

回転円筒装置による水・砂・流木の分離形態の検討

防衛大学校 学生会員 ○松村健太郎 正会員 堀口俊行 香月 智  
九州大学大学院 学生会員 立石龍平

1 緒言

我が国は、国土の大部分を山間地が占めており、自然災害が多く発生している。中でも土石流災害は多くの被災者を出し、生活地域に甚大な被害を伴う。最近では、平成 29 年九州南部豪雨や、平成 28 年に鹿児島での台風被害において流木を大量に含んだ土石流が多く発生している。そのための対策として、写真-1 に示すような鋼製の透過型堰堤が建設されている。これは、土石流の偏析現象、すなわち流木や巨礫が土石流の先端部に集まることを前提にしている。しかし、土石流の災害報告の中には偏析しないで流下してくる可能性もあるが、その生起条件は不明確である。

そのため、土石流の運動形態を検討している研究は多くある<sup>1), 2)</sup>。筆者ら<sup>3)</sup>も、回転円筒装置を用いて土石流の偏析について検討しているが流木や土砂の運動形態を解明するには充分とは言い難い。

そこで本研究は、回転円筒実験装置を用いて水と土砂および流木の運動形態を検討し、速度の影響によって段波の形成過程や偏析現象についての生起条件について検討・考察するものである。

2 実験概要

2.1 実験装置

写真-2 に、回転円筒実験装置を示す。この回転円筒実験装置は、外径 235 cm、水路深 30 cm、水路幅 30 cm の円筒形水路を電動機で回転させるものである。円筒の側面は透明なガラスであり、水の流れ方や流木の運動を観察することができる。この装置の特徴は、流路長に制約がなく流動位置をほぼ固定して流体運動を定点で観測できることである。つまり、条件が整うと定常平衡状態となり、定点で観測できる。

2.2 供試体

写真-3 に、流木モデルおよび根付流木モデルを示す。流木モデルは、直径  $\phi=6$  mm、流木長は 60 mm の木材である。根付流木モデルは、直径  $\phi=6$  mm、流木長は 120 mm の木材を幹とするとともにその端部に、樹根状に加工した網目状のポリエチレン製ネットを接着して再現した。根の材質はポリエチレンであり、直径 0.05 mm、比重は 0.95 である。砂は、珪砂 5 号を使用した。

2.3 実験要領

表-1 に、実験ケースを示す。実験は、回転円筒内に水、流木、根付流木、砂をそれぞれ入れ、装置を回転させることにより生じる運動について観測を行った。水深、流木本数、水・砂混合割合、底面速度を変化させて実験を行った。カメラは、正面・近距離正面・真上および回転円筒内に取り付けて映像を撮影した。また、図-1 は代表角度の計測要領を示しており、土石流内の運動形態を整理した<sup>3)</sup>。

3. 実験結果および考察

ここでは、水と砂の混合と水と根付流木の混合における実験結果について示す。

3.1. 運動形態の区分

3.1.1 水・砂混合状態の運動形態の分類

水・砂混合状態の運動形態を 3 つに分類した。それぞれ①



写真-1 鋼製砂防堰堤

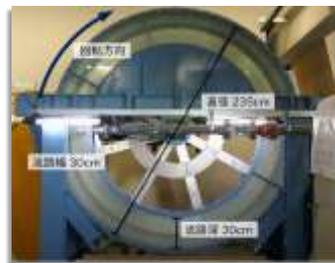


写真-2 回転円筒実験装置

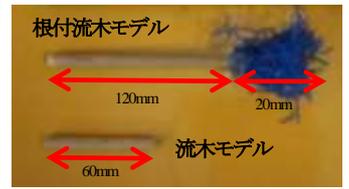


写真-3 実験材料

表-1 実験ケース

シリーズ	水深 $h$ (mm) [体積 $V$ (L)]	水砂混合比	流木モデル	流木本数 $n$	底面速度 $v$ (m/s)
清水のみ					
水・流木混合	125 [30]		①幹モデル (60mm) ②根付モデル (120mm)	①200,300, 500 ②120,30	0 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0
	100 [20]				
水・砂混合	75 [10]	3:1 (20L: 15 t: 5 t) (30L: 22.5 t: 7.5 t)			
		2:1 (20L: 13.3 t: 6.6 t) (30L: 20 t: 10 t)			

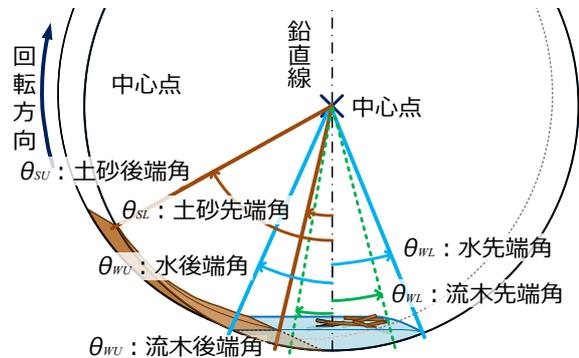


図-1 水・砂分離状態の代表角

写真-4(a)に示すように水と砂が分離して運動する状態、②写真-4(b)に示すように水と砂が混合しているが水中で水砂が分離している状態、③写真-4(c)に示すように水と砂が完全に混合している状態である。これらをそれぞれ水砂分離状態、

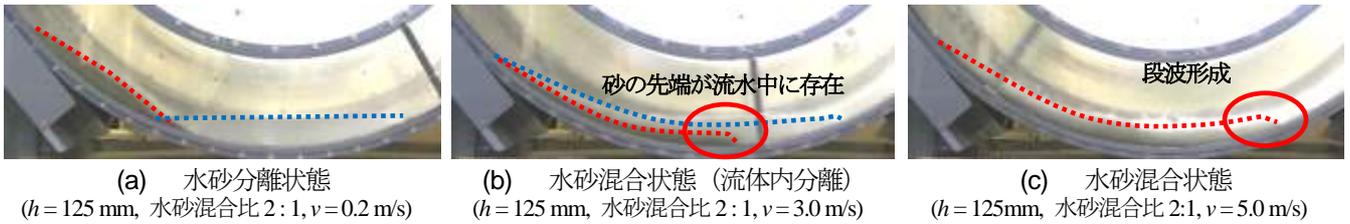


写真4 水・砂混合実験における運動形態



写真5 水・根付流木混合実験における運動形態

流体内分離状態, 水砂混合状態と呼ぶこととする.

### 3.1.2 水・根付流木の運動形態の分類

水・根付流木混合状態の運動形態を4つに分類した. ①写真5(a), (d)に示すように水深が浅く底面速度が遅い時に発生するスティックスリップ, ②水深が深く底面速度が遅い時に発生する浮遊状態, ③写真5(c)に示すように配置変換せずに前方に根付流木が集まる状態, ④写真5(d)に示すように配置変換をしながら前方に根付流木が集まる状態のである. これらをそれぞれスティックスリップ, 浮遊状態, 集合運搬 (配置変換なし), 集合運搬 (配置変換あり) と呼ぶ.

## 3.2 実験の考察

### 3.2.1 水・砂混合実験

図-2に代表角度～速度関係を示す. まず, 水が最も少ないケースにおいて段波が形成しやすいことがわかる. また, 底面速度  $v = 4.0 \text{ m/s}$  以上では, 水砂混合比に関係なく段波が形成されており, 水のみの実験に近い結果となった. また, 回転速度が大きくなるにつれて水と砂が混合し, 砂の偏析が弱くなっている. 一方で, 速度が小さいと土の摩擦や粘性によって円筒の曲率に影響を受けて砂が水より前に出なくなる.

### 3.2.2 水・流木混合実験

底面速度  $v = 0.2 \text{ m/s}$  のとき, 流木は水面に一樣に浮遊する. 底面速度  $v = 1.0 \sim 2.0 \text{ m/s}$  のとき, 流木は前に集まる. このとき, 配置変換する場合としない場合がある. また, 段波が形成されるとき, 流木は3次元運動として配置変換が生じる.

### 3.2.3 水・根付流木混合実験

根付流木においては, 幹のみの実験に比べると集合体として運動することがなく, 固まりとして移動する. さらに, 写真6に示すように回転速度が大きくなると, 水面上で配置変換が生起して先端部で個別運動を続ける.

## 4. 結言

本研究は, 回転円筒実験装置を用いて水, 土砂および流木の混合状態において段波を発生させて, それぞれの運動形態と偏析現象の生起条件について検討したものである.

- 1) 回転円筒装置を用いて水と土砂の混合状態と流木と水の混合状態において段波を発生させて, その平衡状態における運動形態を整理した.
- 2) 水と砂が分離する形態と, 混合する形態を比較することで, 土砂が移動する状態を観察することができた.
- 3) 流木において, 根付流木を用いると互いに絡みつくため,

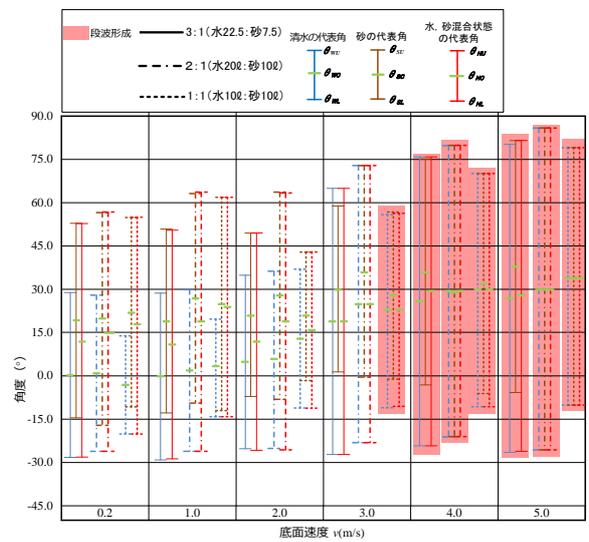


図-2 水・砂混合実験における代表角度～速度関係

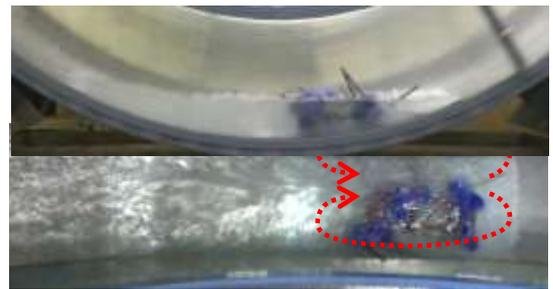


写真6 集合運搬 (配置変換あり)

集合運搬する.

- 4) 回転速度の影響が大きく, 土石流の運動形態に影響を与えた.

### 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) 堀田紀文, 宮本邦明, 鈴木雅一, 太田猛彦: 回転円筒水路を用いた高濃度固液混相流における間隙水圧分布の測定, 砂防学会誌, Vol.50, No.6, pp.11-16, 1998.6
- 3) 立石龍平, 堀口俊行, 香月智: 回転円筒実験における流木混じり土石流の段波形成に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.926-934, 2015.3