

土石流の砂成分が先頭部粒度偏析に及ぼす影響

鳥取大学大学院 修士1年
虫明 寛人

発表の流れ

1. 研究の背景と目的
2. 既往研究
3. 実験概要
4. 結果と考察
5. まとめ



出典：NHK NEWS WEB

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210703/k10013118491000.html>

1. 研究の背景と目的

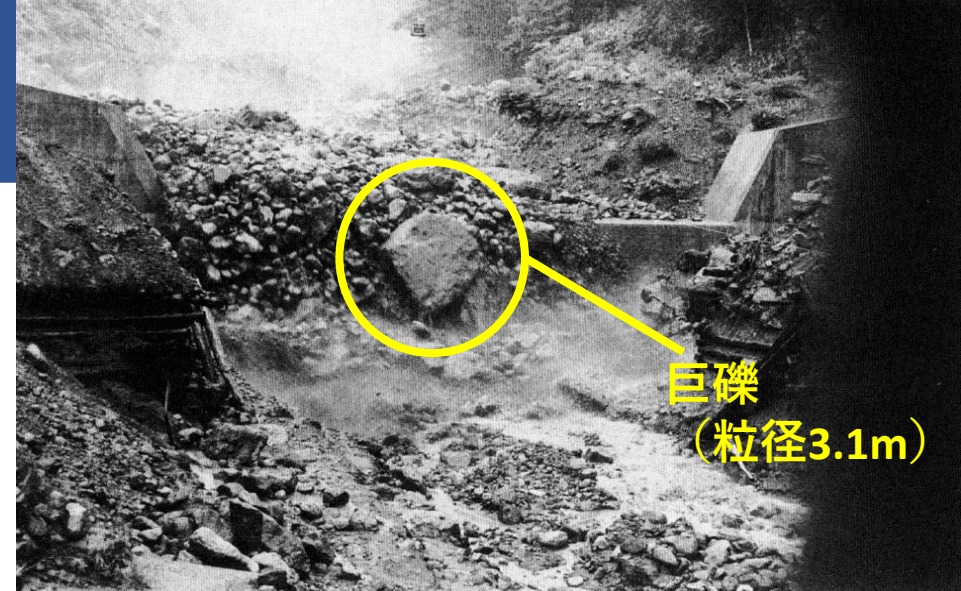
土石流とは

大小さまざまな粒径の砂礫で構成されており、土石流内部で互いに影響を及ぼし合い、先頭部には比較的大きな礫が集積する。

本研究では

土石流の先頭部粒度偏析を把握することを目的とし、混合土砂の粒度構成および流下距離を変化させて水路実験を行った。

特に、「細かい砂」の混入により土石流先頭部粒度偏析がどのように変化するか把握する必要がある。



焼岳上々堀沢での土石流(1976) (奥田ら, 1977)



出典：NHK NEWS WEB
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210703/k100131184910003.html>

2. 既往研究

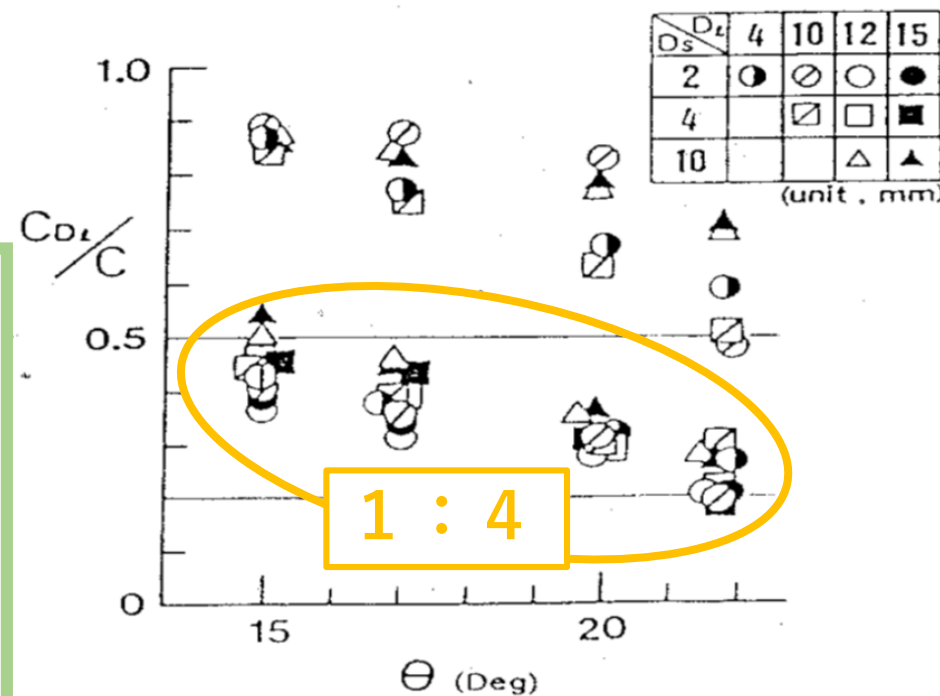
宮本(1985)の実験

土石流の粒度構成に関して粗粒化現象を解明することを目的とし、全長12m、幅10cmの可変勾配水路を用いて、 $\theta = 15^\circ、17^\circ、20^\circ、22^\circ$ の4通りの勾配で、流量1~3L/secの条件で実験を行った。

2mm~15mmの5種類の中から2種類の粒径を組み合わせ、それぞれ大粒子と小粒子の割合を1:1と1:4に混合した。

diameter ratio D : d unit:mm	gradient (degree)			
	15°	17°	20°	22°
4 : 2	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4
10 : 2	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4
12 : 2	1:4	1:4	1:4	1:4
15 : 2	1:4	1:4	1:4	1:4
10 : 4	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4
12 : 4	1:4	1:4	1:4	1:4
15 : 4	1:4	1:4	1:4	1:4
12 : 10	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4
15 : 10	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4	1:1 1:4

- 水路勾配が小さくなるほど、大粒子集積効果が大きくなる。
- 1:4の配合では、大粒子が同じ場合、**小粒子が大きくなるにつれ、大粒子集積が顕著**になる。
→ 集積傾向が小粒子径に影響を受けることから、大粒子集積は小粒子の挙動（パーコレーション）が主な原因



土石流先頭部の大粒子存在割合⁴

2. 既往研究

手法

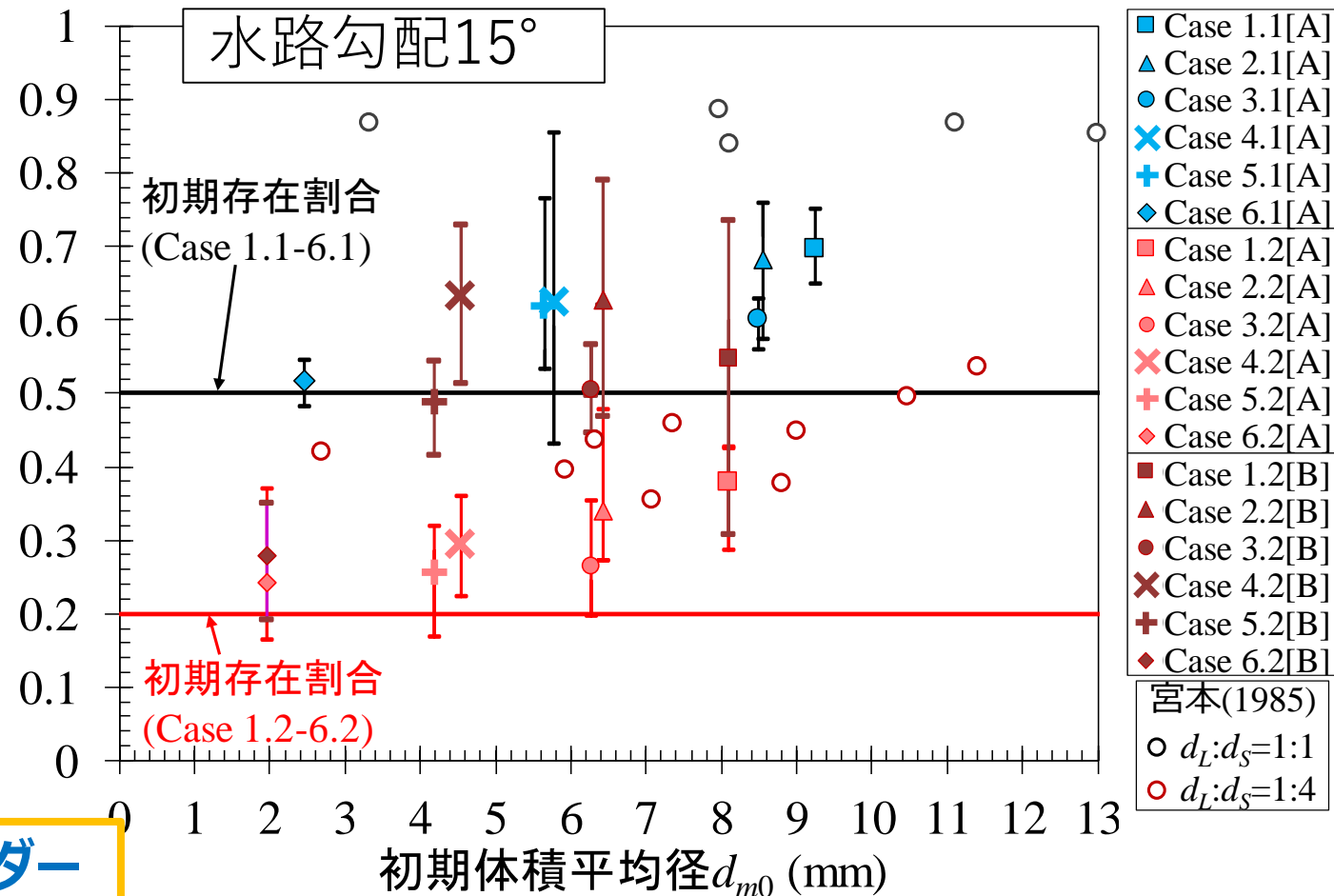
・ 2020年度までの既往研究

1.4~10.7mmの4種類の中から2種類の粒径を組み合わせて、それぞれ大粒子と小粒子の割合を1 : 1と1 : 4に混合し土石流を発生させ、捕捉土砂における各粒子の存在割合を調べた。

結果

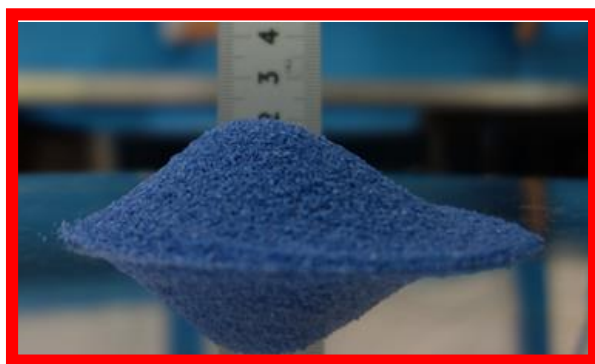
- ・ 体積平均径と先頭部の大粒子存在割合PLが正の相関関係。
- ・ 2つの粒径で行ったため、混合する粒径を増やした場合の傾向を見る必要がある。

本研究では、実験砂に**粒径0.1mmオーダーの「細かい砂」**を追加して3粒径混合土石流における先頭部大粒子集積効果に着目。



3. 実験概要

実験で使用する砂



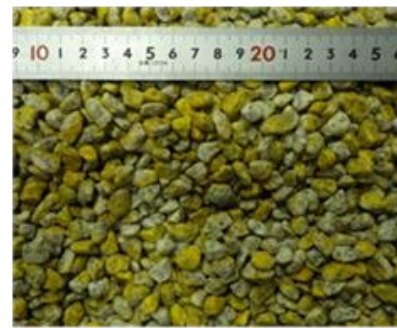
0.6mm



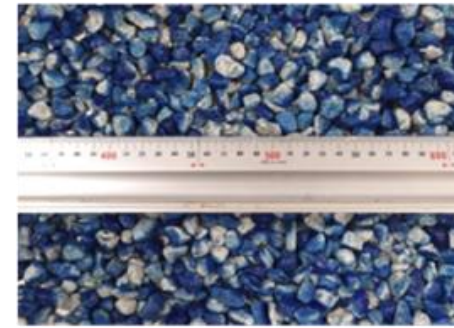
1.4mm



3.0mm



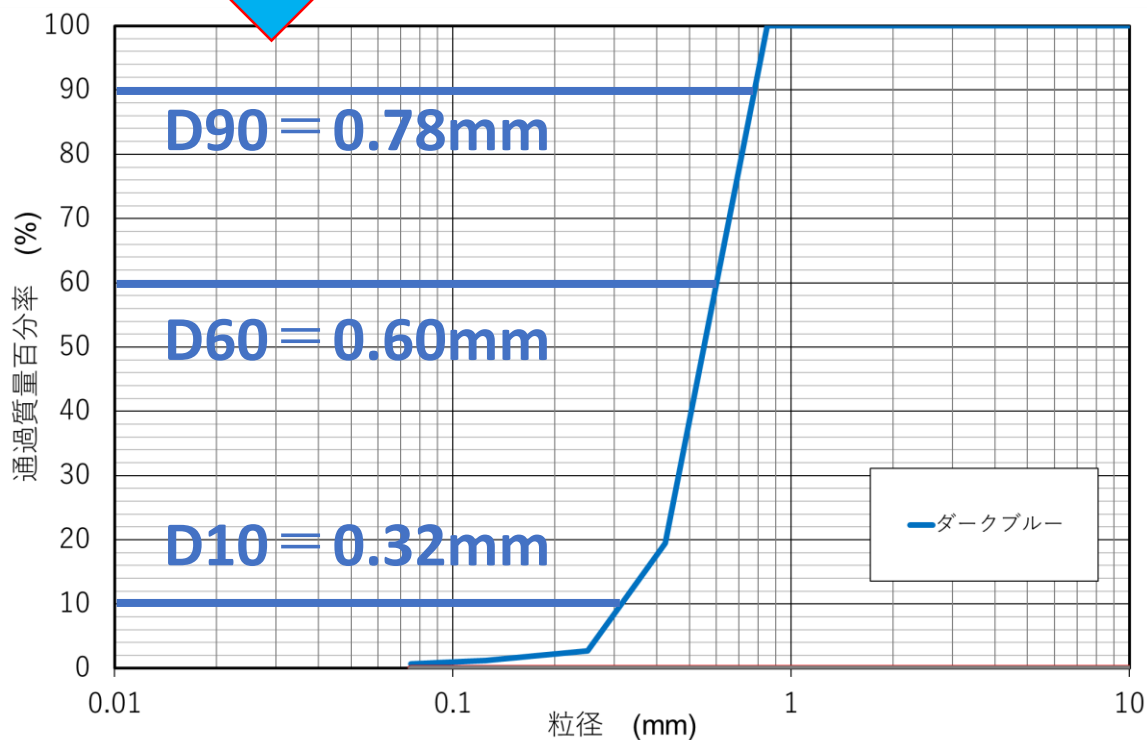
7.1mm



10.7mm

使用実験砂

使用実験砂諸元



	中礫 (青)	中礫 (黄)	細礫	粗砂	青砂	平均値
	10.7 (mm)	7.1 (mm)	3.0 (mm)	1.4 (mm)	0.6 (mm)	
空隙率 λ	0.465	0.435	0.415	0.451	0.449	0.443
内部摩擦角 ϕ	30.500	35.900	33.700	31.300	26.617	31.603
質量密度 σ (g/cm ³)	2.650	2.610	2.690	2.590	2.936	2.695

実験砂は粒径1.4~10.7mmの4つの砂礫から2つを選び、さらに0.6mmの中砂成分を混ぜて3粒径混合土砂を作成する。

3. 実験概要

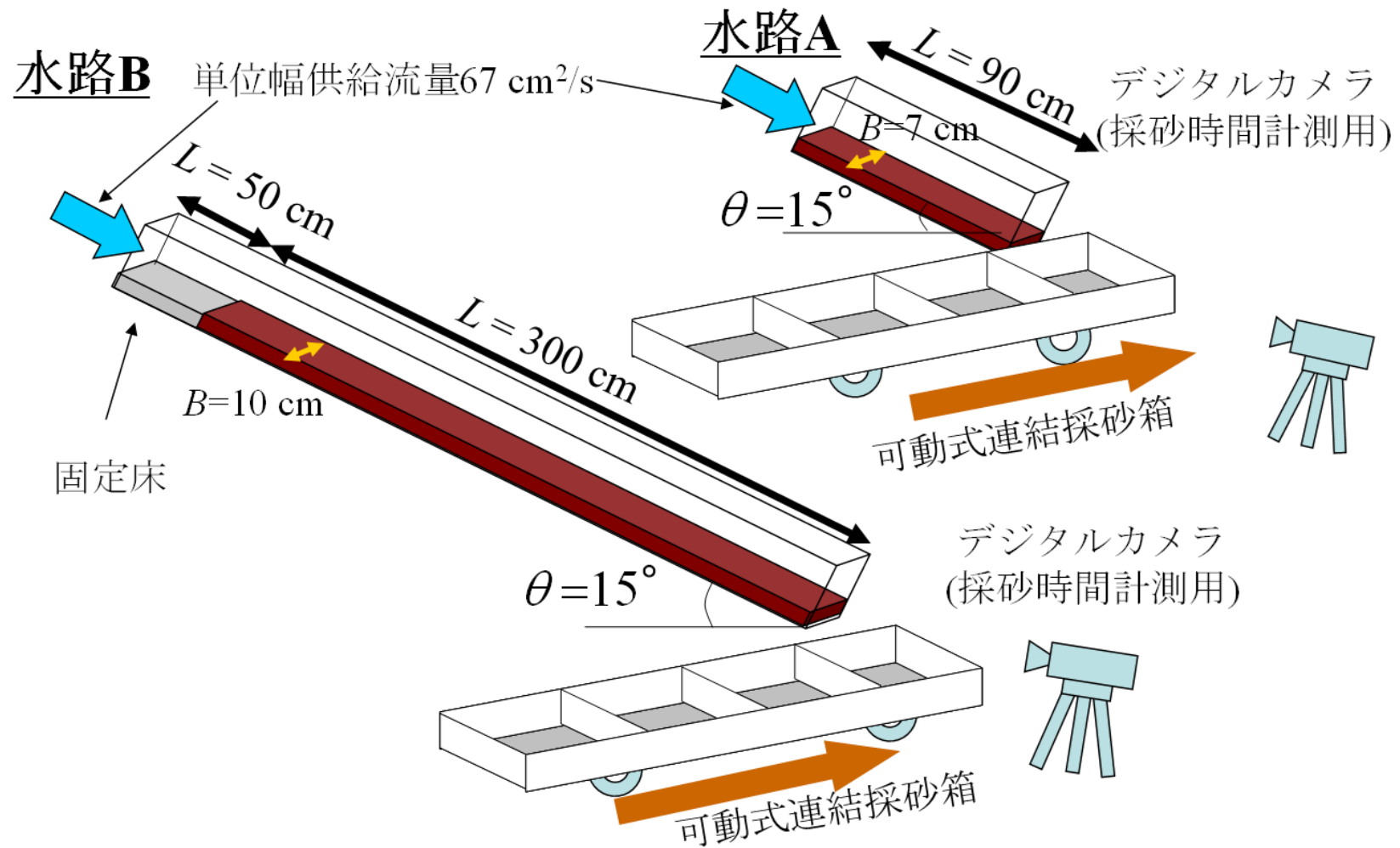
実験水路

<水路A>

水路幅7cm、移動床90cmの可変勾配水路
流量を0.47L/sec(単位幅流量0.67cm²/s)に、水路勾配は15度に設定

<水路B>

水路幅10cm、移動床300cm、固定床50cmの可変勾配水路
流量を0.67L/sec(単位幅流量0.67cm²/s)に、水路勾配は15度に設定



水路の概略図

3. 実験概要

実験手順



捕捉中の様子



捕捉後の様子

敷き詰め後の様子

3. 実験概要

実験条件

実験ケース表

Case		粒度構成			単位幅供給流量Q (cm ² /s)	移動床長L (cm)	水路幅B(cm)	初期堆積厚 (cm)	水路勾配 θ (°)		
		大小粒径 (mm)	配合割合	d_{m0} (mm)							
Case 1	水路A	10.7, 7.1, 0.6	(a) 大20% 80%	7.52	67	90	7	(a) 5cm	15		
	水路B										
Case 2	水路A	10.7, 3.0, 0.6		5.96	67	90	7		(b) 5cm	15	
	水路B										
Case 3	水路A	10.7, 1.4, 0.6		(b) 大16% 小64%	5.83	67	90		7	(c) 6.7cm	15
	水路B										
Case 4	水路A	7.1, 3.0, 0.6	青砂成分 (0.6mm)20%	4.21	67	90	7	(c) 6.7cm	15		
	水路B										
Case 5	水路A	7.1, 1.4, 0.6	(c) 大12% 小48%	3.89	67	90	7	(c) 6.7cm	15		
	水路B										
Case 6	水路A	3.0, 1.4, 0.6	青砂成分 (0.6mm)40%	1.83	67	90	7	(c) 6.7cm	15		
	水路B										

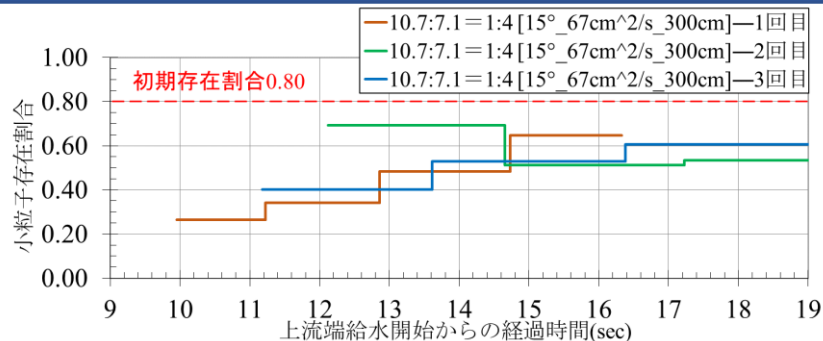
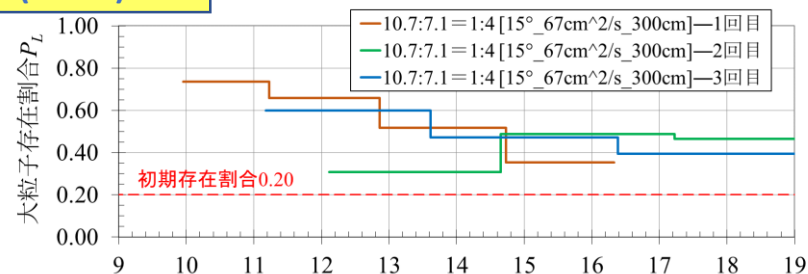
動画 

・本研究では、青砂（粒径0.6mm）の配合割合を20%、40%とした。

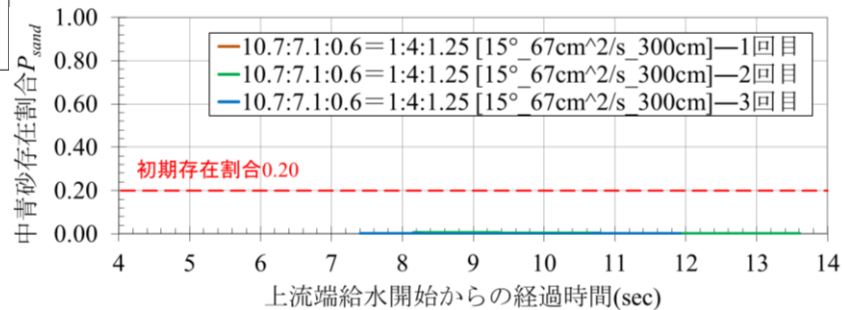
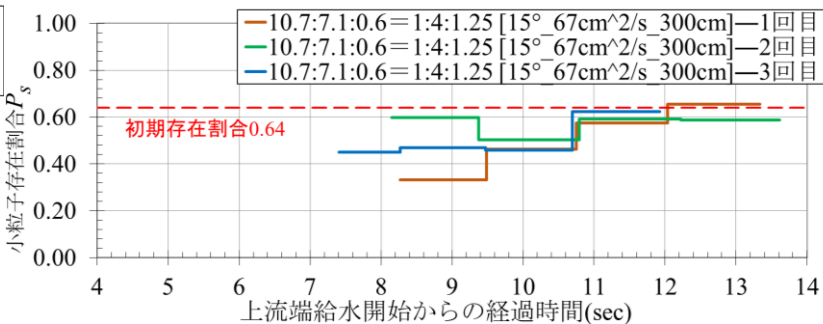
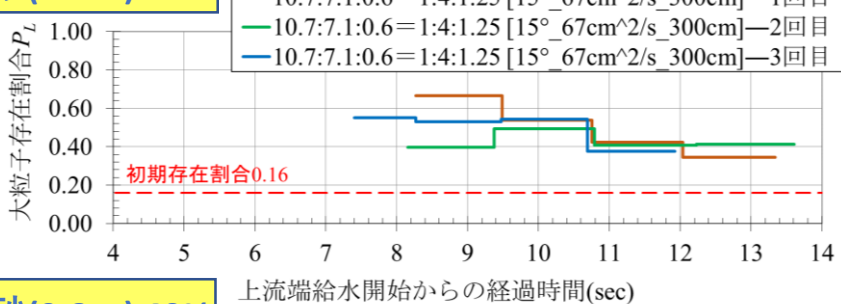
4. 結果と考察

10.7mm:7.1mm = 1:4 (流下距離300cm)の比較

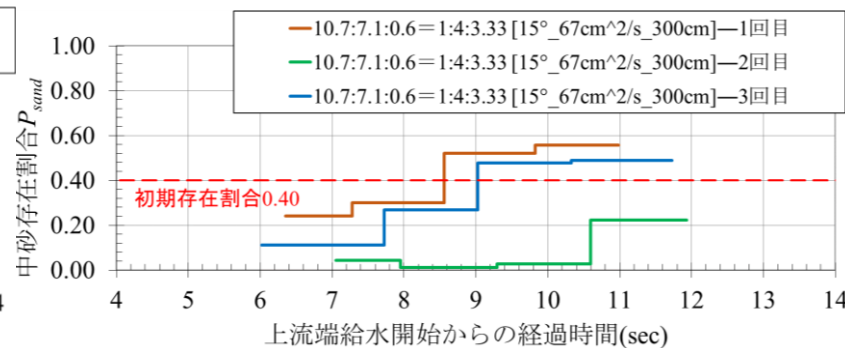
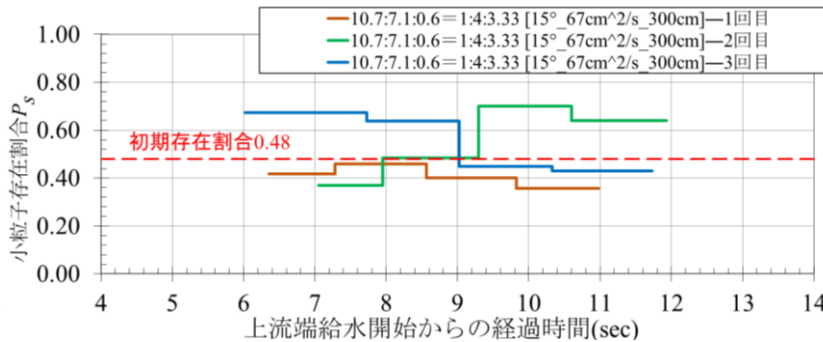
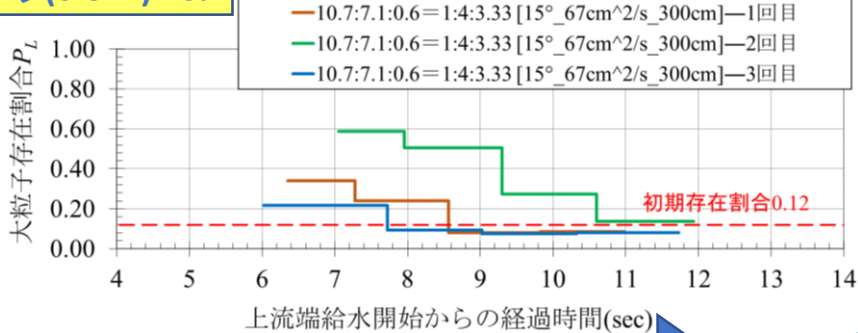
青砂(0.6mm)なし



青砂(0.6mm) 20%



青砂(0.6mm) 40%

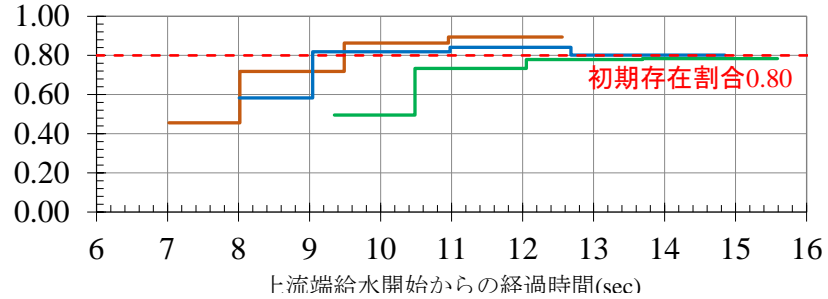
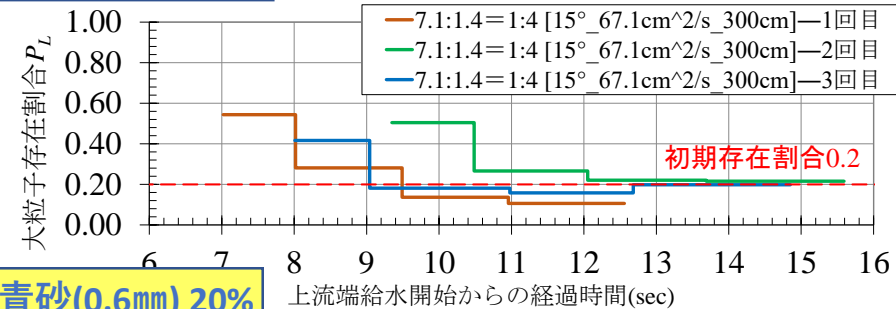


青砂成分を混入・増加させると

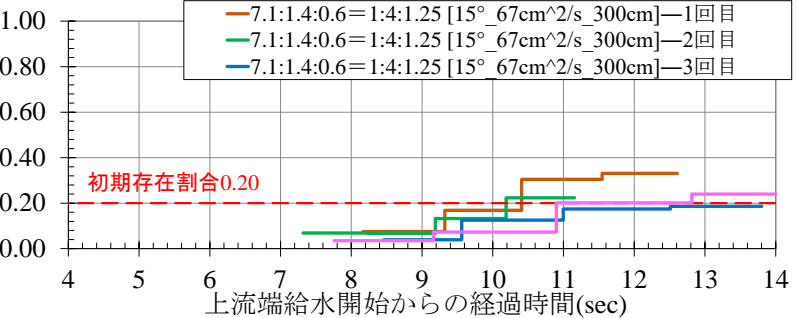
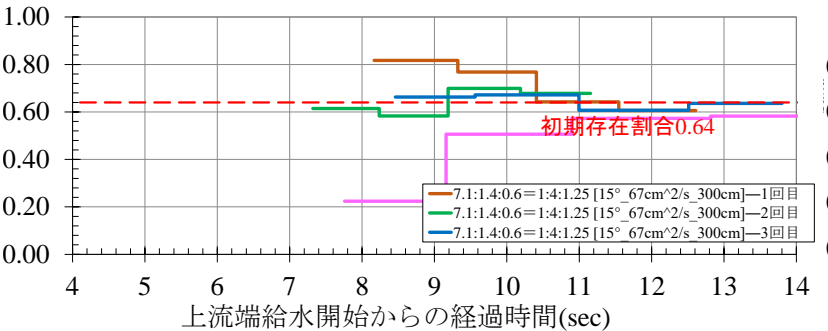
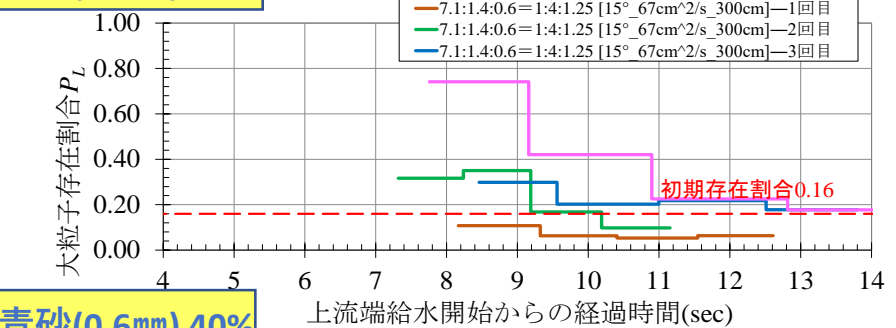
- 大粒子存在割合PL増加量の低下
- 小粒子存在割合変化が小さい
- 土石流到達時間が速くなる
- 青砂の割合の低下が低減

4.結果と考察 7.1mm:1.4mm = 1:4 (流下距離300cm)の比較

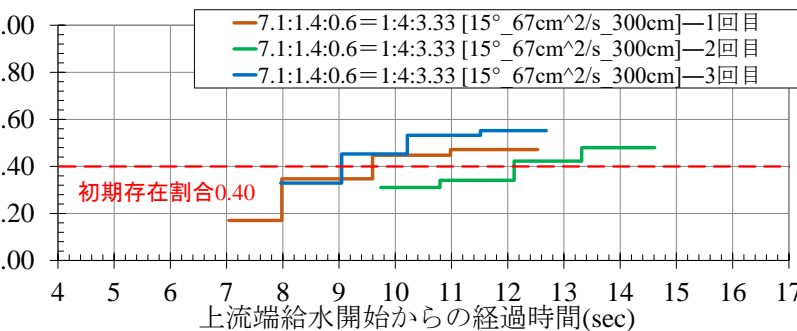
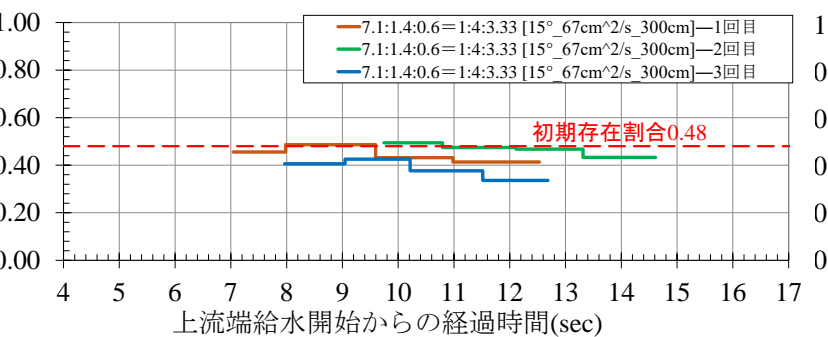
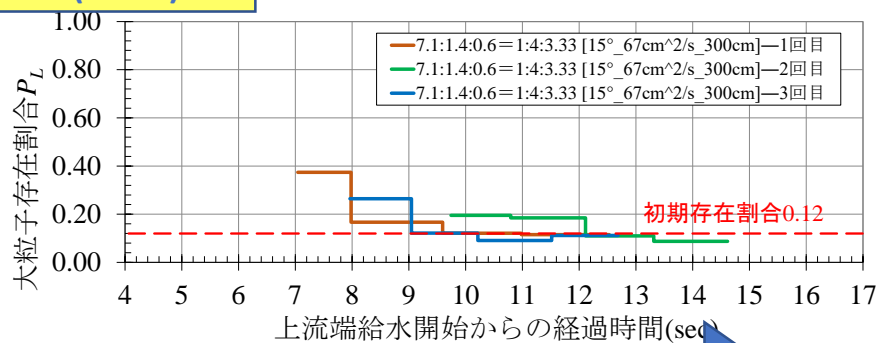
青砂(0.6mm)なし



青砂(0.6mm) 20%



青砂(0.6mm) 40%



青砂成分を混入・増加させると

- ・ 大粒子存在割合 P_L 増加量の低下
- ・ 小粒子存在割合の変化が小さい

- ・ 土石流到達時間が遅くなる
- ・ 青砂の割合の低下が低減

4.結果と考察

300cmの比較

※3回の試行の平均値を記載

1箱目の平均	到達時間 (s)	大粒子存在割合 PL	小粒子存在割合 Ps	中砂存在割合 Psand
Case1 (青砂なし)	11.085	0.548	0.452	-
case1 (青砂20%)	7.942	0.537	0.460	0.003
Case1 (青砂40%)	6.477	0.381	0.487	0.132
Case2 (青砂なし)	8.920	0.627	0.373	-
case2 (青砂20%)	5.607	0.499	0.483	0.018
case2 (青砂40%)	7.197	0.306	0.497	0.197
Case3 (青砂なし)	7.233	0.505	0.495	-
case3 (青砂20%)	8.178	0.335	0.622	0.043
case3 (青砂40%)	6.754	0.226	0.514	0.260
Case4 (青砂なし)	8.118	0.633	0.367	-
case4 (青砂20%)	5.494	0.503	0.476	0.021
case4 (青砂40%)	7.748	0.308	0.555	0.137
Case5 (青砂なし)	8.126	0.488	0.512	-
case5 (青砂20%)	7.982	0.241	0.698	0.061
case5 (青砂40%)	8.250	0.278	0.452	0.270
Case6 (青砂なし)	9.266	0.279	0.721	-
case6 (青砂20%)	8.017	0.277	0.667	0.055
case6 (青砂40%)	7.477	0.272	0.523	0.205

実験ケース表

	大粒子(mm)	小粒子(mm)	青砂(mm)
case1	10.7	7.1	0.6
case2	10.7	3.0	
case3	10.7	1.4	
case4	7.1	3.0	
case5	7.1	1.4	
case6	3.0	1.4	

全体の傾向

- ・ 青砂の割合が増えると大粒子の集積度が低下する。
- ・ 青砂成分が多いほど到達時間が速い。

例外も存在

- ・ Case6、Case 5 は青砂(0.6mm)の配合割合による影響がほぼない。
- ・ 青砂成分40%が最も遅いケースもある。



何らかの要因が考え得られる。

4.結果と考察

300cmの比較

※3回の試行の平均値を記載

1箱目の平均	到達時間 (s)	大粒子存在割合 PL	小粒子存在割合 Ps	中砂存在割合 $Psand$
Case1 (青砂なし)	11.085	0.548	0.452	-
case1 (青砂20%)	7.942	0.537	0.460	0.003
Case1 (青砂40%)	6.477	0.381	0.487	0.132
Case2 (青砂なし)	8.920	0.627	0.373	-
case2 (青砂20%)	5.607	0.499	0.483	0.018
case2 (青砂40%)	7.197	0.306	0.497	0.197
Case3 (青砂なし)	7.233	0.505	0.495	-
case3 (青砂20%)	8.178	0.335	0.622	0.043
case3 (青砂40%)	6.754	0.226	0.514	0.260
Case4 (青砂なし)	8.118	0.633	0.367	-
case4 (青砂20%)	5.494	0.503	0.476	0.021
case4 (青砂40%)	7.748	0.308	0.555	0.137
Case5 (青砂なし)	8.126	0.488	0.512	-
case5 (青砂20%)	7.982	0.241	0.698	0.061
case5 (青砂40%)	8.250	0.278	0.452	0.270
Case6 (青砂なし)	9.266	0.279	0.721	-
case6 (青砂20%)	8.017	0.277	0.667	0.055
case6 (青砂40%)	7.477	0.272	0.523	0.205

実験ケース表

	大粒子(mm)	小粒子(mm)	青砂(mm)
case1	10.7	7.1	0.6
case2	10.7	3.0	
case3	10.7	1.4	
case4	7.1	3.0	
case5	7.1	1.4	
case6	3.0	1.4	

全体の傾向

- ・ 青砂の割合が増えると大粒子の集積度が低下する。
- ・ 青砂成分が多いほど到達時間が速い。

例外も存在

- ・ Case6、Case 5 は青砂(0.6mm)の配合割合による影響がほぼない。
- ・ 青砂成分40%が最も遅いケースもある。



何らかの要因が考え得られる。

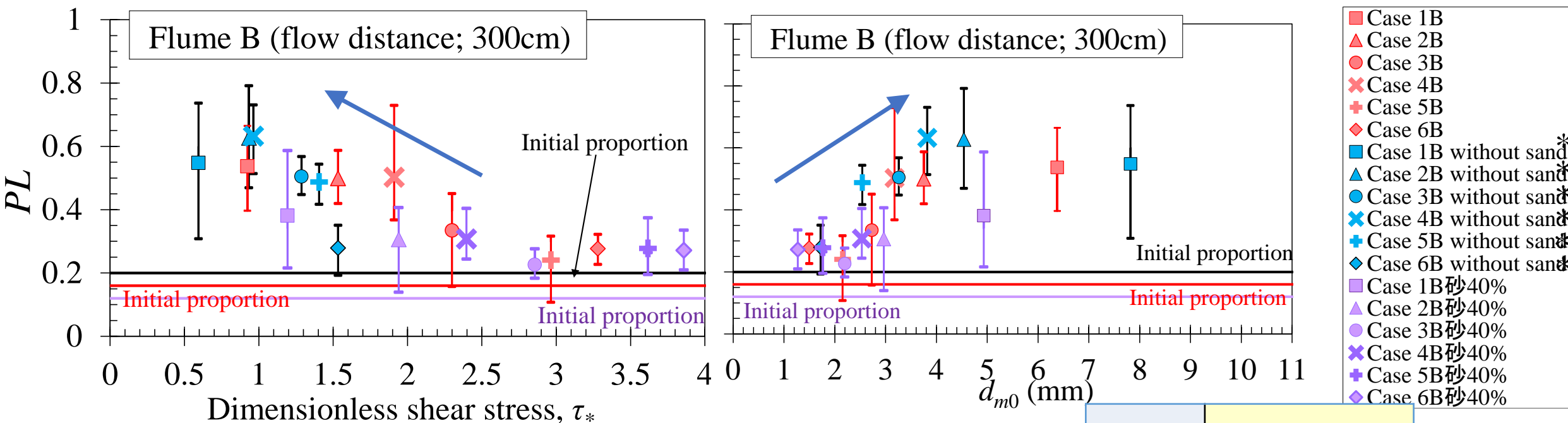
4. 結果と考察

無次元掃流力

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{(\sigma/\rho - 1)gd_m}$$

定常状態の流動深の同定に使用 (定常状態の断面平均流速公式)

$$U_m = \frac{2}{5d_m} \left[\frac{g \sin \theta}{\alpha_i \sin \alpha} \left\{ C_d(1 - C_d) \left(\frac{\rho_m}{\sigma} \right) \right\} \right]^{1/2} \left\{ \left(\frac{C_*}{C_d} \right)^{1/3} - 1 \right\} h^{3/2}$$



Case	大小粒径 (mm)
Case 1	10.7, 7.1, 0.6
Case 2	10.7, 3.0, 0.6
Case 3	10.7, 1.4, 0.6
Case 4	7.1, 3.0, 0.6
Case 5	7.1, 1.4, 0.6
Case 6	3.0, 1.4, 0.6

- τ_* とPLは反比例の関係
- 青砂含有率を変化させても, 1mmオーダー以上で構成された混合砂礫土石流の傾向と同様

5.まとめ

まとめ

- ・ 青砂成分を混入・増加させると、①大粒子存在割合PL増加量の低下，②小粒子存在割合が増加，③土石流到達時間が速くなる（粒度構成によっては到達時間が遅くなる）
- ・ 砂含有率を変化させても，**1mmオーダー以上で構成された混合砂礫土石流の先頭部粒度偏析傾向と同様**
- ・ 一方で，砂含有率が増加すると**流れの応力構造が変化**し，土石流流速など土石流の流下に影響を及ぼしている可能性がある。