

砂含有割合が土石流の先頭部粒度偏析に及ぼす影響

鳥取大学大学院工学研究科 ○虫明寛人, 和田孝志, 三輪 浩

**1.背景と目的** 土石流は大小様々な砂礫で構成されており、流下に伴って比較的粒径の大きい砂礫が先頭部に集積するという特徴（以下、先頭部粒度偏析とする）がある。土石流先頭部粒度偏析は、土石流先頭部の流体力や衝撃力を増加させる人的・物的被害増大の要因となる一方で、透過型砂防堰堤では閉塞による捕捉効果をもたらす等、防災上利用可能な特性でもある。先頭部粒度偏析メカニズムを解明するため、これまで多くの水路実験や考察がなされてきたが、土石流構成材料に含まれる細粒成分や砂成分が先頭部粒度偏析に及ぼす影響に着目した実験はなされていない。そこで昨年の研究では平均粒径 0.6 mm の中砂成分（以下、「青砂」とする）を含有した 3 粒径から成る混合砂礫土石流に関する水路実験を行い、2 粒径で青砂を含めない同条件での既往実験結果<sup>1)</sup>と比較することで、青砂または中間サイズの粒径成分が先頭部粒度偏析へ及ぼす影響を検討した。この結果、土石流が青砂を含むことで先頭部粒度偏析の進行が低下することを確認できた。また、土石流流下に伴う 3 粒径成分の存在割合の変化過程から、パーコレーションは土石流中のより小さい粒子から発生し、その粒子の次に大きい粒子の存在割合を一旦増加させるが、増加した粒子もやがてパーコレーションの対象となり、さらにその次に大きい粒子の増加に寄与するという先頭部粒度偏析の発達過程が推察された。しかし、当実験では土石流構成土砂の青砂配合割合が 1 パターン（20%）のみであったことから、本研究では土石流構成土砂の青砂配合割合パターンを 40%に変更して実験を行い、昨年の研究で得られた考察を検証するとともに、さらなる青砂成分の含有が先頭部粒度偏析へ及ぼす影響を検討した。

**2.実験の概要** 本実験では流下距離が異なる実験水路 A, B を用いた。実験水路 A は水路長 100 cm（移動床長  $L = 90$  cm）、水路幅 7 cm、実験水路 B は水路長 350 cm（固定床 50 cm、移動床長  $L = 300$  cm）、水路幅 10 cm の直線水路である。本実験砂は、平均粒径 10.7 mm, 7.1 mm, 3.0 mm, 1.4 mm, 0.6 mm の 5 つのほぼ一様な砂礫を用いた。実験条件は、平均粒径 0.6 mm 以外の混合する 2 つの粒径と使用水路（流下距離）を変化させて表-1 に示す 24 ケース（半分は昨年の成果）を設定し、実験結果のばらつきを考慮して各ケースで同じ実験を 3 回実施した。全ケースで単位幅供給流量を  $0.67 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、土砂の初期堆積厚を 5 cm、水路勾配を 15°に設定した。なお、以下の考察では、3 つの粒径を大きいものから、大粒子成分、小粒子（中間サイズ粒子）成分、青砂成分と称し、3 粒径の総体積に対するそれぞれの割合を  $P_L$ ,  $P_S$ ,  $P_{sand}$  と定義する。

**3.実験結果と考察** 図-1 は流下距離 300 cm, Case 2 における土石流先頭部の大粒子存在割合  $P_L$  の時間変化を示しており、平均粒径 0.6 mm の青砂含有率が上図から 0%, 20%, 40%となっている。この図から青砂含有率が高くなるほど、土石流先頭部の  $P_L$  が低下していることがわかる。この結果は、砂成分を含有することによって流動層内の平均的な粒子間距離が狭くなり、比較的小さい粒子のパーコレーションによる土石流流動層内での逆グレーディングの形成が抑制されたためと考えられる。また、給水開始から土石流が下流端に到達するまでの時間に関して、昨年度での実験結

表-1 各実験Caseの実験砂粒度構成

CASE		粒度構成		
		各粒径 (mm)	配合割合	$d_{m0}$ (mm)
CASE1	水路A	10.7, 7.1, 0.6	(i) 大16% 小64%	(i) 7.52
	水路B			(ii) 6.83
CASE2	水路A	10.7, 3.0, 0.6	青砂20%	(i) 5.98
	水路B			(ii) 5.43
CASE3	水路A	10.7, 1.4, 0.6	青砂20%	(i) 5.83
	水路B			(ii) 5.29
CASE4	水路A	7.1, 3.0, 0.6	(ii) 大12% 小48%	(i) 4.21
	水路B			(ii) 3.83
CASE5	水路A	7.1, 1.4, 0.6	青砂40%	(i) 3.89
	水路B			(ii) 3.54
CASE6	水路A	3.0, 1.4, 0.6	青砂40%	(i) 1.83
	水路B			(ii) 1.67

※ (i) は昨年度の研究

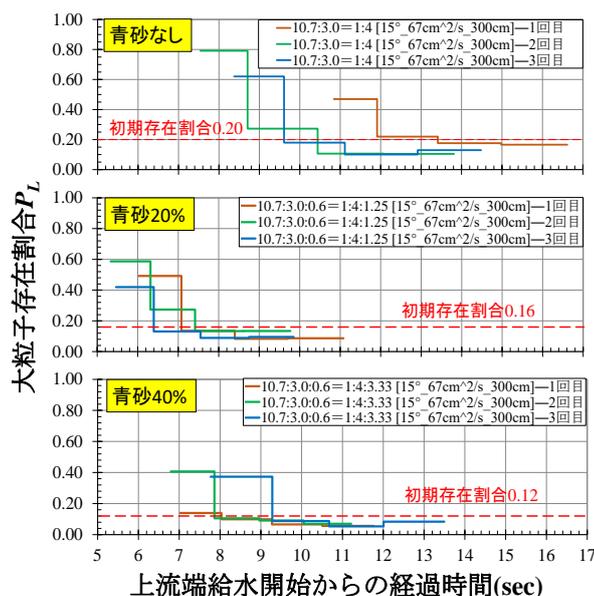


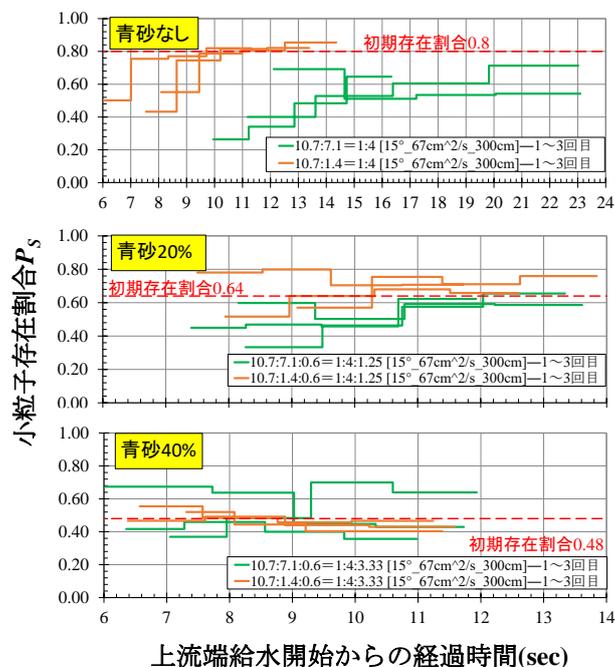
図-1 砂成分含有割合が異なる場合の先頭部大粒子存在割合  $P_L$  の時間変化 (上図：既往実験<sup>1)</sup>, 中図：昨年実験Case 2 (i) 下図：本実験Case 2 (ii))

果では青砂を含むことによって土石流到達時間は速くなるこ  
 とが確認できたが、**図-1**に示す Case 2 では青砂含有率が 20%  
 から 40%に増加することで土石流到達時間が遅くなっており、  
 昨年の傾向と異なる場合が存在することがわかった。これは青  
 砂を多く含むことによって流れの特性が変化したためと推察  
 されるが、この要因について詳しい検討が必要である。**図-2**は  
 Case 1 と Case 3 における流下距離 300 cm での土石流先頭部の  
 小粒子（中間サイズ粒子）存在割合  $P_S$  の時間変化を、上図か  
 ら青砂含有率 0%、20%、40%の順に示している。Case 1 につい  
 て、青砂含有率 0%では初期存在割合を大きく下回っているが、  
 青砂含有率が増加すると徐々に増加し、青砂含有率 40%では初  
 期存在割合を上回っていることがわかる。このように、青砂含  
 有率が増加すると小粒子（中間サイズ粒子）の存在割合が増加  
 しているケースは Case 1 の他にも確認できた。しかし、Case 3  
 においては青砂なしの条件よりも青砂含有率 20%のほうが初  
 期存在割合からの  $P_S$  増加が顕著であるが、青砂含有率 40%の  
 条件では、初期存在割合よりもやや減少していることがわかる。  
 Case 6 の結果（紙面の都合上割愛）でも、青砂含有率の増加に  
 伴って先頭部の  $P_L$  の低下が見られずほとんど一定となる一方  
 で、先頭部の  $P_S$  のほうが減少するという傾向も確認された。  
 これらのことから、青砂含有率の増加は、混合土砂の平均的な  
 粒径の減少等に伴って流れの特性が変化することで、土石流の  
 流下や粒度偏析の傾向に影響を及ぼす可能性が考えられる。よ  
 って、昨年の研究で考察した先頭部粒度偏析の発達過程につい  
 ては青砂含有割合を含む粒度構成条件によって一概に言えな  
 いことがわかった。**図-3**は、本実験および既往研究<sup>12)</sup>におけ  
 る先頭部大粒子存在割合  $P_L$  と無次元掃流力  $\tau^*$  との関係を示し

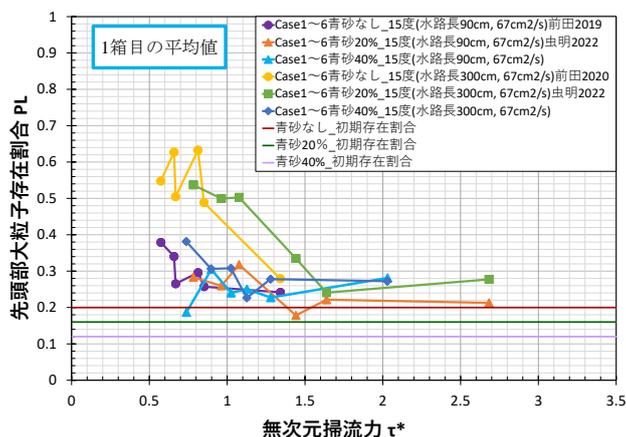
ている。なお、 $P_L$ については水路下端で4つの箱で捕捉した土石流のうち、最初の1箱で捕捉された土石流の3  
 行分の平均値を用いている。この図から  $P_L$  と  $\tau^*$  には、本研究結果においても既往研究結果同様に反比例の関係が確  
 認できた。このことから  $\tau^*$  は多様な粒度構成の土石流における先頭部粒度偏析のパラメータとなり得る可能性が示  
 された。青砂含有率別にみると、既往研究の青砂なしの条件、青砂含有率 20%では流下距離が長くなるほど  $P_L$  が大  
 きくなっているが、青砂含有率 40%においては流下距離が異なっても同程度の  $P_L$  となった。これは青砂含有率が増  
 加したことにより粒子間の間隔に青砂が入り込み、パーコレーションによる逆グレーディングの形成が抑制された  
 ことで、青砂含有率 40%での  $P_L$  が上限に達した、すなわち、パーコレーションによる大粒子の後続部への遷移と後  
 続からの大粒子供給が釣り合って先頭部粒度偏析が平衡状態になったと考えることができる。

**4.おわりに** 本研究では、土石流中の粒径 0.6 mm の青砂含有率が先頭部粒度偏析に及ぼす影響について、本研究  
 での実験と既往実験結果を整理して検討した。青砂含有率に係わらず、 $\tau^*$  が先頭部粒度偏析の程度を示すパラメ  
 ータとなる可能性が示された一方で、青砂含有率 40%では土石流流動特性が変化して先頭部粒度偏析の傾向が他と異  
 なることも示唆された。これらについては、流下距離等を変化させた実験を行い、更なる検討を行う必要がある。

**参考文献** 1) 和田・前田・三輪, 土木学会論文集 B1 (水工学), pp.I1105-I1110, 2020, 2) 虫明・和田・三輪: 2022 年度砂防学  
 会研究発表会概要集, pp.675-676, 2022.



**図-2** 砂成分含有割合および中間サイズの粒径成分が異なる条件における小粒子存在割合の時間変化  
 (中間サイズ粒径7.1 mm : Case 1, 粒径1.4 : Case 3)



**図-3** 本実験および既往実験における無次元掃流力  $\tau^*$  と先頭部大粒子存在割合  $P_L$  の関係