

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

防衛大学校 建設環境工学科 学生会員 ○長池 広樹 堀口 俊行 正会員 香月 智

1 緒言

近年，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多く発生している．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・水一体となっていて流れている¹⁾．その多くは，先頭部に巨礫が集中し，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も観測されており，その移動形態の分岐条件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円筒形の回転ドラム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 に実験で用いた円筒形の回転ドラム実験装置を示す．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で回転させるものである．なお，自転車スピードメーターによって回転速度が測れる．

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．

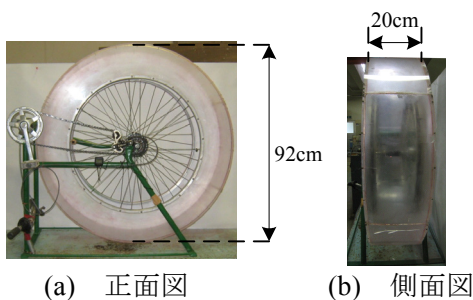


写真-1 実験装置

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	

2.2 実験内容

回転速度を徐々に大きくすると，当初はスティックスリップ現象⁴⁾が生じ，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．これをバランスポイントと呼ぶものとする．その後，さらに速くすると，粒が暴れはじめバランスポイントは失われる．本実験では，図-1 にバランスポイントの各諸元の角度の定義を示す．写真-2 には，バランスポイントに達した①と③の混合実験の一例を示す．図-1 に示すようにその中心点が鉛直線となす角を θ_c に，集合体の先頭部の角度を θ_L ，後尾部を 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ポイントの実験を各供試体ごとに行った．

3 実験結果と考察

3.1 単粒実験

まず，1 粒子の供試体のバランスポイントを求めた．底面速度 0.8m/s 付近でバランスポイントは得られ，表-2 に示すようにほぼ 0° である．その後，回転速度を上げると，粒子は飛び跳ねはじめ，前後に行き来する．なお，参考までにこれらの供試体を回転固定して，底面材料であるアクリル面との滑り摩擦角を求めると 20° であった．つまり，単一粒子のバランスポイントは転がり抵抗のバランス角を示しており，その値がほぼ 0° となる．

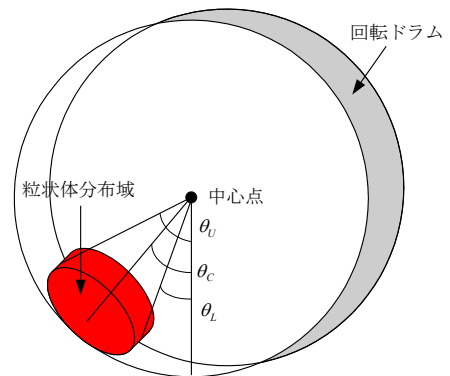


図-1 バランスポイントの測定要領



写真-2 バランスポイントの一例

キーワード 分級現象，土石流，粗粒材

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

続いて、各供試体ごとの塊のバランスポイントについて調べた。この場合、粒の数によってバランスポイントが変化する。図-2 にバランスポイント～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ポイントの角度が増える傾向がある。しかし、300 個以上では $\theta_C=30^\circ$ と収束し、 $\theta_U=75^\circ$ 、 $\theta_L=-15^\circ$ となっている。同様に供試体②では、700 個以上では $\theta_C=28^\circ$ 、 $\theta_U=60^\circ$ 、 $\theta_L=-5^\circ$ 、供試体③は 3000 個以上で $\theta_C=24^\circ$ 、 $\theta_U=50^\circ$ 、 $\theta_L=-2^\circ$ となる。以上の結果を表-2 にまとめて示す。

3.2 2 種類混合実験

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ポイント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ポイントの角度～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 0～0.2m/s において、スティックスリップ状態となることが多くなる。しかし、0.4m/s では、バランスポイントで安定し明瞭に分級され供試体①は $\theta_C=10^\circ$ を中心に $\theta_U=31^\circ$ 、 $\theta_L=-12^\circ$ の範囲で分布するが、小粒径の供試体②は $\theta_C=25^\circ$ を中心に $\theta_U=55^\circ$ 、 $\theta_L=-5^\circ$ 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、中心角はほぼ同じであるが、後尾部(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、分級状態では、小粒径の固有のバランスポイント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 2.0m/s 以上になると全体が安定を失い分級が失われることにも関係しているようである。

4 結言

ガラスビーズを用いて、回転ドラム実験装置内での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、0.4m/s～1.4m/s の領域で明瞭な分級現象が現れ、大粒径のものが前面に押し出される運動を示した。

5 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) 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

表-2 単粒群のバランスポイント

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°	

※底面との滑り摩擦角(20°)

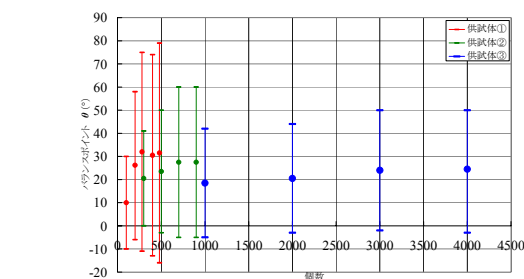


図-2 粒塊個数がバランスポイントに及ぼす影響
($v=0.8\text{m/s}$)

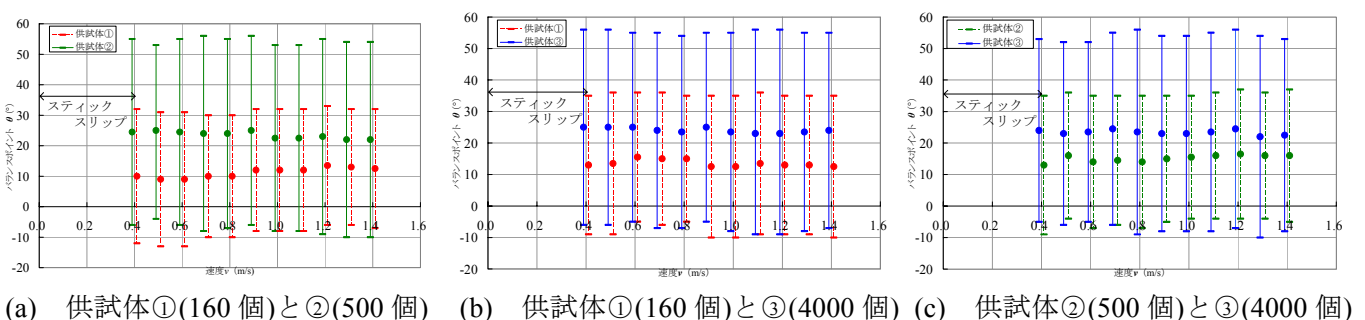


図-3 バランスポイント～底面速度関係