

表面粗度のある粗粒材の回転円筒内運動による分級現象に関する基礎実験

防衛大学校 学生会員 ○小川あずさ 堀口俊行 正会員 香月 智

1 緒 言

土砂災害の主因となる土石流は、構造施設に対する破壊力が大きく、有効な対策が求められている。土石流対策の主流である透過型砂防堰堤¹⁾は、先頭部に集中する巨礫を開口部に詰まらせ、後続部を捕捉するものである。つまり、先頭部に巨礫が集中することを前提に設計されている。しかし、土石流の中には、巨礫が先頭部に集中せずに流下したという報告もあり、その生起条件は不明確なままである²⁾。このため、著者ら³⁾はガラスビーズによる分級現象について、回転円筒実験装置での大粒径粒子の浮き上がり機構を実験的に検討した。

本研究では、回転円筒実験装置を用いて、表面粗度のある、礫材の 2 粒径混合状態における分級現象について検討したものである。

2 実験要領

2.1 実験装置

写真-1 に、実験で用いた回転円筒実験装置を示す。この実験装置は、外径 92cm、深さ 20cm、幅 20cm の回転円筒形水路を自転車のリムで接続し、モーター動力に減速機を通し回転させるものである。自転車用の速度計を利用して底面速度を求め、所定の速度で回転させる。この装置は、直線形水路のように流下距離の制約を受けないので、条件が整うと粒状

体の塊がほぼ同位置に留まる。よって、固定位置でビデオカメラによる観測が可能である。

2.2 供試体

表-1 に、実験で使用した供試体を示す。供試体①、②はそれぞれ直径 25mm、8mm のガラスビーズである。供試体③、④は粒径がそれぞれ 20-25mm および 5-10mm の表面に凹凸のある玉砂利である。なお、全ての供試体の比重は 2.6 である。実験は、供試体①、②および供試体③、④の 2 粒径混合状態について調べた。混合比率は、いずれの実験ケースにおいても 1:1 の体積比とした。

2.3 実験手順

先行研究³⁾のガラスビーズによる実験では、回転速度の増加に伴って、当初はスティックスリップ現象が生じ、その後粒状体の集まりがほぼ同じ位置に留まる平衡塊現象となる。さらに、速度を増していくと各々の粒が飛び跳ねる気化状態となる。本研究では、図-1 に示すような平衡塊の状態の各諸元を中心に考察する。その際、図-1 に示すような平衡塊の状態について、先頭部から先端角 (θ_U)、平衡角 (θ_C)、後尾角 (θ_L) をそれぞれ測定した。すなわち、まず、回転速度の影響により運動形態が異なるので、底面速度を変化させることによる単粒径粒子群と 2 粒径混合粒子群の運動形態を観察した。

2.4 底面粗度

先行研究³⁾においては、底面は平滑なアクリル板を用いたが、本研究では、直線水路実験において分級を促す⁴⁾といわれている底面粗度の影響を見るために、図-2 に示すような、直径 5mm のアクリル棒を 15mm 間隔にして貼付した栈粗度を与えることについても検討した。

3 実験結果と考察

3.1 ガラスビーズ

写真-2, 3 に、ガラスビーズを用いた実験結果を示す。なお赤線が大粒径の先端角、平衡角、後尾角の

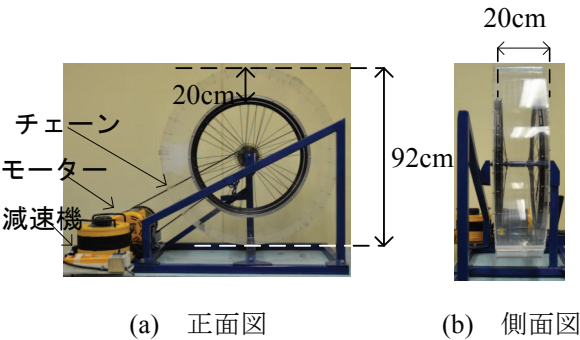


写真-1 回転円筒実験装置

表-1 供試体の諸元

	番号	粒径(mm)	比重	写真
ガラスビーズ	①	25	2.6	
	②	8	2.6	
礫材(玉砂利)	③	20-25	2.6	
	④	5-10	2.6	

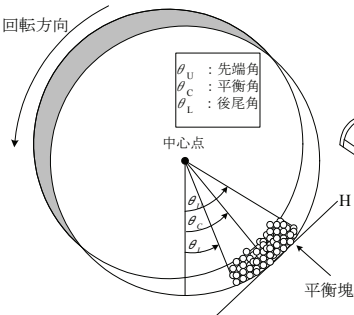


図-1 平衡塊の各諸元

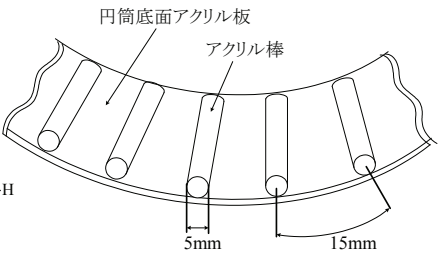
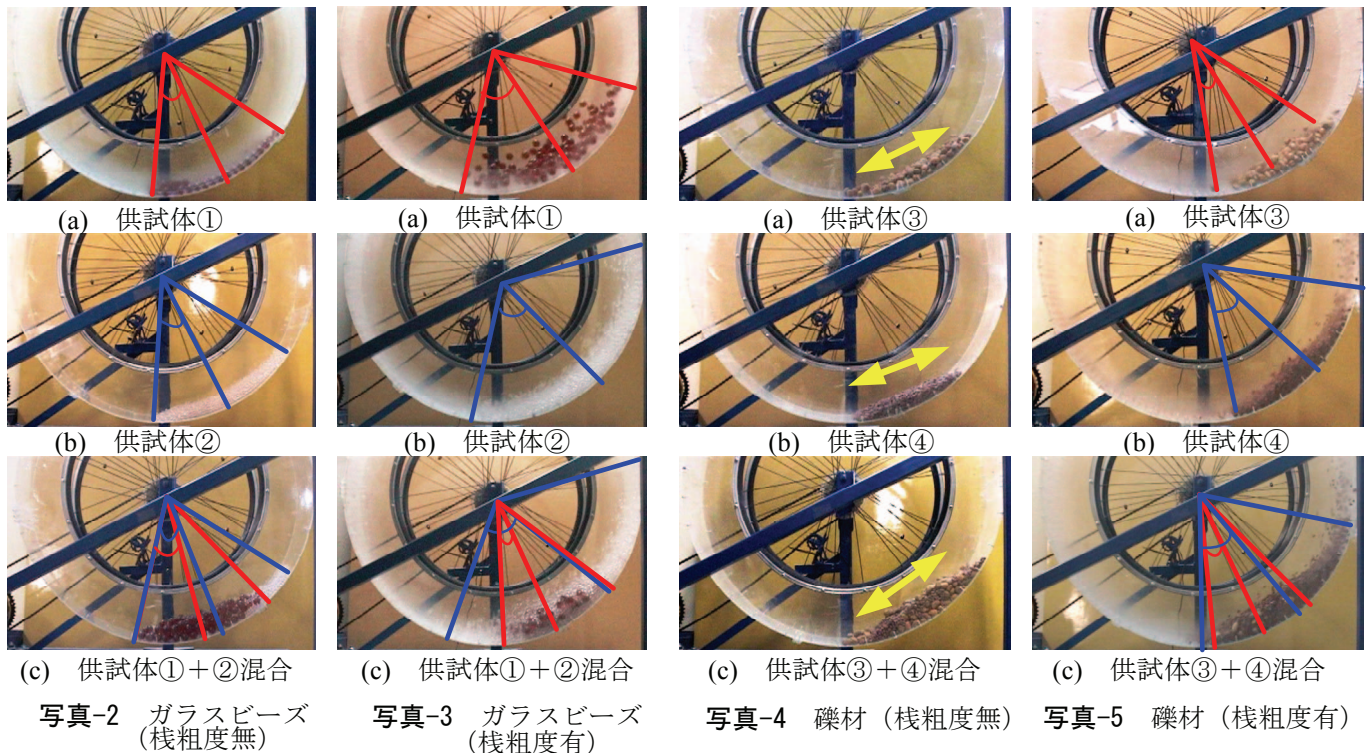


図-2 栈粗度



位置を示し、青線は小粒径のそれぞれの角度を示している。写真-2は、栈粗度無の平衡塊を示している。供試体①または②の単粒径粒子群は明瞭な平衡塊を形成し、供試体①では $\theta_L = -5^\circ$, $\theta_C = 24^\circ$, $\theta_U = 51^\circ$ であり、供試体②では $\theta_L = -2^\circ$, $\theta_C = 24^\circ$, $\theta_U = 50^\circ$ である。次に、図-2(c)に示すように2粒径混合状態にすると前方に供試体①が押し出されるが、小粒径の供試体②は単粒径の平衡塊と同じ領域にある。一方、写真-3は、栈粗度有の結果を示す。単粒径の供試体①では $\theta_C = 22^\circ$ を中心に塊は前後に移動し、平衡塊は形成できない。供試体②では全粒子が跳躍し、やはり平衡塊はできない。また、2粒径混合状態では、 $\theta_C = 30^\circ$ を中心に大粒、小粒径ともに分布して跳躍状態となり前後する。つまり分級しないことがわかる。

3.2 礫材

写真-4, 5に、礫材による実験結果を示す。まず礫材では、栈粗度無では図-4(a), (b)に示すように、単粒径粒子は塊を形成するものの、黄矢印で示す範囲を一つの塊として前後に移動するスティックスリップ状態となる。これは礫の凹凸によって礫が相互に噛み合い、礫相互の配置変換が困難となり一つの集合体として振舞う。これは、写真-3(c)の2粒径混合状態にしても同じである。

一方、写真-5(a), (b)に示す栈粗度を与えると単粒径粒子群は安定した平衡塊を形成する。その諸元は、供試体③は、 $\theta_L = 11^\circ$, $\theta_C = 33^\circ$, $\theta_U = 55^\circ$ であり、供試体④は $\theta_L = 7^\circ$, $\theta_C = 36^\circ$, $\theta_U = 72^\circ$ となる。続いて2粒径混合状態にしても、写真-5(c)のように平衡塊を形成する。その分布は、供試体③は $\theta_L = 5^\circ$, $\theta_C = 26^\circ$, $\theta_U = 47^\circ$ に分布し、供試体④は $\theta_L = 0^\circ$, $\theta_C = 33^\circ$, $\theta_U = 66^\circ$ の範囲にある。つまり大粒

径粒子が浮き上がった分級状態となり、前方に大粒径粒子が集中している。これは礫材において栈粗度によって礫間の噛み合いが解け、個々の粒子運動の自由度が大きくなることで、分級が促されたものと考えられる。

4 結 言

粒状体表面の凹凸の有無によって、分級現象に大きな差異が見られた。つまり、ガラスビーズは底面粗度がない場合、分級現象が生起して先頭部に大粒径粒子が集中する。一方、礫材では栈粗度を与えることによって礫間の噛み合いが解けることによって分級が生じ、大粒径が先頭部に集中する。

謝 辞

なお、本装置は技術員 高橋峰男氏の創意工夫のもと作成されたものである。記して謝意とする。

参考文献

- 1) 田畑茂清, 守山浩史: 鋼製透過型えん堤工法・設計法の変遷と課題, 砂防学会誌, Vol.64, No.6, pp.47-51, 2010.3.
- 2) 岩田知之, 堀田紀文, 鈴木拓郎: 混合粒径土石流の分級現象が流動に及ぼす影響に関する研究, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, pp.392-393, 2012.5.
- 3) 長池広樹, 堀口俊行, 香月智: 回転円筒を用いた粗粒材の分級現象に関する実験的検討, 第39回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2012.3.
- 4) 足立昭平: 人口粗度の実験的研究, 土木学会論文集, 第104号, pp.33-44, 1963.1.