

粒径の異なる粒子の流動時の挙動に関する基礎的実験

東北学院大学 工学部 環境建設工学科 ○保坂 直道
大宮 美香
飛田 善雄

1.はじめに¹⁾

粒状体の流動に対する適切な理解が、地盤工学においても様々な場合に必要となる。液体の流動挙動とは全く異なる。例として、液体の底面から流れ出す速度は高さの平方根に比例するが、粒状体の場合には高さによらずほぼ一定であることが挙げられる。地盤工学における流動問題としては、土石流、泥流、液状化に伴う流動などをあげることができるが、極めて難しい挙動であるので、簡単な条件での粒状体の流動に対する理解が必要となる。

ここでは、着色した大きなガラスビーズと無着色の透明なガラスビーズの粒径の異なる粒子2種類を用いた流動現象を対象とした実験結果について報告する。

2.粒子の物性

今回の実験では、粒径の異なるほぼ球状のガラスビーズ2種類を用いた。その基本的物性を表-1に示す。

表-1 粒子の物性

ガラスビーズ	粒径 D(mm)	粒子密度 ρ (g/cm ³)	安息角 θ°
No.04	0.35~0.50	2.504	27.0°
No.2(染色前)	1.5~2.5	2.516	19.1°
No.2(染色後)	1.5~2.5	2.516	21.4°

なお、No.2のガラスビーズは水で十倍に薄めた墨汁を用いて染色した。

3.実験項目

対象とした実験項目とその実験における主要な観察結果を以下に記す。

1)円筒の中の粒子の挙動

円筒形ドラムを長軸まわりにゆっくりと回転させた。表面に近い粒子がまとまって移動する雪崩に似た現象が生じる(以下ではこれを「なだれ」とよぶ)。また回転を止めたときの振動による偏析(混合物が流れたり振動したりすることで成分が分離する現象)が観察された。

2)ボウルの中の粒子の挙動

ボウルを左右交互にゆっくりと30°傾けた。表面の大小の「なだれ」による粒子の分離、上昇した大きい粒子の壁面

付近への堆積が観察された。

3)矩形断面のガラス槽の中の粒子の挙動

矩形断面のガラス槽を左右交互にゆっくりと30°傾けた。表面の大小の「なだれ」による粒子の分離、上昇した大きい粒子の壁面付近への堆積が観察された。

4)斜面を流れる粒子の挙動

粒子の混合状況、斜面の傾斜角や長さを変え、側壁境界のある斜面に粒子を流した。流れの中での大きい粒子の上昇、すなわち分離現象が観察された。傾斜角が大きいときには、粒子が飛び跳ねる現象が観察された。

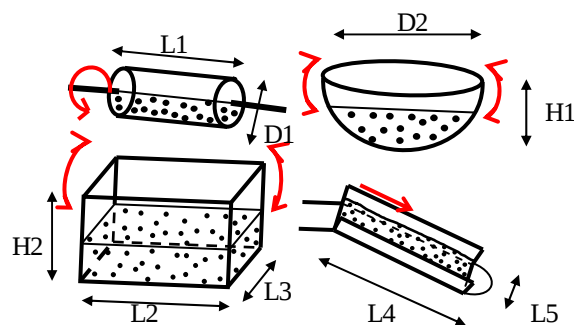


図-1 各実験の実験状況

各実験器具の寸法は以下の通りである。

円筒形ドラム：L1=29.5cm、D1=7.8cm

ボウル：H1=10.0cm、D2=26.0cm

ガラス槽：L2=31.5cm、L3=18.5cm、H2=24.4cm

斜面：L4=100.0cm、L5=10.0cm

4. 粒径の異なる粒子の分離挙動の観察

いずれの実験においても、大きな粒子と小さな粒子の分離挙動が見られた。

1)円筒の中での粒子の分離

円筒ドラムを回転させると安息角に近い角度で「なだれ」が起こり、斜面下方へ流れるとともに、径の大きい着色粒子が自由表面に多く現れた。

2)ボウルの中での粒子の分離

一部の表層のみ小さい「なだれ」が起きた後に、大きい「なだれ」が起きた。大きい粒子は自由表面に現れ、さらに、傾けた方向の壁面付近に集まった。

3)矩形断面のガラス槽の粒子の分離

一部の表層で「なだれ」が起きたあとに、全体で「なだれ」が起き始めた。大きい粒子は表面に多く現れ、傾けた方向の壁面側に集まった。また側面側でも、大きい粒子は上昇し側面側にも集まった。

4) 斜面を流れる粒子の分離

初期状態で、粒径の異なる粒子を混合させた場合と分離させた場合の2種類の実験を行った。その実験結果を図2に示す。実験では、斜面より流れ出す粒子の上層に位置する粒子を収集し、大きな粒子の占める割合を求めた。図2.1,2.2には多数の実験の平均値とばらつきを併せて示した。実験のばらつきが大きく明瞭な結果を得ることはできなかったが、傾向としては以下のことが言える。

混合させた場合：2種類の粒子を同じ質量比（1：1）で混合させたため、大きい粒子の割合は初期状態で50%である。これを流下させると上層での大きい粒子の割合は増加した。斜面の傾斜を大きくしても、必ずしも増加する量が増えるわけではなかった。

分離した場合：大きい粒子を下層、小さい粒子を上層に粒子を二層に分けた。これを流下させたとき、初期状態では上層は小さい粒子のみであるが、流下後には大きい粒子が上昇し、小さい粒子の割合が50%程度にまで下がっていた。これは混合したときに比べ大きい粒子の上昇した割合が大きく増加したことを意味している。また傾斜を大きくしても、必ずしも大きい粒子の増加する量が増えるわけではなかった。

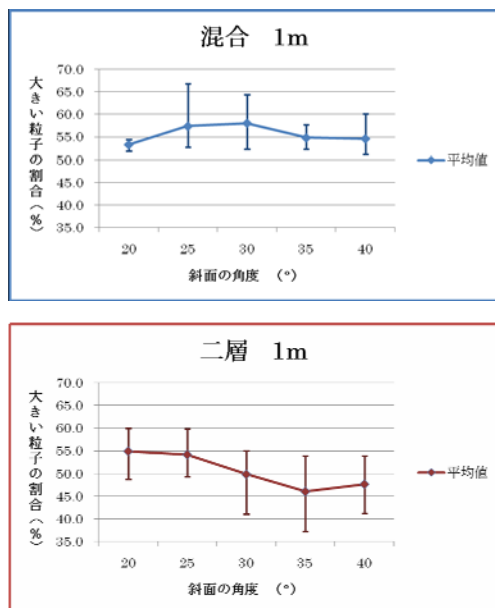


図-2 1m 流下後の上層での大きい粒子の割合

斜面の長さを 0.5m にすると、大きい粒子が上昇する量は、1.0m で流下させたときに比べ減少した。傾斜角による

大きい粒子の割合も 1.0m のときに比べて少なくなっていた。

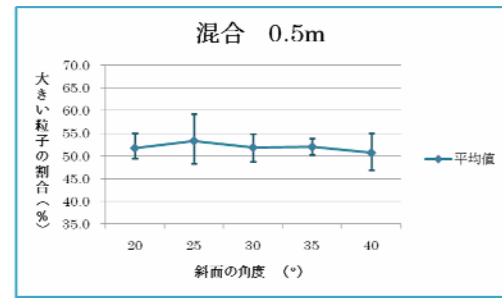


図-3 0.5m 地点の上層での大きい粒子の割合

5. 考察

様々な状態での2つの異なる粒子を用いた粒状体の流動の様子を観察した。

特に、大径の粒子と小径の粒子の分離挙動について考察した。既往の研究²⁾によると、大小粒子の分離現象のメカニズムとしては、次の3つが考えられている：（1）粒子の対流的現象の発生、（2）小さな粒子が大きな間隙に落ちる確率が高いことによる相対的な大きな粒子の上昇、（3）ひずみ速度勾配の高い表面付近への大きな粒子の移動。今回行った実験において、これらのメカニズムのどれが卓越しているのかについて、明確な考察を行うことができなかった。

6. まとめ

本実験では粒径の異なる粒子が混合されたとき、様々な条件のもとで、どのような挙動が観察されるのか、特に粒径分離に注目した。

- 1) 「なだれ」の中の粒子は容器を使った実験では、大きい粒子と小さい粒子の分離現象が見られた。
- 2) 斜面を流れる粒子でも分離現象は見られたが、傾斜が大きくなり、粒子の移動速度が増加するとともに分離が大きくなるわけではなかった。

本研究では、どの実験でも粒子の分離の現象は見られた。しかし、それぞれの実験における粒子の分離の詳しいメカニズムを解明することはできなかった。

7. 参考文献

- 1) 中西秀、奥村剛(2002)：「粉粒体の物理学」、吉岡書店
- 2) Bridgewater(1993)：Mixing and Segregation Mechanisms in Particle Flow, in Granular matter (ed. Anita Mehta), Springer-Verlag, New York, Inc. pp.161-193