

堆積過程における粒径や土砂濃度の影響に関する実験的研究

筑波大学大学院 ○寺田 竜馬
筑波大学生命環境系 内田 太郎・山川 陽祐

1. 研究の背景

近年、我が国では豪雨による土砂災害が頻発しており、それに伴い、毎年日本各地で甚大な被害が発生している。人命やインフラを守る為にも土石流の対策は重要であり、その為には、土砂災害を引き起こす土砂移動現象の挙動の解明が必要不可欠となる。既往研究により、土石流中は粒径数 m から 0.1 mm 以下の土砂まで多様な粒径で構成されており、巨礫が被害を大きくするものの、細粒土砂の堆積の仕方によって、土石流の挙動（例えば、流速や流動深、到達範囲）が大きく変化することが明らかになってきた（Nishiguchi, and Uchida, 2022）。また、土石流堆積時の挙動には、細粒土砂の挙動に起因する過剰間隙水圧が影響していると考えられる（Major, 2000）しかし、土石流中の細粒土砂の挙動の詳細は未だ明らかになっていない。

2. 研究目的

土石流の挙動に大きく影響していると考えられる細粒土砂の堆積時の挙動を簡易的な室内実験により検討することを目的とした。具体的には、土石流を構成する材料の粒径分布や体積濃度が、堆積物の体積分率や堆積物内の間隙水圧に及ぼす影響を検討した。

3. 方法

透明な円柱型の容器（内径 7.8 cm, 高さ 10.0 cm）に、水 200 cm³, 土砂（粒径 $D = 0.2, 0.5, 1.5$ mm）を投入し、攪拌機（AS ONE HIGH-POWER MIXER SM-103）により十分攪拌することにより、土石流を模した状態を再現した。次に攪拌を停止し、最長 24 h 放置して、堆積物及び容器底面に設置したマノメータ（内径 6 mm）の様子をカメラ（HC-VX992MS）により撮影した。実験条件は 13 ケースとし（単一粒径（実験 1~9）、2 粒径（実験 10~13））、各ケース 3 回ずつで実験を実施した。なお、攪拌機と実験装置は Figure 1, 2 に、各実験ケースは Table 1 に示した。また本実験では、(1) 過剰間隙水圧（静水圧を上回る水圧）が容器底面で発生しない状態での体積分率・攪拌終了後に一定となった堆積物の体積分率、(2) 過剰間隙水圧の最大値（Pa）を画像から計測した。堆積物の体積分率は堆積物表面の容器壁面部高さから、過剰間隙水圧はマノメ



Figure 1 攪拌機



Figure 2 実験装置

一タの水位からそれぞれ計測した。なお、体積分率は堆積物全体の見かけの体積に占める土砂の体積の比率を指す。

Table 1

「単一」は単一粒径を、「混合」は 2 粒径を表す。また、 $V_{1.5}, V_{0.2}$ は、それぞれ $D = 1.5$ mm, 0.2 mm の土砂の体積を表す。なお実験 10~13 では、 $D = 0.2$ mm の体積を 74.1 cm³（Ex.2 と同じ条件）で固定し、粒径分布に応じて $D = 1.5$ mm の土砂の体積（cm³）を変えた。

Ex.	粒径分布 (mm)	土砂濃度 C (cm ³ /cm ³)	攪拌速度 (rpm)
1	単一 0.2	0.33	719
2	単一 0.2	0.26	500
3	単一 0.2	0.21	430
4	単一 0.2	0.10	350
5	単一 0.5	0.26	600
6	単一 0.5	0.21	500
7	単一 0.5	0.10	400
8	単一 1.5	0.21	719
9	単一 1.5	0.10	520
10	混合 $V_{1.5} : V_{0.2} = 10\% : 90\%$	0.29	500
11	混合 $V_{1.5} : V_{0.2} = 20\% : 80\%$	0.32	600
12	混合 $V_{1.5} : V_{0.2} = 30\% : 70\%$	0.35	650
13	混合 $V_{1.5} : V_{0.2} = 38\% : 62\%$	0.37	719

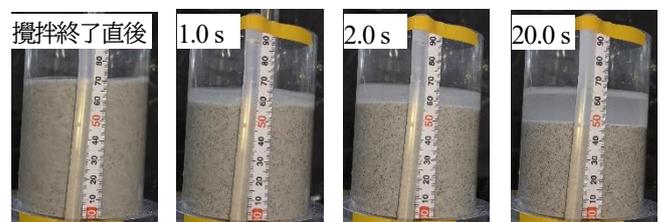


Figure 3 実験 1

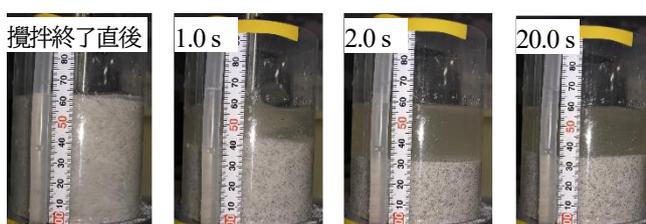


Figure 4 実験 5

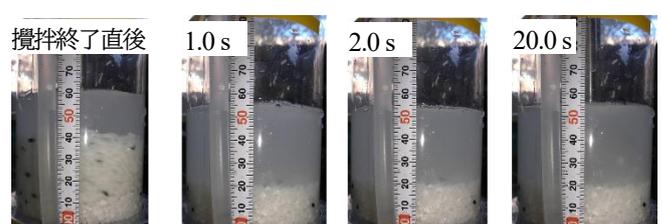


Figure 5 実験 8

4. 結果と考察

実験 1, 5, 8 の様子は Figure 3~5 に示した。

4.1 土砂濃度ごとの体積分率

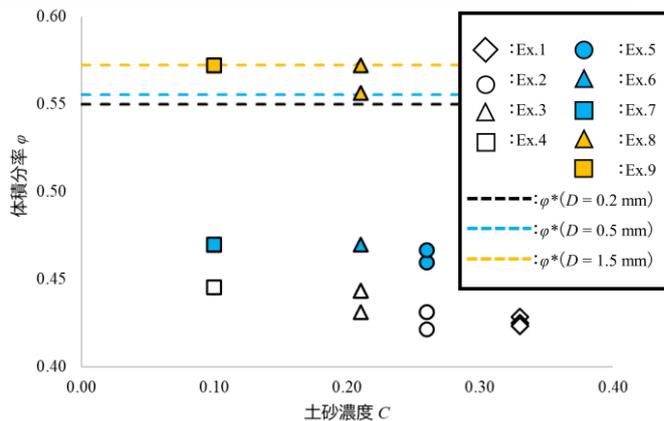


Figure 6 攪拌終了後に一定となった体積分率 (単一粒径)

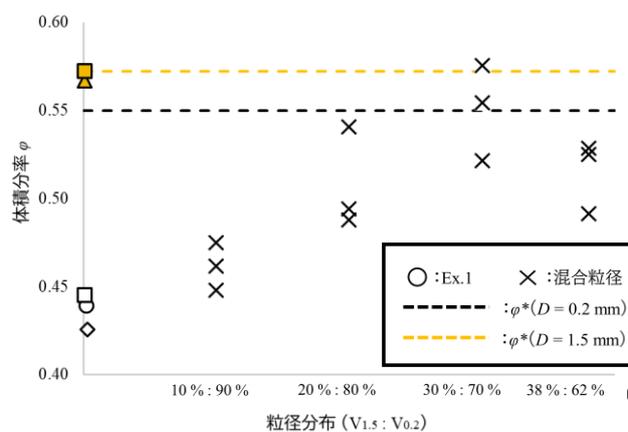


Figure 7 攪拌終了後に一定となった体積分率 (混合粒径)

まず、単一粒径の場合 (実験 1~9) の過剰間隙水圧が発生しない状態での体積分率は、 $D=0.2\text{ mm}$ では 0.550、 $D=0.5\text{ mm}$ では 0.555、 $D=1.5\text{ mm}$ では 0.572 となり、粒径 D に寄らずほぼ同じ値となった。攪拌終了後に堆積形状に変化が見られなくなった際の土砂の体積分率は、粒径 D が大きい程大きな値となり、 $D=1.5\text{ mm}$ では過剰間隙水圧が発生しない状態での体積分率とほぼ一致した。一方で、 $D=0.2, 0.5\text{ mm}$ のケースでは、堆積時の土砂の体積分率は過剰間隙水圧が発生しない時に比べて、顕著に小さくなり、土砂濃度が高い程体積分率は小さくなった。

2 粒径の場合 (実験 10~13) の堆積終了後の体積分率は、全ケースにおいて、 0.2 mm と 1.5 mm の単一粒径の場合より大きな値となり、 0.2 mm 土砂の割合が大きい時、体積分率は小さくなった。

4.2 土砂濃度ごとの過剰間隙水圧 (Pa)

過剰間隙水圧は、実験 1~3, 5, 6, 10~13 において、観測された。単一粒径の場合では、過剰間隙水圧の最大値は、 $D=0.2\text{ mm}$ の方が $D=0.5\text{ mm}$ よりも大きくなった。また、土砂濃度が大きくなる程、過剰間隙水圧の最大値は大きくなった。2 粒径の場合では、全ケースにおいて単一粒径の場合よりも過剰間隙水圧の最大値は大きな値を示した。また、 $D=1.5\text{ mm}$ の

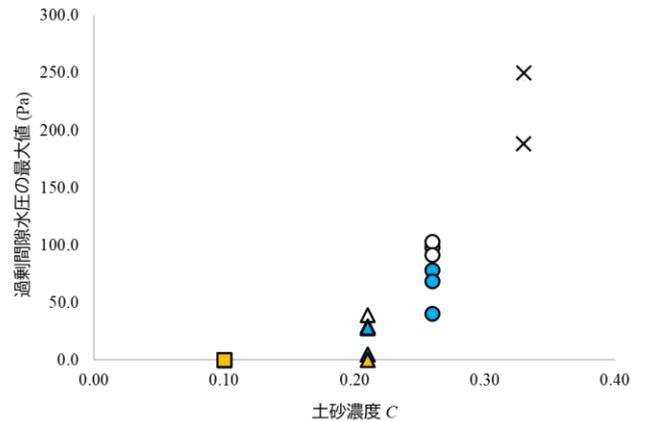


Figure 8 過剰間隙水圧の最大値 (Pa, 単一粒径)

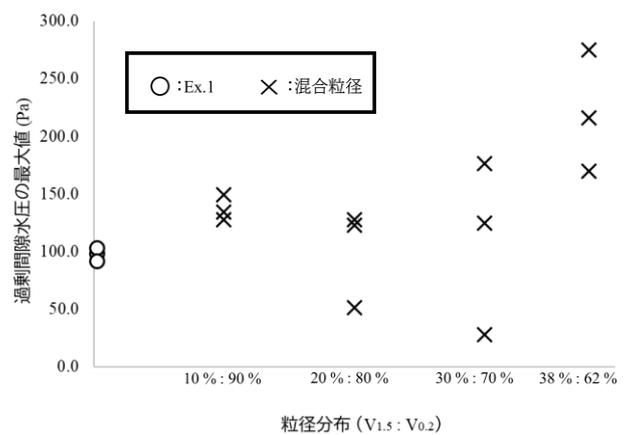


Figure 9 過剰間隙水圧の最大値 (Pa, 混合粒径)

割合が大きくなる程、過剰間隙水圧の最大値は大きくなる傾向が見られた。

5. 結論

単一粒径の場合では、粒径が小さい程、また土砂濃度が大きい程、攪拌終了後に一定となった土砂の体積分率は小さくなり、容器底面で生じる過剰間隙水圧の最大値は大きくなった。また 2 混合粒径の場合では、細粒分の割合が増加するほど、攪拌終了後の土砂の体積分率は小さくなり、過剰間隙水圧の最大値が大きくなった。現時点では、単純な条件でのみ実験を実施しており、今後より詳細な検討をしていく必要がある。

6. 参考文献

- (1) Nishiguchi, Y., Uchida, T., Long-Runout-Landslide-Induced Debris Flow: The Role of Fine Sediment Deposition Process in Debris Flow Propagation, AGU, 2022
- (2) Jon J. Major, Gravity-Driven Consolidation of Granular Slurries: Implication for Debris-Flow Deposition and Deposit Characteristics, Journal of Sedimentary Research, 2000
- (3) Adachi, Y. and Ooi, O., Sediment Volume of Flocculated Material Studied Using Polystyrene Latex Sphere, 1999
- (4) Okura, Y., Fluidization mechanism of landslides and prediction of the travel distance, 2004