

## 土石流堆積区間における土砂の挙動解明に関する実験的研究

岐阜大学工学部 正会員 高濱淳一郎 岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 藤田裕一郎  
岐阜大学大学院 学生員 新谷紘平

**1. はじめに** 土石流災害の適切な防止・軽減対策を行うためには、土石流シミュレーションモデルの確立が重要になっており、二層流モデルが構築されている<sup>1)</sup>。このモデルによる土石流の流動・堆積過程の予測精度を向上させるためには土石流が非定常性の高い挙動を示す勾配急減点周辺における土石流の挙動を解明することが重要である。このような背景から、これまでに著者らにより固定床あるいは移動床で形成された勾配急減点近傍における土石流の挙動についての実験が行われた<sup>1,3)</sup>。そこで本研究も引き続き固定床、移動床の実験を行い基礎的データをとり、過去のデータ<sup>3)</sup>と比較するとともに、すでに構築された数値シミュレーション<sup>4)</sup>の結果と比較しその妥当性を検討する。また粒子追跡を行い、粒子の力学的エネルギーといった力学的観点から土石流の堆積過程を検討し、土石流の挙動予測の向上に資することを目的としている。

**2. 実験方法および条件** 実験には勾配急減点を有する矩形水路を使用した。側壁の片側はアクリル板を使用し、砂礫の移動が観察できるようになっている。本実験では  $d_{50}=2.942\text{mm}$  の一様砂を用い、河床にも粗度として貼り付けてある。実験は、一定量に調節された砂と水を、同時に一定時間上流端から供給する方法で実施した。本実験では全区間を固定床としたケース、および全区間を飽和移動床としたケースについて実施した。勾配急減点の前後 20cm 区間を高速ビデオカメラで撮影し、勾配変化点近傍における土石流の自由表面(free surface)、砂礫層と水流層の境界(interface)、及び河床.bed)の時間的変化を追跡した。また同時に、特定の粒子に着目し、粒子流跡線の時間的変化も追跡した。

**3. 実験結果、および計算結果についての考察** 図1, 2に実験結果と計算結果の比較図を示す。図に示した時刻は土石流が勾配急減点に到達した時刻を0秒とし、勾配急減点を原点に下流側河床の初期河床面に沿ってx軸をとり、下流方向を正、上流方向を負とした。図1の初期河床を固定床としたケースでは、interfaceに上に凸の折れ曲がり形状が見られ、その形状は時間の経過とともに遡上していきながら、形状を鈍化させ、最終的には消滅して直線状になる。一方、図2の初期河床を移動床としたケースでは、interfaceに折れ曲がり形状は見られず、河床の縦断形状にほぼ平行かつ、直線的に遡上していくことなどがこれまでの著者らの研究<sup>1,3)</sup>と同様、確認できた。シミュレーションとの比較では、固定床において計算値は初期過程からほぼ直線状であり、実験値のようなinterfaceに上に凸の折れ曲がり形状は見られなかった。しかし、折れ曲がり部の下流区間における堆積過程や最終堆積形状については良く表現されていた。一方、移動床のケースでは、堆積過程をおおむね表現できていたものの、流動深については計算値の方が実験値よりも小さめになっていた。

**4. 土砂の粒子挙動に関する検討** 図3, 4, 5は流下する粒子を等時間間隔で追跡し描いた粒子流跡線図であり、勾配急減点を原点に下流側河床の初期河床面に沿ってx軸をとり、下流方向を正、上流方向を負とした。図6, 7, 8は図3, 4, 5で追跡した粒子の力学的エネルギーの時間的変化を示している。ここで、位置エネルギーの基準面標高は勾配急減点位置にとっている。図3より、移動床上の土石流は上流側河床面にほぼ平行に層流的に流下する。同図の流線iのように流動層下層の粒子は徐々に減速し、わずかに下方に沈む様に停止、堆積する。そして、同図の流線jのように当初流動層上層に存在していた粒子も、時間が経過すると上流側から新たな土砂が流下するため、いずれ流動層下層となり、この粒子も徐々に減速し、わずかに下方に沈むように停止、堆積する。この様なプロセスを繰り返しながら流下、堆積していき上流側からの土砂の流下がなくなると、その時上層に存在している粒

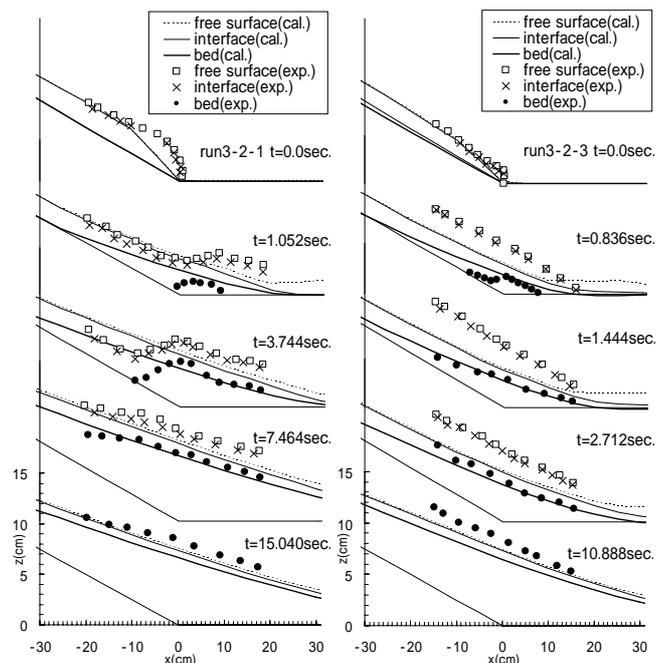


図1 Run3-2-1 (固定床)  
実験結果と計算結果

図2 Run3-2-3 (移動床)  
実験結果と計算結果

キーワード 土石流, 堆積過程, 粒子軌跡, 固定床, 移動床,  
連絡先 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1 岐阜大学 TEL 058-230-1111

子も停止に至り、堆積し土石流の最終形状に至る。

一方、固定床上の土石流は勾配急減点到達前の上流側の流動層上層にある粒子は層流的に流下し、勾配急減点到達後は、図4 流線 l のように interface の折れ曲がり形状に沿うように流下する粒子と、図4 流線 p のように土砂が堆積し移動床となった河床に潜り込むように突入し停止する粒子に別れている。また勾配急減点の下流側では河床は、土砂が堆積し移動床となっているために図5 流線 c のように移動床と同様、徐々に減速しわずかに下方に沈むように停止、堆積する。粒子のエネルギーの時間的変化を調べてみると、図6 ように移動床の粒子の力学的エネルギーは時間の経過と共に滑らかに減少しており、移動床の力学的エネルギーの減少分の大半が位置エネルギーの減少分に対応していることがわかった。

一方、図7, 8 のように固定床の粒子の力学的エネルギーは時間の経過とともに減少している粒子もあるが、逆に一度増加する粒子もあるなど、かなりばらつきが見られ、移動床とは違い運動エネルギーの変化による影響が強く、運動エネルギーの増加、減少により力学的エネルギーも増加、減少していることがわかった。図7 流線 l の運動エネルギーは interface の折れ曲がり形状に沿うように浮き上がる時に増加し、沈む時に急激に減少している。また図8 流線 e は interface 付近に存在する粒子であるが力学的エネルギーは激しく上下しながら流下していることがわかる。

これらの原因として interface 近傍の粒子は水流の影響を強く受けることや、他の粒子との運動量交換などの影響が考えられるが、この点については実験結果を再度、詳細に調べる。図9, 10 は勾配急減点から上流に約 10cm, 下流に約 10cm の断面を通過する粒子の流速分布である。図9 の固定床実験の勾配急減点上流側ではやや下に凸の流速分布を描く結果となった。しかし、下流側では土砂堆積し移動床となり始めていたために直線あるいは若干上に凸の分布形となった。図10 の移動床実験では上流では、逆 S 字の流速分布となっており、下流では上に凸の分布形で河床からの高さが約 1.5cm 付近には流速が約 15cm/sec と速くなっている領域がある。

5. おわりに

本研究の粒子追跡により勾配急減点近傍における土石流の挙動について、固定床と移動床では粒子軌跡や力学的エネルギーの変化に違いがあることがわかった。今後、固定床実験での粒子追跡をさらに進めるとともに、堆積過程における流速分布の変形に関する詳細な情報を取得する予定である。

参考文献 1) 高濱ら：土石流の堆積侵食過程に関する実験と二層流モデルによる解析, 水工学論文集, 第 46 巻 pp677-682, 2002 2) 高濱ら：勾配急減点近傍における土石流の堆積過程に関する実験とその解析, 水工学論文集, 第 46 巻, pp683-688, 2002 3) 高平 祐介：移動床における土石流の堆積過程に関する実験的研究, 土木学会第 58 回年次学術講演会概要 4) 高濱ら：流速と濃度の分布を考慮した土石流の二層流解析, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要

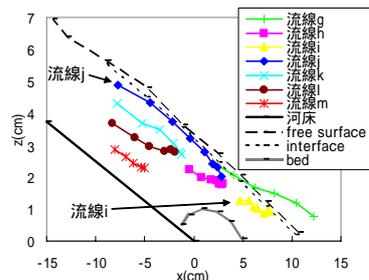


図3 Run3-2-3 (移動床) 粒子流線図

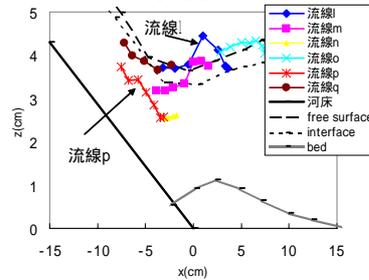


図4 Run3-1-1 (固定床) 粒子流線図

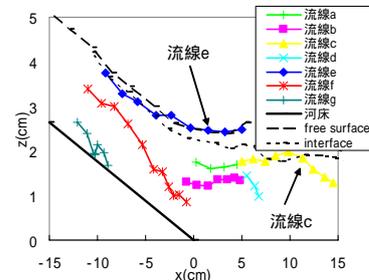


図5 Run3-3-1 (固定床) 粒子流線図

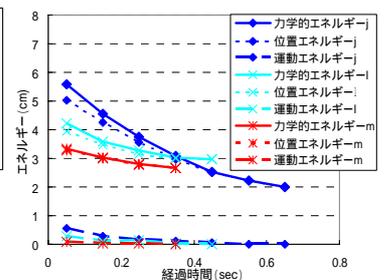


図6 Run3-2-3 (移動床) 時間経過と各エネルギー

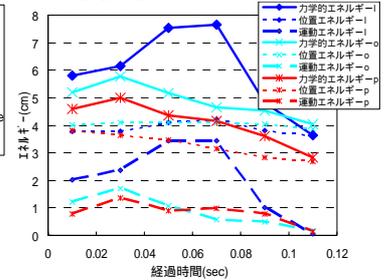


図7 Run3-1-1 (固定床) 時間経過と各エネルギー

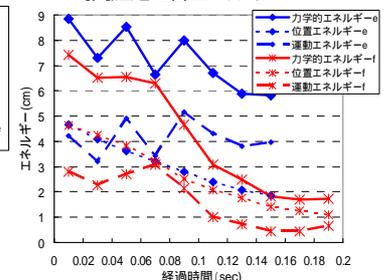


図8 Run3-3-1 (固定床) 時間経過と各エネルギー

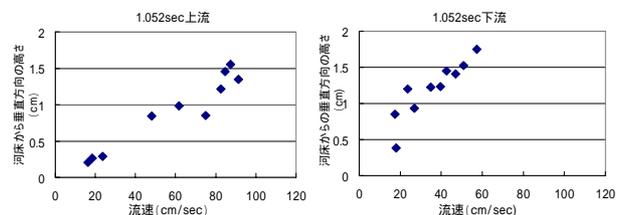


図9 Run3-2-1 (固定床) 流速分布

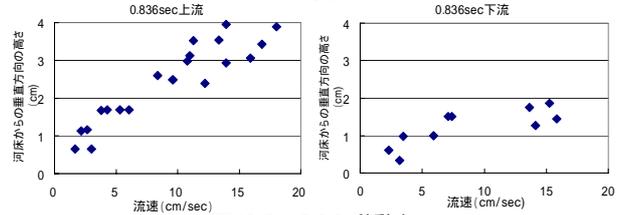


図10 Run3-2-3 (移動床) 流速分布