

新規火山灰（ヨナ）の流動特性について

熊本大学大学院	学生員	○塚本太一
熊本大学工学部	正 員	大本照憲
熊本大学工学部	正 員	矢北孝一
熊本大学大学院	学生員	中村 亮

1 はじめに

白川は昭和 28 年 6 月の洪水で、最大流量約 3200m³/s に占める土砂濃度が約 10%と見積もられ、熊本市内の堆積土砂量は数百万 m³ に達したことが報告されている。しかし、新規火山灰（ヨナ）の流動特性に関する実証的研究はなされておらず、高濁度流の特性については不明な点が多い。そこで本研究は、ヨナの流動機構を解明することを目的とし流速および濃度の分布特性およびヨナの限界掃流力について検討を行った。

2 実験装置および方法

実験に用いた水路は、全長 10m、幅 40cm、深さ 20cm の長方形断面をもつアクリル樹脂製可変勾配水路である。攪拌は、下流端側の水槽に 100 ボルトの水中ポンプを 2 機入れ、その水槽にヨナを供給し攪拌を行った。また浮遊砂を循環させるために、下流端側の水槽に 200 ボルトの水中ポンプを設置し、定期的に流量が一定である確認を行っている。これら実験水路の概要を図-1、実験条件を表-1 に示す。 C_f は抵抗係数 C_{f0} は清水流の抵抗係数、水路勾配を 1/100 とし、流速測定は KENEK 社の電磁流速計 L 型を使用した。また乱れの測定を行うために、Particle Image Velocimetry(PIV)を用いた流速の計測を行った。水深計測には 1/10mm 読みのポイントゲージを使用した。浮流砂濃度の計測は、内径 5mm、外径 7mm のガラス管を用い、サイフォン方式によって採水することにより計測した。測定は、水路上流端より 8m 下流位置において、河床から鉛直方向に 1mm 間隔で計測を行った。また実験に用いた浮遊砂は中央粒径 $d=0.023\text{cm}$ 、比重 2.81 の新規火山灰（ヨナ）を用いた。本実験では濃度は体積濃度、摩擦速度 U^* は PIV により計測された清水流の主流速を対数表示したものから逆算して $U^*=6.43\text{cm/s}$ とし、また Rubey の式より沈降速度 $V_f=3.23\text{cm/s}$ 、Karman 定数 $\kappa=0.4$ としている。

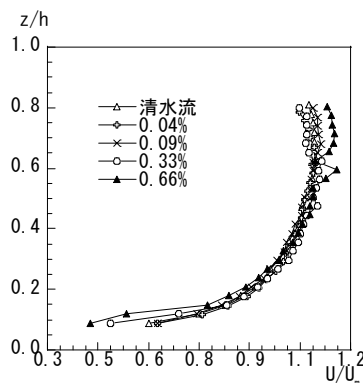


図-2 主流速の鉛直分布(無次元)

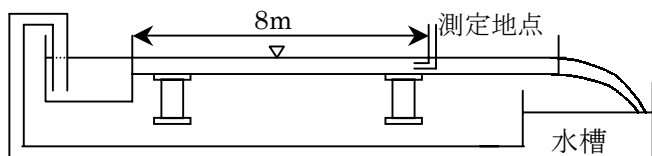


図-1 実験水路

3 実験結果

3.1 平均流速および抵抗係数

水深は流下方向にほぼ一定で等流とみなされた。図-2 は清水流と浮遊砂流において電磁流速計で計測された主流速を断面平均流速で無次元化した鉛直分布である。なお底面からの高さを z としている。図によると断面平均濃度が 0.33%と 0.66%の主流速は、底面付近で清水流より減少しているが、水深の増加とともに、清水流の平均流速より増加傾向の空間分布を示していることが分かる。これは高濃度になると、底面付近でヨナが安定な密度成層をつくり、その結果、底面付近の乱れが減少し、運動量の輸送が減少したためであると考えられる。また抵抗係数は断面平均濃度の変化に依存せず、一定となった。今本・大年¹⁾によると、開水路浮遊砂流の抵抗係数は濃度によって変化し、フルード数の小さな場合ほど滑面では増加傾向にあるとしているが、今回の実験では射流のため粘性底層は浅く底面付近の流速が常流に比べて速いことが、抵抗係数

表-1 実験条件

CASE	1	2	3	4	5	6
断面平均濃度 $C(\%)$	0.0	0.1	0.3	1.0	1.7	2.7
単位幅流量 $q(\text{cm}^2/\text{s})$	385	385	385	385	385	385
断面平均流速 (cm/s)	115	112	114	114	115	112
水深 $h(\text{cm})$	3.34	3.43	3.38	3.37	3.36	3.43
フルード数	2.02	1.93	1.98	1.99	2.00	1.94
C_f/C_{f0}	1.00	1.08	1.04	1.03	1.02	1.08

の差異を示さない原因と考えられる。

3.2 濃度分布

図-3 は濃度の鉛直分布を示したものである。図によると、断面平均濃度が 0.04% では濃度分布は鉛直方向に一様化していることが分かる。しかし高濃度になると、底面付近の濃度が高いことがわかる。図-4 は濃度分布から逆算した物質の拡散係数 (ε_s) と渦動粘性係数 (ε_z) を摩擦速度と水深で無次元化したものである。図によると、低濃度では拡散係数は大きく、高濃度では減少していることが分かる。これは高濃度の場合、底面で安定な密度成層を作ることにより拡散係数が減少したということが考えられる。また図-5 実測値を基準面濃度で無次元化したもので比較のために次式のラウス分布を用いた。

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{h-z}{z} * \frac{a}{h-a} \right)^Z, \quad Z = \frac{V_f}{\beta \kappa u_*}$$

a は基準面高さで $a = 0.05h$ 、比例定数 $\beta = 1.2$ 、 $Z = 1.05$ 、 Ca は基準面高さなのである。ラウス分布と実測値を比較すると、断面平均濃度 0.04% はラウス分布からはずれて、濃度が一様化しているのが分かる。江頭²⁾によると体積濃度が 0~10% の範囲においてラウス分布に従うという実験結果と異なった。一方濃度が高くなるに従い、濃度分布がラウス分布に近づいていることがわかる。ラウス分布は物質の拡散係数を渦動粘性係数に比例するとして求めているが、射流の場合、拡散係数は低濃度において渦動粘性係数より大きいことが考えられる。高濃度の場合は、密度成層の影響を受け、拡散係数が減少して渦動粘性係数に比例し、その結果濃度分布がラウス分布に従ったということが予想される。更に射流において、水深が壁面粗度と同程度の流れにおいては速度分布が対数分布則に従う部分とそれとは異なった速度分布則になる部分との割合が同程度になり、上流から流出流れなどのような場合には考察する際に対数速度分布則に立脚した考察には無理が生じることになるのではないかと考えられる。

4. 限界掃流力

新規火山灰 (ヨナ) の無次元限界掃流力 $= 0.076$ 、砂流レイノルズ数 $U_* c d / \nu = 4.048$ となった。ただし $s = 1.81$ (ヨナの水中比重)、 $g = 980 \text{ cm/s}$ 、水路勾配 $I = 1/1000$ とする。図-6 は $U_* c^2 / \text{sgd}$ と $U_* c d / \nu$ の関係³⁾を示したもので、岩垣によって整理されたものである。実線は岩垣の理論曲線、一点鎖線の折れ線は実験曲線、点線 Shields の実験曲線である。図によるとヨナは岩垣の理論曲線に近い値を示したことが分かる。

参考文献

- 1) 今本博健・大年邦雄：固液混相開水路流れの水理特性に関する研究 (1)、京都防災研究所年報、第 22 号 B-2、pp453-468、1979
- 2) 江頭進治・芦田和男：微細砂を高濃度に含む流れの特性、水工学論文集、第 37 巻、pp517-522、1993

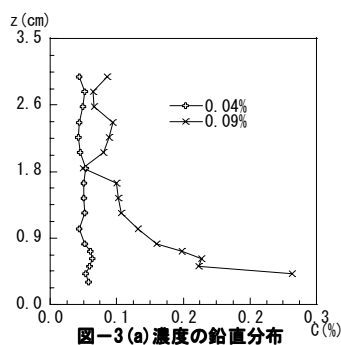


図-3(a) 濃度の鉛直分布

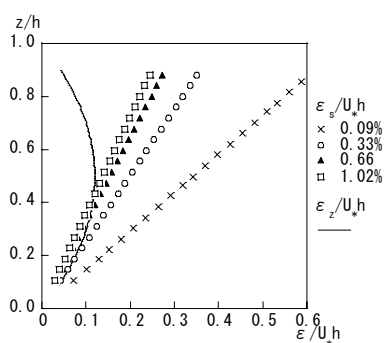


図-4 無拡散係数と渦動粘性係数の鉛直分布 (無次元)

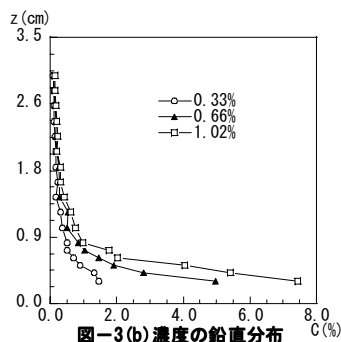


図-3(b) 濃度の鉛直分布

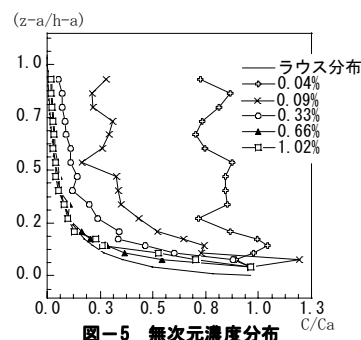


図-5 無次元濃度分布