

北海道大学農学院 ○谷川安平
北海道大学農学研究院 山田孝

1. はじめに

溪床堆積物再移動型土石流(以下、土石流)の発達について、高橋(1977)では堆積層に作用するせん断力とせん断抵抗力の関係から平衡土砂濃度を求め¹⁾²⁾、平衡土砂濃度の時流動深方向に土砂濃度分布が一定となるモデルを提案した。しかし、平衡土砂濃度に達するまでの土砂濃度増加や溪床侵食などについては不明な点が多い。筆者らは水路模型実験で取得した映像の輝度値に着目し、土石流先頭部が平衡土砂濃度に至るまでの過程を考察した³⁾。しかし、輝度値は光環境などの実験条件で大きく変化する。そこで本稿では光環境等を的確な条件下で実験を行い、土石流先頭部の流動深方向の土砂濃度分布について画像情報の輝度値を用いることで考察を行った。

2. 研究方法

アクリル製実験流路(流路全長 200cm, 流路高 9.8cm, 流路幅 2.5cm)の流路底部に均一に土砂 7cm を敷き詰め、流路上部から流量 50cm³/s で給水を行うことにより溪床堆積物再移動型土石流を発生させた(図-1)。本実験での土石流発達過程とは土石流先頭部が平衡土砂濃度に至るまでの過程と定義する。土石流流下に伴う平均的な土砂濃度変化と平衡土砂濃度に達するまでの距離を明らかにするため、流路末端から給水箇所までの距離を流下距離 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm, 60cm で実験を行った。それぞれ流路末端から流出する土石流を土砂受け箱で約 1 秒ごとに採取し土砂濃度を測定した。土石流先頭部の流動深方向の土砂濃度分布変化を推定するため、土石流流下時の流路側面から撮影した映像の流動深方向の輝度値に着目した。輝度値は(1)式で表され、計測には ImageJ を用いた。

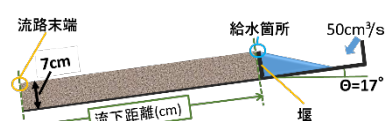


図-1 土石流の発生方法

カメラ (CASIO EXILIM EX-100)	撮影速度	1000fps
	E.Vシフト	1.7
	ISO感度	6400
	倍率	×2.7
	ホワイト バランス	昼光色蛍 光灯
実験材料	カラーサンド(ブラック) D ₅₀ = 0.7mm	
照度	580lx~610lx	

表-1 実験条件

$$L = 0.299R + 0.587G + 0.114B \cdots (1)$$

ここに、 L :輝度値, R :Red 値, G :Green 値, B :Blue 値である。使用カメラ・実験材料・光条件を表1に示す。実験材料は色の違いによる輝度値の変化を少なくするため均一色の土砂を使用した。土砂濃度と輝度値の関係を考察するために、表-1 と同様の実験条件下でスクリー硝子管を用いた実験を行った。胴径 24mm×高さ 50mm のスクリー硝子管に土砂濃度が 0.0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 になるよう土砂と水を入れ攪拌した。その時の画像を撮影し、各ビンの土砂が均等に混ざっている時の輝度値の平均を取り、各土砂濃度における輝度値を求めた。これらの結果から土石流の発達過程での流動深方向の土砂濃度分布について考察を行った。

3. 結果・考察

流路末端での土砂受け箱による直接採取の結果を図-2 に示す。土石流先頭部(土砂受け箱 1)の平均的な土砂濃度は平衡土砂濃度に至るまで流下距離の増加に伴い増加する。平

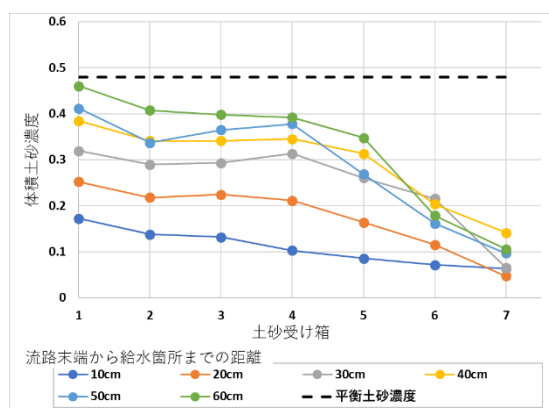


図-2 流下距離と土砂濃度変化

均的な土砂濃度はどの流下距離においても土石流先頭部先頭部で最も高く、後続は低い。流下距離 60cm の時土砂受け箱 1 の土砂濃度が平衡土砂濃度に近いため、本実験条件では流下距離 60cm の時平衡土砂濃度に達したと見なす。スクリー管を用いた土砂濃度と輝度値の結果を図-3 に示す。縦軸は相対輝度(輝度値/堆積層の輝度値)とする。土砂濃度が 0.2 以下では相対輝度に明瞭な差がある。土砂濃度が 0.2 以上の時相対輝度は 1 に近い値を取った。流路実験から得られた平均的な土砂濃度の測定と土石流先頭部の輝度値を図-3 上に表す。土砂濃度に対して相対輝度が少し上昇するが概ね一致する結果となった。図-4 に流路実験で得られた土石流先頭部の流動深方向の輝度値を示す。どの流下距離においても溪床面から約 3mm 以下で土砂濃度が 0.6 前後であった堆積層に近い相対輝度である。流下距離の増加に徐々に堆積層(土砂濃度：約 0.6)の輝度値に近い値を流動深の上部でも示すようになる。

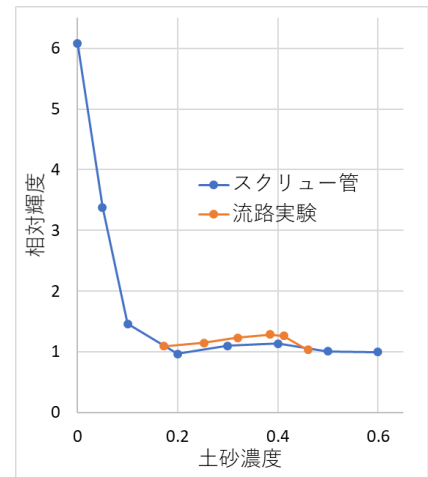


図-3 土砂濃度と輝度値

本実験ではハイスピードカメラを用い撮影速度 1000fps で画像を取得し(写真 1), 目視により土砂の挙動が確認できる。流下距離が 30cm 以上の時土石流先頭部(先端から約 1 秒間)での堆積層の侵食は確認できない。これらの結果から本実験での土石流発達における土石流先頭部の土砂濃度分布について考察を行う。図-2 から土石流先頭部の平均的な土砂濃度は流下距離の増加に伴い増加することが分かった。図-4 から流れ流動深方向の輝度値分布は発達初期の流下距離 20cm では流動深の底部約 1/2, 平衡土砂濃度に達する流下距離 60cm では流動深の底部約 7/8 の高さまで堆積層の輝度値に近い値である。また、写真-1 のように流れの上部では土砂の粒子が確認できない液相・気相層があり、相対輝度は約 1.2 以上である。これは図-3 に示した土砂濃度が 0.2 以下の時と同様の傾向を示す。これらより土石流先頭部が平衡土砂濃度に至るまでに流動深方向に土砂濃度の差が存在することが考えられる。堆積層の土砂濃度(約 0.6)での輝度値がほぼ一定であり、流れ上部でもその値は変わらず一定であることと、流下距離 30cm 以上では土石流先頭部による堆積層の侵食が発生しないことから、流下距離 30cm 以上では平均的な土砂濃度は平衡土砂濃度に達していなくても流れの底面付近は土石流発生箇所付近においても平衡土砂濃度に近いために溪床を侵食できないと考えられる。平均的な土砂濃度が流下に伴って増加するのは、給水管所付近で急激に侵食にされた土砂が土石流の流れ上部に取り込まれることによるもので³⁾、発達に伴い流動深方向の深部から上部へと平衡土砂濃度に近似していくことが考えられる。

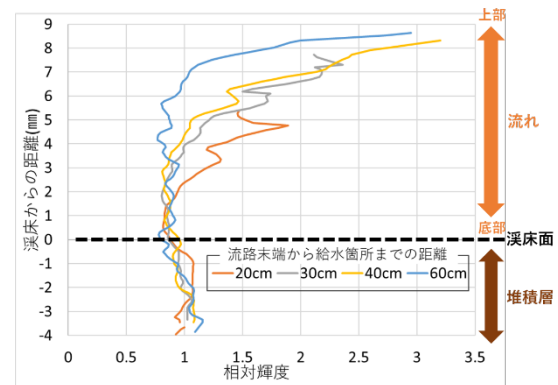


図-4 流路実験での輝度値



写真-1 土石流先頭部の様子
(流下距離 40cm)

【参考文献】

- 1) 高橋保(1977):土石流の発生と流動に関する研究,京都大学防災研究所年報,第 20 号,B-2,P.405-435,
- 2) 高橋保(2004):土石流の機構と対策,近未来社,P.45-172, 3) 谷川安平 (2018): 溪床堆積物再移動型土石流の発達プロセスに関する実験的研究, 第 37 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集 ,P.147-148,