

47 定常状態の土石流に及ぼす固体比重の影響

立命館大学大学院 学生員 ○伊藤隆郭 立命館大学理工学部 正会員 江頭進治

1. はじめに 土石流は砂礫と水との混合物の流れであり、流れの特性値は、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。このため、普遍的な構成則の構築が困難な状況にある。仮に、砂礫と水の混合物の流れのみを対象とすれば、土石流から掃流砂流にまたがる広い領域の流れの特性値が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ことができるならば、砂礫粒子の見かけの比重は清水中のものよりも小さくなる。江頭らの構成則を適用して得られる計算結果によれば、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¹⁾。本研究においては、固体比重の流れに及ぼす影響を固体比重の異なる材料を用いて得られた実験データと江頭らの構成則を用いて得られる計算値を用いて検討する。

2. 実験データの解析 砂礫粒子と水との混合物およびスラッジライト粒子と水とのそれに関するデータを用いて解析を行う。砂礫粒子およびスラッジライト粒子は、それぞれ粒度分布がほぼ一様であり、材料特性値はそれぞれ次のようである。砂: $d_{50} = 0.218$ (cm), $\bar{\phi}_s = 38.7$ (deg.), $c_s = 0.512$, $\sigma/\rho = 2.62$, スラッジライト: $d_{50} = 0.210$ (cm), $\bar{\phi}_s = 36.9$ (deg.), $c_s = 0.499$, $\sigma/\rho = 1.96$ 。ここに、 d_{50} は 50% 粒径, $\bar{\phi}_s$ は内部摩擦角の実測平均値, c_s は静止堆積層の体積濃度, σ/ρ は固体粒子の比重である。図-1 および図-2 は、それぞれ勾配が 19.0 (deg.) の固定床上における砂粒子およびスラッジライト粒子を含む流れの流速分布と局所輸送濃度 $c_f(z)$ の鉛直分布である。ここに、 $c_f(z) = \int_z^{z+\Delta z} cudz / \int_z^{z+\Delta z} u dz$ のように定義される。図において、 h_t は流動深, c_f は輸送濃度であり、 $c_f = \int_0^{h_t} cudz / \int_0^{h_t} u dz$ のように定義される。同図のデータにおいて、流量および流砂量はほぼ一定である。○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。流速分布についてみると、スラッジライト粒子を含む流れの方が、流速が大きく水深は小さい。 $c_f(z)$ の鉛直分布についてみると、砂粒子を含む流れにおいては、ほぼ一様な分布形であり、水面に近づくにつれて濃度が大きくなる現象、すなわち濃度の逆転現象²⁾がみられる。一方、スラッジライト粒子のものは、砂粒子のものよりも更に濃度の逆転現象が強く現れている。図-3(a), (b)は、それぞれ移動床上における砂粒子およびスラッジライ

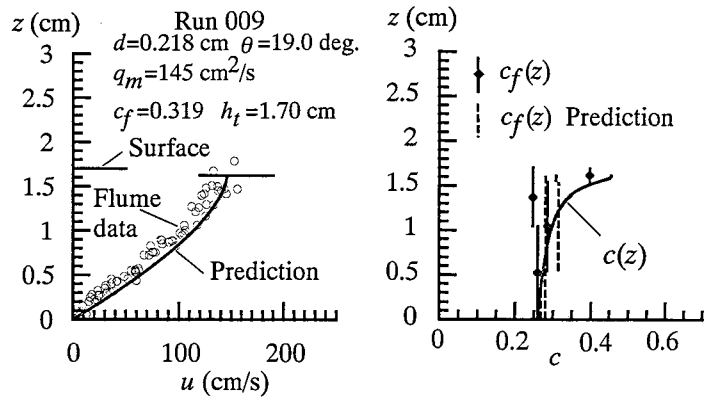


図-1 固定床上における流速・粒子濃度分布 (砂粒子)

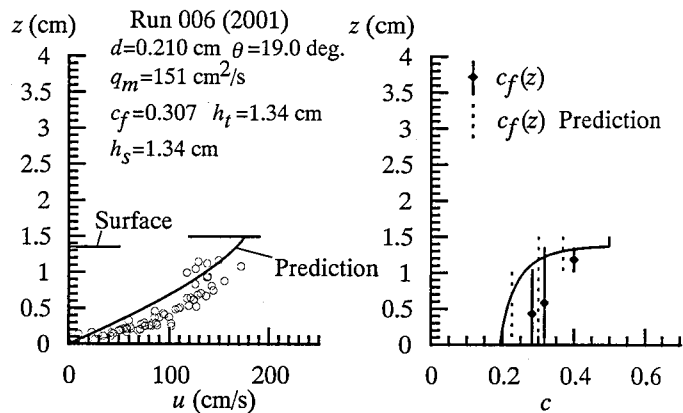
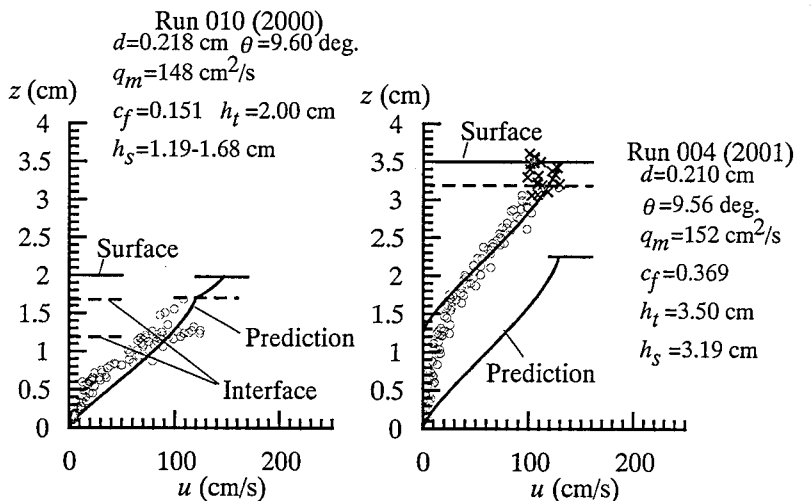


図-2 固定床上における流速・粒子濃度分布 (スラッジライト)



(a) 砂粒子 (b) スラッジライト

図-3 移動床上における流速分布

移動床上における砂粒子およびスラッジライ

ト粒子を含む流れの流速分布の比較である。同図において、流量および勾配はほぼ等しい。ここに、 h_s は粒子移動層の厚さであり、粒子移動層と清水流の層との境界を **Interface** と表記している。同図によると、ビーズ粒子を含む流れの方が、流速が小さく水深が大きくなっている。以上の結果は、固定床上の流れにおいては、粒子の比重の増加に伴い、流れの抵抗が増加し、移動床上のものは、それとは逆の傾向が現れることを示唆している。

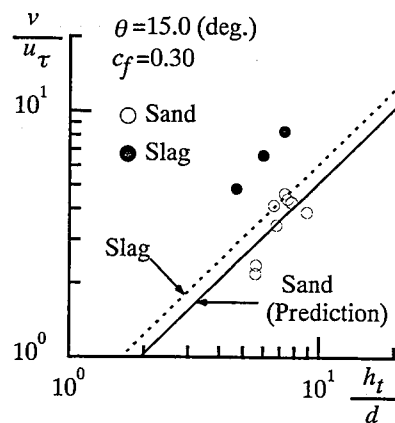


図-4 抵抗則(固定床)

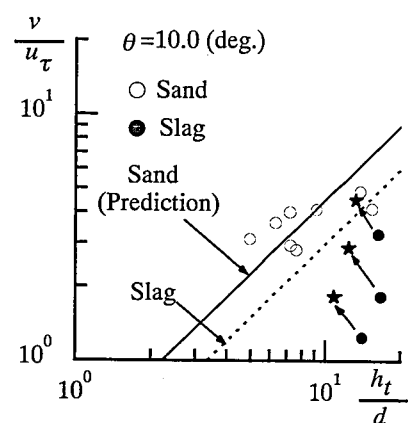


図-5 抵抗則(移動床)

図-4 および図-5 は、固定床および移動床上における流れの抵抗を示したものである。同図には、過去に得られたデータ^{3), 4)}も載せている。

ここに、 v/u_τ は無次元平均流速、 h_t/d は相対水深、 u_τ は摩擦速度で、 $u_\tau = \sqrt{gh_s \sin\theta}$ である。これによれば、明らかに、固定床上の流れにおいては、砂粒子を含む流れの抵抗の方がスラッジライトのものよりも大きく、移動床上の流れにおいては、固定床のものとは逆の結果である。

3. 構成則の適用 定常・等流の運動量保存則に著者らの構成則⁵⁾を用いて得られる流速と粒子濃度の鉛直分布および流れの抵抗に関する計算値を実験データと比較する。計算値は、図-1 から図-5 に実線で示されている。図-1 および図-2 の固定床における流速および濃度の鉛直分布をみる。これらによれば、概ね計算値と実験値は一致している。次に、図-3 の移動床上における流速分布についてみる。砂粒子のものは、計算値と実験データは概ね一致しているが、スラッジライトのものは、実験値において河床近傍にクリープ現象が現れている。現在のところ、クリープ現象に関する詳細なメカニズムは不明であるため、この影響を取り除くため、自由水面の位置を一致させることによって計算値と実験値を比較する。これによれば、両者は概ね一致しているようである。さらに、流れの抵抗について、図-4 および図-5 を用いて検討する。ここで、図-5 のスラッジライトのデータ(●印)には、先に述べたように、クリープの影響が現れている。そこで、表面流速の10%より小さい流速のデータを除いて水深を求めることによって、便宜的にクリープの影響を除いている(★印)。両図と図-1 から図-3 の結果を用いると、粒子の比重が大きくなると、固定床上における流れの抵抗は大きくなり、移動床上のものは小さくなっていることが分かる。最後に、輸送濃度についてみる。図-6 は輸送濃度 c_f と勾配 θ の関係である。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。この結果は、例えば、土石流の数値計算によって流出土砂量を計算する時、液相の取り扱いには十分留意しなければならないことを示唆している。

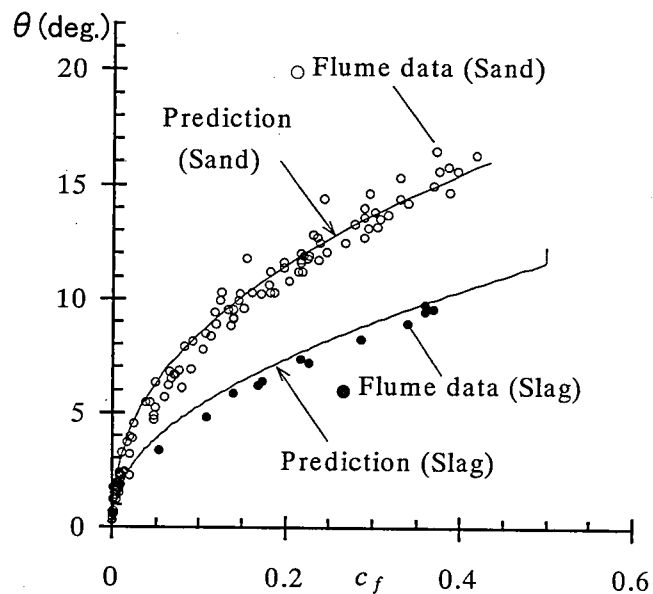


図-6 勾配と輸送濃度の関係

ところで、図-1 から図-5 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。これについて著者らのモデルを用いて、応力分布 $\tau(z)$ 、特に、降伏応力 τ_y の変化に着目して考察する^{1), 2)}。固定床上の流れにおいては、粒子比重が増加すると τ_y が増加し、流動応力 $\tau - \tau_y$ が減少するため、流れの抵抗が増加する。一方、移動床上の流れにおいては、粒子比重の増加に伴って断面平均濃度 \bar{c} および τ_y が減少し、流動応力が増加するため、流れの抵抗が減少するのである。すなわち、粒子比重の変化に伴う固定床および移動床上における流れの抵抗の違いは、粒子濃度および降伏応力の分布特性に起因している。

4. おわりに 流れに及ぼす固体比重の影響を実験値と計算値を用いて検討した。著者らの構成則を適用すると、土石流の流れに及ぼす粒子比重の影響を概ね評価できるようである。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)伊藤ら:水工学論文集, 44, 677-682, 2000, 2)Itoh et al.:2nd Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation, ASCE, Balkema, 219-228, 2000, 3)江頭ら:京大防災研年報, 33B-2, 293-306, 1990, 4)江頭ら:京大防災研年報, 34B-2, 261-274, 1991, 5)江頭ら:水工学論文集, 41,789-794, 1997.