

土石流構成材料の粒径区分と先頭部粒度偏析との関係

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、先頭部粒度偏析と称する）がある。そのため、土石流が集落等へ到達すると大きな人的・物的被害を与える。一方で、この特徴は透過型砂防堰堤での閉塞効果をもたらす等、防災上利用可能であるため、先頭部粒度偏析メカニズムの解明は土石流被害の防止・軽減において重要である。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中間サイズの粒径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、本研究では砂成分を含有する3粒径階の混合砂礫土石流に関する水路実験を行い、砂成分を含有していない同条件での既往実験結果¹⁾と比較することで、砂成分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する。

2.実験の概要 本実験では実験水路 A, B の2つを用いた。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つの粒径階と使用水路（流下距離）を変化させて表-1 に示す12 ケースを設定し、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

表-1 各実験Caseの実験砂粒度構成

Case	水路	粒度構成		
		大小粒径 (mm)	大小粒径配合割合	d_{m0} (mm)
Case 1	水路A	10.7, 7.1, 0.6	大16% 小64% 細砂20%	7.52
	水路B			
Case 2	水路A	10.7, 3.0, 0.6		
	水路B			
Case 3	水路A	10.7, 1.4, 0.6		
	水路B			
Case 4	水路A	7.1, 3.0, 0.6		
	水路B			
Case 5	水路A	7.1, 1.4, 0.6		
	水路B			
Case 6	水路A	3.0, 1.4, 0.6		
	水路B			

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° に設定している。なお、以下の考察では、3つの粒径階を大きいものから、大粒子成分、小粒子成分、砂成分と称し、3粒径階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 の砂成分含有・非含有条件における土石流先頭部の P_L の時間変化を示している。この図に示されるように、砂成分を含有することで先頭部の大粒子集積の進行が低下したことで、土石流の到達時間が短くなることがわかる。前者は、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、後者は、砂成分の混入による全体の平均粒径の減少が、流下時における砂礫間の摩擦・衝突等によるエネルギー散逸を低下させ、土石流流速を増大させたことが原因と考えられる。加えて、この土石流流速の増大も流動層内のパーコレーションを抑制する要因となったことも考えられる。

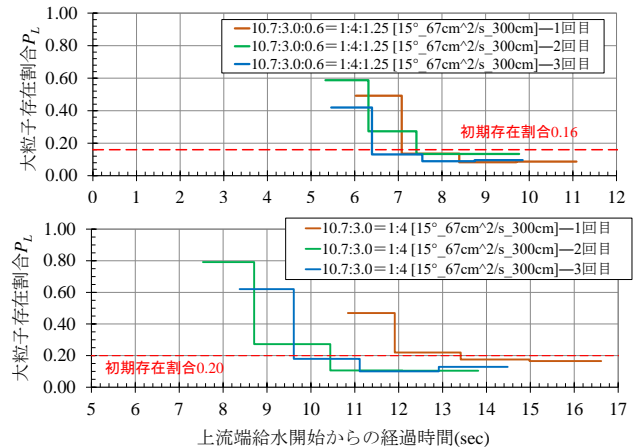


図-1 砂成分含有・非含有条件における先頭部大粒子存在割合の時間変化
(上図：本実験Case 2, 下図：既往実験¹⁾)

図-2 は Case 1 と Case 2 における流下距離 300 cm での土石流先頭部の P_L, P_S, P_{sand} の時間変化を示している。Case 1 と Case 2 では小粒子成分だけが異なっている。小粒子成分が比較的大きい Case 1 では、土石流先頭部の P_{sand} はほぼ 0 であり、 P_L が初期存在割合より増大し、 P_S が初期存在割合より減少する傾向がみられる。これは、砂成分を含有しない既往実験結果¹⁾と同様の傾向であった。一方、小粒子成分が比較的小さい Case 2 では、土石流の最先頭部では、Case 1 と同じく P_L が初期存在割合より増大、 P_S, P_{sand} が初期存在割合より減少するが、その直後からは P_L

が初期割合に戻り、 P_S が初期割合より増大し、さらに後続では P_S が減少すると P_{sand} が増加する傾向が見られた。これらのことから、先頭部粒度偏析は比較的大きさの近い2つの粒径成分の存在割合の交換が連鎖的に重なって発達していることが示唆された。また、最先頭部の P_{sand} が最も小さいことを踏まえると、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、パーコレーション対象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過程を経て先頭部粒度偏析が発達すると考えられた。このことは、土石流粒度構成の中で比較的小さい粒径成分が先頭部粒度偏析へより強く影響することを示唆している。なお、パーコレーション対象粒子の次に大きい粒子が対象粒子に近い粒径の場合はさらに大きい粒子のパーコレーションが発現しやすい傾向も確認されており、この場合はパーコレーション対象粒子とその次に大きい粒子の粒径が一体となったパーコレーションが発生すると考えられる。

図-3は、本実験および既往研究¹⁾²⁾における先頭部大粒子存在割合 P_L と無次元掃流力 τ_* との関係を示している。なお、本実験結果の P_L については既往研究結果と比較するため、砂成分を除いた2粒径成分の総体積に対する大粒子成分の体積としている。この図から砂成分含有の有無にかかわらず反比例の関係が確認でき、 τ_* で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して適していると考えられる。なお、比較的大きい P_L が大きい結果は主に宮本²⁾の実験によるものであるが、宮本²⁾の実験では先頭部粒度偏析の発達を増大させると考えられる流下距離 ($L=12m$) がその他の実験よりも十分大きい。しかし、この結果の範囲には本実験や前田ら¹⁾の実験結果も含まれており、これらはいずれも大小粒子成分の粒径が最も大きい組み合わせ (大粒子 10.7 mm, 小粒子 7.1 mm) の結果である。これらの条件での P_L が大きくなった原因として、小さい粒径成分によるパーコレーションだけでなく、比較的大きい粒子同士の衝突による大粒子の乗り上げが考えられ、パーコレーション以外の先頭部粒度偏析メカニズムも考慮する必要がある。また、宮本²⁾の水路勾配 22° の実験では P_L が小さくなっているが、これは宮本²⁾が確認しているように、水路勾配が大きくなることで重力の流下方向成分が大きくなり、水路鉛直方向のパーコレーションが発生しにくくなったためと考えられる。

4.おわりに 本研究より、土石流が砂成分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し、砂成分が先頭部粒度偏析に及ぼす影響を検討した。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、先頭部粒度偏析の発達過程について考察できた。しかし、本実験では土石流構成土砂の配合割合が1パターンのみであり、土石流構成土砂の配合割合パターンを変更して実験を行うことで、本研究で得られた考察を検証する必要がある。

4.おわりに 本研究より、土石流が砂成分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し、砂成分が先頭部粒度偏析に及ぼす影響を検討した。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、先頭部粒度偏析の発達過程について考察できた。しかし、本実験では土石流構成土砂の配合割合が1パターンのみであり、土石流構成土砂の配合割合パターンを変更して実験を行うことで、本研究で得られた考察を検証する必要がある。

参考文献 1) 前田ら：2021年度砂防学会研究発表会概要集，pp.49-50，2021，2) 宮本：立命館大学博士學位論文，pp.73-94，1986

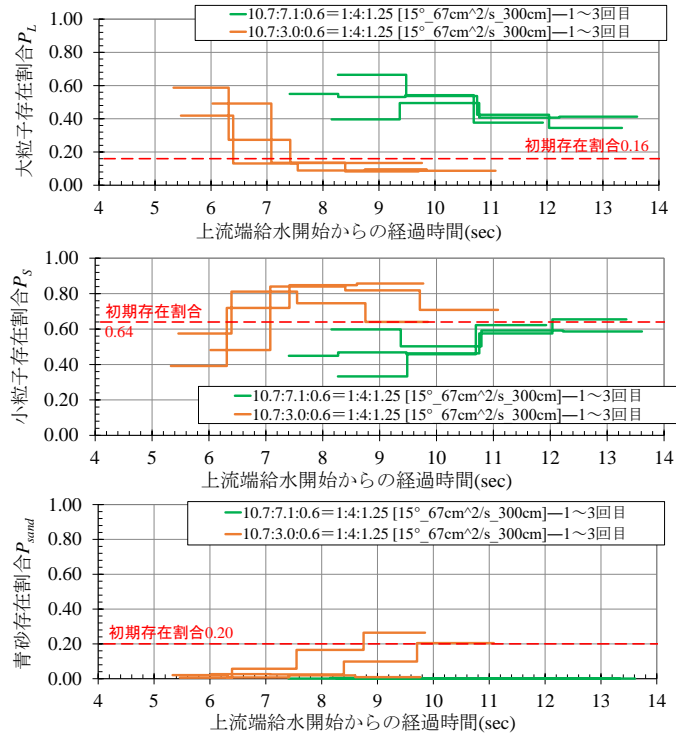


図-2 中間サイズの粒径成分が異なる条件における各粒径成分存在割合の時間変化 (中間サイズ粒径 7.1 mm : Case 1, 粒径 3.0 mm : Case 2)

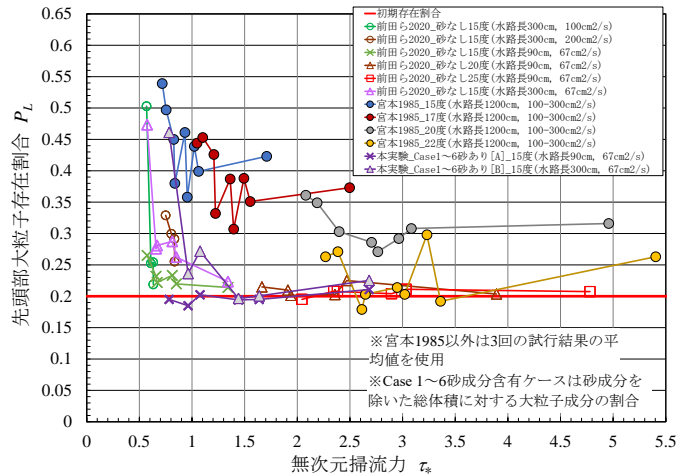


図-3 本実験および既往実験における無次元掃流力 τ_* と先頭部大粒子存在割合 P_L の関係