

直線水路実験と回転円筒実験における礫分級現象に関する比較研究

防衛大学校 学生会員 ○松村健太郎, 正会員 堀口俊行, 香月智

1 緒言

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もたらす。その対策構造物の一つである透過型砂防堰堤は、流下する土石流の先端部に巨礫などが集中する¹⁾分級現象が生起することを前提として設計されている。しかし、土石流が分級せずに流下している事例もあることや、流下過程のどの時点で分級するのかなど、設計情報として未解明な点が多く存在する。著者ら²⁾は、回転円筒装置を用いて分級の生起条件について整理しているが、直線水路との相互関係については未検討のままである。

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の2種類の実験装置を用いて、水と礫の混合流体の運動形態について検討するものである。特に、分級生起条件、土石流内の礫の動きを整理し、両実験装置を比較することで、対応関係について比較する。

2 実験の概要

2.1 実験装置

図-1、写真-1に、直線水路および回転円筒装置を示す。直線水路は、水路長4.35 m、水路幅30 cm、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。また、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。一方、回転円筒装置は、外径2.35 m、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 mm×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 実験要領

3種類の礫モデル(以下、モデルA～Cと呼称する。)は、表面に凹凸のある固化石灰炭灰であり、A～Cの平均粒径 $\phi = 8$ mm, 15 mmおよび20 mm, 比重は1.9である。

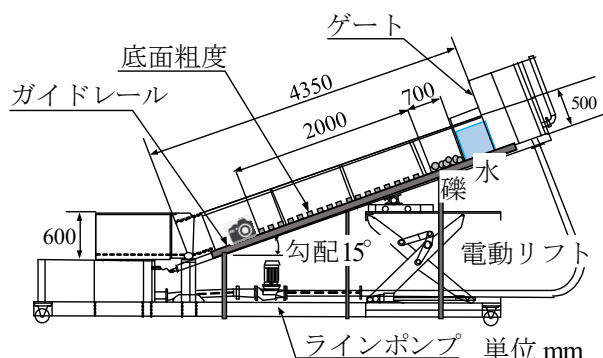


図-1 直線水路

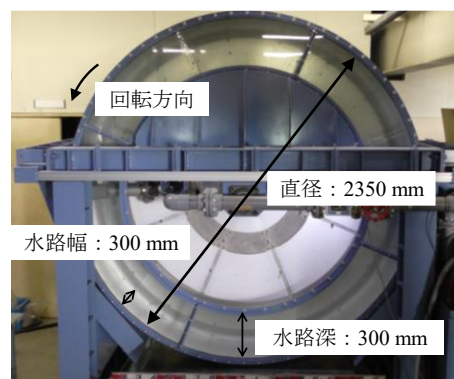


写真-1 回転円筒装置

2.4 実験要領

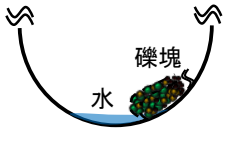
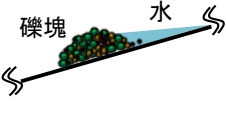
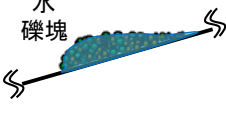
直線水路実験は、体積30 lの水と体積1.7 lのA(小)～C(大)の3種類の礫モデルを組み合わせた計5 lを混ぜた1ケースである。流下に際して、礫は底面粗度の手前で均一に混ぜた状態で堆積させ、その後方に所要の水を溜めた状態を初期状態として流下させるダムブレイク方式を用いた。一方、回転円筒実験は、直線水路実験と同量の礫に水を5 l加えて、底面粗度無は、底面速度を1.0～2.2 m/sの間、底面粗度有は、底面速度を0.2～1.0 m/sの間で、0.2 m/sごとの5段階を与えた。この時の底面速度は、直線水路実験において算出した流下速度を基に決定している。

また、それぞれの実験において、底面粗度を与える場合と与えない場合の2種類を行い、運動形態の観測、流体内の動きの観測を行った。そのうえで、分級の有無の判定を行った。そして、直線水路実験および回転円筒実験を比較し、両者の相関性を定性的に考察した。

キーワード 土石流 分級 直線水路 回転円筒装置

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

表-1 比較表

運動形態	配置変換	分級	対応関係	
			直線水路実験	回転円筒実験
 水先行・礫塊残置状態	無	無	—	底面粗度無 - $v_r = 1.0$ (m/s) 1.6 (m/s) 2.0 (m/s) 2.2 (m/s)
		有	—	—
	有	無	底面粗度無 - 扇状地	底面粗度有 - $v_r = 0.4$ (m/s) 0.6 (m/s)
		有	底面粗度有 - 扇状地	—
 礫塊先行・水残置状態	無	無	底面粗度無 - $v = 1.1$ (m/s) 1.6 (m/s) 1.9 (m/s) 2.2 (m/s)	—
		有	—	—
	有	無	底面粗度有 - $v = 0.4$ (m/s)	—
		有	—	—
 水・礫混合状態	無	無	—	—
		有	—	—
	有	無	底面粗度有 - $v = 0.6$ (m/s)	—
		有	底面粗度有 - $v = 0.8$ (m/s) 1.1 (m/s)	底面粗度有 - $v_r = 0.8$ (m/s) 1.2 (m/s)

3 実験結果（両実験結果の比較）

表-1 に、両実験で得られた水と礫の混合流体の比較表を示す。

- 1) 運動形態が水先行・礫塊残置状態で、配置変換無、分級無は、底面粗度無、 $v_r = 1.0 \sim 2.2$ m/s の回転円筒実験で生起するが、直線水路実験では、生起しない。また、同じ運動形態で、配置変換有、分級無は、底面粗度有の $v_r = 0.4 \sim 0.6$ m/s の回転円筒実験と直線水路実験の底面粗度無の扇状地で生起する。
- 2) 運動形態が礫塊先行・水残置状態で、配置変換無、分級無は、底面粗度無、 $v = 1.1 \sim 2.2$ m/s の直線水路実験でのみ生起する。また、同運動形態で、配置変換有、分級無は、底面粗度有の $v = 0.4$ m/s の直線水路実験のみで生起し、回転円筒実験では生起しない。
- 3) 水・礫混合状態では、配置変換有の分級無は、直線水路実験の底面粗度有、 $v = 0.4$ m/s のみである。
- 4) 水・礫混合状態で、配置変換有、分級有は、直線水路実験の底面粗度有、 $v = 0.8 \sim 1.1$ m/s の条件において生起し、回転円筒実験では、底面粗度有の $v_r \geq 0.8$ m/s で生起する。つまり、分級現象が生起する条件は、両実験の流速（速度）が同じ範囲となっている。

4 結 言

直線水路と回転円筒装置の2種類の実験装置を用いて、水と礫の混合流体の運動形態について検討した。特に、分級生起条件、流体内の礫の動きを整理し、両実験装置を比較することで、2つの実験方法における礫の分級現象に関する対応関係について検討

した。その成果は、以下ようになる。

- 1) 本実験において、運動形態は3種類に区分され、礫塊先行・水残置状態は直線水路実験、一方、水先行・礫塊残置状態は、回転円筒実験と、それぞれの実験で特有の運動形態を示す。また、共通して、直線水路実験では、 $v \geq 0.6$ m/s、回転円筒実験は、 $v_r \geq 0.8$ m/s で水・礫混合状態になる。
- 2) 両実験において分級生起は、底面粗度有、速度条件を $0.8 \leq v_r \leq 1.1$ m/s において直線水路実験でも回転円筒実験でも生起した。この時、礫内部には水が均等に混ざっており、水が礫間摩擦を減少させることが、礫塊内に相対的な循環運動を生起させ、分級生起の必要条件を満足させることとなる。
- 3) 土石流の構成要素である水、礫、土砂および流木等のうち、水と礫の2種類の組み合わせで円筒実験と直線水路実験の対応関係、分級メカニズムについて考察し、両実験に共通して礫塊内部の相対的循環運動が分級生起の必要条件であることを示した。この点は、透過型砂防堰堤の設置場所選定に活用できるものと思われる。

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。
- 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.1，pp.41 - 56，2013。