

回転円筒実験装置を用いた流木塊の運動形態に関する基礎実験

防衛大学校 学生会員 ○松村健太郎 立石龍平 堀口俊行 正会員 香月 智

1 緒言

土石流対策の一つとして、透過型砂防堰堤が建設されている。透過型砂防堰堤は、土石流の先頭部に集中すると言われる流木や巨礫が透過部を閉鎖することで、後続流全体を捕捉するものである¹⁾。つまり、土石流が流下とともに先頭部から流木、巨礫および土砂の順で流れ、偏析が生じることを前提としたものである。筆者ら²⁾は、直径1mの回転円筒実験装置を用いて礫材のみの2粒径混合状態における偏析の生起条件を整理している。しかし、流木や水が混ざった場合の偏析については未解明である。

そこで本研究は、回転円筒実験装置を用いて水と流木の混合状態において、流木塊の運動特性を整理したのち、偏析現象について実験的に検討するものである。

2 実験要領

2.1 実験装置

写真-1に、回転円筒実験装置を示す。この実験装置は、外径235cm、水路深31cm、水路幅30cmの回転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の挙動を観察することが出来る。この装置の特徴は、直線型水路のように流路長に制約がなく、定点で観測できることである。

2.2 流木モデル

写真-2に、実験で使用した流木モデルを示す。流木モデルは、材質が木材であり、直径6mm、流木長120mmと180mmの2種類を使用した。

2.3 実験ケース

実験は、回転円筒内に清水および流木を入れ、装置を回転させることにより発生する流木の運動について観測を行った。表-1に、実験ケースを示す。最大水深、流木の種類、流木本数および底面速度をパラメータとして計180ケースについて実験した。

3 実験結果

3.1 流木塊の運動形態

写真-3に、実験において観測された代表的な流木塊の運動形態を示す。これをもとに流木塊で生起する運動形態の分類を行うこととした。

a) 浮遊状態

写真-3(a)は、 $h=90\text{ mm}$ 、 $v=1.0\text{ m/s}$ 、 $l=120\text{ mm}$ 、 $n=200$ のケースである。この時、流木は互いに絡み合わずに水面全体に分散して浮いている。

b) 流木塊流動化状態

写真-3(b)は、 $h=70\text{ mm}$ 、 $v=3.0\text{ m/s}$ 、 $l=120\text{ mm}$ 、 $n=200$ のケースである。流木は、先端に堆積しており偏析することで前方に流木塊を形成する。流木塊内の流木は、円筒内の流れの影響を受けることで塊内を循環している。

c) 流木塊固化状態

写真-3(c)は、 $h=70\text{ mm}$ 、 $v=4.0\text{ m/s}$ 、 $l=180\text{ mm}$ 、 $n=300$ のケースである。流木塊流動化状態と同様に、流木は先端に堆積して偏析する。しかし、流木は個別に離れており堅固に絡み合っており塊を形成することで、流木塊は固化している。

d) 流木分散状態

写真-3(d)は、 $h=50\text{ mm}$ 、 $v=5.0\text{ m/s}$ 、 $l=120\text{ mm}$ 、 $n=400$ のケースである。流木は水面全体に分散するとともに、流木は個別に運動する。

e) 清水・流木塊分離状態

写真-3(e)は、 $h=50\text{ mm}$ 、 $v=1.0\text{ m/s}$ 、 $l=180\text{ mm}$ 、 $n=400$ における運動形態である。流量に対する流木量が多いため、清水と流木に分離する。清水は前方に流れ、流木は後端に堆積し塊となり、清水と流木は独立して運動する。

表-2に、前述した運動形態に基づき、流木混じりの実験を整理した結果を示す。浮遊状態は、水深が深く、底面速度が遅い場合において生起する。流木が浮遊するためには、流木量に対して十分な水量が必要であることを示している。流木分散状態は、流木長が短く、底面速度が極めて速いと

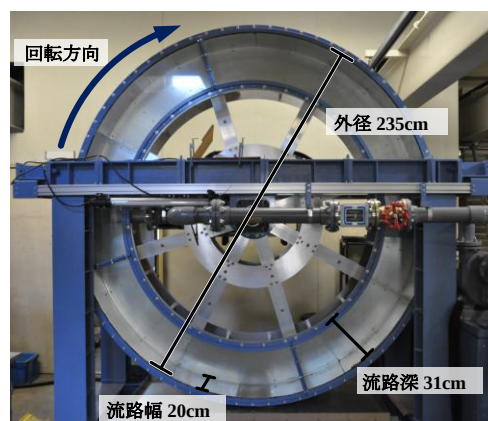


写真-1 回転円筒実験装置

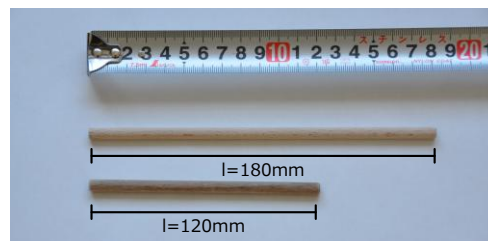


写真-2 流木モデル

表-1 実験ケース

シリーズ	水深 h (mm)	底面速度 v (m/s)	流木長 l (mm)	流木本数 n	ケース数
流木 混じり	50	0, 1.0	120	100	144
	70	2.0, 3.0	120	200	
	90	4.0, 5.0	180	300	
			180	400	

キーワード 土石流、流木、偏析、回転円筒実験

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

表-2 流木塊の運動形態分布

水深 h (mm)	流木長 l (mm)	流木本数 n	底面速度 v (m/s)				
			1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
50	60	100	A	B	B	B	D
		200	A	B	B	B	D
		300	A	C	C	C	D
		400	A	C	C	C	D
	120	100	A	A	B	B	B
		200	E	C	C	C	B
		300	E	C	C	C	C
		400	E	C	C	C	C
70	60	100	A	B	B	B	B
		200	A	A	B	B	B
		300	A	A	B	B	B
		400	A	A	B	B	B
	120	100	A	A	B	B	B
		200	A	A	C	C	C
		300	E	C	C	C	C
		400	E	C	C	C	C
90	60	100	A	A	B	B	B
		200	A	A	B	B	B
		300	A	A	B	B	B
		400	A	A	B	B	B
	120	100	A	A	B	B	B
		200	A	A	C	C	C
		300	A	A	C	C	C
		400	A	C	C	C	C

	偏析状態
A	浮遊状態
B	流木塊流動化状態
C	流木塊固化状態
D	流木分散状態
E	清水・流木塊分離状態

生起する。これは、底面速度が速くなり、流体の水深が浅くなることで、流木の運動が水路床との接触に支配されるためである。次に、清水・流木塊分離状態は、流木長が長く、流木量が多く、水深が浅いと生起する。これは、浮力が作用しない領域に流木が多く存在する場合に流水・流木塊分離が生じることを示唆している。

3.2 偏析時の運動

表-2 から、偏析が起きる運動形態は流木塊流動化状態および流木塊固化状態であることがわかる。流木が偏析する流木塊固化状態および流木塊流動化状態は、底面速度が速くなるほど生起する。この時、流木長が長く流木量が多いほど流木塊固化状態となる。一方、流木長が短いほど、流木塊流動化状態となる。これは、流木塊内の流木の運動が制限されると流木塊が固化することを示唆している。これにより前方に集中する条件は、流木の運動形態の中において多くの制約があることがわかる。

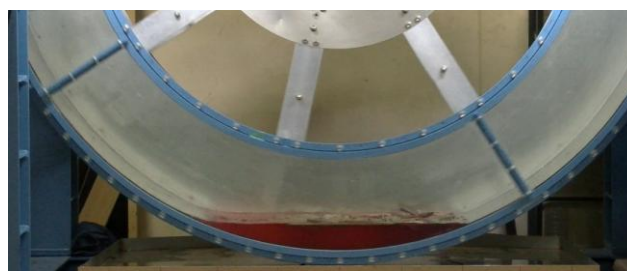
4 結 言

本研究で、得られた成果までを以下に示す。

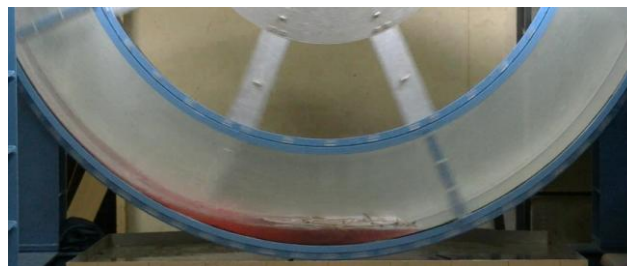
- 1) 流木塊の運動形態を5つに分類されることを示した。
- 2) 偏析現象は流木塊固化状態と流木塊流動化状態のみ生じる。
- 3) 偏析が生じる時、流木塊内の流木は、水量が少なく、流木長が長いと固化する。

参考文献

- 1) 財団法人 砂防・地すべり技術センター 鋼製砂防構造物委員会編集：平成21年版鋼製砂防構造物設計便覧，エッセイプロ，2010。



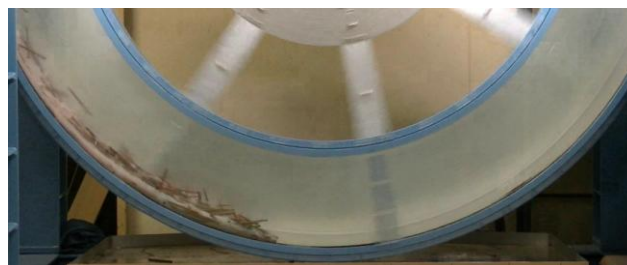
(a) 浮遊状態
($h=90$ mm, $v=1.0$ m/s, $l=120$ mm, $n=200$)



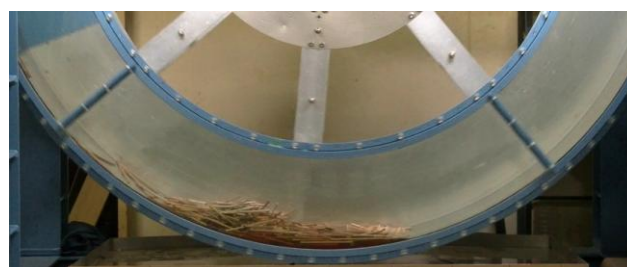
(b) 流木塊流動化状態
($h=70$ mm, $v=3.0$ m/s, $l=120$ mm, $n=200$)



(c) 流木塊固化状態
($h=70$ mm, $v=4.0$ m/s, $l=180$ mm, $n=300$)



(d) 流木分散状態
($h=50$ mm, $v=5.0$ m/s, $l=120$ mm, $n=400$)



(e) 清水・流木塊分離状態
($h=50$ mm, $v=1.0$ m/s, $l=180$ mm, $n=400$)

写真-3 流木塊の運動形態

- 2) 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, 2013.4。

