

立命館大学理工学部 正員 大同 淳之
立命館大学大学院 学生員 山野 邦明

1. はじめに、土石流の流動則に関する研究は、平均流速、砂レキ濃度等、マクロ的流動機構について行なわれ、土石流中の粒子間の相互作用が主に流れを支配していることがしだいに明らかになり、最近では、粒子のマクロ運動に注目した研究がなされてきた。流速分布に関しては、主に均一粒径の場合について行なわれており、混合粒径については、筆者の知る限りあまり行なわれておらず、均一粒径の場合と同様にとりあつてきた。しかし、一般によく知られているように、混合粒径からなる粒子流においては、粒度偏析現象をともなう流れの特性が異なると思われる。特に、粒度偏析があまり発達していない状態と、発達した状態とでは、深さ方向の粒度分布が異なり、仮に、均一粒径の構成方程式が成り立つとしても、流動機構を支配している粒径の考え方が異なることが予想される。そこで、二粒径からなる粒子流を発生させ、流速分布を測定し、若干の考察を加えた。

2. 実験、及び、結果 実験は、巾10cm長さ12mの、可変勾配用水路を用い、密度2.65の砂を用いて、表1に示す場合について行ない、流速分布は、ビデオで砂が1/30秒間に側壁を移動する距離を読み取ることにより求めた。なお、あらかじめ、十分に飽和させておき、上流端から1〜3 l/secで給水し、

粒径比(mm)φ:d\勾配θ	21.8°	20°	17°	15°
4.87 : 1.46	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4
9.90 : 1.46	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4
16.7 : 1.46	1:4	1:4	1:4	1:4
19.7 : 1.46	1:4	1:4	1:4	1:4
9.90 : 4.87	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4
16.7 : 4.87	1:4	1:4	1:4	1:4
19.7 : 4.87	1:4	1:4	1:4	1:4
16.7 : 9.90	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4
19.7 : 9.90	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4	1:1, 1:4

表1. 実験条件 (表中の比は混合比)

粒子流を発生させた。流速分布は、先に述べたように、粒度偏析に強く依存すると考えられるので、始めに、偏析状態について調べてみる。図1は、定常部における、粒子濃度Cに対する大粒子濃度 C_0 の比を、勾配θに対してプロットしたものである。図中の、 $C_0/C = 0.5$ 、及び、 $C_0/C = 0.2$ は、それぞれ、実験条件の混合比に対応しており、もし、理想値が、実験条件から得られるこれらの値とそれほどかわらなければ、粒度偏析は、あまり生じないことになる。図より、勾配とともに、 C_0/C は小さくなり、偏析があまり進まないことがわかる。粒径に注目すると、混合比1:4の場合は、小粒子の粒径によつてほぼ分類され、粒径が大きくなると、偏析が進むことがわかる。又、混合比1:1の場合は、1:4の場合ほど実験の豊富でないのは、明らかにしている。たとえば、粒径比が9.90mm:1.46mm, 9.90mm:4.87mm, に注目すると、粒径比に依存し、粒径比が大きいほど、偏析が進むことがわかる。さらに、16.7mm:9.90mm, 19.7mm:9.90mm, にも注目すると、1:4の場合のように、小粒子の粒径により C_0/C の傾度が分けられることはないが、小粒子の粒径ごとに C_0/C の粒径比による変化が存在するようである。粒度偏析が、粒子間の間隙のフルイ作用によつて生じるとして導かれた²⁾大粒子の上昇に関する線形解(1)式の係数Aを、図2に示す。

$$(1-\eta) = \exp(-At) \quad \dots (1)$$

ここで、ηは相対水深である。

図2. (1)式のAと勾配との関係

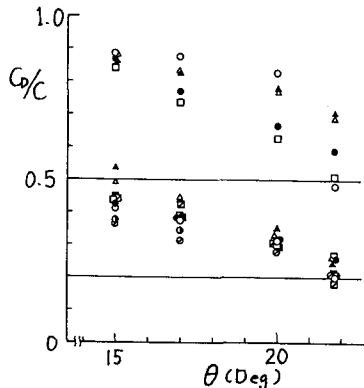


図1. 濃度比と勾配との関係。

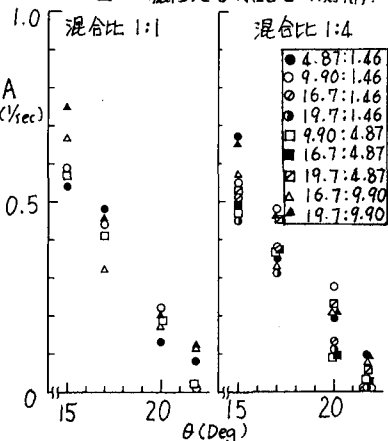


図1と同様、勾配が大きくなると、Aの値が小さくなり、偏析が生じにくいのがわかる。粒径に注目すると、小粒子の粒径が1.46mmの場合を除いて、大粒子の粒径の増加に従い、Aの値が大きくなっているのがわかる。小粒子の粒径が1.46mmの場合、勾配と粒径比により多小層層が、たとえば、混合比1:4の、 $\theta=15^\circ$ の場合、大粒子の粒径の増加に従い、Aの値が小さくなっているのがわかる。図3に、実験より得られた流速分布の代表的な分布形を表す。TYPE Iは、 $3/2$ 割断がほぼあてはまる分布形、TYPE IIは、表面近くで、ほぼ一様層部分をもつ分布形、TYPE IIIは、TYPE IIと以てているが、一様層部分と歪速度をもつ部分との間で、すべりを判別するような分布形、TYPE IVは、表面近くで、より大きな歪速度をもつ $3/2$ 割断の部分が存在する分布形である。それぞれの実験条件に対して、それぞれのTYPEの流速分布があらわれた度数を累計して、表2に示す。

3. 考察 粒度偏析が十分に進んでいない状態では極所的には、さりとしたことはいえないが、マウロ的には、代表粒径を用いることにより、均一粒径と同様の取り扱いが可能と思われる。たとえば、 $\theta=21.8^\circ$ のとき、TYPE Iの流速分布が他のTYPEに比べて多く、単一の粒径で流れが記述されることがわかる。偏析が進むと、大粒子は上層へ、小粒子は、下層へと、分離され、粒子の接触による流れの抵抗の大きさが異なり、くる。このような場合について、Bagnoldの構成式を用いて、粒径と境界の位置による効果を調べると図4(1)~(3)を得る。これより、粒径比が大きいと、上層部でほぼ一様層流速をもつ部分が存在し、TYPE IIの流速分布と一致する。粒径比が小さくなるにつれ、分布形は、TYPE Iに近づくが、場合によって、TYPE IVのような流速分布をもつ場合があることがわかる。仮定として、分散応力が

二層の境界でつり合っていることを用いているが、この仮定は必ずしもなりたっていない。それは、分散応力が粒子が持つ運動量の交換により生じるため、今回の実験のように、境界で質量の大きく異なる粒子が接触

する場合に、下層粒子は、上層粒子の持つ運動量をこええられず、内部摩擦角が小さくなる。従って、境界面から上層にかけて、せん断応力が減少し、TYPE III、TYPE IVの型の流速分布を持つことになる。(図4-(4))

参考文献: 1) 大同、山野: 第19回自然災害科学総合シンポジウム, P. 273~274, 1982

2) 大同、山野: 第37回年度学術講演会概要集, II, P. 487~488, 1982

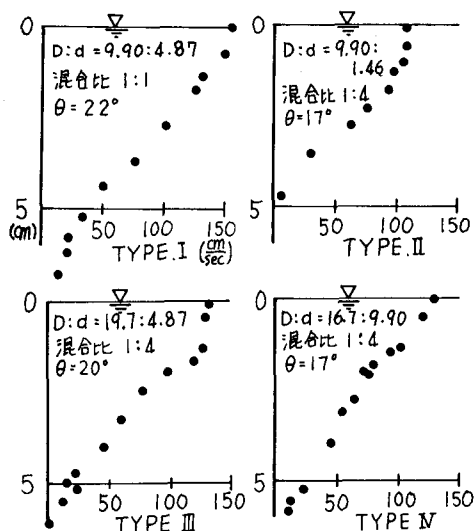


図3. 二粒径粒子流の流速分布の類型.

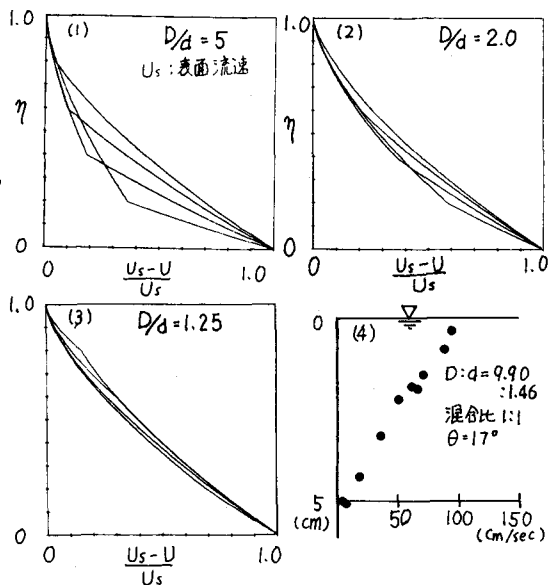


図4. Bagnoldによる流速分布とTYPE IVの特異な分布形

混合比 粒径比	1:1												1:4											
	15°	17°	20°	21.8°	15°	17°	20°	21.8°	15°	17°	20°	21.8°	15°	17°	20°	21.8°	15°	17°	20°	21.8°	15°	17°	20°	21.8°
4.87:1.46	4 0 0 2	2 1 0 4	4 1 0 2	2 2 0 0	3 0 1 1	4 0 0 2	2 0 0 4	6 0 2 0	3 0 1 1	4 0 0 2	2 0 0 4	6 0 2 0	3 0 1 1	4 0 0 2	2 0 0 4	6 0 2 0	3 0 1 1	4 0 0 2	2 0 0 4	6 0 2 0	3 0 1 1	4 0 0 2	2 0 0 4	6 0 2 0
9.90:1.46	3 1 0 2	2 1 0 3	2 1 1 0	5 1 0 2	1 1 0 2	0 2 0 1	0 1 1 0	3 0 0 0	1 1 0 2	0 2 0 1	0 1 1 0	3 0 0 0	1 1 0 2	0 2 0 1	0 1 1 0	3 0 0 0	1 1 0 2	0 2 0 1	0 1 1 0	3 0 0 0	1 1 0 2	0 2 0 1	0 1 1 0	3 0 0 0
16.7:1.46					3 2 0 1	3 2 0 0	1 0 0 3	3 0 0 1	2 1 3 0	2 3 0 2	1 0 3 2	3 0 1 1	2 1 3 0	2 3 0 2	1 0 3 2	3 0 1 1	2 1 3 0	2 3 0 2	1 0 3 2	3 0 1 1	2 1 3 0	2 3 0 2	1 0 3 2	3 0 1 1
19.7:1.46									1 0 3 0	0 0 2 4	2 0 0 3	3 0 0 2												
9.90:4.87	3 0 1 1	0 2 2 1	2 2 1 0	4 0 0 3	1 0 3 0	0 0 2 4	2 0 0 3	3 0 0 2	3 2 0 1	1 4 1 1	1 1 0 4	2 1 0 0	3 2 0 1	1 4 1 1	1 1 0 4	2 1 0 0	3 2 0 1	1 4 1 1	1 1 0 4	2 1 0 0	3 2 0 1	1 4 1 1	1 1 0 4	2 1 0 0
16.7:4.87					2 3 0 1	4 0 1 2	1 1 2 3	3 1 0 1	3 2 0 1	4 0 1 2	1 1 2 3	3 1 0 1	2 3 0 1	4 0 1 2	1 1 2 3	3 1 0 1	2 3 0 1	4 0 1 2	1 1 2 3	3 1 0 1	2 3 0 1	4 0 1 2	1 1 2 3	3 1 0 1
19.7:4.87					1 1 1 3	1 1 1 2	4 0 0 2	4 1 0 1	1 1 1 3	1 1 1 2	4 0 0 2	4 1 0 1	1 1 1 3	1 1 1 2	4 0 0 2	4 1 0 1	1 1 1 3	1 1 1 2	4 0 0 2	4 1 0 1	1 1 1 3	1 1 1 2	4 0 0 2	4 1 0 1
16.7:9.90	1 2 0 2	2 1 0 2	1 0 1 4	3 0 0 0	1 1 1 3	1 1 1 2	4 0 0 2	4 1 0 1	2 0 0 4	2 1 0 2	1 0 1 4	3 0 0 0	2 0 0 4	2 1 0 2	1 0 1 4	3 0 0 0	2 0 0 4	2 1 0 2	1 0 1 4	3 0 0 0	2 0 0 4	2 1 0 2	1 0 1 4	3 0 0 0
19.7:9.90	2 0 0 4	2 1 0 2	5 0 0 2	3 1 0 0	2 1 1 4	2 2 0 2	1 1 0 4	4 1 0 0																

表2. 流速分布の実験の度数分布表.

表2. 流速分布の実験の度数分布表. 従って、境界面から上層にかけて、せん断応力が減少し、TYPE III、TYPE IVの型の流速分布を持つことになる。(図4-(4))

参考文献: 1) 大同、山野: 第19回自然災害科学総合シンポジウム, P. 273~274, 1982

2) 大同、山野: 第37回年度学術講演会概要集, II, P. 487~488, 1982