

II-267

土石流の固定床から移動床流れへの遷移過程

立命館大学大学院
立命館大学理工学部
立命館大学大学院

学生員 ○ 伊藤隆郭*
正会員 江頭進治*
学生員 竹内宏隆*

1. はじめに 移動床上における土石流の理論河床やそこにおける速度勾配といった運動学的条件は、外力としてのせん断力と静的な摩擦力が等しくなり、流動応力が0となることより定まる。これは、移動床上の土石流の流れが、勾配に対して一意に定まることを意味する。それに対して、固定床上の土石流の流れは、勾配、給砂量および砂粒子と河床との摩擦角といった条件に支配される。このような違いが、固定床と移動床上における土石流の河床近傍における応力分布の違いを生み、流速分布形が異なるのである。しかし、固定床と移動床のこのような違いについては、従来の土石流研究においてはあまり意識されていないようである。著者らは、固定床と移動床上の土石流を対象にして、両者の違いは応力構造そのものにあるのではなく、河床近傍における応力分布の違いによるものであることを明らかにし¹⁾、両者の遷移過程について理論的に検討を行った²⁾。本研究においては、固定床と移動床上における土石流の実験を行い、固定床から移動床上の流れへの遷移過程について、実験と理論の両面から検討を行う。

2. 実験的検討 実験には、長さ約12 m、幅10 cmの勾配可変の矩形断面開水路を用い、勾配は19.0°に設定している。水路床には、実験に用いるものと同じ砂を貼り付けている。実験用砂は、 $d_{50} = 0.218$ cm, $\phi_s = 38.7^\circ$, $c_s = 0.512$, $\sigma/\rho = 2.62$ の一様砂である。ここに、 d_{50} は50%粒径、 ϕ_s は砂粒子の内部摩擦角の実測平均値、 c_s は静止堆積層濃度、 σ/ρ は砂粒子の比重である。上流端より定常給水し、同時にホッパーにより給砂を行い、定常状態の土石流を形成させた。実験においては、勾配一定のもとで、輸送濃度 c_t を徐々に増加させて流速と粒子濃度の鉛直分布がどのように変化するかを調べている。ここに、輸送濃度 c_t は $c_t \equiv \int_0^{h_t} c u dz / \int_0^{h_t} u dz$ と定義され、 c は粒子の体積濃度、 u は流速、 h_t は流動深である。図-1は、実験で得られた流速および局所輸送濃度の鉛直分布である。それぞれ全流量はほぼ等しい。 c_t が0.141程度の領域においては、流速分布は、下に凸の分布形である。 c_t を増加させると、ほぼ直線分布に近い分布形を経て、上に凸の分布形(Run193 移動床流れ)へと連続的に遷移している。このとき、 c_t の僅かな違いにより移動床流れに遷移し、急激に流れの抵抗が増大する様子も分かる。

3. 遷移領域の解析 著者らの理論^{1),3),4)}を用いて得られた流速と粒子濃度の鉛直分布(以下、厳密解と呼ぶ。)を図-1に示す。前節で述べたように、固定床から移動床への遷移過程においては、 c_t や摩

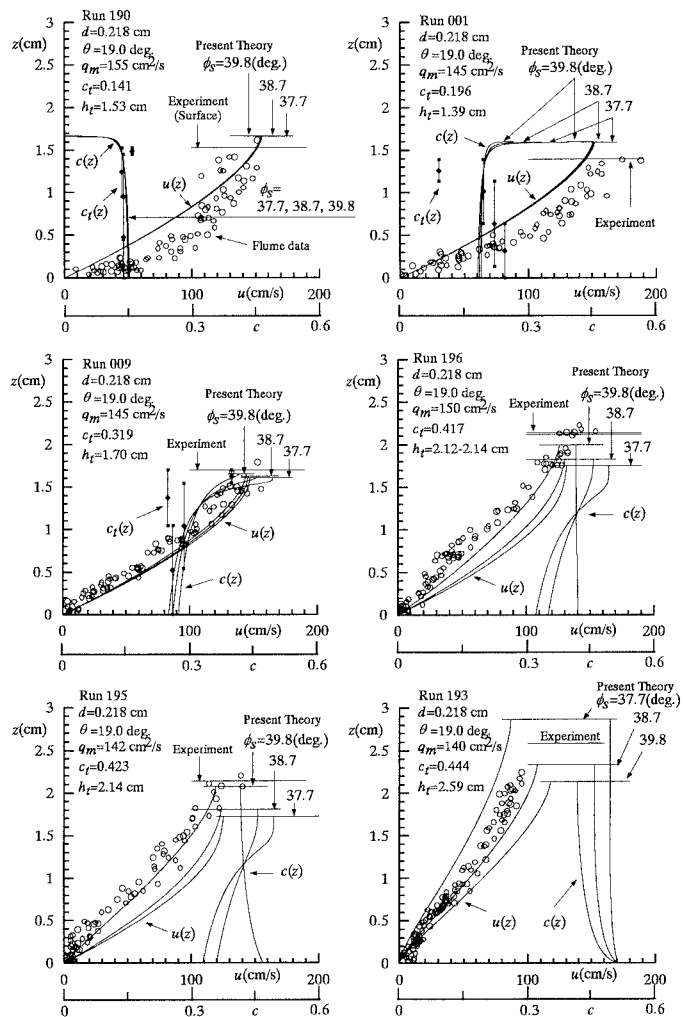


図-1 固定床上における土石流の移動床流れへの遷移過程

Key words : constitutive equations, debris flow, solid-liquid two phase flow, rigid bed, erodible bed

* 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL. 0775-61-2732 FAX 0775-61-2667

擦角といった量の僅かな違いにより流速分布が変化してしまう。これを考慮して、ここでは、砂粒子の摩擦角 ϕ_s に幅を持たせて検討する。図中には、実測値の最大値と最小値の 37.7° と 39.8° を用いた理論曲線も示している。本理論によれば、 $c_i = 0.196$ のケースにおいて、濃度勾配の傾向に相違がみられるものの、 c_i が 0.141 程度の領域から、移動床に遷移する領域にわたって実験の流速および濃度分布の傾向を概ね説明できるようである。しかし、ここで得られる結果については、2つの点に注意が必要である。一つは、構成則そのものに関わる問題である。本理論では、静的なせん断力と圧力の比 $\tan\phi_s$ を一定にしているが、これは、むしろ粒子濃度の関数であり、濃度の減少に伴って小さくなるという研究もある⁵⁾。しかし、高濃度の領域においては、 $\tan\phi_s$ の濃度に対する変化は鈍感であるため、流れに及ぼす影響は小さいものと思われる。もう一つは、粒子濃度の小さい領域において、粒子間隙の空間スケールと流体の乱れスケールの大小関係に関する問題である。図-1において、輸送濃度の小さいケースに着目すると、固定床近傍の実験値の速度勾配が、理論値よりも大きくなっている。これは、本理論において、粒子間隙の空間スケールが固定壁からの距離に依存する乱れスケールよりも大きく、流動応力が過大に評価されていることによる。

次に、従来より提案されている椿・橋本⁶⁾や高橋^{7), 8)}の研究と実験値とを比較する。これらは、せん断応力が流動応力のみによって表現されている。図-2は、これらの構成則を定常等流の運動方程式に適用して、厳密解を求め、図-1に示す実験値と比較している。計算に用いた定数は、砂の材料特性値以外は、各々の提唱するものを用いている。図示のように、解が存在しないものもあり、これらの実験の領域の現象を統一的に説明することは、かなり困難である。なお、図-1と図-2の理論解析の結果の違いは、土石流の流れにおいて、粒子接触圧力および降伏応力の存在が重要であるか否かによるものである。

おわりに 固定床上の土石流の流れから移動床上の流れへの遷移過程に対して、著者らの理論を用いて解析した結果、実験値の傾向が概ね説明できるようである。しかし、濃度の小さい領域においては、河床近傍において壁の影響が支配的になることがあるため、その検討が必要である。さらに、高濃度の領域($c_i \geq 0.4$ 程度)においては、局所輸送濃度の測定を行い、流速および濃度の鉛直分布の構造を更に詳細に把握する必要がある。

本研究は、文部省科研費基盤研究B(代表 江頭進治)の補助を受けている。ここに記して感謝します。

参考文献 1) Egashira, S., Miyamoto, K. and Itoh, T.: 1st, Int. Conf. on Debris-Flow Hazard Mitigation, ASCE, 340-349, 1997, 2) 伊藤・江頭・宮本: 第52回年次学術講演会, 462-463, 1997, 3) 江頭・芦田・矢島・高濱: 京大防災研年報, 33B-2, 487-501, 1989, 4) 江頭・宮本・伊藤: 水工学論文集, 41, 789-794, 1997, 5) 例えば, 最上武雄: 土質力学, 第8章, 技報堂, 6) 椿・橋本・末次: 土木学会論文報告集, 317, 79-91, 1982, 7) 高橋・里深・千代: 京大防災研年報, 39B-2, 333-346, 1996, 8) Takahashi, T.: Debris flow, IAHR Monograph, Balkema, 1991.

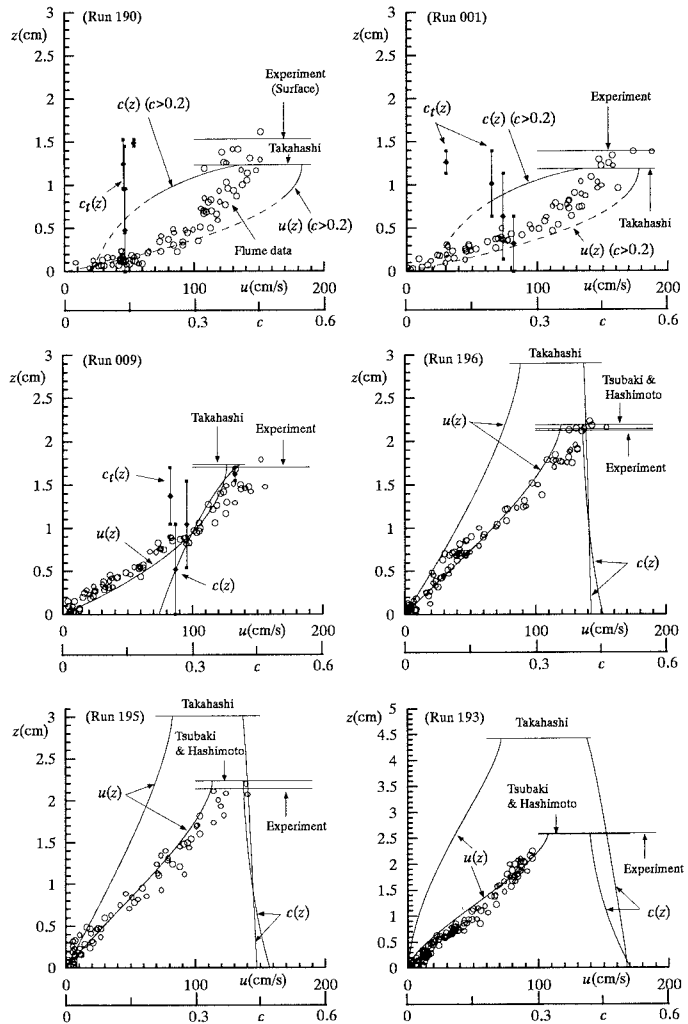


図-2 実験値と各研究者による理論値との比較

図-2は、これらの構成則を定常等流の運動方程式に適用して、厳密解を求め、図-1に示す実験値と比較している。計算に用いた定数は、砂の材料特性値以外は、各々の提唱するものを用いている。図示のように、解が存在しないものもあり、これらの実験の領域の現象を統一的に説明することは、かなり困難である。なお、図-1と図-2の理論解析の結果の違いは、土石流の流れにおいて、粒子接触圧力および降伏応力の存在が重要であるか否かによるものである。