

## 直線水路実験における土石流の分級現象に関する実験

防衛大学校 学生会員 ○杉山渉, 松村健太郎 正会員 堀口俊行, 香月智

### 1 緒言

土石流は、広範囲の粒径にわたる砂・礫が混合し、水と共に流れてくる現象であり、様々な流下形態が存在する。その中で高濃度の土石流は、段波形状を有しながら巨礫が先頭部に集中する特性があり、この巨礫により大きな破壊力を生じることが知られている。まず、橋本ら<sup>1)</sup>は大粒径が集中する機構として大小2種類の砂礫粒子の混合材料を用いて土石流実験を行い、土石流先端部の大粒子の集中機構として検討した。これは、土石流の流動層における逆グレイディング現象が、小粒径が多い場合には大粒径の上昇により、逆の場合は小粒径の下降により、生起することを示している。さらに、勾配による影響や粒径差が大きいほど先頭部に大粒径が集中しやすいことも整理している。また、前田ら<sup>2)</sup>は個別要素法を用いた粒子の流れの構造と大粒径の浮き上がりを応力鎖の形成メカニズムによって、大粒径が浮き上がる現象を検討した。さらに、土石流には大粒径粒子の浮き上がる現象がある特定の条件が必要であり、浮き上がる現象が集合運搬時に限られ、勾配が緩すぎても急すぎてもこのような現象が生起しないことを示している。ただし、土石流が先頭部に集中する現象には、未明確なことが多い。

そこで本研究は、直線水路における土石流の分級現象について解明するために、水と礫の混相流における礫の運動形態について検討するものである。

### 2 実験の概要

#### 2.1 直線水路

図-1に直線水路を示す。直線水路は、水路長4.35m、水路幅30cm、水路深50cmであり、水路勾配 ( $\theta=0^\circ \sim 20^\circ$ ) は、任意に設定できる。本実験では、土石流の発生条件とされている角度を参考とし、水路勾配を  $15^\circ$  とした。

#### 2.2 底面粗度

底面粗度は、粗度高さ( $k$ )が  $3 \times 3$  mm のアクリル製角柱を純間隔  $b=13$  mm の間隔で、直線水路実験装置の水路床に取り付けた。

#### 2.3 礫供試体

写真-2に、2種類の礫モデル(以下、モデルA、Bと呼称する。)を示す。これらは、表面に凹凸のある軽石であり、A、Bの平均粒径  $\Phi=3$  mm および  $15$  mm、比重は  $1.3$  のものを  $7.5$  kg ずつ、計  $15$  kg を使用した。

#### 2.4 実験要領

実験は、水  $30$  L と礫  $15$  kg を混ぜた状態で行い、カメラ2台を用いて礫塊の運動を撮影した。

流下方法は、(底面粗度の手前で)、均一に混ぜた2種類の礫供試体  $15$  kg を堆積させ、その後方に所要の水

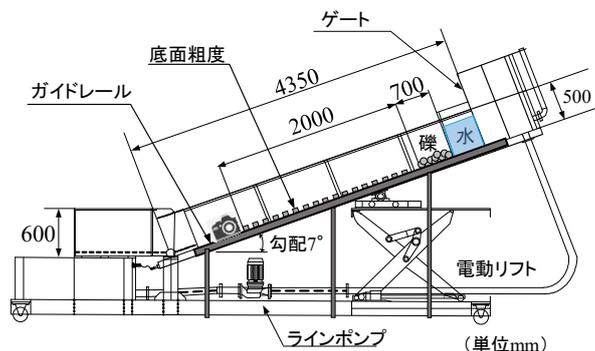


図-1 直線水路

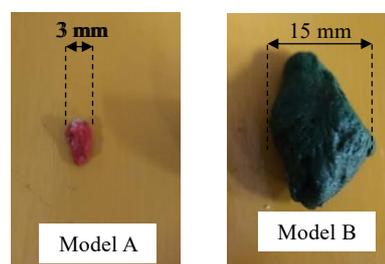


写真-1 礫モデル

を溜めた状態を初期状態として流下させるダムブレイク方式を用いた。また、撮影要領として水路内の流体の運動を定点で観察できるように実験装置と平行にガイドレールを設置し、土石流モデルの流下方向に合わせてビデオカメラを移動(以下、ラグランジアン視点と称する。)することで土石流先端が画面内で停止するように観察できるようにした。これに対して、カメラを固定し、画面内を土石流が移動する撮影をオイラーアン視点と称する。

### 3 実験結果と考察

#### 3.1 礫塊内の運動

写真-2に、直線水路における時間経過ごとの礫塊内の運動を示す。写真-2(a)は、流下距離  $l=0$  cm 付近における礫塊内の運動を示している。礫塊の先端部に注目してみると、小さい範囲において半時計回りに礫の循環が見られる。一方で、礫塊下部に注目してみると底面粗度の影響を受けて相対的に礫が後退している。礫塊上部では、礫は個々に配置変換することはなく、固化した状態であった。写真-2(b)は、流下距離  $l=50$  cm 付近における礫塊内の運動を示している。礫塊の先端部に注目してみると、礫の循環領域は大きくなっていることが確認でき、礫塊下部において相対的に礫が後退し続けている。また、礫塊上部では、礫は個々に配置変換することはなく、固化した状態であり続けている。一方、礫塊の後続では、上層にある巨礫が前方に進出・堆積しているのが確認できる。写真-2(c)は、

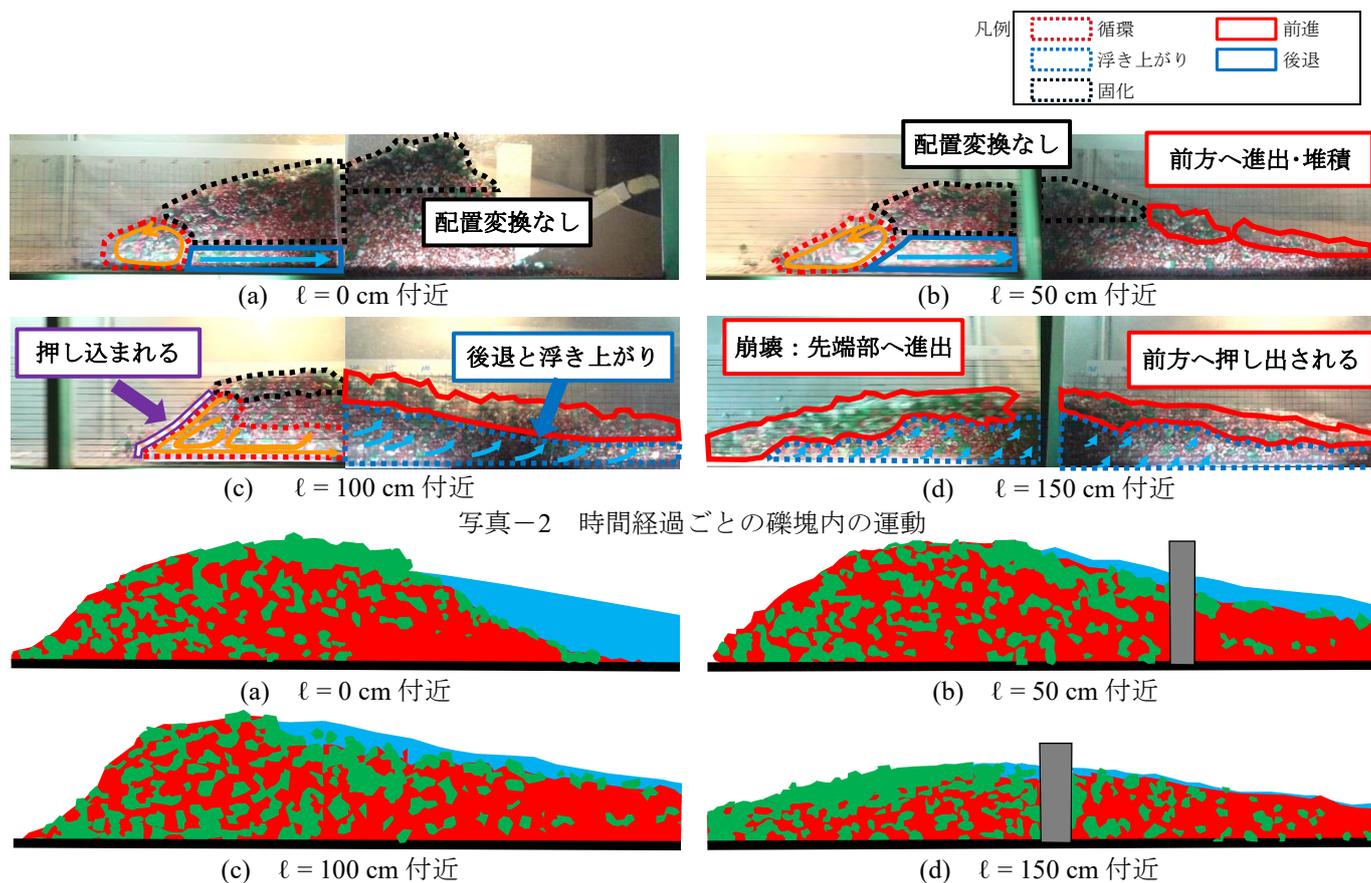


写真-2 時間経過ごとの礫塊内の運動

図-2 各地点における礫と水の占有域

流下距離  $l = 100$  cm 付近における礫塊内の運動を示す。礫塊の先頭部、上部、後続は写真-2(b)と同じ動きをしたが、礫塊の下部では、後退し続けると同時に巨礫の浮き上がりが確認された。また、先端部で礫が押し込まれて、一瞬段波を形成したことが確認できた。写真-2(d)は、流下距離  $l = 150$  cm 付近における礫塊内の運動を示す。写真-2(d)は写真-2(a)~(c)とは違い、礫塊の上部後方に形成された巨礫塊が段波の崩壊により、一気に先方に流れ込んだことが確認でき、後方の礫は前進した巨礫塊を埋め合わせするように前方へ押し出されているのがわかる。

図-2に、各地点における礫と水の占有域をトレースしたものを示す。図-2(a)は流下距離  $l = 0.0$  cm 付近における礫と水の占有域を示しているが、当初は巨礫と小礫が均一に混ざりあい、礫塊の後方に水が分離した状態に位置していることがわかる。図-2(b)は流下距離  $l = 50$  cm 付近における礫と水の占有域を示している。図-2(a)と大きな変化は見られないが、比較的、礫塊の先端部から上部にかけて、巨礫が占める割合が多くなっていることがわかる。図-2(c)は流下距離  $l = 100$  cm 付近における礫と水の占有域を示している。巨礫が礫塊上部に集まっており、さらに写真-2(c)で見られた段波が明瞭にわかる。水だけの占有域が礫塊の上部だけと、領域が少なくなっていることがわかる。図-2(d)は流下距離  $l = 150$  cm 付近における礫と水の占有域を示している。巨礫はほとんど礫塊の先頭部から上部に

かけて多く見られ、小礫は後続の方に多くあることが確認された。また、水だけの占有域はなく、礫と水が混合した状態であることがわかる。

### 3.2 分級メカニズム

直線水路における土石流の分級メカニズムは、当初、先頭部で小さな範囲で礫のラグランジュ座標系での循環運動が起こり、流下距離が増加していくと循環範囲が広がっていく。そして、後続に達した巨礫は浮き上がりを見せる。浮き上がってきた巨礫は、水の占有域を利用することにより相対的に前進し、礫塊上層部の後方に巨礫塊を形成し、段波形成後の崩壊で先頭部が巨礫塊によって占有される。

## 4 結言

本研究は、直線水路を用いて水と礫の混合流体の分級メカニズムについて検討した。この際、直線水路では礫が狭い範囲で循環し、流下距離が増加するほど循環領域が広がっていく。それと同時に礫塊上部に巨礫塊が形成、先頭部に進出することによって分級現象が生起することを示した。

### 参考文献

- 1) 橋本晴行, 椿東一郎: 土石流における逆グレイディング機構, 土木学会論文報告集, No.336, pp.75 - 84, 1983.8
- 2) 前田健一, 舘井恵, 福間雅俊: 個別要素法を用いた粒子流れの構造と大粒径の浮き上がりのマイクロメカニクス, 砂防学会誌, Vol.64, No.4, pp.3-14, 2011.6
- 3) 堀口俊行, 香月智, 長池広樹: 回転円筒による混合球形粒子の偏析実験と個別要素法解析, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.69, No.1, pp.41-56, 2013.9