○堀口俊行 正会員 香月 智

1 緒 言

写真-1 に示す土石流対策の停止機構を利用した底面水抜きスクリーンは、スノコ状の堰堤部を有し、流下してきた土石流を堰堤部において減速、停止・堆積する。そのため矢澤ら¹⁾は、モデル実験を利用し土石流体中の土砂と水が分離することにより生じることで停止することを示した。しかし、礫と水の分離における力学的なメカニズムは検討されていない。また、榎田、長谷川ら²⁾は、土石流の力学的モデルを連続体ベースで構築し、土石流体中における液相の圧力減少にともなう河床面のせん断抵抗力の増加が、堰堤上でも土石流の運動を支配していることを示した。しかし、流体的振舞いから固体的振舞いへの遷移による土石流全体としての運動形態であり、礫と水の個々における間隙水圧の効果を表現することまでは言及していない。

そこで本研究は、個別要素法を応用した擬水滴要素を提案し、底面水抜きスクリーンにおける水と土石の分離における停止機構を再現し、礫と水の内部メカニズムを試みたものである。

2 実験の概要³⁾

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 2.0 m 上流に礫モデルを堆積させ、さらにその上流 1.0 m 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、巨礫成分の分級現象を生起させるため三角形栈粗度を敷き詰めた。

底面水抜きスクリーン模型は、底面長 60 cm、幅 25 cm の範囲で、底面板幅 10 mm の板を底面板間隙 10 mm で載きつめた。底面板下部は、上流から下流に向かって 95 mm ずつに区分された 6 か所の水槽に分けられている。そのうえで、各水槽に集まった流量と土石の停止位置、堆積形状を計測した。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 10 L の勾配 17° の条件下の実験を対象とする。

3 解析手法

3.1 擬水滴個別要素法の概要

提案手法は、擬水滴要素と固体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。擬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、擬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、固体要素の間隙の形状にかかわらず、擬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

表-1 供試体モデル

粒径(mm)	比重	写真	解析
20~25	1.2		
15~20			
10~15			

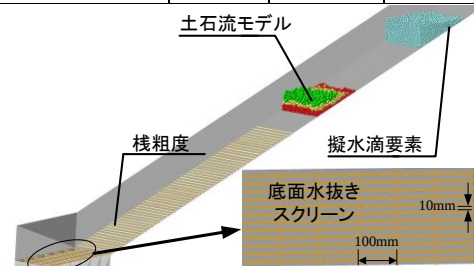


図-1 解析モデル

3) 代表要素に着目し、接触している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-1 に、解析初期における礫要素および擬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栈粗度を表現するため、径が同じ円柱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、礫モデルは、6 個の等球径からなる集合体要素モデルを用いた³⁾。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ものである。

4 土石塊の停止シミュレーション

4.1 底面水抜きスクリーン上の挙動

図-2 に、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す。実験では、礫がスクリーン上に到達した後、流水が土石塊に衝突し、礫を堰上げながら流れている。一方、解析では擬水滴要素が停止した礫塊に乗り上げており、やや異なる挙動となっている。また、流下中において礫内に水が多く浸透しており、間隙水圧や土石流全体の流体力等が異なるように見受けられる。しかし、流下過程における分級と水よ

キーワード 底面水抜きスクリーン、土石流、個別要素法

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL:046-841-3810 FAX:046-844-5913

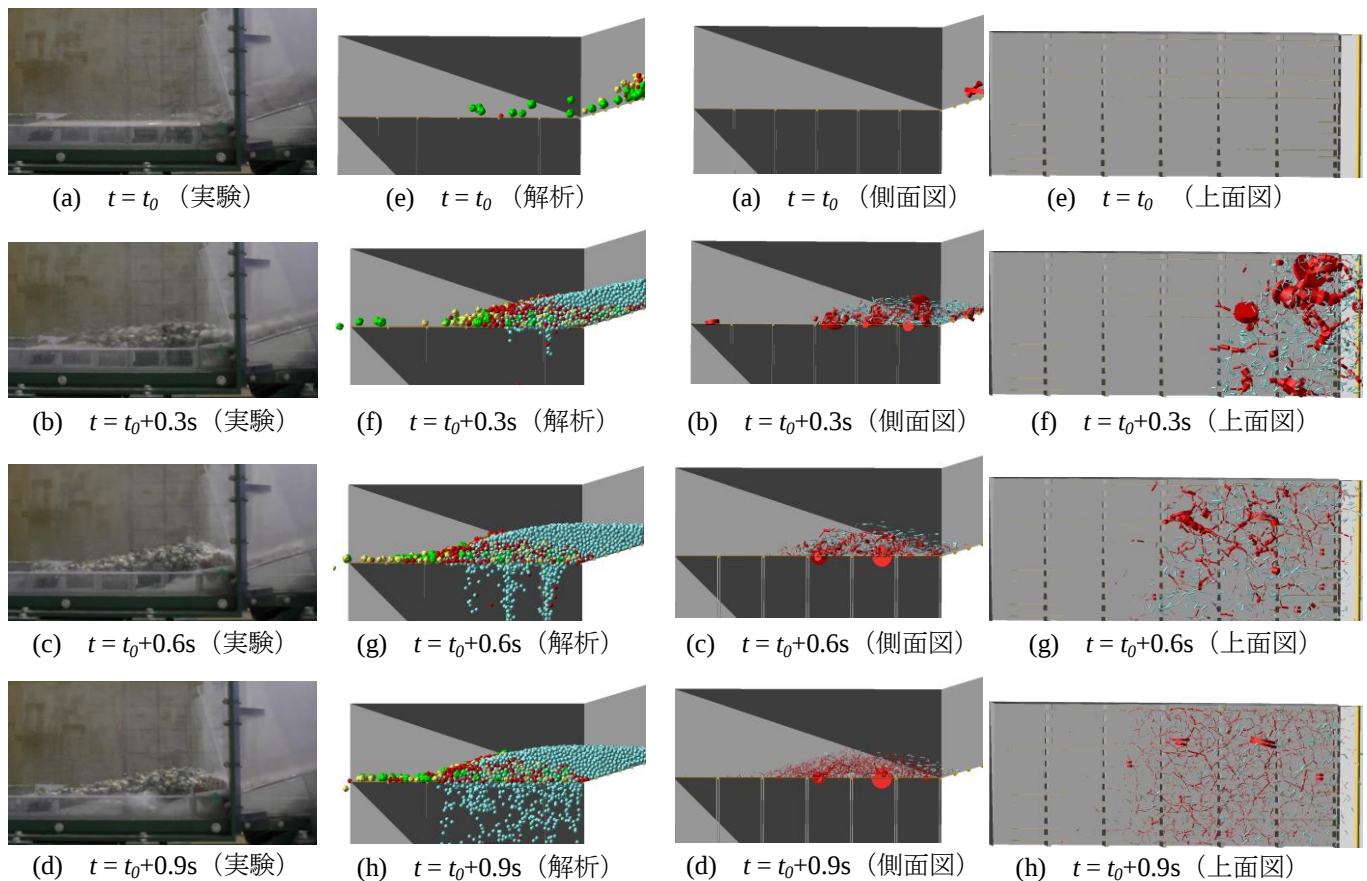


図-2 実験と解析の比較(時刻歴)

り礫の方が前方に押し出されている景況、礫と水の堰堤到達時の分離の巨視的な挙動は概ね一致している。

4.2 土石塊の停止機構

図-3 に、側面と上面からの接触力図を示す。まず、接触力は、要素中心間の円柱で表示するが、その力の大きさは、径が円柱の太さによって表わしている。なお、それぞれの接触力は、礫と礫は赤色、礫と水は水色で表示している。

まず、 $t = t_0$, $t_0 + 0.3s$ は、土石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。このことは、先端にある礫の制動力より強く、そのため礫塊が前方へ押し出されていることがわかる。次に $t = t_0 + 0.6s$, $0.9s$ では、流水が水槽へ流れ落ちることで土石を前方へ押す力は、消失することがわかる。このとき擬水滴要素は停止した礫間を通過しているが、礫間で急激に速度が小さくなり、抗力が失われていることから生じるものである。すなわち、礫に生じている制動力が水の押し出す力より増していることが停止する原因となっている。また、上面からみると礫と水間に働く間隙水圧が様々な方向に働き礫を押し出している様子がわかる。また、停止する直前では、礫を押し出す間隙水圧が大きく働くが、水が分離し土石塊が停止してしまうと急激に間隙水圧が小さくなる様子が明瞭にわかる。

図-4 には、実験と解析での堆積形状を示している。これは、堆積した実験と解析での先頭部の安息角がほぼ同じ結果を得ることを示した。これは、堆積した土石の安息形状を推定することで停止位置を予測できる可能性を示した。

図-3 接触力図(側面・上面)



図-4 堆積形状

5 結 言

本研究は、底面水抜きスクリーンを用いて礫と水の分離によって生じる土石塊の停止機構を再現解析し、その適用性を検討した。

- 1) 堆積した土石塊は、実験で得られたような安息角を形成した。また、堆積後の流水の流れや礫間の間隙を抜けること土石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る。
- 2) 礫間の間隙水圧を接触力図により礫間を抜ける時の内部のメカニズムや堆積後の間隙水圧の影響を可視化した。

参考文献

- 1) 矢澤昭夫, 水山高久, 森田明久: 土石流を制御する構造物に関する実験, 土木技術資料, Vol.28, No.8, pp.9-14, 1986.8.
- 2) 権田豊, 長谷川泰亮, 山本仁志, 松崎健: 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, 防学会研究発表会概要集, p38-39, 2000.5
- 3) 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
- 4) 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