

直線水路実験における分級現象の円筒実験との比較

防衛大学校 学生会員 ○松村健太郎 正会員 香月智 堀口俊行

1 緒言

我が国は、国土の大部分を山間地で占めており、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、生活基盤に甚大な被害を伴う。その対策構造物として写真-1に示すような透過型砂防堰堤が建設されている。これは、土石流の先端部に巨礫などが集中する分級現象を前提として設計されている。しかし、土石流の災害報告の中には分級せずに流下してくることもあり、その生起条件は不明確である。

土石流の分級に関する研究は多くある¹⁾。筆者らも、透過型砂防堰堤の性能評価のために直線水路を用いた実験²⁾や回転円筒装置を用いた2粒径の混合実験における偏析現象について検討している³⁾が、水と礫の混合実験における分級現象の生起機構については不明確である。また、回転円筒装置は水路床が移動しているが、実河川では固定されており、実験結果における関連性が不明確とされている。

そこで本研究は、土石流の流下時に生起する分級現象について解明するために、直線水路と回転円筒装置を用いて水と礫の混合流体の分級現象における礫の運動形態について検討し、両実験を比較するものである。

2 実験概要

2.1 実験装置

図-1に示す直線水路は、水路長4.5 m、水路幅30 cm、最大水路深50 cm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、流体の速度を低速にすることで流下時間を延ばせるようにするため水路勾配を7°とした。さらに、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、流体に合わせてビデオカメラを移動させることで土石流を画面内で停止しているように観察できるようにしている。一方、写真-2に示す回転円筒装置³⁾は、外径235 cm、水路深30 cm、水路幅30 cmの回転型水路を電動機で回転させるものである。側面は、ガラスで構成され、側面から内部の挙動を確認することが出来る。なお、この装置は、流路長に制限がなく、観測位置をほぼ固定して流体運動を観測できる。つまり、条件が整えば平衡状態となり、定点で観測できる。

2.2 底面粗度

底面粗度は、粗度高さ k が3×3 mmの亚克力製角柱で、純間隔 $b = 26$ mm間隔でそれぞれの実験装置の水路床に取り付けた。

2.3 供試体

写真-3に、3種類の礫モデル（以下、モデルA～Cと呼



写真-1 透過型砂防堰堤

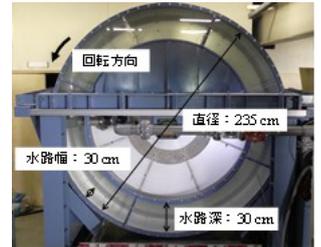


写真-2 回転円筒装置

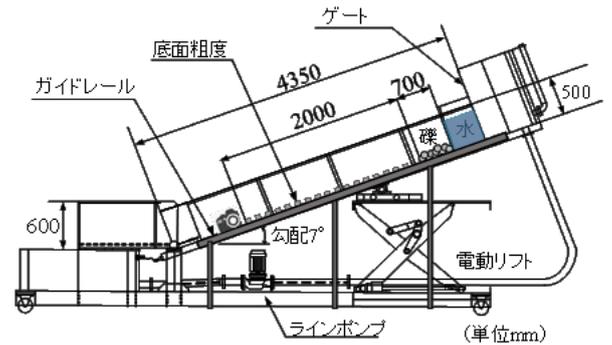


図-1 直線水路

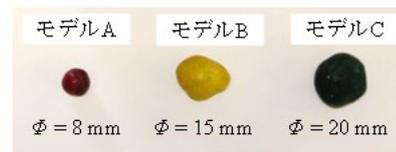


写真-3 礫モデル

表-1 実験ケース

	水(ℓ) : 礫(ℓ)	勾配($^\circ$)	底面速度 v (m/s)
直線水路	30 : 5	7	0.2 ~ 1.0
回転円筒	5 : 5		

表-2 直線水路における流下速度

流下距離 l (m)	0.5	1.0	1.5	2.0
流下速度 v (m/s)	0.38	0.55	0.82	1.12

称する。)を示す。これらは、表面に凹凸のある固化石炭灰であり、A～Cの平均粒径 $\phi = 8, 15$ および20 mm、比重は1.9である。

2.4 実験要領

表-1に、実験ケースを示す。直線水路実験は、水30 ℓ と礫5 ℓ の1ケースであり、この際の流体の流下速度は、表-2に示す。流下速度については、水路にメッシュを設置し、映像データから平均速度を計算した結果を示している。従って、流下距離に対して流速が速くなっていることが分かる。また、流下に際して、礫は底面粗度の手前で均一に混ぜた状態で堆積させ、その後方に所要の水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。なお、流下距離(l)

キーワード 土石流, 分級現象, 水と礫

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

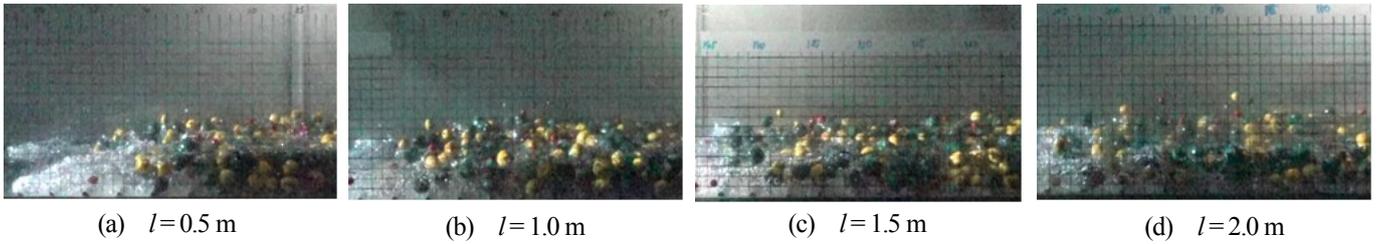


写真-4 流下距離ごとの分級状況 (直線水路)

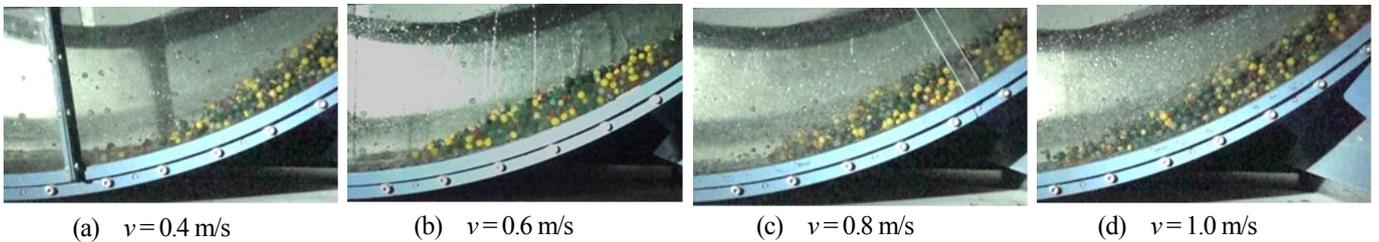


写真-5 底面速度ごとの分級状況 (円筒装置)

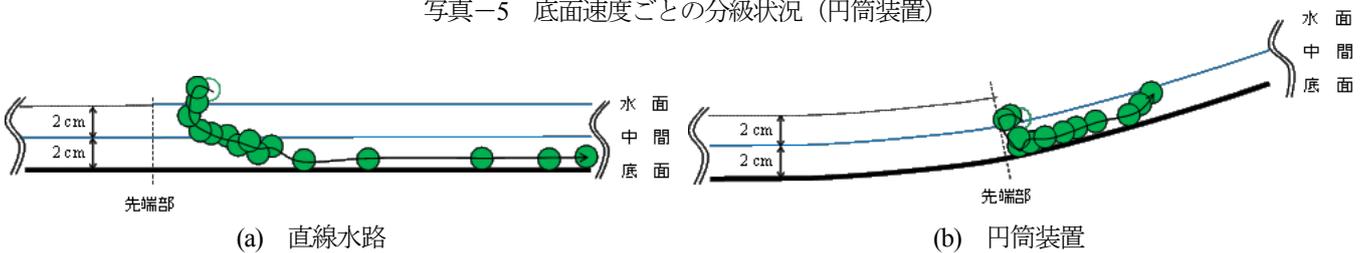


図-2 時間変化に伴う礫の動きの比較

は2 mである。一方、回転円筒実験は、水5 lと礫5 lとして、底面速度 $v=0.2\sim 1.0\text{ m/s}$ の間で、 0.2 m/s ごと与えた計5ケースである。円筒内に礫を入れた後に、所要の水を加えた状態を初期状態として半時計回りに回転させた。

3. 実験結果および考察

3.1. 分級現象の比較

写真-4に、直線水路における流下距離ごとの分級の様子を示す。写真は、流体の先端部から約20 cmの様子であるが、粒径の最も小さいモデルAの礫が散見されるものの、モデルB、モデルCに比して極めて少ない。すなわち、粒径の大きいものほど先端部に集中し分級していることが判る。これは、写真-4(a)~(d)のどの流下区間においても同じである。また、写真-5に、回転円筒における底面速度ごとの分級の様子についても直線水路と同様に、写真-5(a)~(d)の全ての場合において粒径の大きい礫が流体先端部に集中していることがわかる。

続いて、直線水路における流体の流下速度と回転円筒の底面速度を比較する。写真-4(a), 5(a)は、 $v=0.4\text{ m/s}$ であるが、直線水路においては、水と礫が完全に混合しながら分級している。一方、回転円筒においては、前方に水、後方に礫が分離した状態で分級していることがわかる。写真-4, 5(b)~(d)に示す $v \geq 0.6\text{ m/s}$ では、直線水路および回転円筒で水が礫と完全に混合した状態で分級しており、運動の様子は似ている。また、流下速度と底面速度が大きくなるにつれて、流体先端部の礫が底面粗度の影響を受けて飛び跳ねる様子も似ている。以上のことから、直線水路と回転円筒の分級の様子

は、運動形態の異なる一部 ($v \leq 0.4\text{ m/s}$) を除いては、よく似ている。

3.2 礫の動きの比較

図-2に、実験を通して多く見られた礫の代表的な動きを0.03 s 間隔でトレースしたものを示す。図-2(a)の直線水路において流体上層部に存在した礫は、流体先端部に到達すると下層部に巻き込まれた後、底面粗度の影響を受け後退する。この時、そのまま浮き上がることなく後退する礫がほとんどであった。一方で、図-2(b)の回転円筒において、流体上層部に存在した礫の動きは、巻き込まれて後退するまでは同様であるが、その後、浮き上がりが確認された。

4. 結 言

本研究は、直線水路と回転円筒装置を用いて水と礫の混合流体の分級現象について検討し、両者を比較した。そのうえで、直線水路と回転円筒で生起する分級および礫の動きを整理し、両者の相似性について明らかにした。

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) Horiguchi et al.: A Basic Study on Protective Steel Structures Against Woody Debris Hazards, IJPS, Vol.6, No.2, 2015.6.
- 3) 堀口俊行, 香月智, 小川あずさ: 回転円筒による2粒径混合粗粒材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.72, No.1, pp.1 - 20, 2016.4.