

砂礫流から泥流への遷移について

九州大学工学部 正 員 平野宗夫

九州大学工学部 正 員 橋本晴行

九州大学大学院○学生員 パルー・ムハマド・サレー

九州大学工学部 学生員 宮島正悟

九州大学工学部 学生員 福富 章

1. はじめに

前報¹⁾において、粗粒な粒子から成る砂礫流型土石流(砂礫流と呼ぶ)では、速度分布が急な速度勾配を持ち、せん断流的であるのに対して、微細粒子から成る泥流型土石流(泥流と呼ぶ)では、速度分布が一様になることを明らかにした。さらに、流速係数は、砂礫流では相対水深に比例するのに対して、泥流では相対水深に関連しなくなることも明らかになった。土石流におけるこのような流動特性の変化は、粒子間の衝突・接触に起因する粒子間応力が、砂礫流では卓越し、泥流では効かなくなり、別の機構が作用しているためであると考えられる。本研究は、砂礫流から泥流への流動特性の遷移について、これらの流れに特徴的な表面変動に着目して調べたものである。

表-1 河床材料特性と実験条件

d (mm)	σ/ρ	q_{*c} (cm^2/s)	θ_0	Bed Condition
0.09	2.60	100-460	4° - 18°	Fixed Bed
0.17	2.65	50-670	4° - 18°	Movable Bed
0.29	2.62	50-730	4° - 18°	Movable Bed
0.55	2.65	200-660	4° - 18°	Movable Bed
0.80	2.64	50-660	2° - 20°	Movable Bed
1.24	2.65	100-660	6° - 18°	Movable Bed
1.90	2.61	100-660	6° - 18°	Movable Bed
4.40	2.59	190-1120	2° - 14°	Movable Bed

2. 実験方法

実験には3種類の水路を使用した。比較的水深が大きくなる実験では幅20cm、長さ7mの水路を用い、比較的水深が小さくなる実験では偏流を防ぐため幅10cm、長さ10mの水路を用いた。また河床材料として微細砂を用いた場合には河床の判別が困難となる。その場合には幅12.5cm、全長12mで、長さ5mの滑面固定床部をもつ水路を使用した。用いた河床材料と実験条件は表-1の通りである。

水深や流速分布は、下流端付近の水路側方より16mm高速度カメラやVTRカラーカメラを用いて流れを撮影し、測定した。また、下流端では流れを採取し、流量などを測定した。

3. 実験結果と考察

従来の砂礫流型土石流の理論によれば、流速係数 $\bar{u}/u_*$ 、相対水深 h/d 、水路勾配 θ_0 、粒子比重 σ/ρ との間には

$$\bar{u}/u_* = h/d \cdot F(\sigma/\rho, \theta_0)$$

の関係がある。そこで流速係数と相対水深との関係をプロットすると図-1のようになる。図-2は水路勾配 $\theta_0 = 14^\circ$ にお

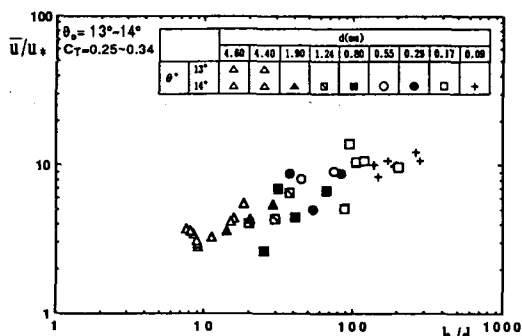


図-1 流速係数と相対水深との関係

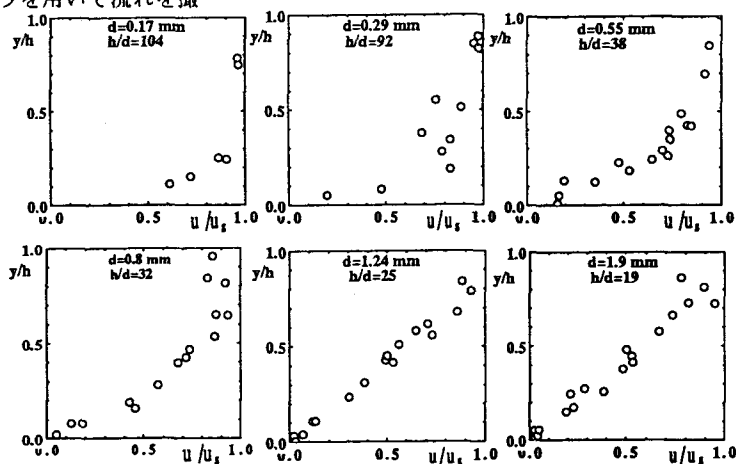


図-2 流速分布

る土石流の流速分布を河床材料別に示したものである。同図には相対水深の値もまた示している。砂礫流、即ち $h/d \leq 30$ では流速係数は相対水深にほぼ比例し、流速分布は急な速度勾配を持つことが確認できる。また、泥流即ち $h/d \geq 100$ では流速係数は相対水深に無関係となり、流速分布は一様化する。 $30 \leq h/d \leq 100$ の領域は砂礫流と泥流との間の遷移形態とみることができる。

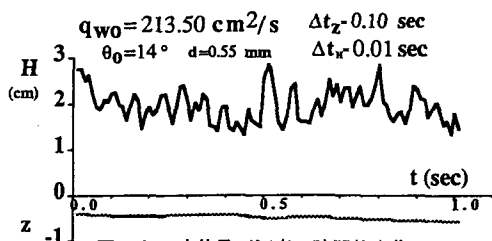


図-3 水位及び河床の時間的変化

図-3は、材料として粒径 $d=0.55\text{mm}$ を使用した場合の土石流の水位と河床の時間的変化の図である。明らかに水位が著しく変動していることが分かる。次に、表面における垂直方向の速度は近似的に $v_H \equiv \partial H / \partial t$ であるから、水位を $\Delta t_H = 0.01\text{sec}$ 毎にサンプリングして v_H を求め、その標準偏差 $\sqrt{v_H'^2}$ の特性を調べた。

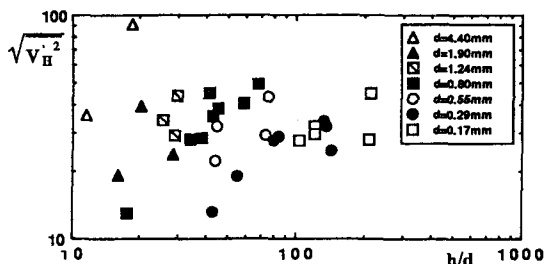


図-4 表面における垂直方向の乱れ強度と相対水深との関係

図-4は、その結果を相対水深に対してプロットしたものである。流速係数や流速分布の変化に対応することなく、 $\sqrt{v_H'^2}$ は相対水深に無関係に散らばっている。さらに、図-5は $\sqrt{v_H'^2}$ をまさつ速度 $u_* = \sqrt{g h \sin \theta_0}$ に対してプロットしたものである。バラツキはあるものの、大略において $\sqrt{v_H'^2} \approx u_*$ の関係が成立していることが分かる。

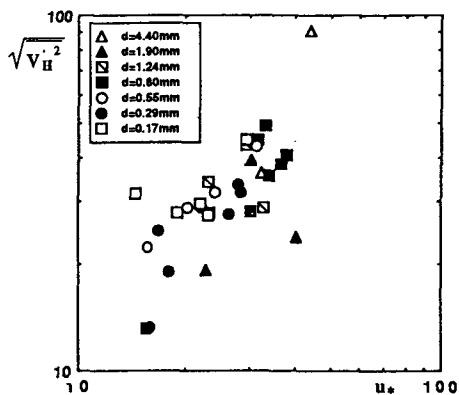


図-5 表面における垂直方向の乱れ強度と摩擦速度の関係

流砂の浮遊のindexとして、表面における垂直方向の乱れ強度 $\sqrt{v_H'^2}$ と粒子の沈降速度 w_0 との比 $\sqrt{v_H'^2} / w_0$ を考え、これと相対水深との関係を表したものが図-6である。図-1, 2と対応して見ると、 $\sqrt{v_H'^2} / w_0 < 3$ では流速分布はせん断流的で、流速係数は相対水深に比例しているのに対して、 $\sqrt{v_H'^2} / w_0 > 10$ においては流速分布は一様化し、流速係数は相対水深に関連しなくなることが分かる。

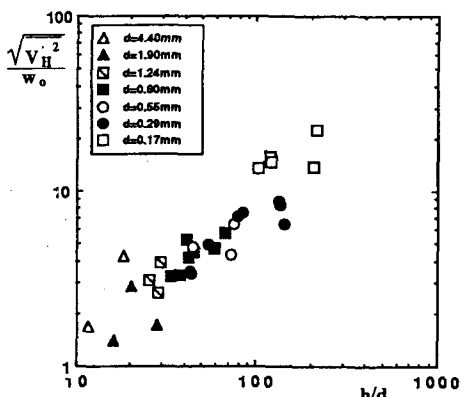


図-6 表面における垂直方向の乱れ強度と粒子の沈降速度との比

以上のようなことから、 $h/d < 30$ では $\sqrt{v_H'^2} / w_0$ の値は比較的小さく、流砂への乱れの影響は小さい。その結果、この領域では、粒子間の衝突による粒子間応力が流れを支配している。一方、 $h/d \geq 100$ では $\sqrt{v_H'^2} / w_0$ の値が大きく、流砂への乱れの影響が強く、これが流れを支配しているものと考えられる。

4. 結語

泥流では、粒子間応力に比べて乱れの影響が強く、これが泥流の挙動を支配していることが示された。今後、その流動則について理論的検討を進めていく予定である。

参考文献

1) 平野・橋本・田崎・峯・高尾・八尋, 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集, 1989.