

(株)鴻池組
立命館大学理工学部
立命館大学大学院

正会員○ 赤塚祐介
正会員 江頭進治
学生員 伊藤隆郭

1. はじめに 土石流の構成則に関する研究は、活発に進められてきている^{1)~3)}が、普遍的な構成則の構築には至っていない。江頭ら^{4),5)}は、土石流の構成則を提案し、その適用を図ってきた。本研究は、内部摩擦角 ϕ_s の違いが土石流の流れに及ぼす影響について、実験的に検討するとともに、江頭らの構成則から得られる結果に基づいて比較検討する。

2. 実験的検討 長さ 12m、幅 10cm の可変勾配式の矩形断面水路を用い、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た。砂は、一様砂であり、 $d_{50}=0.218(\text{cm})$ 、 $\bar{\phi}_s=38.7^\circ$ 、 $c_s=0.512$ 、 $\sigma/\rho=2.62$ 、ビーズの材料特性は $d_{50}=0.210(\text{cm})$ 、 $\bar{\phi}_s=27.3^\circ$ 、 $c_s=0.610$ 、 $\sigma/\rho=$

2.49 である。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。実験は次のように行っている。上流端より定常給水し、同時にホッパーより給砂して、定常状態の土石流を形成させた。水深は、下流端近傍に設置した 3 つのポイントゲージにより測定し、その平均値を用いている。流速分布は、水路下流端近傍に設置した高速ビデオカメラを用いて、水路側壁より撮影した画像より求めた。流量及び流砂量は、水路下流端において、数回採水し、その平均値を用いている。局所輸送濃度分布は、水路下流端に設置された鉛直方向に千鳥状に飲み口のあるサンプラーを用いて採水することによって求めている。全ての実験において、流量はほぼ $150\text{cm}^2/\text{s}$ となるように留意している。

図-1 及び図-2 は勾配が 19° のときの、固定床上における砂礫粒子およびビーズ粒子を含む流れの流速分布と局所輸送濃度の分布である。流速分布はプロットされた点、局所濃度分布は破線が実験結果を示す。流速分布を見ると、砂礫粒子と比べてビーズ粒子の方が速度勾配が大きく、水深は小さい。これは、ビーズ粒子を含む流れの方が、流れの抵抗が小さくなることを表す。局所輸送濃度の鉛直分布を見ると、砂礫粒子の結果は、濃度が一様化しているが、ビーズ粒子の結果は、水面に近づくにつれ、濃度が大きくなるという逆転現象が見られる。

図-3 は勾配がほぼ同じ場合の移動床上における砂礫粒子およびビーズ粒子を含む流れの流速分布である。プロットされた点が実験結果である。図を見ると、砂礫粒子と比べてビーズ粒子の方が、速度勾配が小さくなり、水深が大きくなることを表す。

以上の結果は、固定床上の混合物の流れにおいては、内部摩擦角が小さくなると、流れの抵抗は小さくなり、移動床上の混合物の流れにおいては、内部摩擦角が小さくなると、流れの抵抗が大きくなることを示している。

3. 理論の適用性 砂礫粒子及びビーズ粒子を含む固定床及び移動床上における土石流の流れに関して、実験値と計算値^{4),5)}を比較する。図-1, 2 及び 3 に示す実験結果には、計算値も載せており、実線が計算値である。

図-1 及び図-2 の固定床の結果をみる。流速分布において、実験値と計算値は概ね一致している。濃度分布をみると、ビーズ粒子においては実験値、計算値は概ね一致しているが、砂礫粒子においては実験値では濃度は一様化しているのに対し、計算値においては逆転現象が強く現れている。これについては輸送濃度の小さい実験を行って検

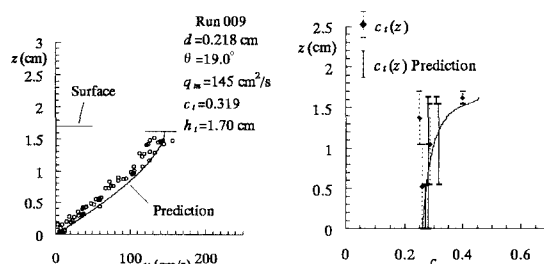


図-1 固定床上における流速・濃度分布(Sand)

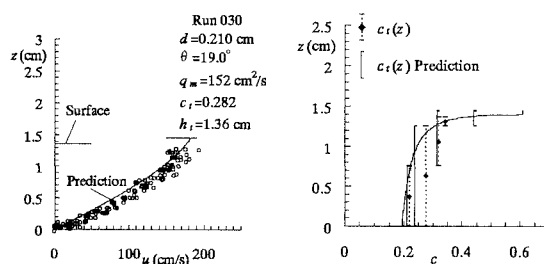


図-2 固定床上における流速・濃度分布(Bead)

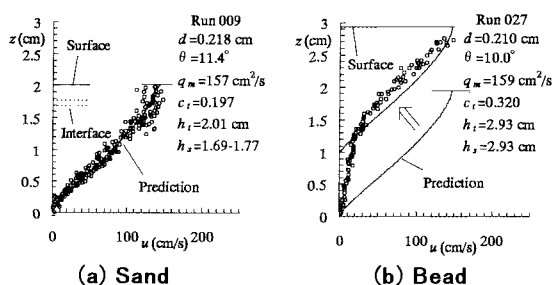


図-3 移動床上の流速分布

討する必要がある。

図-3の移動床の結果をみる。実線は計算値を示している。砂礫粒子の計算値結果は、実験値の傾向をよく示しているが、ビーズ粒子の流速分布に若干のズレが生じている。これは、河床近傍においてクリーピングによる影響を大きく受け、河床の位置が深めに判定されたためであると考えられる。そこで、計算値と実験値の水面を一致させ、クリーピングによる影響がどの程度存在するのか検討を行ってみた。その結果を図-3(b)に示

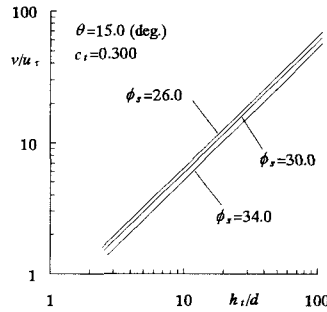


図-4(a) 抵抗則 (固定床)

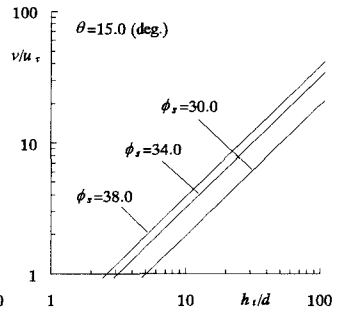


図-4(b) 抵抗則 (移動床)

している。図のようにビーズ粒子の場合には、クリーピングによる影響が認められる。クリーピングのメカニズムに関しては今後検討が必要であるが、図-3(b)に示すように、せん断流として流動する部分は、実験値、計算値ともに概ね一致している。

図-4(a)は、固定床上における抵抗則の計算結果である。 ϕ_s が小さくなると、流れの抵抗は小さくなることを表している。図-4(b)は、移動床上における抵抗則の計算結果である。 ϕ_s が小さくなると、流れの抵抗は大きくなることを表している。いずれも、図-1~3に示されている実験結果を裏付けるものである。

今回の実験結果にこれまで得られた実験結果^{6)~8)}を含めて、層厚、輸送濃度及び流砂量に対する ϕ_s の影響について検討する。

図-5は、勾配に対する移動層厚の関係である。ここに、 h_s は粒子層の移動厚、 h_t は全流動層厚である。これによれば、 ϕ_s の小さいビーズ粒子の方が、実験値も計算値も移動層厚が大きくなる。図-6は、輸送濃度 c_t と勾配の関係である。ここに、 $c_t = \int_0^{h_t} c u dz / \int_0^{h_t} u dz$ である。これによれば、移動床上における土石流の流れは、勾配に対して一意に定まることを示すとともに、 c_t に及ぼす ϕ_s の違いが、顕著に現れることを示している。

図-7は、無次元掃流力 τ_* に対する無次元流砂量 Φ との関係である。ここに、 $\tau_* = u_*^2 / (\sigma/\rho - 1)gd$ 、 $\Phi = q_b / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}$ である。計算結果には、 ϕ_s の影響が有意に現れているが、実験結果は、あまり ϕ_s の影響は現れていない。これは先述のように、クリーピングの影響により、水深が深めに算出されるため、 τ_* の値が実際の値より大きくなるためであると推察される。それらを考慮すると、 Φ に対する ϕ_s の影響が計算値によって概ね表現されているようである。以上より、流速分布、濃度分布、勾配及び掃流力に対する ϕ_s の影響について検討した。いずれも ϕ_s の影響は大きく現れる。

4.おわりに 土石流の流れに及ぼす材料特性値、特に内部摩擦角の影響について検討した。実験値に対して、江頭らの構成則を適用して得られた結果を比較したところ、概ね一致することが認められた。固定床上の流れにおいて、濃度の逆転現象が確認されたが、計算値の方が若干その傾向が大きく見られた。ビーズ粒子を用いた移動床上の流れにおいて、河床近傍でクリーピング現象が認められた。そのメカニズムについては、今後更に検討していく必要がある。

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)高橋:京大防災研年報, 20B-2, 405-435, 1977, 2)椿ら:土木学会論文報告集, 317, 79-91, 1982, 3)江頭ら:京大防災研年報, 32B-2, 487-501, 1989, 4)江頭ら:水工学論文集, 41, 789-794, 1997, 5)S. Egashira et al.:Proc. 1st Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation, ASCE, 340-349, 1997, 6)江頭ら:京大防災研年報, 34B-2, 261-274, 1991, 7)江頭ら:京大防災研年報, 33B-2, 293-306, 1990, 8)江頭ら:京大防災研年報, 37B-2, 359-361, 1994.

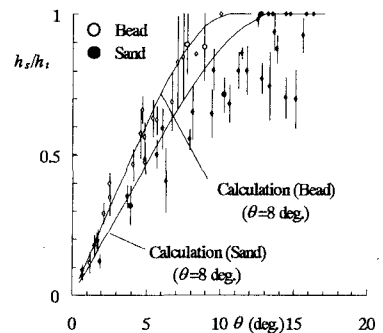


図-5 全水深に対する移動層厚比

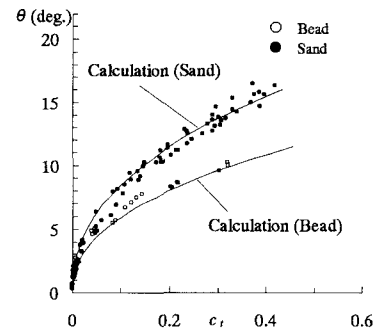


図-6 輸送濃度と勾配の関係

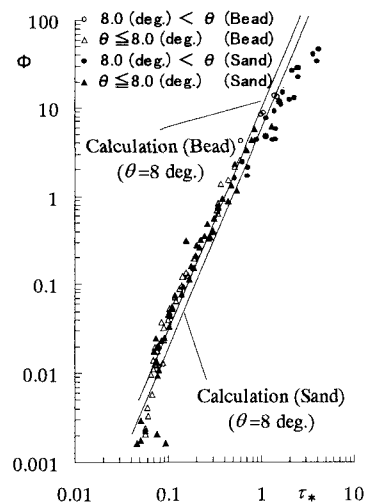


図-7 無次元流砂量