

移動床上における土石流の堆積過程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 高平 祐介

1. はじめに 土石流から層流状集合流動への遷移過程を解析するために、内部境界を二層に分けて解析するモデルが構築されている¹⁾。また、勾配急減点近傍における土石流の挙動は非定常性が高くなると予測されるのだが、このような領域における流動・侵食・堆積過程は、固定床か移動床かということも含めて詳細に調べられた事例が少ない。そこで著者らにより勾配急減点近傍における固定床と移動床についての実験が行われた¹⁾²⁾が、供給土砂濃度が低いなどの要因から、移動床が水路上流端から固定床化してしまい、移動床と固定床が混在してしまった。そのため上流側から下流側までが完全に移動床となる実験が行えなかったが、土石流の堆積過程に関する固定床と移動床の違いが明らかにされた¹⁾²⁾。また、粒子レベルで土石流の流動過程に着目した研究例はいくつかあるが、それほど多くはない。そこで本研究では上流側から下流側までが完全に移動床となる土石流の堆積過程に関する実験を行い、過去に行われた実験¹⁾²⁾の結果と比較し、河床状態の違いによる土石流の流動・堆積過程について比較を行う。また、粒子の流下過程追跡し、よりミクロな視点で調べるとともに、過去の研究⁶⁾における厳密解を用いた数値シミュレーションについて比較を行う。さらに粒子に対する加速度の加わり方を調べることで土石流の堆積過程を細かく見て行くことを目的としている。

2. 実験条件および方法 実験には勾配変化点を有する幅 10cm、全長 6m の水路を使用した。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おり、河床には一様砂 ($d_{50}=3.42\text{mm}$) が貼り付けてある。上下流全区間において飽和移動床とし、下流側勾配を $2^\circ, 4^\circ, 8^\circ$ と変化させ、上流端から一定量の砂と水を一定時間供給して土石流を発生させて実験を行った。飽和移動床形成と供給砂には一様砂 ($d_{50}=1.067\text{mm}$) を用いた。過去の実験¹⁾²⁾については、上下流区間固定床とした実験と、上流区間固定床、下流区間移動床とした実験であり、いずれも同一の水路を使用し、供給砂には一様砂 ($d_{50}=3.42\text{mm}$) を用いたが、砂と水の供給時間は一定ではないという条件である。デジタルビデオカメラにより下流側から水路全体を撮影することで全体の interface の時間的変化を、高速ビデオカメラで勾配変化点の前後 20cm 区間をほぼ垂直に真横から撮影することで勾配変化点近傍における bed, interface 及び free surface の時間的変化を追跡した。

3. 実験結果及び計算結果についての考察と比較 図-1は全区間移動床における $t=1.12\text{sec.}$ 、図-2は全区間固定床における $t=1.20\text{sec.}$ の実験結果である。条件は図に示したとおりである。時刻は土石流が勾配変化点に到達した時刻を $t=0\text{sec.}$ としている。図-1より全区間移動床では、堆積初期において interface 及び free surface がほぼ直線的に堆積してゆくが、全区間固定床では堆積初期において、図-2のように折れ曲り形状が見られ、それは時間とともに鈍化し直線的に堆積する。また、この折れ曲り形状によって堆積遡上が抑制されている。図-3にシミュレーションと実験の比較図を示す。実験時に計測していた最終堆積形状から逆算した混合土砂の総供給量と、同じく実験時に計測していた総供給量の収支が合わないため、最終堆積形状から逆算した混合土砂の総供給量を用いて過去のの研究⁶⁾で求めた厳密解による数値シミュレーションと実験値を比較した。条件は図に示すとおりである。その結果、シミュレーションのほうが流動深は薄く、かなり流速が速くなる。堆積初期ではシミュレーションのほうが

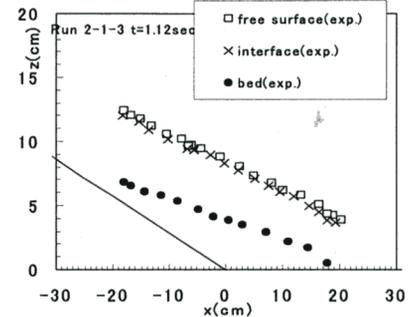


図-1 Run2-1-3 (全区間移動床)

下流河床勾配 2°

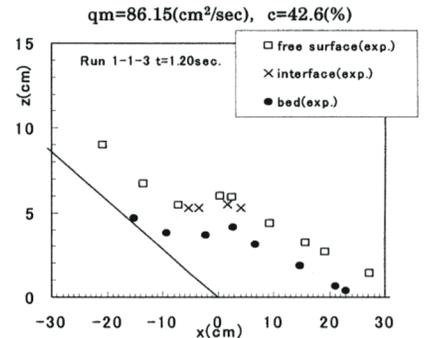


図-2 Run1-1-3 (全区間固定床)

下流河床勾配 2°

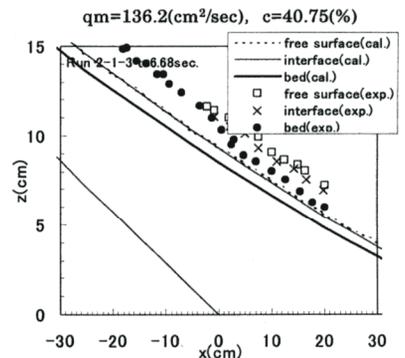
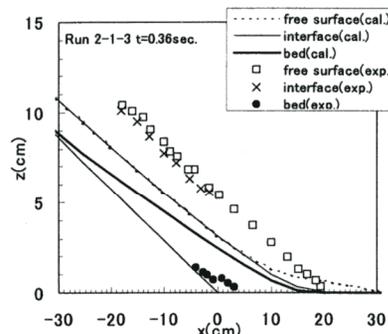


図-3 Run2-1-3 (全区間移動床) シミュレーション比較図

下流河床勾配 2° $qm=86.15(\text{cm}^2/\text{sec})$ [exp], $qm=171.7(\text{cm}^2/\text{sec})$ [cal] $c=40.75(\%)$

である。時刻は土石流が勾配変化点に到達した時刻を $t=0\text{sec.}$ としている。図-1より全区間移動床では、堆積初期において interface 及び free surface がほぼ直線的に堆積してゆくが、全区間固定床では堆積初期において、図-2のように折れ曲り形状が見られ、それは時間とともに鈍化し直線的に堆積する。また、この折れ曲り形状によって堆積遡上が抑制されている。図-3にシミュレーションと実験の比較図を示す。実験時に計測していた最終堆積形状から逆算した混合土砂の総供給量と、同じく実験時に計測していた総供給量の収支が合わないため、最終堆積形状から逆算した混合土砂の総供給量を用いて過去のの研究⁶⁾で求めた厳密解による数値シミュレーションと実験値を比較した。条件は図に示すとおりである。その結果、シミュレーションのほうが流動深は薄く、かなり流速が速くなる。堆積初期ではシミュレーションのほうが

キーワード 土石流, 移動床, 固定床, 粒子追跡, 加速度

連絡先 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1 岐阜大学 TEL 058-230-1111

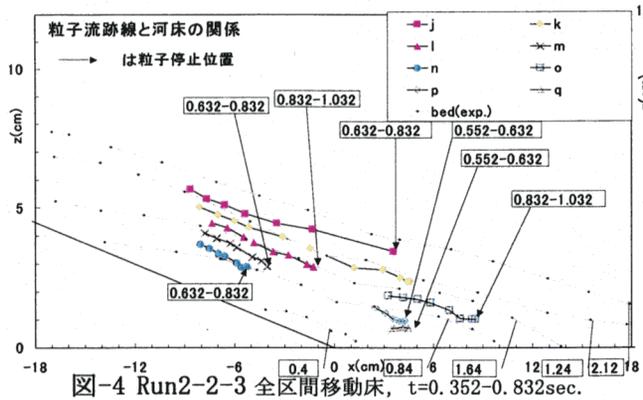


図-4 Run2-2-3 全区间移動床, $t=0.352-0.832$ sec.

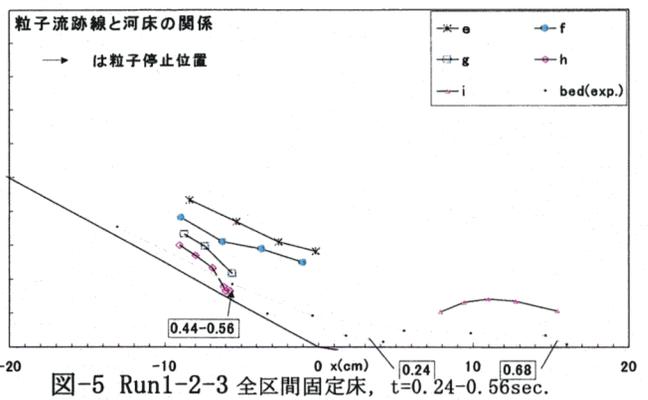


図-5 Run1-2-3 全区间固定床, $t=0.24-0.56$ sec.

堆積速度は速いのだが、時間が経過するにつれてその関係は逆転し、実験値のほうが早く堆積を終了する。

図-4に河床勾配 4° ，上下流全区间移動床の $t=0.352$ sec.～ $t=2.152$ sec.，図-5に河床勾配 4° ，上下流全区间固定床の $t=0.24$ sec.～ $t=0.56$ sec.における粒子流跡線と河床の関係を示す。流跡線の粒子間の時間は一定ではなく、流下するに従い時間スケールが長くなるが、同じ図において左から数えて同じ位置にある粒子の測定時刻は同じである。矢印で示した時刻は粒子が停止した時刻であり、下の吹き出しは堆積面を読み取った時の時刻である。図-4, 5から分かるように河床状態にかかわらず、土石流は時間とともに河床とほぼ平行に流下していくことを確認した。しかしながら、図-5にみられるように、固定床の河床近傍において粒子の挙動は、必ずしも河床と平行ではないことも確認された。また、時間スケールと粒子の移動した距離の関係を見ると、粒子は徐々に減速して行き、停止する直前に非常にゆっくりとした流速で流動している。その傾向は移動床のケースにおいて顕著である。図-6に河床勾配 8° ，上下流全区间移動床の $t=0.568$ sec.～ $t=2.088$ sec.における粒子流跡線と河床及び加速度の関係を示す。図の見かたは図-4, 5と同じであり、点線の吹き出しは粒子を測定した時刻である。ピンクの線は加速度のベクトルを表している。ここでは粒子が停止した時刻の特定が困難であり、停止直前の加速度を示すに至ってない。移動床に比べ固定床の場合のほうが全体的に大きく力を受けているが、とくに勾配変化点の近傍において固定床では流れ方向と逆方向きの加速度が顕著に出ているが、移動床は様々な方向に力を受けている。このことより固定床のほうが勾配変化点においてより河床の影響を受けているものと考察する。全体の流跡線を測定開始から順に見てゆくと固定床に比べ移動床のほうが流下に従い加速度を受けなくなって行き、ほぼ等速度運動となっている。

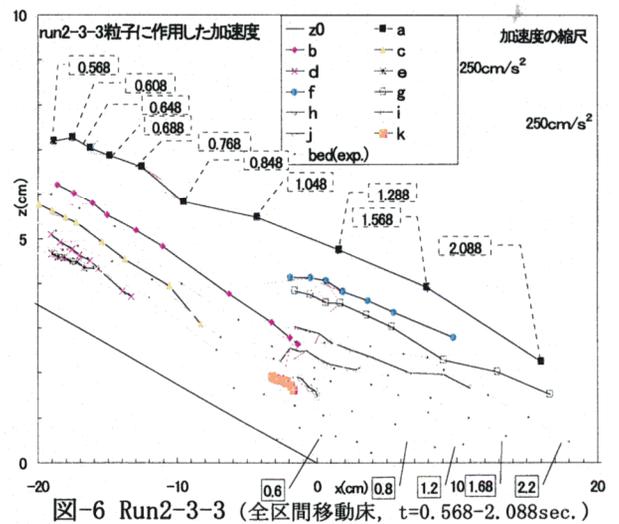


図-6 Run2-3-3 (全区间移動床, $t=0.568-2.088$ sec.)

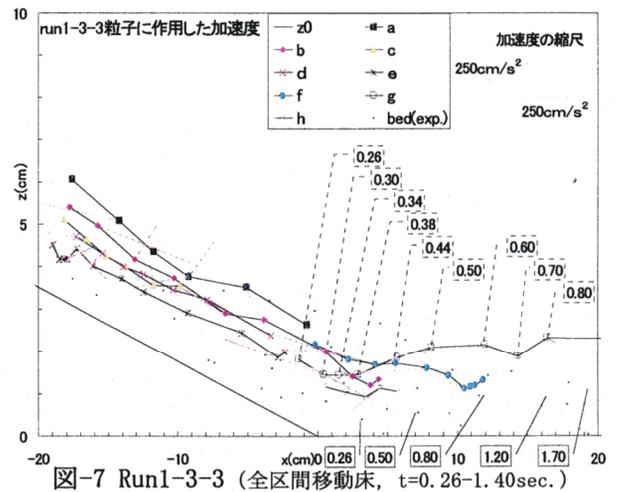


図-7 Run1-3-3 (全区间移動床, $t=0.26-1.40$ sec.)

4. おわりに 移動床上を流下する土石流のある断面を高き方向で見たとき河床近傍に、あらためて流速の非常に遅い層の存在が確認できた。今後はさらに実験を行い、現象の面から検討を進めてゆくとともに、数値シミュレーションにもこの層の影響を考慮し、流動深や流速について正しく表現できるようにして行く必要がある。また、粒子停止時の時刻を明らかにし、停止直前における力の作用の仕方についても検討して行く必要がある。

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)吉野弘祐：流速と濃度の分布を考慮した土石流シミュレーション手法の研究，卒業論文，2002