

立命館大学理工学部 学生員○ 内海敦郎
立命館大学理工学部 正会員 江頭進治
立命館大学大学院 学生員 伊藤隆郭

1.はじめに 土石流の流れは、固相および液相の材料特性、例えば、固体粒子の比重、液体の粘性係数、および固体摩擦といったパラメータに依存するため、普遍的な構成則の構築は困難な状況にある。砂礫と水の混合物の流れを対象とすれば、ほぼ合理的に説明できる段階にある¹⁾。ところで、現地の土石流についてみると、それは砂礫と泥水の混合物の流れであり、仮に泥水を液相として取り扱うと、砂礫粒子の比重が異なり、流れに及ぼす比重の影響が現れることが予想される。江頭らの構成則を適用した結果によれば、固体粒子の比重が流れの特性値に影響するという結果が示唆されている²⁾。本研究においては、固体粒子の比重の違いが流れに及ぼす影響を実験データと計算値を用いて検討する。

2.実験データの解析 実験には長さ 12m、幅 10cm の可変勾配式の矩形断面水路を用いている。水路床には、粗度として実験材料と同様のものを貼り付けている。上流端より定常的に給水および給砂を行い、定常状態の土石流を形成させている。実験は移動床と固定床流れを対象としている。固体粒子の比重の影響をみるために使用材料は粒度分布がほぼ一様の珪砂およびスラッジライトの 2 種類の材料を用いている。各々の材料特性は次のようである。砂： $d_{50}=0.218(\text{cm})$ 、 $\bar{\phi}_s=38.7^\circ$ 、 $c_s=0.512$ 、 $\sigma/\rho=2.62$ 、スラッジライト： $d_{50}=0.210$ 、 $\bar{\phi}_s=36.9^\circ$ 、 $c_s=0.499$ 、 $\sigma/\rho=1.96$ 。ここに、 d_{50} ：中央粒径、 $\bar{\phi}_s$ ：内部摩擦角の実測平均値、 c_s ：静止堆積層の土砂濃度、 σ/ρ ：比重である。

図-1 および図-2 は、勾配が 19° の固定床上における砂礫粒子及びスラッジライトを含む流れの流速分布と局所輸送濃度の分布である。○印は流速分布のデータであり、局所輸送濃度のデータは、測定範囲を実線で示し、図心は◆印で示している。流速分布を見ると、砂礫粒子に比べてスラッジライトの方が流速が大きく水深が小さい。局所輸送濃度分布についてみると砂礫粒子のものは、ほぼ一様であり、スラッジライトのものは、濃度の逆転現象が強く現れている。図-3 は、勾配がほぼ同じ場合における移動床上の砂礫粒子およびスラッジライトを含む流れの流速分布である。流速分布を見ると、砂礫粒子に比べてスラッジライトの方が平均流速が小さく水深が大きい。以上の結果は、固定床上の流れにおいては固体粒子の比重が減少すると、流れの抵抗が小さくなり、移動床上の流れにおいては固体粒子の比重が減少すると、流れの抵抗が大きくなることを示唆している。

3.流れに及ぼす比重の影響 固定床上及び移動床上における土石流の流れについて実験値と計算

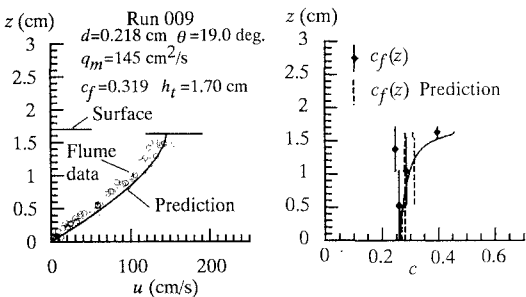


図-1 固定床上における流速・濃度分布(砂)

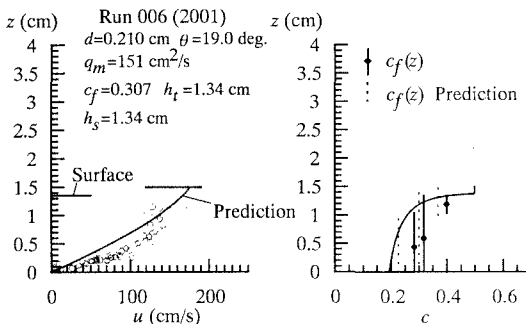
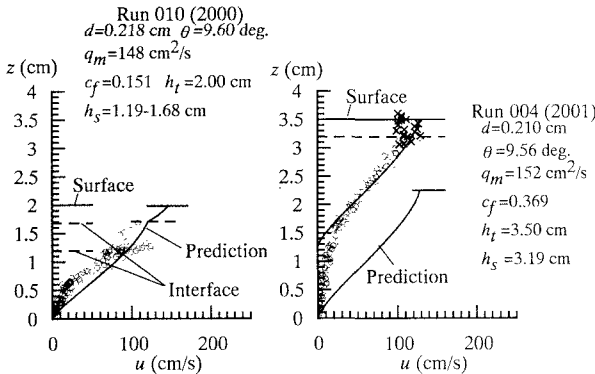


図-2 固定床上における流速・濃度分布
(スラッジライト)



砂 スラッジライト
図-3 移動床上における流速分布

値^{2),3)}を比較する。図-1,図-2 および図-3 に示す実験値には計算値も載せており、実線が計算値である。図-1 及び図-2 の固定床上における結果をみると、砂礫粒子およびスラッジライトの実験値と計算値はよく一致している。粒子濃度分布は、計算値が若干濃度の逆転現象が強く現れているものの、両者は概ね一致している。図-3 の移動床上の結果を見ると、砂礫粒子については実験値と計算値は概ね一致している。スラッジライトのものは河床近傍においてクリープによる影響を大きく受けている。クリープの影響を除くために、実験値と計算値の自由水面の位置を一致させて比較すると、実験値と計算値は概ね一致している。図-4 (a) は固定床上における流れの抵抗に関する実験データと計算値の比較である。これを見ると実験値と計算値はともにスラッジライトの方が砂礫粒子よりも抵抗が小さい。図-4 (b) は移動床上における流れの抵抗に関する実験値と計算値の比較である。移動床上の実験結果においては、クリーピングの影響を含むものを丸印で示し、それを除いたものを星印で示している。なお、クリープの影響は便宜的に表面流速の 10% よりも小さいデータを除いて水深を求めることによって行っている。図によると、実験データおよび計算値は砂礫粒子の方がスラッジライトよりも抵抗が小さい。図-4 の結果は、固体粒子の比重が小さくなると固定床においては流れの抵抗が小さくなり、移動床においては、逆に大きくなることを表している。図-1 から図-4 の結果は、固定床上の流れと移動床上の流れにおいて、比重に対する流れの特性値の変化が異なることを示している。図-5 は輸送濃度 c_f と勾配 θ の関係である。ここに

$c_f = \int_0^{h_t} c u dz / \int_0^{h_t} u dz$ である。これによれば、輸送濃度 c_f に及ぼす比重の影響は大きいことが分かる。図-1 から図-5 で得られた結果について考察する。固定床においては、河床近傍において流動応力が存在し、移動床の河床近傍においては、外力と降伏応力がつりあうため、流動応力は河床近傍において存在しない。このような河床近傍における流動応力の分布特性が、図-1 から図-4 に示すような流れに及ぼす比重の影響を示している。すなわち、固定床においては、比重が小さくなると、降伏応力が減少することによって流れの抵抗は小さくなる。一方、移動床においては、比重が小さくなると粒子濃度が大きくなるため降伏応力が増加し、流れの抵抗が大きくなる。図-5 において、輸送濃度と勾配の関係をみると、移動床上の流れは、河床において外力と降伏応力がつりあうこと、すなわち、流れが勾配に対して一意に決まることが示されている。

4. おわりに 固体粒子の比重が土石流の流れに及ぼす影響について実験値と計算値を比較検討した。固定床上と移動床上の流れにおいては、固体比重の大小によって流れの抵抗の変化が逆に現れた。これは、河床近傍における応力分布、特に降伏応力の分布特性に起因する。今後、実験データをさらに収集して検討するとともに、移動床上の河床近傍で生じたクリープ現象のメカニズムについても検討したい。

参考文献 1) 江頭進治・宮本邦明・伊藤隆郭：掃流砂量に関する力学的解釈，水工学論文集，41 巻 789-794，1997，2) 伊藤隆郭・江頭進治・宮本邦明：土石流の流れに及ぼす固相・液相の材料特性の影響，水工学論文集，44 巻，677-682，2000，3) Itoh, T., S. Egashira and K. Miyamoto: Influence of interparticle friction angle on debrisflow, 2nd Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation, ASCE, Balkema, 219-228, 2000.

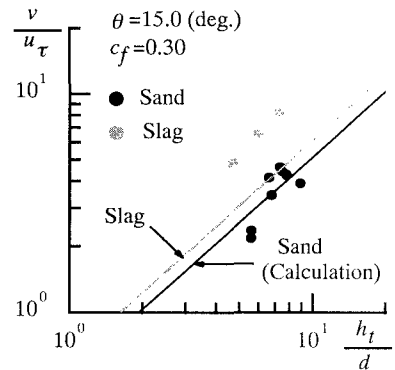


図-4 (a) 抵抗則 (固定床)

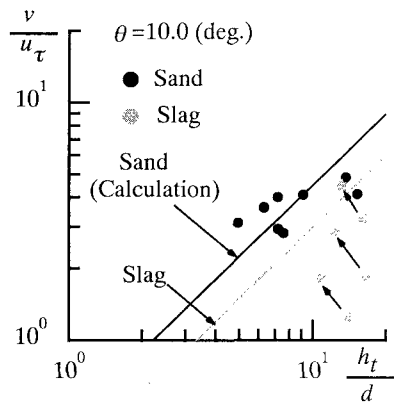


図-4 (b) 抵抗則 (移動床)

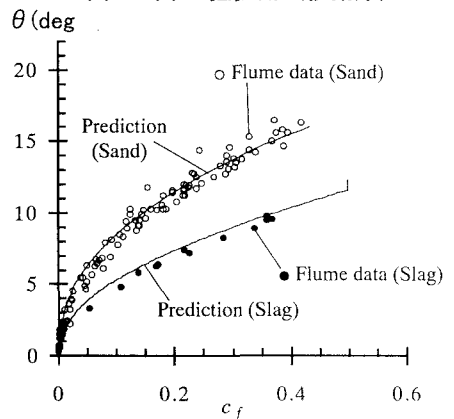


図-5 輸送濃度と勾配の関係