

堆積過程における粒径や土砂濃度が堆積物の濃度や構造に及ぼす影響に関する実験

筑波大学大学院 ○寺田 竜馬・佐藤 光平
筑波大学生命環境系 内田 太郎・山川 陽祐

1. 研究の背景と目的

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、土石流などのように、一体となり挙動していた土砂と水が停止・堆積時に急激に分離する際、堆積物内には過剰間隙水圧（静水圧を上回る間隙水圧）がかかること、過剰間隙水圧が堆積物の土砂濃度に影響することが明らかになっている（Major, 2000）。このような土砂堆積過程を考える上で、土砂の粒径や流動時の土砂濃度は、過剰間隙水圧や堆積物の土砂濃度に大きく影響を及ぼすと考えられる。しかし、既往のシミュレーション実験などでは粒径や土砂濃度が一律に設定されることが多く、過剰間隙水圧や堆積物の土砂濃度に及ぼす影響についての研究は不十分である。その為、一体的に流動していた土砂と水が停止時に急激に分離して土砂が堆積する際の、粒径や流動時の土砂濃度が過剰間隙水圧の発生や堆積物の土砂濃度に及ぼす影響を、簡易的な室内実験により検討することを目的とした。

2. 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、単一粒径・混合 2 粒径）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、土砂と水が一体的に流動する状態を再現した。流動時の土砂濃度 C は、0.05~0.33 の範囲で設定した。次に攪拌を停止し、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。実験ケースは Table 1 のように設定し、各ケースを 3~6 回ずつ行った。また、本実験では、(1) 攪拌終了後の堆積物の土砂濃度 C^* の時間変化及び最大値、(2) 過剰間隙水圧の時間変化及び最大値 (Pa)、(3) 過剰間隙水圧が発生しないように堆積させた際の堆積物の土砂濃度 C_{*S} を、撮影した映像から解析して計測した。なお、 C^* および C_{*S} 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 左表は単一粒径、右表は混合 2 粒径の実験ケースを表す。攪拌速度は、全ての土砂が巻き上がる最小の攪拌速度を用いた。 $V_{1.5} : V_{0.2}$ は、粒径 1.5 mm, 0.2 mm の土砂の体積比率を表す。

混合比 ($V_{1.5} : V_{0.2}$)			全体の土砂濃度 C	攪拌速度 (rpm)
0 : 10			0.31	570
1 : 9				580
2 : 8				600
3 : 7				615
4 : 6				630
5 : 5				719
0 : 10			0.21	420
1 : 9				460
2 : 8				460
3 : 7				490
4 : 6				550
5 : 5				590
6 : 4				670
7 : 3				700
8 : 2				700
9 : 1				719
10 : 0				719
0 : 10			0.10	350
1 : 9				360
2 : 8				360
3 : 7				390
4 : 6				390
5 : 5				430
6 : 4				440
7 : 3				450
8 : 2				470
9 : 1				480
10 : 0				600

粒径 (mm)	全体の土砂濃度 C	攪拌速度 (rpm)
0.2	0.33	719
	0.26	500
	0.21	430
	0.15	500
	0.10	450
	0.07	370
	0.05	300
0.5	0.26	600
	0.21	500
	0.15	450
	0.10	400
	0.07	415
	0.05	310
	0.21	719
1.5	0.10	520

3. 結果

3.1 攪拌終了後の堆積物の土砂濃度 C^* の最大値

単一粒径の場合、過剰間隙水圧が発生しないように堆積させた堆積物の土砂濃度 C_{*S} は、粒径によりある程度の違いが生じ、粒径が大きい程大きな値を示した。攪拌終了後の堆積物の土砂濃度 C^* は、粒径 $D=0.2, 0.5$ mm では、流動時の土砂濃度 C が 0.10 以上の時はほぼ一定の値を示したが、0.10 以下の時は C^* は C が小さい程大きな値を示した。なお、 $C=0.03 \sim 0.05$ では C^* は C_{*S} とほぼ同じ値を示した。 $D=1.5$ mm では、 C に依らず、 C^* は C_{*S} とほぼ同じ値を示した。

混合 2 粒径の場合、 $C=0.10, 0.21$ のケースでは、混合比 ($V_{1.5} : V_{0.2}$) = 0 : 10 ~ 5 : 5 の範囲では $V_{1.5}$ が大きい程、 C^* は大きな値を示した。混合比 = 5 : 5 ~ 7 : 3 の範囲で頭打ちになり、混合比 = 7 : 3 ~ 10 : 0 の範囲では $V_{1.5}$ が大きい程、 C^* は小さな値を示した。また、 $C=0.31$ のケースでは、混合比 = 0 : 10 ~ 5 : 5 の範囲の時、 $V_{1.5}$ が大きい程、 C^* は大きな値を示した。 C_{*S}

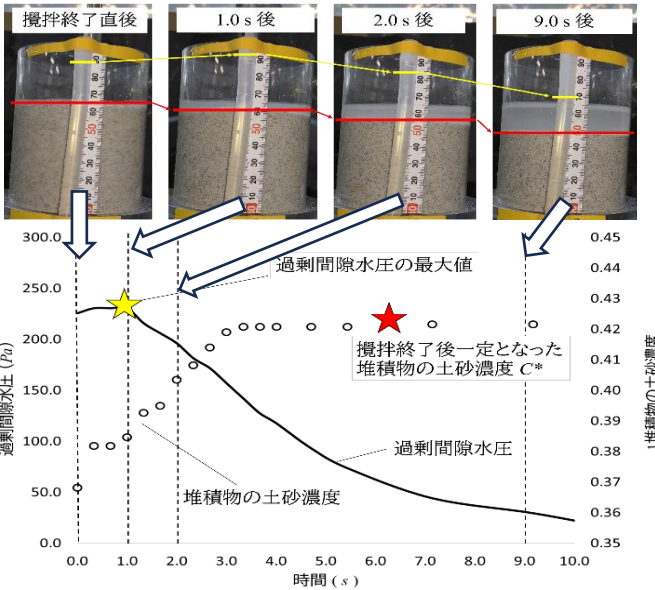


Figure 1 $D=0.2$ mm, $C=0.33$ での実験の様子および堆積物の土砂濃度 C^* ・過剰間隙水圧の時間変化

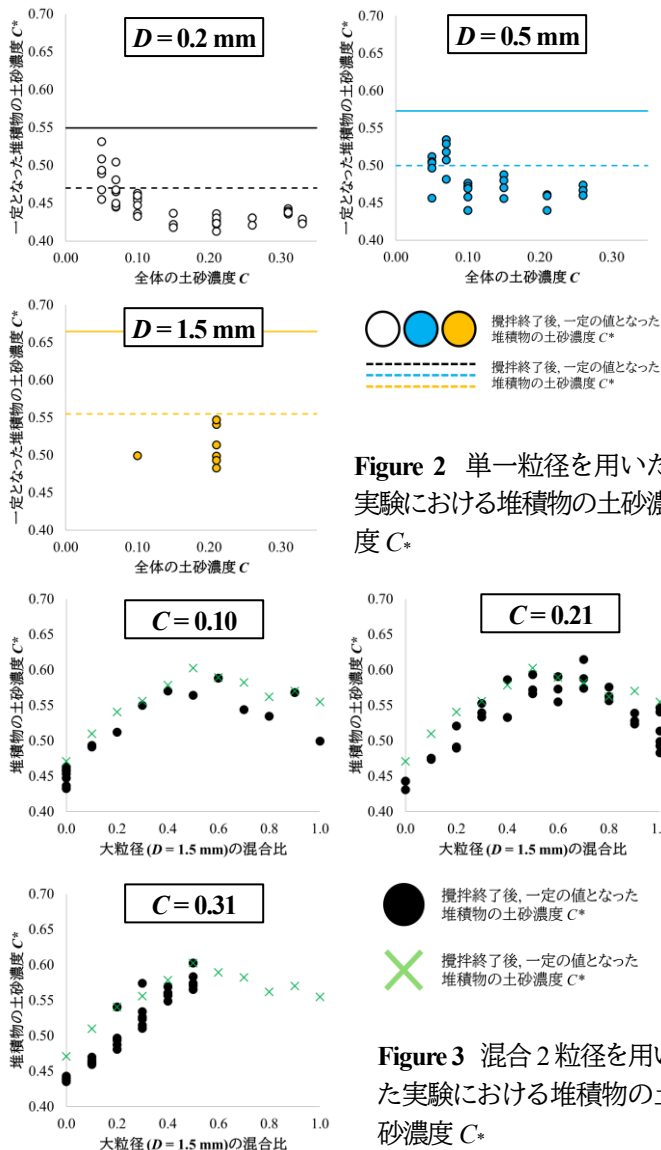


Figure 2 単一粒径を用いた実験における堆積物の土砂濃度 C^*

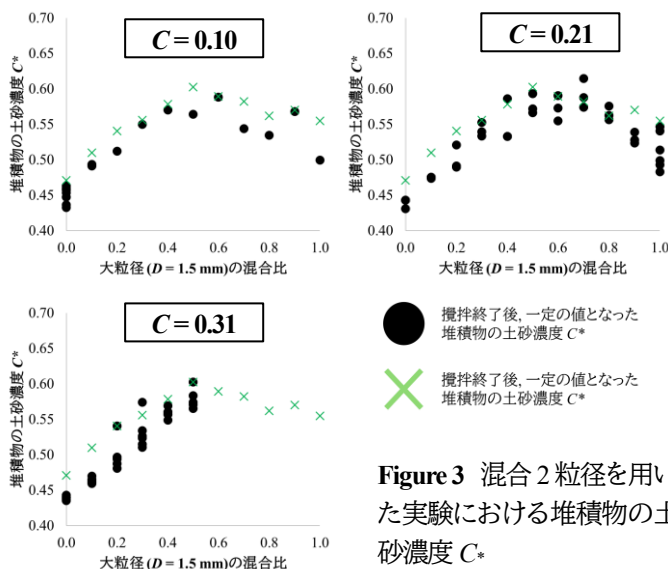


Figure 3 混合 2 粒径を用いた実験における堆積物の土砂濃度 C^*

は、いずれの C においても、混合比 = 0:10~3:7 程度の範囲では、 C^* よりも 0.2 程度大きな値を示した。一方、混合比 = 4:6~10:0 の範囲では、 C^* と C_s はほぼ一致した。

4.2 過剰間隙水圧の最大値 (Pa)

単一粒径の場合、粒径 $D = 0.2, 0.5$ mm では、流動時の土砂濃度 C が大きい程、過剰間隙水圧の値は大きくなった。 $D = 1.5$ mm では、過剰間隙水圧の発生は確認できなかった (Fig. 4)。

混合 2 粒径の場合、 $C = 0.10$ では、過剰間隙水圧の発生は確認できなかった (Fig. 5)。 $C = 0.21$ では、混合比 = 0:10~2:8 の範囲、 $C = 0.31$ では、混合比 = 0:10~5:5 の範囲で過剰間隙水圧の発生が確認でき、 $V_{1.5}$ が大きい程、間隙水圧は小さな値を示した。

4. 考察

土砂堆積時に過剰間隙水圧が発生・消失すると、粒子の骨格構造が変化して堆積物が圧縮される (Major, 2000)。一方、本実験では単一、混合 2 粒径に依らず、過剰間隙水圧が生じたケースと、 $C^* < C_s$ となるケースは概ね一致した。このことから、過剰間隙水圧の発生は堆積物の体積の減少を抑制する可能性が示唆される。

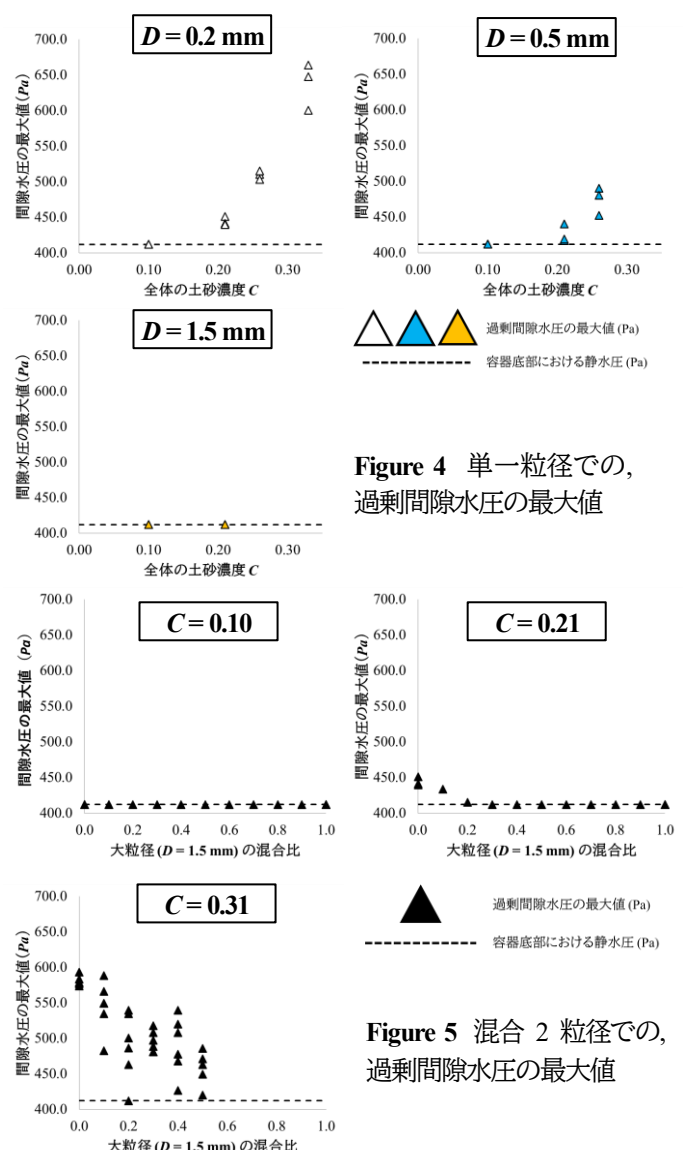


Figure 4 単一粒径での、過剰間隙水圧の最大値

Figure 5 混合 2 粒径での、過剰間隙水圧の最大値

5. 結論

単一粒径の場合、いずれの粒径においても流動時の土砂濃度 $C > 0.10$ では、攪拌終了後の堆積物の土砂濃度 C^* は一定の値となった。 $C > 0.10$ での C^* の平均値は、 $D = 0.2$ mm で 0.436, $D = 0.5$ mm で 0.463, $D = 1.5$ mm で 0.511 となり、粒径が小さい程、小さな値を示した。一方、 $C < 0.10$ では C が小さい程大きな値を示した。混合 2 粒径の場合、混合比 = 5:5~7:3 の範囲で、 C^* は最大となった。また、混合比 = 0:10~3:7 程度の範囲では、 C^* は過剰間隙水圧が発生しないように堆積させた際の堆積物の土砂濃度 C_{s0} よりも小さな値となった。過剰間隙水圧は、 C が大きい程、あるいは粒径が小さい程、大きな値を示した。堆積物の体積減少の抑制には過剰間隙水圧の発生が関係していると考えられ、今後はより詳細に研究を行いたい。

6. 参考文献

- (1) Jon J. Major, Gravity-Driven Consolidation of Granular Slurries: Implication for Debris-Flow Deposition and Deposit Characteristics, Journal of Sedimentary Research, 2000
- (2) Nishiguchi, Y., Uchida, T., Long-Runout-Landslide-Induced Debris Flow: The Role of Fine Sediment Deposition Process in Debris Flow Propagation, AGU, 2022