

防衛大学校 ○堀口俊行, 香月 智
鋼製砂防構造物研究会 石川信隆
京都大学大学院 水山高久

1 緒言

透過型砂防堰堤を主流とする我が国の土石流災害対策は、局地的な豪雨や地殻変動によりその重要性を増している。この構造は、土石流の流下過程において先頭部に巨礫が集中し捕捉されることを前提に設計されている。このため著者ら¹⁾は、土石流の捕捉形態を予測する方法として個別要素法を用いることを提案してきた。しかし、実験を再現解析したものがあるが流体の運動形態は実験の定性的な流れを再現してからモデル化するため、実験の行えない現象においては再現が難しく、適用性が制限される。

そこで本研究は、透過型砂防堰堤を用いて巨礫捕捉の予測解析を行うための基礎的段階として、既往の研究¹⁾を対象に個別要素法を応用した水粒子を提案し、その適用性および捕捉形態を検討するものである。

2 実験の概要¹⁾

実験要領は、文献 1)を参考に流下距離 3.5m から礫と水を流し、円柱を等間隔に並べた捕捉工モデルで土石の捕捉状況を調べた。

3 解析手法²⁾

3.1 水粒子

提案手法は、水の挙動を模した水粒子を用いて透過型砂防堰堤による土石流の捕捉解析を行うものである。この水粒子は、以下のような基本機能を期待するものである。なお詳細は、文献 2)に示している。

- 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、水粒子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) その要素の有する内圧に依存して異方性のない水圧力を周囲に与える。

このような性質を表現するために、働く力の処理を次のようにモデル化した。

3.2 土石流モデル

図-1 に、土石流モデルの供試体を示す。その際、礫の粒径分布は、文献 1)の実験と同じものを使用した。また、集合体要素モデルの凸度は、文献 3)より固化石灰炭灰の安息角を基に決定した。

3.3 透過型砂防堰堤モデル

図-2 に、透過型砂防堰堤モデルと解析時の初期位置を示す。捕捉工の長さ 150 mm、捕捉工間隔 27 mm である。水路には栈粗度を円柱形要素でモデル化し、実験と同様の間隔と径で配置した。

4 解析結果

4.1 水粒子の振舞い

図-3 に、水粒子の振舞いの様子を示している。図-3(a)は、観測位置を固定したオイラー型表示である。

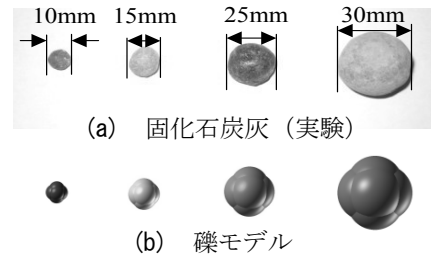


図-1 供試体

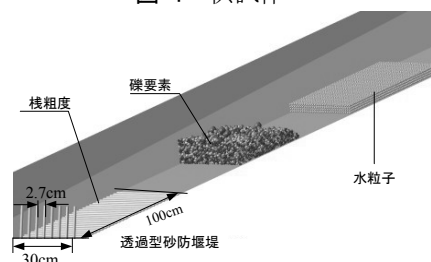


図-2 初期位置と堰堤モデル

なお、礫間の水の流れを示すために奥行方向 30cm の水路幅を半分にした垂直断面図を表示しているため、水が礫要素間を流れていることがわかる。まず、 $t=t_0+0.3$ s 時で礫要素と水粒子が混合しながら水が礫塊の上方へ堰上がり、礫要素を下流側へ押し出していることがわかる。 $t=t_0+0.6$ s 時では、礫間を流れながら押し出している。 $t=t_0+1.2$ s 時では、礫要素は捕捉されているため静止状態に至るが、水粒子はその礫間を通り流れている。次に図-3(b)では、図-3(a)の移動しているある一つの水粒子を観測点として、それ以外が移動するラグランジュアン型表示で示す。 $t=t_0+0.3$ s 時では、水粒子しか周辺では見受けられないが、 $t=t_0+0.6$ s 時においては水粒子が一旦堰上がり、礫間に入る様子や前方の水粒子が礫間を通る様子がわかる。 $t=t_0+1.2$ s 時では、捕捉工に至り、その後すり抜けることで、前方には水粒子と捕捉されなかった礫要素のみが存在することがわかる。図-3(c)には、礫要素と水粒子の速度ベクトルの推移を示している。礫の速度ベクトルは、1.0m/s 以上において緑色、それ以下の速度を青色で表示している。流下過程において礫要素が流れている状態では栈粗度の影響により底面付近が遅くなり、浅層にあたる表面付近は速く流れている。一方、水粒子の速度ベクトルは、水色で表示している。 $t=t_0+0.6$ s 時では、青色(礫)の間に水色が入り込んでおり、礫間を抜ける運動をしていることがわかる。 $t=t_0+1.2$ s では礫要素が止まって、緑と青のベクトルが無くなり、その礫間を水粒子が通り抜けている。

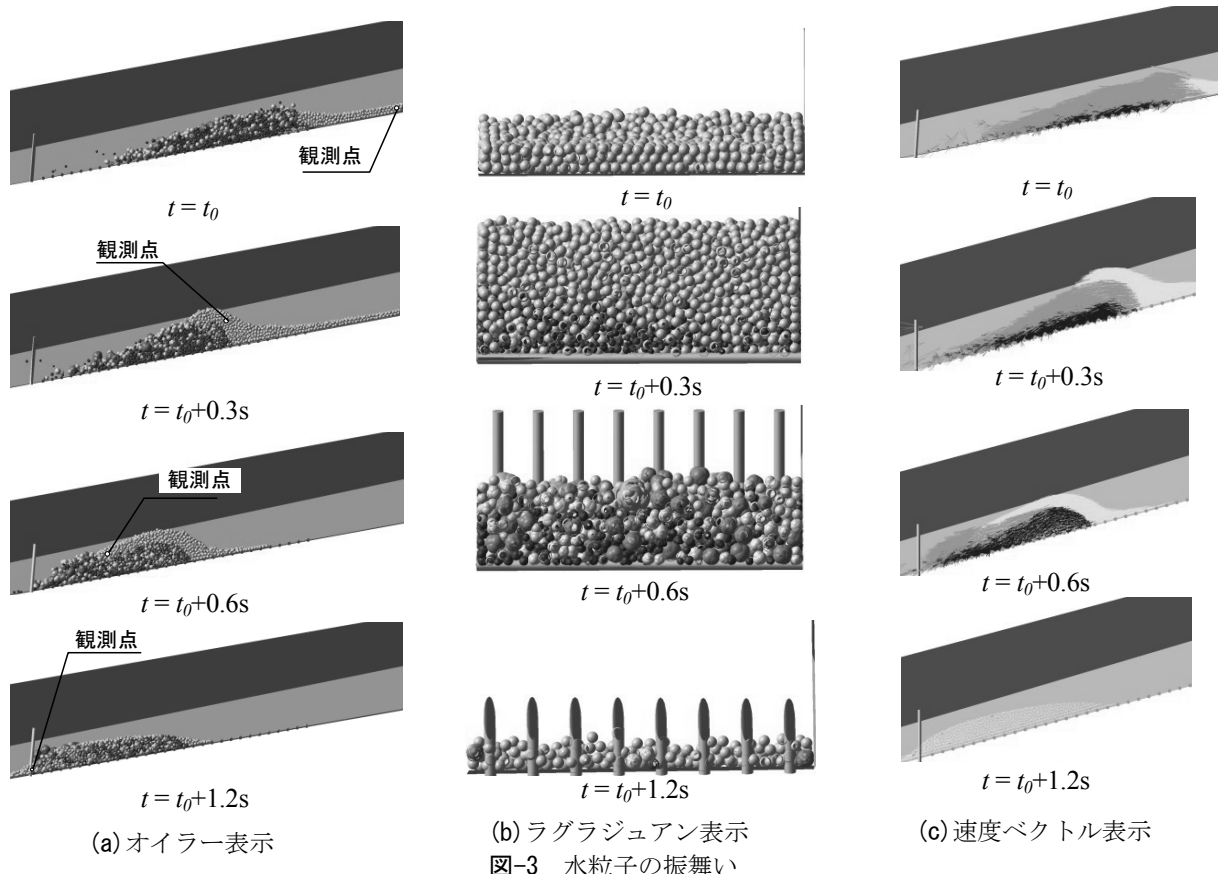


図-3 水粒子の振舞い

4.2 捕捉状況

図-4(a)には、最終的な礫要素の正面からの捕捉状態を示す。捕捉工間隔より小さい礫要素が、複雑に絡みながら捕捉されていることがわかる。図-4(b)には、捕捉工から後方に10cm、底面から10cm上方の位置にある礫の水平断面における接触力図を示している。また、礫間の接触力を赤色の円柱によって方向と太さで力の大きさを表現している。左端に見える捕捉工の接触している灰色の大礫は、隣接する捕捉工に跨っておらず、空隙に赤色の小礫や緑色・黄色の中礫が挟まって捕捉工間に跨る礫骨格構造（アーチアクション）を形成している。ちなみに、これらの要素の平均配位数は約6であり、静定安定に必要な3よりも大きく、凹凸を表現することで不静定骨格構造となり、より頑健な構造となっている。また、多少の要素の移動が生じたとしても構造安定性は保たれるため、崩れ難いことがわかる。このことは、黒い丸における黄色の要素に着目すると接触点数が20以上にもなり、実際の礫の複雑な形状において同様なメカニズムが生起していると考えられる。

5 結言

本研究は、透過型砂防堰堤を用いて提案手法である水粒子の適用性を検討したものである。

1)水粒子の透過型砂防堰堤の捕捉における礫間の水の流れや流水の複雑な振る舞いを表現できる。

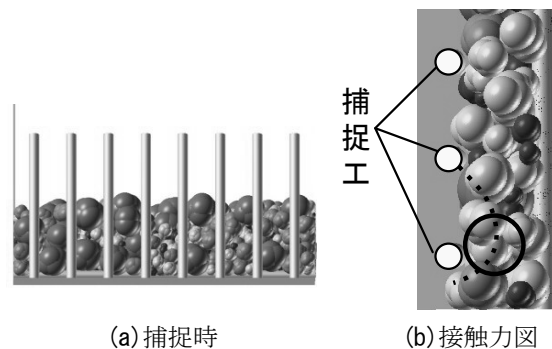


図-4 捕捉状態

2)捕捉後の形態は、透過型砂防堰堤で重要なメカニズムとされていたアーチアクションの形成が適切に表現できる。

参考文献

- 1) 香月智, 澁谷一, 大隅久, 國領ひろし, 石川信隆: 個別要素法による透過型砂防堰堤の流木混じり土石流捕捉解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.69, No.1, pp.16-29, 2012.2
- 2) 堀口俊行, 香月智, 石川信隆, 水山高久: 水粒子モデルを考慮した個別要素法による土石流捕捉解析に関する一考察, 平成 25 年度砂防学会研究発表会, B154-155, 2013.5
- 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