

粒径の異なる土石流の堆積速度に関する水路実験

株式会社建設技術研究所 ○奥山遼佑, 矢作和樹, 松原智生, 西口幸希
浦長瀬大世, 石川深緒, 井上雄登, 高橋佑弥
国土技術政策総合研究所 赤澤史顕, 鈴木啓介

1. はじめに

土砂・洪水氾濫の被害想定や対策計画立案には一次元河床変動計算による土砂移動・河床変動予測が有効である。土砂・洪水氾濫を引き起こす土石流や土砂流の堆積過程は非平衡性が強いとされており（例えば、水山・下東, 1986）, 堆積速度をどのように与えるかが、河床変動計算結果に大きく影響する。

土砂・洪水氾濫対策計画検討の実務では、堆積速度を表現する方法として高橋・匡（1986）や高橋ら（1991）が提案した土石流の堆積速度式が多く用いられているが、これらの式の適用性を実験結果との比較により検証した事例は少なく、検証が行われた粒径や水路勾配の条件は限られている。また、高橋ら（1991）は過剰な粒子が堆積して平衡状態に至るまでの時間を流速と粒径の比を用いて表現しているが、土石流の堆積速度に粒径がどのように影響するかどうかは現時点では十分に明らかになっていない。

本検討は、土石流の堆積過程に着目していくつかの条件で水路実験を行い、堆積速度を計測した。そのうえで、粒径と堆積速度の関係や、実験結果の堆積速度と高橋らの式で算出した堆積速度の計算値の関係を整理した。

2. 実験の概要

2.1 実験条件および実験ケース

実験条件を表-1に示す。実験水路は、上流側6m、下流側4mの可変勾配型水路を用いた。実験条件は、水路勾配、実験砂の粒径を変化させた。

実験ケースを表-2に示す。ケース数は計8ケースである。実験は各ケース2回ずつ実施した。また、表-2中には、勾配変化点より上流側で計測した土石流の流動深 h と粒径 d の比（ h/d ）および勾配変化点における堆積速度の計測結果を併せて示した。 h/d 及び堆積速度は、各ケースの2回実施した平均値を示した。

2.2 計測項目および計測手法

計測項目は水位、河床位、断面平均流速、水路下流端での土砂輸送濃度とした。また、勾配変化点へ流入する土砂濃度を把握するために勾配変化点上流側を抽出した予備実験を行い、輸送土砂濃度を計測した。

水位、河床位、流速は水路側面に設置したハイスピードカメラの動画から判読した。堆積速度は勾配変化点に設置したハイスピードカメラで判読した河床位のデータから整理した。堆積速度は、土石流等が勾配変化点に到達してから一定時間内の河床高の変化から求めた。堆積速度は、勾配変化点の水路床から上流側の水路床と垂直になるように設置した測線上で計測し、堆積面に垂直

な方向に変換して求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 実験砂の粒径と堆積速度の関係

3.1.1 実験結果

実験結果の堆積速度と粒径の関係を図-1に示す。図-1(a)には水路勾配5度-15度の実験結果、図-1(b)には水路勾配5度-12度の実験結果を示した。また、図中には、過去に実施した奥山ら（2024）および奥山ら（2023）の実験データも併せて示した。ここでは、流量の影響を除くために、供給流量が3.5 L/sのケースを抽出して示した。

水路勾配5度-15度、5度-12度いずれの場合も、粒径と勾配変化点における堆積速度に正の相関関係が確認できる。

水路勾配5度-15度における粒径1.3 mmの場合の堆積速度は約1.0 cm/s、粒径12.3 mmの場合の堆積速度は1.8 cm/sであり2倍近い差がある。通水終了時の勾配変化点での堆積高は、粒径12.3 mmでは約10.2 cm、粒径1.3 mmでは約7.2 cmであり、約3割の差がある。

水路勾配5度-12度における粒径1.3 mmの場合の堆積速度は約0.5 cm/s、粒径12.3 mmの場合の堆積速度は

表-1 実験条件

水路長	10 m (勾配変化点上流 6.0 m, 下流 4.0 m)	
水路幅	10 cm	
水路勾配	勾配変化点上流：15 度, 12 度 勾配変化点下流：5 度	
供給流量	定流 3.5 L/s 移動床を湿潤状態にするため散水を実施	
実験砂	均一砂 5 条件 (1.3 mm, 2.4 mm, 3.1 mm, 6.7 mm, 12.3 mm)	
土砂供給	移動床の侵食 (移動床敷厚 5.0 cm)	
水路床	全区間移動床とした	

表-2 実験ケース

CA SE	勾配		材料 実験砂 の構成	平均 粒径 d mm	水供給		実験結果	
	上流 度	下流 度			流量 L/s	通水 時間 秒	h/d	堆積 速度 cm/s
1	15	5	均一砂	12.3	5.0	8	5.9	1.8
2	15	5	均一砂	6.7	3.5	8	8.2	1.5
3	15	5	均一砂	3.1	5.0	8	17.5	1.1
4	15	5	均一砂	2.4	2.0	8	21.5	1.0
5	15	5	均一砂	1.3	3.5	8	35.7	1.0
6	12	5	均一砂	12.3	3.5	10	5.6	0.9
7	12	5	均一砂	3.1	3.5	10	13.2	0.6
8	12	5	均一砂	2.4	3.5	10	18.2	0.6

約0.9cm/sである。粒径が大きい12.3mmの場合の堆積速度は、1.3mmの場合と比較して大きく、その差は約2倍である。通水終了時の勾配変化点での堆積高は、粒径12.3mmでは約6.2cm、粒径1.3mmでは約5.2cmであり、約2割の差がある。

なお、粒径12.3mmの堆積速度は2回の実験のばらつきは他のケースと比較して大きい。これは、粒径の大きさによる計測誤差によるものと考えられる。

3.1.2 考察

水路勾配5度-15度、5度-12度ともに粒径と堆積速度には正の相関関係が確認できることから、堆積速度は粒径の影響を受けることが示唆される。

図-2に実験砂の粒径と勾配変化点から1m上流の位置で計測した流速の関係を示す。ここでは水路勾配15度の計測結果を示した。流速は粒径が大きくなると小さくなっており、負の相関関係が確認できる。このことから、粒径が大きい場合は、粒径が小さい場合と比較して勾配変化点に流入した土石流の流速が小さいため堆積しやすかったものと考えられる。

なお、勾配変化点上流側から勾配変化点へ流入する土砂の濃度は実験砂の粒径によってわずかに異なるものの概ね一定であった。

3.2 堆積速度式と実験結果の比較

奥山ら(2024)に準じて実験結果の堆積速度と高橋式による計算値の関係を確認した(図-3)。今回の実験結果は、粒径1.3mmのものを除いて概ね奥山ら(2024)に示された堆積速度係数のレンジと整合している。

粒径1.3mmは、流況観察において一部の粒子が浮遊して流下していることが確認されている。このことから、流れの乱れによる影響が大きく高橋式の適用範囲外であると考えられる。

粒径12.3mmの傾きは0.01程度であり他のケースと比較して急である。また、粒径によって傾きが異なる傾向にあると考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、粒径の異なる実験砂を用いて土石流の勾配変化点での堆積速度と粒径の関係を分析した。この結果、粒径が大きいと堆積速度が大きい傾向が確認できた。

今後は、縮尺が大きい条件で同様の実験を行いスケールの影響を確認することや、粒径による堆積形状の違いを詳細に分析することが課題である。

引用文献

- 水山・下東(1986):土石流堆積過程における非平衡流砂量,昭和61年度砂防学会研究発表会概要集, p.130-131
 奥山ら(2024):土石流等の堆積速度に関する水路実験,令和6年度砂防学会研究発表会概要集, p.687-688
 奥山ら(2023):勾配変化点における土石流・土砂流の堆積特性に関する基礎的実験,令和5年度砂防学会研究発表会概要集, p.625-626
 高橋・匡(1986):変勾配流路における土石流の形成,京都大学防災研究所年報,第29号B-2, p.343-359
 高橋ら(1991):混合粒径材料からなる土石流扇状地の形成とその侵食,京都大学防災研究所年報,第34号B-2, p.355-372

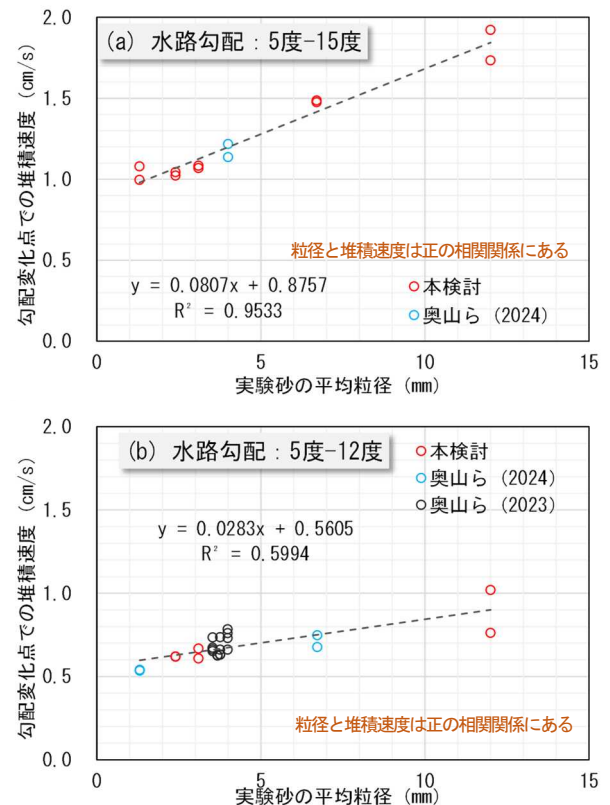


図-1 粒径と堆積速度の関係

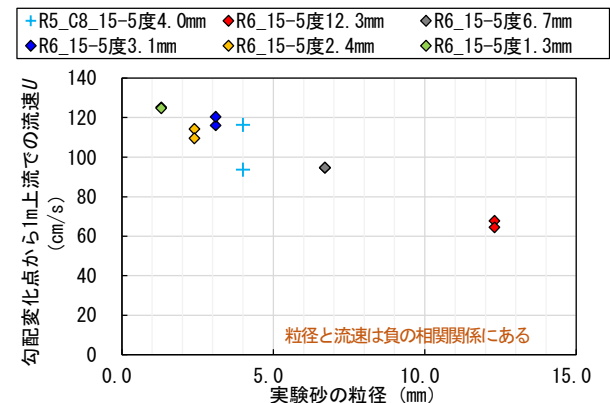


図-2 実験砂の粒径と流速の関係(水路勾配15度)

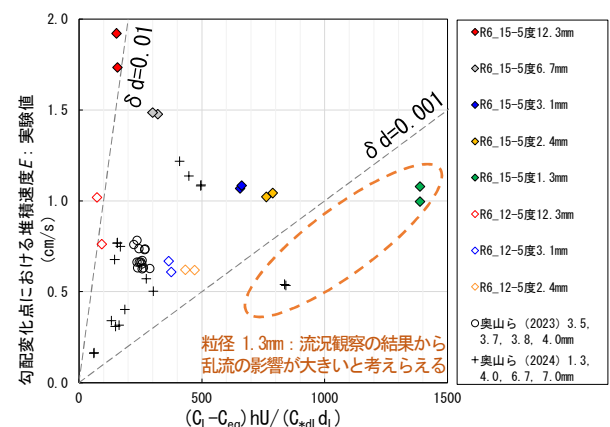


図-3 高橋の堆積速度式の計算値と実験結果の比較