

回転円筒形実験装置内の2粒径混合粒状体の偏析現象

防衛大学校 正会員 ○ 香月 智
学生会員 堀口俊行

1 緒 言

わが国は、国土の大部分を山地や丘陵地が占め、集中豪雨や台風により土石流や地すべり等の土砂災害が頻発している。土石流は、斜面上を土砂の塊として移動するもので、自重によって移動する集合運搬と流水の運搬力によって移動する集合運搬と流水の運搬力によって移動する各個運搬の中間的な移動形態であり、段波形状を呈しながら粒子・水一体となって流れている¹⁾。その多くは、流下過程で分級現象が生じ、巨礫が浮き上がり上層部に出ることにより、速い流れに乗り先頭部に巨礫が集中することにより、大きな破壊力を生じさせると言われている²⁾。しかし、段波形状とならない土石流や、巨礫のみが流下過程の途中でとどまり流れず、土砂流だけが流れているといった報告もあり、その移動形態は正確に解明されていない。

そこで本研究は、巨礫が先頭部に集中する土石流の基本メカニズムである分級現象の基礎実験として回転円筒形実験装置を用いて異なる2粒径のガラスビーズによる分級現象³⁾の生起条件について検討したものである。

2 実験手順

2.1 実験条件

写真-1 に実験で用いた回転円筒形実験装置を示す。この実験装置は、直径 92cm、幅 20cm で中央部に自転車の後輪ギヤがあり、ペダル側のギヤによって手動で回転させるものである。装置全体の壁面は、アクリル板で構成されており、事前の滑り実験⁴⁾により、ガラスビーズ同士、ガラスビーズとアクリル板間の摩擦は、それぞれ 10°、20°である。なお、自転車のスピードメーターによって回転速度を測ることができ、底面速度として SI 単位系で表示することとした。

表-1 に、供試体の諸元を示す。各供試体の粒径は等粒径であり、3 種類とも比重は 2.6 である。

2.2 実験内容

底面速度を徐々に大きくすると、当初粒状体全体は一つの塊として上下に移動する。その際、それぞれのガラスビーズの配列は変化なく個々が密着しばらばらに運動したりはせず、偏析はあまり生じないように見受けられる。その後、粒状体の集まりがほぼ同じ位置にとどまる現象となる。これを平衡塊と呼ぶものとする。その後、さらに速くすると、粒が暴れはじめ一つの粒状体として形状を保てずに、個々の配列が常に変わることとなる。よって、平衡塊はできずガラスビーズそれぞれが不規則な運動を繰り返す。

本実験では、図-1 に平衡塊の各諸元の角度の定義を示す。写真-2 には、バランス角に達した①と③の混合実験の一例を示す。よって、図-1 に示すようにその中心点が鉛直線となす角をバランス角 θ_c に、集合体の先

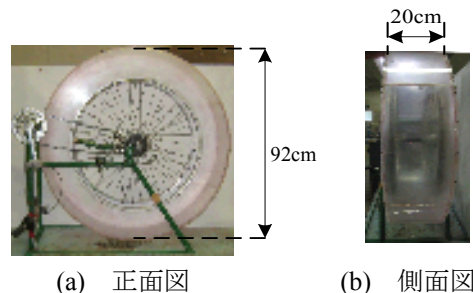


写真-1 回転円筒形実験装置

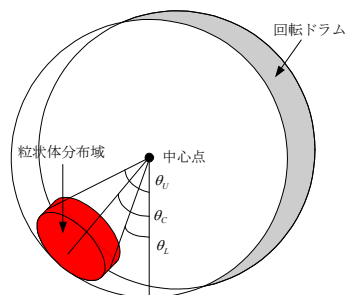


図-1 バランス角の測定要領

表-1 ガラスビーズの諸元

供試体	比重	粒径(mm)	写真
①	2.6	25	
②	2.6	15	
③	2.6	8	

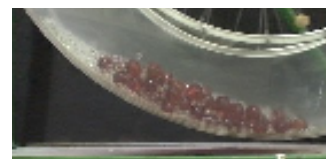


写真-2 平衡塊の一例

頭部の角度を先頭角 θ_L 、後尾部を後尾角 θ_U とし、全体の広がりや安定状態を表す代表値とした。また、事前実験では単粒におけるバランス角の実験を各供試体ごとに行った。

3 実験結果と考察

3.1 1 粒径の実験

まず、1 粒子の供試体の転がり摩擦を計測した。底面速度 1.0m/s 付近で計測したところ実験開始の段階では上下に動くものの、ほぼ真下にとどまり、表-2 に示すようにほぼ 0°である。その後、底面速度を上げると、粒子は飛び跳ねはじめ、前後に行き来するようになる。

なお、参考までにこれらの供試体を回転固定して、

キーワード 分級現象, 偏析, 土石流, 回転円筒形実験装置

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

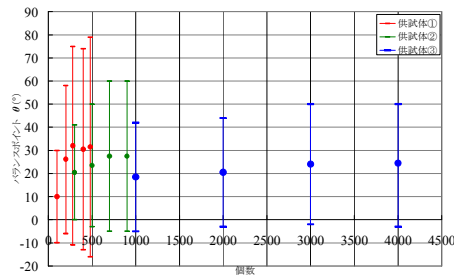
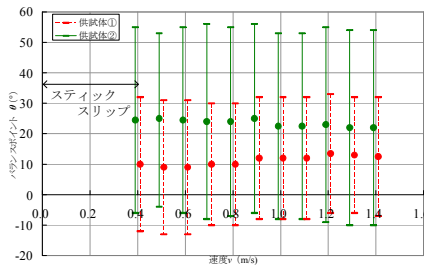
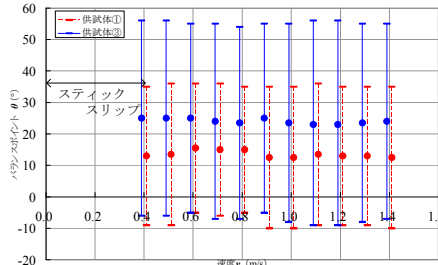


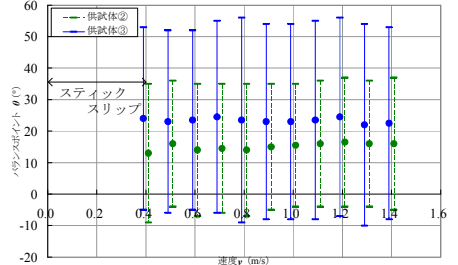
図-2 バランス角～個数関係



(a) 供試体①(160 個)と②(500 個)



(b) 供試体①(160 個)と③(4000 個)



(c) 供試体②(500 個)と③(4000 個)

図-3 バランス角～底面速度関係

底面材料であるアクリル面との回転装置内での滑り摩擦角を求めるとすべり実験と同様の 20° であった。つまり、ガラスビーズにおける単一粒子の転がり抵抗は、球体であるため粒径に関わらずほぼ 0° になる。

3.2 単粒形群の実験

次に、各供試体ごとの粒状体全体のバランス角について調べた。この場合、粒の数によってバランス角が変化する。図-2にバランス角～個数関係を示す。図中の線の中央にある●は θ_c に対応し、上下に伸びる線の上下端はそれぞれ θ_U , θ_L に対応している。図中の赤線で示した供試体①では、100 個では $\theta_c = 10^\circ$ であるが、倍の 200 個では $\theta_c = 26^\circ$ となり個数が増えるとバランス角が増える傾向がある。しかし、300 個以上では $\theta_c \approx 30^\circ$ と収束し、 $\theta_U \approx 75^\circ$, $\theta_L \approx -15^\circ$ となっている。同様に供試体②では、700 個以上では $\theta_c \approx 28^\circ$, $\theta_U \approx 60^\circ$, $\theta_L \approx -5^\circ$ 、供試体③は 3000 個以上で $\theta_c \approx 24^\circ$, $\theta_U \approx 50^\circ$, $\theta_L \approx -2^\circ$ となる。以上の結果を表-2にまとめて示す。

3.3 2 種類混合状態における実験

3 種類の供試体(①:160 個, ②:500 個, ③:4000 個)を 2 種類ずつ組み合わせさせた試験材料を作成し、回転速度を徐々に増大し、分級が生起する場合のバランス角における各供試体の状態を調べた。図-3 には、各組み合わせケースごとのバランス角～底面速度関係を示す。図-3(a)に示した供試体①と②の組み合わせでは、概して速度 $0 \sim 0.2 \text{ m/s}$ において、粒状体の塊として固体のような状態で動くことが多くなる。しかし、 0.4 m/s では、バランス角で安定し平衡塊を形成し明瞭に分級され供試体①は $\theta_c \approx 10^\circ$ を中心に $\theta_U \approx 31^\circ$, $\theta_L \approx -12^\circ$ の範囲で分布するが、小粒径の供試体②は $\theta_c \approx 25^\circ$ を中心に $\theta_U \approx 55^\circ$, $\theta_L \approx -5^\circ$ の範囲に分布する。すなわち、2 つの供試体は分離して、大粒径の供試体①が前方に押し出されたような運動状態で安定する。ここで供試体①, ②を用いた単一群における $\theta_c = 23^\circ$, 23.5° であるので、供試体①の混合実験での θ_c と比較しても前方にあることがわかる。一方の小粒径供試体②は、バラン

表-2 単粒群のバランス角

供試体	1 粒子	群	備 考
①	$\approx 0^\circ$	θ_L 75°	300 個以上
		θ_c 30°	
		θ_U -15°	
②	$\approx 0^\circ$	θ_L 60°	700 個以上
		θ_c 28°	
		θ_U -5°	
③	$\approx 0^\circ$	θ_L 50°	3000 個以上
		θ_c 24°	
		θ_U -2°	

ス角はほぼ同じであるが、後尾角(θ_U)は単粒よりも大きく、先頭部(θ_L)は小さくなって広域に分布している。つまり、分級現象が生じてる場合には小粒径の固有の平衡塊の運動の上に大粒径供試体があり、前方に押し出される力を受けているように見受けられる。この傾向は、図-3(b), (c)の供試体①と③, ②と③でも同様である。なお、図-3(a), (c)では、底面速度が大きくなるにつれて、各供試体の中心角(θ_c)が徐々に近づいてその差が小さくなっている。これは底面速度が 3.0 m/s 以上になると全体が安定を失い分級現象が失われることにも関係しているようである。

4 結言

本研究は、巨礫が先頭部に集中する土石流の基本メカニズムである分級現象の基礎実験として回転内実験装置を用いて異なる 2 粒径のガラスビーズを用いた混合状態による分級現象³⁾の生起条件について検討したものである。ガラスビーズを用いて、回転円筒内実験装置における分級現象について検討した。その結果、粒径の異なる 2 種類の混合粒子群は、 $0.4 \text{ m/s} \sim 1.4 \text{ m/s}$ の領域で明瞭な分級現象が生じ、大粒径が粒状体の中央部より浮き上がり、上層部に浮き上がるにより前面に押し出され、大粒径が前方に集中することを示した。

参考文献

- 1) 高橋保：地質・砂防・土木技術者/研究者のための土石流の機構と対策：近未来社，pp.46-47，2004.
- 2) 地盤工学会：土石流，pp.1-12，2003.7
- 3) 山野邦明，大同淳之：二粒径からなる混合粒径粒子流の流動機構，土木学会論文集，第 357/II-3，1985.5
- 4) 田中久一郎：摩擦のおはなし，pp.33-137，1985.3
- 5) 前田健一，舘井恵，福岡雅俊：個別要素法を用いた粒子流れの構造と大粒径の浮き上がりのマイクロメカニクス，砂防学会誌，Vol.64，No.4，pp.3-14，2011.6