

回転円筒内における流水中の流木挙動と個別要素法解析

防衛大学校 学生会員 ○嶋川 理, 堀口 俊行, 立石 龍平 正会員 香月 智

1. 緒 言

近年、伊豆大島や広島県広島市で発生した災害のように局地的な集中豪雨により流木を含む土石流が頻発している。その対策の一つとして、透過型砂防堰堤が多く建設されている。この堰堤は透過部を有することから土石流が流木、巨礫、土砂と分離する偏析現象を前提として設計されている。しかし、流下を再現するために実験を行うと底面粗度や流水の流し方等の工夫が必要であり、常に偏析が生起することでないことがわかって

いる。そこで本研究は、回転円筒実験装置で水のみと流木混じりの実験を行い、流水および流木の挙動を整理する。次に、流木混じりにおける偏析現象を個別要素法で再現することで偏析時に生じる流木の挙動を検討するものである。

2. 擬水滴要素

個別要素法は、剛体要素をモデル化して解いている。接触した要素で得られた接触力をもとに動的な解析を行う。一方、剛体要素の運動方程式を用いて、等方水圧ばねに変えることで水の特性である等方性を考慮した擬水滴要素を文献2)に提案した、本研究もその手法を代用する。

3. 実験の概要

3. 1 実験内容

写真-1に、回転円筒実験装置を示す¹⁾。実験装置は電動のモーターにより自動で回転する。側面および底面は、透明のアクリル板を使用しているので側面および底面からの観察が可能となっている。なお、本研究では底面粗度は設定していない。表-1に、全実験ケースにおける水深および底面速度の条件を示す。また、実験結果の整理は、図-1に示す代表角度、段波形成および流下時の流木の運動形態をもとに行った

3. 2 水のみの実験

図-2に、全ケースの実験結果を示す。実験によると、

水深が浅く、底面速度が速いほど段波を形成しやすくなることがわかる。すなわち、水のみにおいて、水深と流速が段波形成に影響を与えることがわかる。

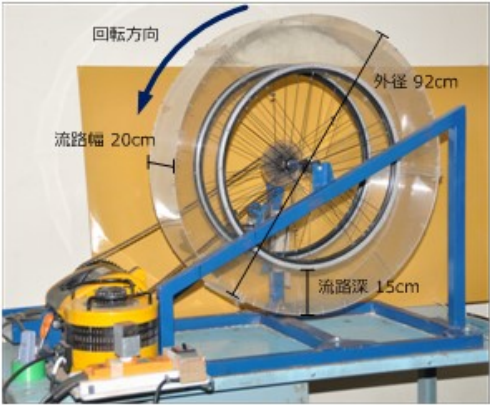


写真-1 回転円筒実験装置

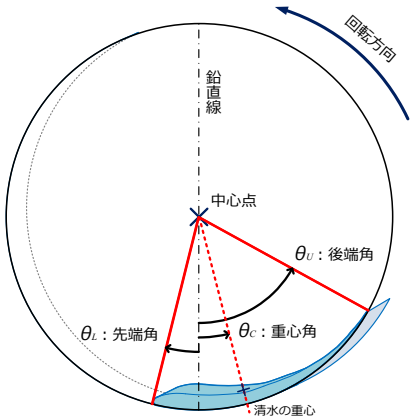


図-1 代表角度

表-1 実験ケース

流木長 <i>l</i> (mm)	流木数	底面速度 (m/s)	備考
40	0	0.5, 1.0	
60	50	1.5, 2.0	
120	100	2.5, 3.0	
180			

表-2 流木混じりの回転円筒実験結果

水 深 $h(\text{mm})$	流木長 $l(\text{mm})$	流木数 n	底面速度 $v(\text{m/s})$							
			0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0		
40	60	50	A	A	A	A	A	A	A 浮遊状態 B 偏析状態 [配置変換あり] C 偏析状態 [配置変換なし] D 清水・流木塊 分離状態	
		100	A	A	A	A	A	B		
	120	50	A	A	B	B	B	B		
		100	A	C	C	C	C	C		
50	60	50	A	A	A	A	A	A		
		100	A	A	A	A	A	B		
	120	50	A	A	A	B	B	B		
		100	A	C	C	C	C	C		

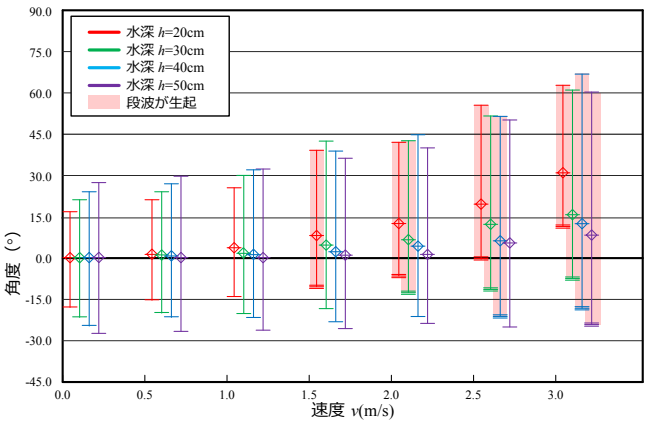


図-2 水をみの回転円筒実験結果

キ-ワ-ド 回転円筒 土石流, 個別要素法

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 FAX:046-844-5913

3. 3 流木混じりの実験

表-2 に、全ケースにおける流木の挙動を整理した。円筒内の流木は4種類の運動形態となる。それぞれ、A 浮遊状態、B 偏析状態（配置変換あり）、C 偏析状態（配置変換しない）、流水・流木塊分離状態である。ここでは、底面速度や流木長によって流木の異なることがわかる。また、偏析が生じた場合においても配置変換が生じる場合と生じない場合があり概して流木長によって影響を受けることがわかる。

4. 解析結果

ここでは底面速度を $v = 2.0 \text{ m/s}$ 、偏析あり（配置変換あり）の条件をもとに、再現解析をする。

4. 1 解析モデル

文献 1)を参考に、円柱形要素を円状に配置することで回転円筒実験装置を再現した。擬水滴要素は、球形で直径を 1cm とした。流木は、円柱形要素を用いてモデル化した。

4. 2 水のみ解析

図-3 に、底面速度 $v=3.0 \text{ m/s}$ 、水深 40 mm の条件下における再現解析を示す。この解析によると、擬水滴要素における水の挙動を見ると浅層を流れている要素が、先頭部に到達すると底層に潜る。その後擬水滴群の後方まで流れてしまう。これにより、また浅層に浮き上がることで浅層の速い流れで前方まで押し流される。すなわち、擬水滴要素が循環していることになる。よって、図-3(c)のように段波を形成している水の挙動は、内部において循環していることになる。

4. 3 流木混じりの解析

図-4 に、時系列ごとに実験と解析を比較した。まず、 $t=t_0$ では、流木が浮遊しているだけであり擬水滴要素の中で全体的に広がっている。 $t=t_0+1.0 \text{ s}$ では、流木群は前方に集中することで先頭部に概ね集まっている。この現

象は、解析においても同様の結果を得ており、浅層の速い流れで前方に押し出されている。 $t=t_0+2.0, 3.0 \text{ s}$ においてもこの傾向は同様であり、底層に至った流木は、一旦後方に流されるが時間とともに浮き上がり前方に押し流される。時間とともに流木が前方に集中する現象を再現できている。

5. 結言

本研究は、回転円筒実験装置で水のみと流木混じりの実験を行い、流水および流木の挙動を整理した。この基礎情報をもとに、個別要素法を応用した擬水滴要素の再現解析への適用性を検討した。

1) 実験により、流速や水深によって偏析の生起条件が寂することを示した。この傾向は、流木が混じった実験においても同様の傾向が見受けられる。

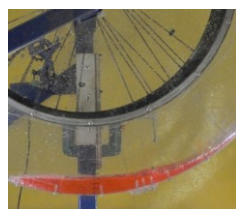
2) 水のみ解析において、段波が再現可能であることがわかった。その際は段波内で循環している。

3) 流木混じりの解析において、段波形成と流木の偏析現象を再現できた。そのメカニズムは水の循環運動に支配されている。

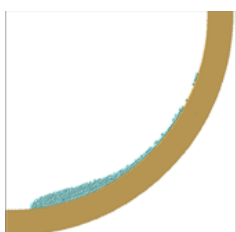
今後は水と流木混じりの回転円筒解析を行い偏析現象の生起条件や挙動の解明を行う。

参考文献

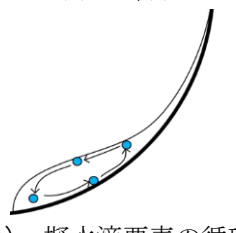
- 堀口俊行, 香月智, 長池広樹: 回転円筒による混合球形粒子の偏析実験と個別要素法解析, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.69, No.1, 41-56, 2013.
- 堀口俊行, 香月智: 底面水抜きスクリーン実験に対する水と礫の分離挙動シミュレーション, 土木学会論文集 A2 分冊 (応用力学) 特集号, Vol.17, 2015.2.
- 立石龍平, 堀口俊行, 香月智: 回転円筒実験における土石流の段波形成に関する実験的検討, 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 2014.10.



(a) 実験



(b) 解析



(c) 擬水滴要素の循環

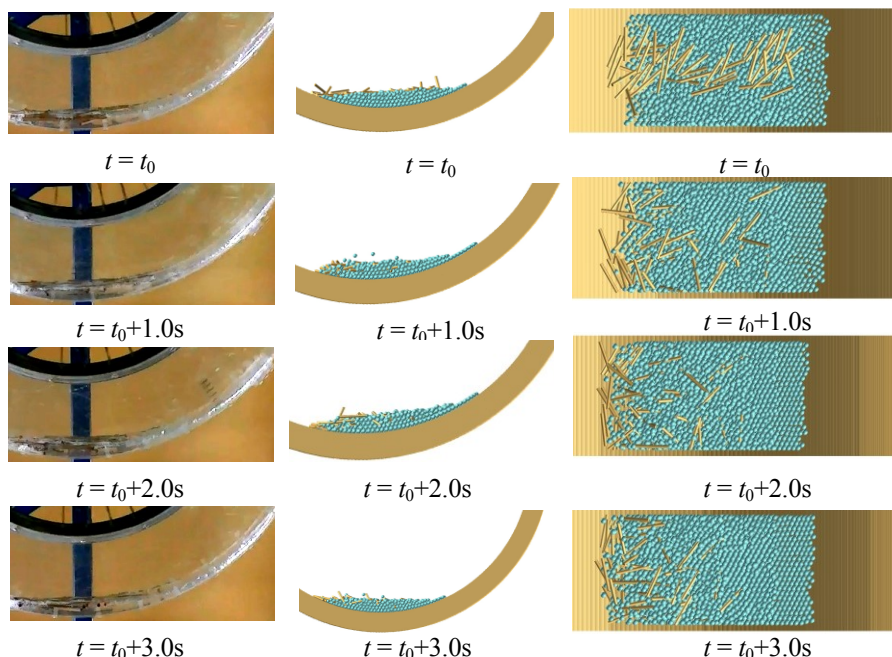


図-4 回転円筒実験と解析における比較

図-3 水のみ回転円筒解析