

京都大学農学部 ○中島皇 武居有恒 小橋澄治

はじめに

固液混相流である土石流の運動機構を明らかにするためには、土石流の流体としての特性を理解し、その運動則を導くことが重要である。後続流の定常部分においてはいくつかのモデルが提案され、その適合性も確かめられているが、それらを先端部に適用することはできていない。先端部についての詳しい測定が必要であるが、従来の水路実験では、土石流先端部に水路中央部が最先端となるような舌状の段波が形成され、中央部と側方部とに粒子移動のある流れが存在する。このため、側面からでは十分な観察ができていなかった。そこで、幅が一粒径より少し大きい水路で実験を行い、土石流をほぼ完全に二次元的にとらえることに成功した。この実験の特徴としては、先端部を二次元的に捉えられること、正確な濃度が容易に求められることなどである。本報では、この一粒径土石流の挙動と従来の実験を比較、検討した後、先端部について得られた知見を報告する。

1. 実験方法

長さ 2 m、高さ 150 mm、幅 6 mm の透明なアクリル製水路に直径 5 mm の球形ガラスビーズ ($\sigma = 2.53 \text{ g/cm}^3$) を深さ 5 cm に敷き詰める (図 1)。水路床には間隔が一粒径以上にならないように同じガラスビーズがランダムに張り付けてある。

実験条件は勾配 $\theta = 16^\circ$ 、元河床濃度 $C^* = 0.437$ で堆積層の飽和度の違いによって 2 種類の実験を行った。つまり、元河床を $Q_0 = 1.0$

$2 (\text{ml/s} \cdot \text{cm})$ で飽和させた後 $Q = 3.33 (\text{ml/s} \cdot \text{cm})$ を給水す

る $SR = 100$ の条件と $Q = 4.35 (\text{ml/s} \cdot \text{cm})$ のみを給水する $SR = 0$ の条件である。

測定にはハイスピードビデオ (200 f.p.s.) を用いて側方から撮影し、その画像から濃度、粒子の動きを読み取り、

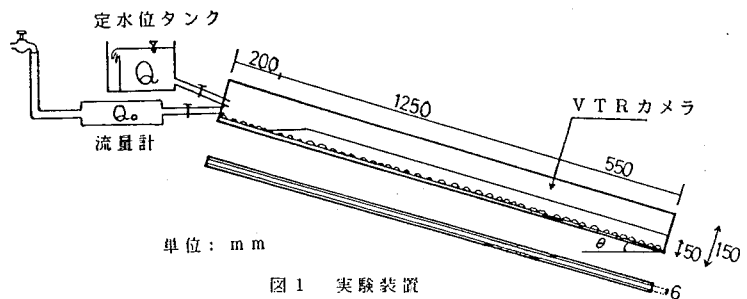


図1 実験装置

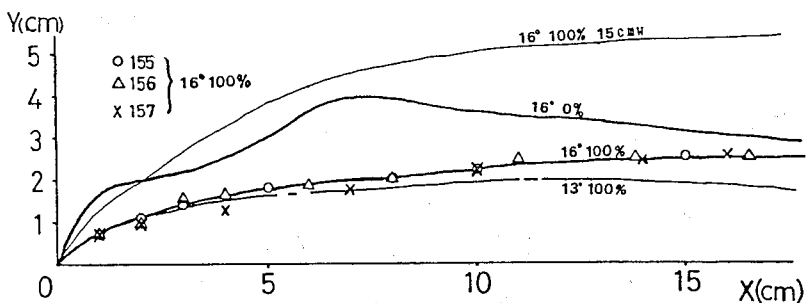


図2 段波形状の比較

実験条件	6 mm 幅水路	150 mm 幅水路
13° 100 %	53.0 (cm/s)	55.0 (cm/s)
16° 0 %	24.0 (cm/s)	22.0 (cm/s)
16° 100 %	58.2 (cm/s)	62.0 (cm/s)

表1 段波速度の比較

解析した。

2. 解析方法及び結果

2.1 段波の速度と形状

発生させた土石流の段波の速度と形状は表1、図2に示す通りである。

16° SR=100については3例の平均をとっているが、いくつかのばらつきはあるものの再現性は良好と言えよう。

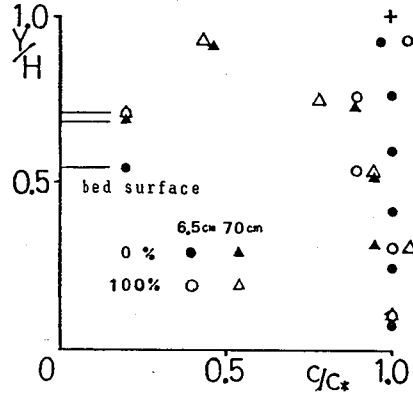


図3-1 濃度分布(一粒径)

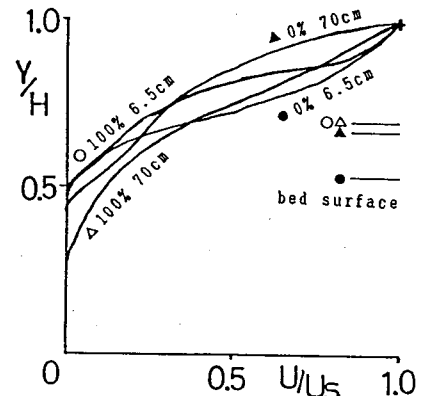


図4 流速分布(一粒径)

2.2 濃度分布

先端部、後続流部での各断面の濃度分布を図3-1に示す。濃度は水路床から順に、深さ方向に縦1.5cm、横3.0cmのメッシュを切り、そのなかにある粒子の数をビデオの画像から読み取って、粒子の体積を球形として算出した。先端から5~8cmの部分では、どちらの条件でも元河床部から段波部分まで、ほぼ均一濃度と見なせるようである。後続流部については、元河床より上の部分で濃度が小さくなり、表面近くではかなり低濃度になるような分布を持っている。

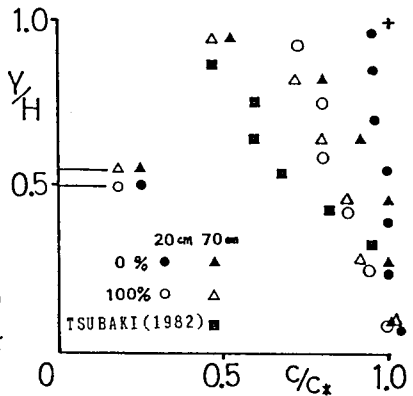


図3-2 濃度分布(15cm幅水路など)

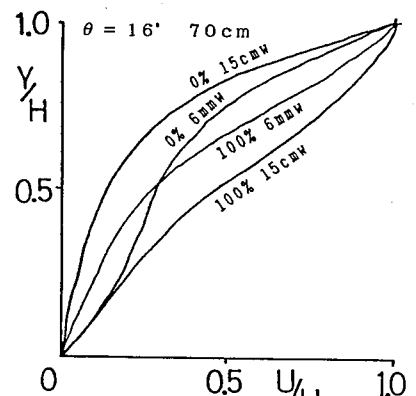


図5-1 後続流部の流速分布形の比較

2.3 流速分布

先端部には流下方向だけでなく、深さ方向にも速度があるが、ここでは流下方向の速度について流速分布形を調べることにする。濃度分布を測定した部分の粒子の速度をプロットし、それらから滑らかな分布形を描いたものが図4である。先端から5~8cmの部分では、流動部分は全層のおよそ半分である。後続流部については、SR=100では流動部分は

全層のおよそ8割になり、SR=0では6割程度であり、図3-1と比較すると後続流部では濃度が低下し始める点から、流動を始めていることがわかる。先端から5~8cmの部分については、元河床部と同一濃度であるのに流速分布を持っているが、このような分布を生じさせる機構を今後詳しく検

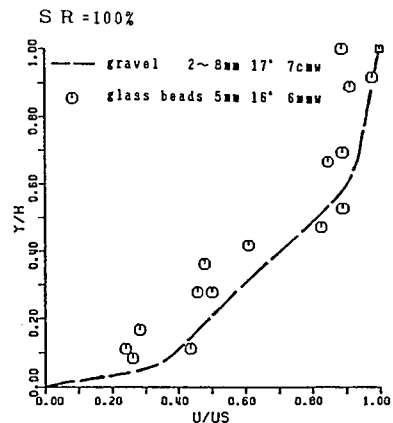


図5-2 先端部の流速分布形の比較

討する必要がある。分布形は、後続流部では上に凸な形を示しているが、先端部では複雑な分布形を呈している。これは、元河床部と段波部分との動きが一体化していないために生じているものと考えられる。

3. 考察

3.1 既往の実験結果との比較

一粒径土石流を 15 cm 幅水路での実験やその他の実験の結果と比較してみる。段波の速度と形状は図 1、表 1 に示されているように、波高などは小さくなるものの、ほぼ同様の傾向がみられる。濃度についても絶対的な値は小さくなるものの、図 3-2 に示すようにかなりよく似た分布形を持っていることがわかる。ここでの濃度の求め方は平野・岩元²⁾に従って、側面から読み取った粒子数によって算出した。また図中の楕円³⁾による実験値の測定断面は明らかではないが、ベントナイトを材料とし、勾配 $\theta = 9^\circ$ であり、 $SR = 100$ に対応するものと考えられる。図 5-1 は後続流部の流動部分の流速分布を比較したものである。流速分布を取った断面の対応がつかなければ比較にはならないが楕円³⁾や高橋⁴⁾の実験結果に近い値になっている。また、図 5-2 は礫による実験⁵⁾の先端部と $SR = 100$ の実験の先端部における流速分布形を比較したものである。図中の点線で示す流速分布を持った断面では段波部分の深さを流動深としており、 $SR = 100$ の場合にも流動深を段波部分の深さとすればよく一致する。以上のように、一粒径土石流は従来の実験で研究されてきた土石流と多少の差異はあるものの、傾向として同じ様な特性を持っているものと考えられる。

3.2 先端部の形成機構

図 6 は 2/100 秒間の粒子の移動状況を示したものである。先端より前方の元河床部が動いていることがわかる。 $SR = 100$ では、先端部下方の元河床部がかなり深部まで動き始めているのに対して $SR = 0$ では元河床部の動きはそれほど大きくない。これは、段波が元河床部に載った場合に元河床部が完全に飽和していれば間隙水圧等が発生し、せん断力がせん断抵抗力を上回ることになり、動き始めるが、不飽和であればせん断抵抗力が十分大きいために、元河床表面部しか動かないものと思われる。次に、動き始めた前方の元河床部は、ベクトルからも明らかなように先端部の前方に押し出されて、段波の先端部と一体になり、新たな先端部を形成することになる。これが、 $SR = 0$ では先端部の実質部分の速度と段波の速度がほぼ一致するが、 $SR = 100$ では段波の速度が実質部分の速度の 2 ~ 3 倍になる原因である。

4. まとめ

側面からの観察で全ての粒子の動きが捉えられる一粒径土石流の実験を行い、従来の上石流と比較して、かなりの共通した特性を持つことを確認した。この実験の特性を活かして、先端部を二次元的に捉え、元河床部の飽和度によって先端部の形成に違いがあることを説明した。先端部については元河床部も含めた取扱いが必要になってくるが、今後より定量化を進めて行きたいと考えている。

引用文献

- 1) T.G.DRAKE, R.L.SHREVE; 「High-Speed Motion Pictures of Nearly Steady, Uniform, Two-Dimensional, Inertial Flows of Granular Material」, J.Rheology 30(5), 981 ~ 993, 1986
- 2) 平野宗夫・岩元賢; 土石流先端部に関する実験的研究、新砂防 121, 1 ~ 7, 1981

- 3) 植東一郎ほか；土石流における粒子間応力と流動特性、土木学会論文報告集 317、79、91、1982
- 4) 高橋保；土石流の発生と流動に関する研究、京都大学防災研究所年報 20-B-2、405～435、1977
- 5) 中島皇；土石流先端部の運動に関する実験的研究、新砂防 145、15～22、1986

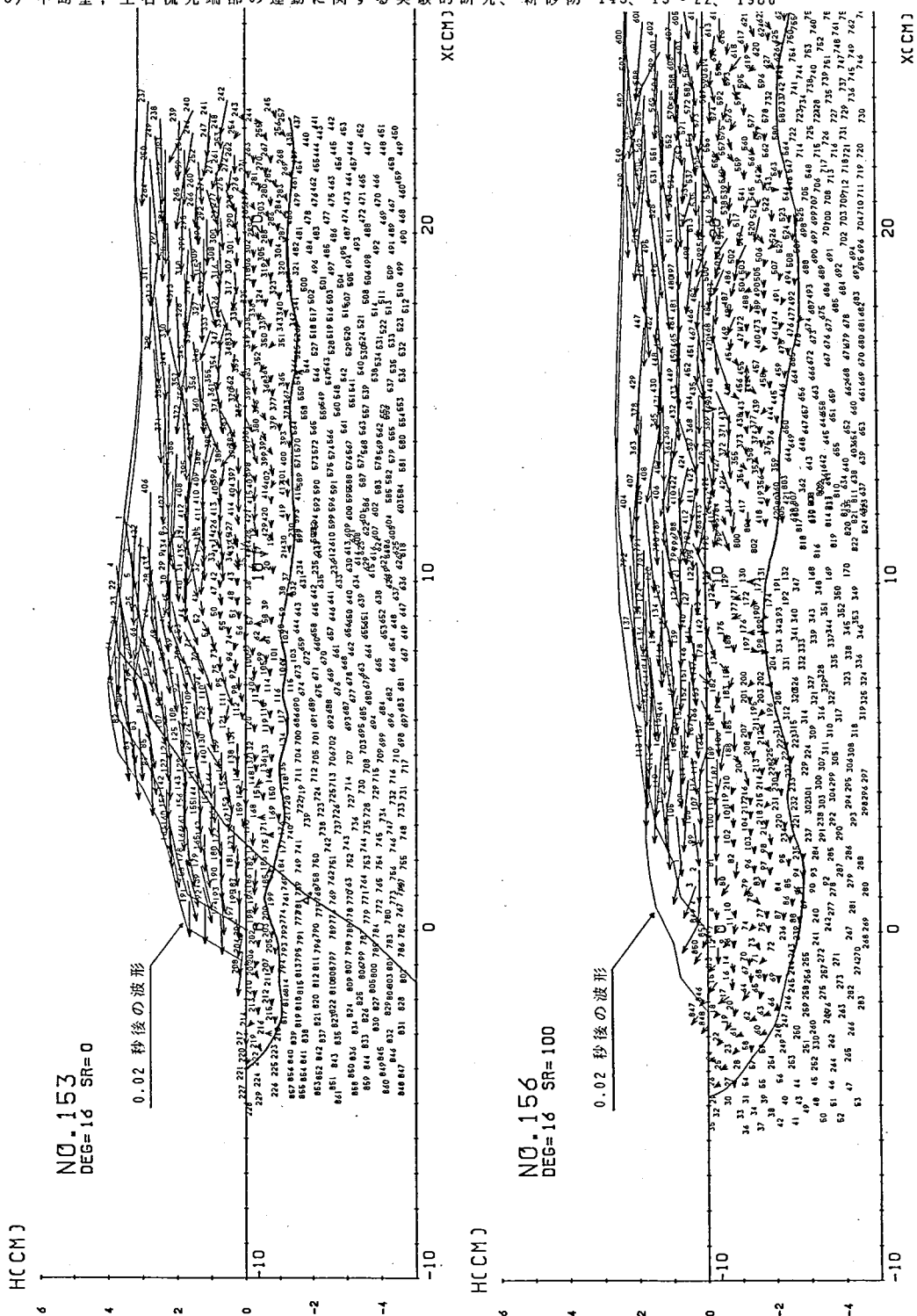


図6 粒子の移動状況