

擬水滴個別要素法モデルを用いた底面水抜きスクリーンによ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

通常、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¹⁾。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、堰堤に土石流の衝撃力が作用するため、それに耐えるような丈夫な部材を使用しなければならない。

写真-1に示す透過部を有する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とに分離させ、土石を停止・堆積させるものである。しかし、土石流の停止機構における礫と水の分離メカニズムは、十分に解明されているとは言い難い。そこで筆者らは²⁾、水と礫の分離機構を流出した水量、土石塊の形状および停止位置を実験した。しかし、水が停止機構に与える影響について解析的検討は行っていない。

そこで本研究は、礫間を流れる水の挙動を表現するために、個別要素法を応用した擬水滴モデルを提案し、土石と水の分離における土石流の停止機構の基礎的段階として、底面水抜きスクリーン堰堤の実験結果²⁾を用いることで提案した擬水滴モデルの適用性について検討したものである。

2 実験の概要²⁾

実験の底面水抜きスクリーンは、底面長 600mm、幅 250mm、底面板間隔および底面板幅は 10mm となっている。底面板下部は 95mm ずつの 6 カ所の水抜き貯留部に分けられており、各々の流出口を伝って流水が流れる。このため、それぞれの流出口を伝って水を回収して、各水槽区分における流水量を計測する。これにより、停止した土石塊の間隙から水が流出し、土石が停止していることがわかった。なお、解析対象として勾配 15°、流水量 9ℓの場合を用いた。

3 解析手法

3.1 擬水滴個別要素法の概要

提案手法は、擬水滴モデルを用いて底面水抜きスクリーンの土石流の停止機構について適用性を検討するものである。ここでは、流水は停止した礫要素（固体）の間隙をすり抜けるように運動することを主眼とする。よって、擬水滴モデルに求められる性質は、以下のようになる。



写真-1 底面水抜きスクリーン

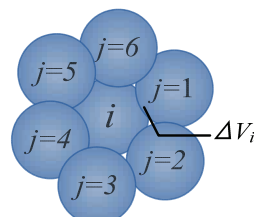


図-1 擬水滴モデル

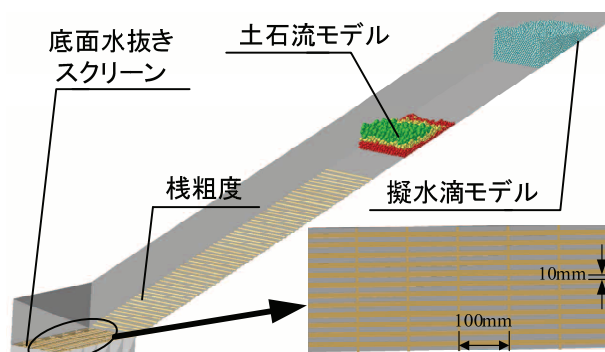


図-2 堰堤モデルと初期位置

表-1 解析基本値

項目		値
要素	礫・水	
	礫要素	1890 (球形 11340)
	擬水滴要素	9000
	堰堤平面	
	円柱形要素	87
	平面要素	51
要素間ばね		
	法線方向ばね定数	$1.0 \times 10^6 (\text{N/m})$
	接線方向ばね定数	$3.5 \times 10^5 (\text{N/m})$
水の透過係数		0.3
計算条件		$10 \times 10^{-7} (\text{s})$

- 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、擬水滴モデル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。
- 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に、解析における初期位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

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

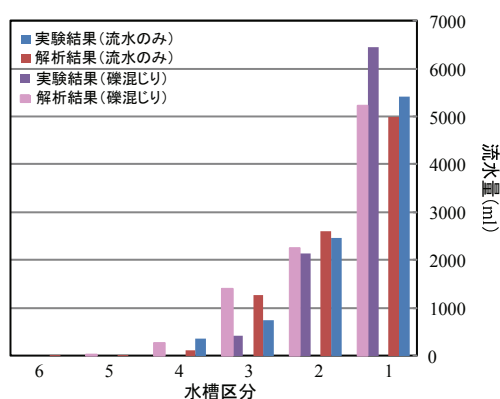


図-3 流量と水槽区分

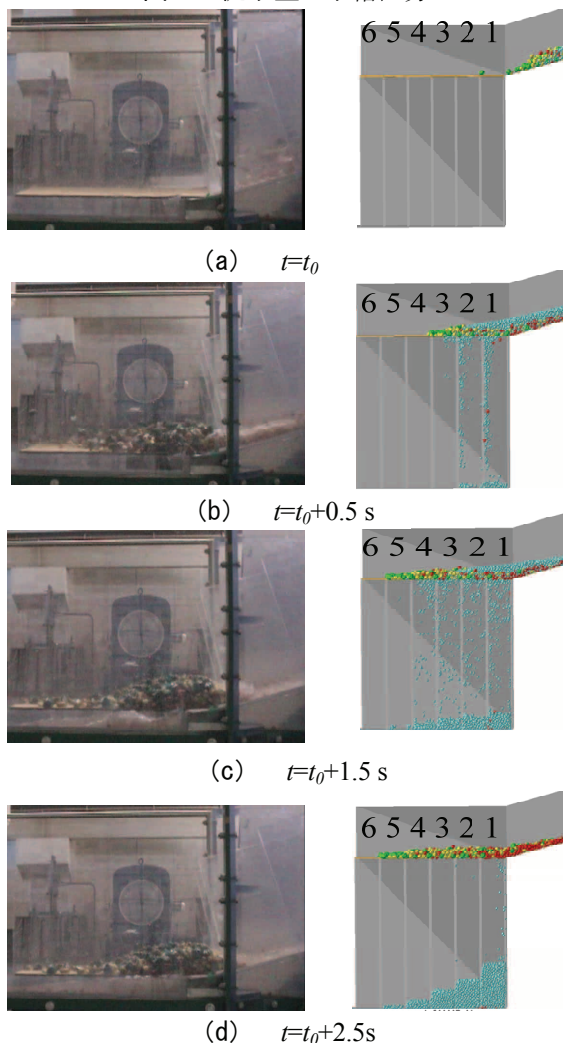


図-3 解析と実験の比較(時刻歴)

要素を用いてモデル化した。流下区間における底面は、実験において三角形稜粗度を用いているので、間隔と径が同じ円柱要素を配置している。

土石流に混在する礫モデルは、実験の礫径と粒度分布を合わせている。ただし、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定めた。

3.3 解析条件

表-1 に、解析基本値を示す。ばね係数、摩擦係数、減衰係数は、実験で使用している供試体に合わせて定

めた。なお、擬水滴モデルの水-礫間に働くダッシュポットの係数は、簡単な透水実験を行い、その結果から得られた値を用いた。

4 底面水抜きスクリーン解析

4.1 流水のみの解析

図-3 に、流水のみの実験結果を得られた各水槽に貯まった水量の分布を示す。水槽1, 2に多くの水が貯まっている。また、水槽5, 6には水が到達していない。解析も全体的に傾向は良く一致している、ただし、水槽1の貯水量は実験で得られたものより、200mlほど少ない。

4.2 礫混じりの解析

図-4 に、流下過程を解析と実験とを比較して示した。なお、図に示している番号が水槽区分である。まず、 $t=t_0$ とは、礫の先頭部が堰堤の直前に達した時点である。続いて図-3(b)の0.5秒後の状態において土石塊は、スクリーンの手前の部分に乗っており、水流がその後方から押し込むように続いている。これに対応する解析では、土石塊の半分ほどは、未だ斜面の途中にあり、水流はこの塊に乗り上げるように流れており、水槽1と2の上部で流速を失い、落下している。この定性的な相違は、1.5秒や2.5秒後も同様である。よって、2.5秒の最終状態では、実験の礫塊がスクリーン上にあるのに対して、解析の礫塊は、斜面に残ったままとなっている。図-3には、この最終形状における各水槽に貯まった水量を実験と比較して示している。なお、実験と比較して解析の水量分布は、若干下流側へシフトしたとなっている。

5 結言

本研究は、底面水抜きスクリーンを用いて土石と水の分離によって生じる土石流の停止機構を、提案した擬水滴モデルを用いて解析したものである。

- 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る。
- 2) 礫混じりの解析は、堆積した土石塊は、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。

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) 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
- 3) 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