

## 勾配変化が2粒径混合土石流の先頭部水理量に及ぼす影響

鳥取大学大学院工学研究科 ○大山翔矢, 三島大侃, 和田孝志, 三輪 浩

**1. はじめに** 土石流による被害をより厳密に予測するためには、山地溪流を流下する間に土石流の流動形態が溪床勾配によってどのように変化するかを把握し、氾濫場に到達する土石流の性状をより正確に捉える必要がある。本研究では、2粒径砂礫を混合した土石流を対象に、土石流卓越勾配（15度）から掃流状集合流動卓越勾配（9度）へと変化させた変勾配条件において、土石流先頭部の水理量（輸送土砂濃度、大粒子存在割合、流動深）の変化に粒度構成と供給流量（土石流規模）が及ぼす影響を把握する。

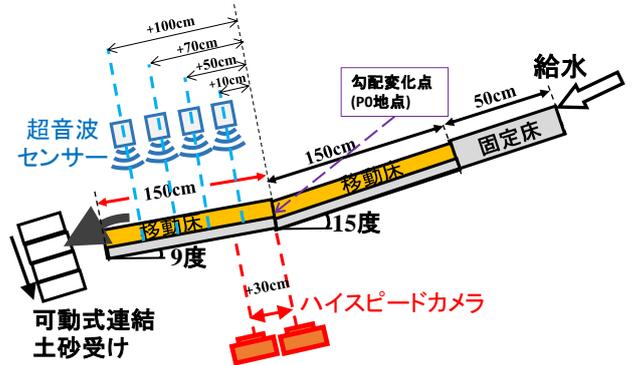


図1 実験水路と計測機器

**2. 実験概要** 実験水路（図1）は水路長350cm、水路幅10cmの二段階可変勾配水路で、上流端からの給水を整流させるための「固定床区間」、区間長150cmの「上流区間」および任意の区間長に設定可能な「下流区間」から成る。本実験では下流区間の区間長を100, 150cmの2種類とした。後述する各実験ケースにおいて、勾配変化点をP0地点として下流端方向を正と定義し、勾配変化点から+10cm (P10), +50cm (P50), +70cm (P70), +100cm (P100)の位置に超音波水位センサーを設置することでこれらの地点での流動深を計測した。輸送土砂濃度と大粒子存在割合は、P150, P100で採砂箱を4連結した可動式連結土砂受けで土石流先頭部より連続的に採取することで計測した。使用する実験砂礫は平均粒径10.7mm, 7.1mm, 3.0mm, 1.4mmの砂礫から2粒径を選択し、大粒径：小粒径を1：4の割合で混合した砂礫を用いた。

表1に実験ケースを示す。実験ケースは、配合する粒径別に設定し、それぞれのケースに対して、水路勾配を一様勾配15度、一様勾配9度、変勾配15度→9度の3種類、供給流量を1.0, 2.0 L/sの2種類の組み合わせで実験を行った。一様勾配の条件は、勾配変化がない場合の土石流先頭部の性状を確認するための設定条件である。なお、Gy, Gfは竹村<sup>2)</sup>の研究、Yf, Fy, B, Y, F, Sは小林<sup>1)</sup>, 三島<sup>3)</sup>の研究結果を引用している。

**3. 実験結果と考察** 図2は実験より得られた流量別の先頭部輸送土砂濃度（土石流先端が観測点に到達してから1から1.5秒後まで）を示している。すべての条件に共通する全体的な傾向として、勾配変化点から100cm流下するまでに上流側勾配（15度一様）と下流側勾配（9度一様）に沿った値の中間程度もしくはそれ以下まで先頭部輸送土

表1 実験条件

ケース名	土石流粒度構成	平均粒径	供給流量
Gy <sup>*1</sup>	19.0mm:7.1mm=1:4	9.48 mm	1.0 L/s
Gf <sup>*1</sup>	19.0mm:3.0mm=1:4	6.20 mm	
By	10.7mm:7.1mm=1:4	7.82 mm	
Bf	10.7mm:3.0mm=1:4	4.54 mm	
Bs	10.7mm:1.4mm=1:4	3.26 mm	
Yf <sup>*2</sup>	7.1mm:3.0mm=1:4	3.82 mm	
Ys	7.1mm:1.4mm=1:4	2.54 mm	
Fy <sup>*2</sup>	3.0mm:7.1mm=1:4	6.28 mm	
Fs	3.0mm:1.4mm=1:4	1.72 mm	
B <sup>*2</sup>	10.7mm 一様	10.7 mm	
Y <sup>*2</sup>	7.1mm 一様	7.1 mm	2.0 L/s
F <sup>*2</sup>	3.0mm 一様	3.0 mm	
S <sup>*2</sup>	1.4mm 一様	1.4 mm	

※1 竹村<sup>2)</sup>の成果を引用, ※2 小林・三島<sup>1)3)</sup>の成果を引用

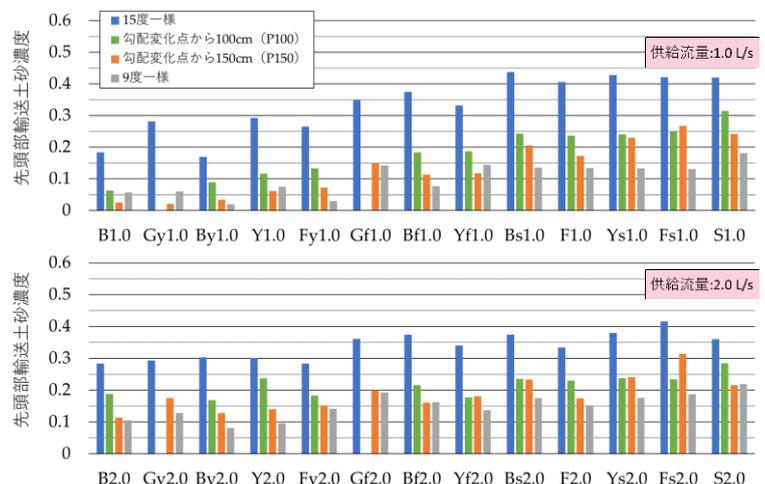


図2 全ケースの先頭部（第1箱目捕捉部分）の輸送土砂濃度（※ケースは左から平均粒径が大きい順に並ぶ）

砂濃度が低下していることが確認できる。また、一部のケースを除くと、勾配変化点からの距離が長くなるにつれて先頭部輸送土砂濃度は下流側勾配の値に近づき、勾配変化点から 150cm 下流付近では 100 cm 地点よりも下流側勾配の値へさらに遷移していることがわかる。これらのことから、勾配変化による先頭部輸送土砂濃度の遷移傾向は粒度構成（平均粒径の違い）によってあまり変わらず、勾配変化点から 100～150 cm 下流地点に到達するまでの間で、上流側勾配と下流側勾配に沿った値の中間程度まで大きく遷移し、その後徐々に遷移が進行していくと考えられる。

図 3 は実験より得られた流量別の先頭部流動深（土石流先端が観測点に到達してから 3 秒後まで）を示している。なお、これらの図に示す 15 度一様勾配と 9 度一様勾配の値は理論値であり、高橋の土石流断面平均流速式<sup>4)</sup>と連続式より求めている。供給流量別の傾向として、流量が 1.0 L/s 場合では平均粒径が大きいケースは勾配変化点より 70～100 cm 下流付近で下流側勾配の流動深程度まで減少しており遷移が概ね完了する傾向があるが、平均粒径が小さいケースは 100 cm 下流付近においても上流側勾配の流動深を維持している。流量が 2.0 L/s の場合は平均粒径が最も大きい B2.0, Gy2.0 以外は 100 cm 下流付近においても上流側勾配の流動深を維持している。これらのことから勾配変化による先頭部流動深の遷移傾向は、粒度構成と土石流規模に依存しており、規模が小さく平均粒径が大きいほど下流側勾配の流動深に遷移しやすくなる傾向があることがわかった。これは、供給流量が小さい場合は上流側の勾配区間を流下する際に十分な運動エネルギーが得られず、かつ、含有する粒径が大きい土石流では勾配変化に伴う砂礫の衝突や摩擦等によるエネルギー消費が大きくなるため、上流区間で蓄積された運動エネルギーが維持できず早期に遷移することを示している。

図 4 は実験より得られた流量別の先頭部大粒子存在割合（土石流先端が観測点に到達してから 1 から 1.5 秒後まで）を示している。同図より、勾配変化後の先頭部大粒子存在割合の遷移傾向は粒度構成によってばらつきがあるが、平均粒径が大きいケースでは流下距離とともに低下して下流側勾配の値に近づき、平均粒径が中間規模のケースでは上流・下流側勾配に沿った値のどちらよりも一時的に大きくなり、平均粒径が小さいケースでは流下距離とともに増大して下流側勾配の値に近づく傾向が確認できた。また、このような遷移傾向は土石流規模が大きくなると変化することも確認できたことから、先頭部大粒子存在割合の遷移も粒度構成と土石流規模に依存すると考えられるが、その関係性は複雑なものといえる。

**4. あとがき** 本研究の実験結果から勾配変化に伴う混合砂礫土石流の先頭部水理量のうち、輸送土砂濃度と流動深については概ね遷移の傾向を読み取ることができたが、大粒子存在割合については遷移の傾向を把握するに至らなかった。そのため新たに下流側勾配の流下距離を追加し、またハイスピードカメラで土石流内部の性状を確認することで、各水理量の段階的な遷移過程を把握し検証していく必要がある。

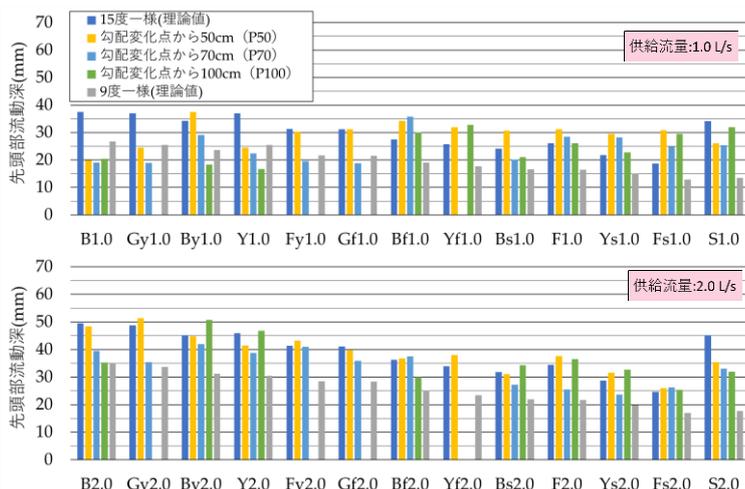


図 3 全ケースの先頭部(先端から 3 秒間)平均流動深

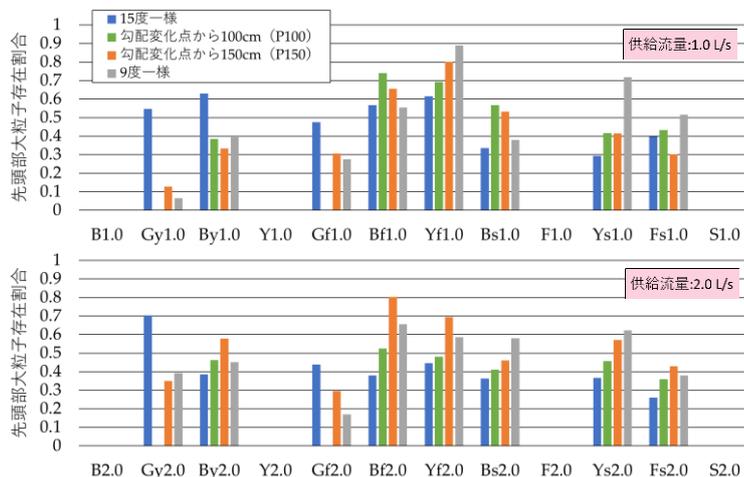


図 4 全ケースの先頭部(第 1 箱目捕捉部分)の大粒子存在割合

参考文献 1) 和田・小林・三輪, 第 10 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.139-144, 2020. 2) 和田・竹村・三輪, 第 73 回土木学会中国支部大会発表要集, pp.125-127, 2021. 3) 三島・和田・三輪, 令和 4 年度砂防学会研究発表会要集, pp.679-680, 2022. 4) 高橋: 京都大学防災研究所年報第 20 号 B-2, pp.405-435, 1977.