

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3200m<sup>3</sup>/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m<sup>3</sup>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、高濃度場における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<sub>f</sub>は抵抗係数C<sub>0</sub>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、水路の上流端より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=0.023cm、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<sub>\*</sub>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<sub>\*</sub>=6.43cm/sとし、またRubeyの式より沈降速度V<sub>f</sub>=3.23cm/s、Karman定数κ=0.4としている。限界掃流力は、上流から約6mにわたって、一様な厚さ6cmにヨナを敷き、流量一定で水深を変化させ、ヨナが動き始めた時の水深を計測することにより測定された。

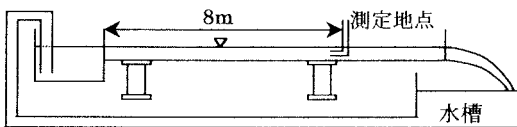


図-1 実験水路

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(cm <sup>2</sup> /s)	385	385	385	385	385	385
断面平均流速(cm/s)	115	112	114	114	115	112
水深h(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 <sub>f</sub> /C <sub>0</sub>	1.00	1.08	1.04	1.03	1.02	1.08

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

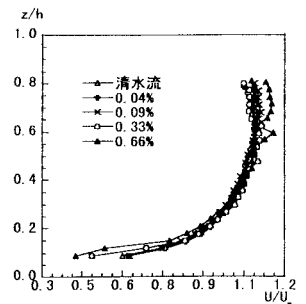
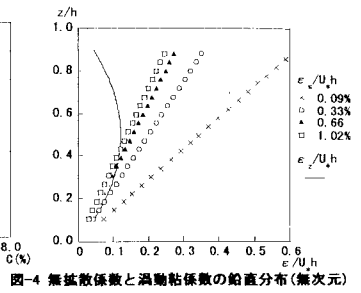
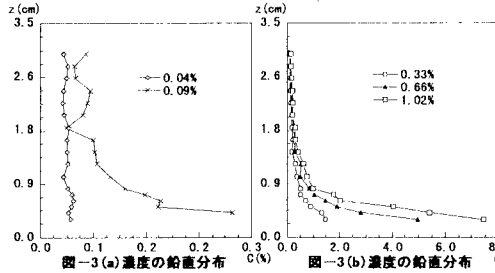


図-2 主流速の鉛直分布(無次元)

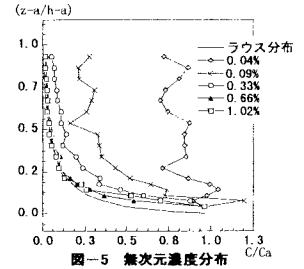
に依存せず、一定となった。今本・大年<sup>1)</sup>によると、開水路浮遊砂流の抵抗係数は濃度によって変化し、フルード数の小さな場合ほど滑面では増加傾向にあるとしているが、今回の実験では射流のため粘性底層は浅く底面付近の流速が常流に比べて速いことが、抵抗係数の差異を示さない原因と考えられる。

### 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。濃度分布が異なる原因として拡散係数の減少が考えられるため、その検討を行った。図-4 は濃度分布から逆算した物質の拡散係数(ε<sub>s</sub>)と渦動粘性係数(ε<sub>v</sub>)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。



$$\frac{C}{C_a} = \left( \frac{h-z}{z} \cdot \frac{a}{h-a} \right)^2, \quad Z = \frac{V_f}{\beta \kappa u_*}$$

a は基準面高さで a=0.05h、比例定数 β=1.2、Z=1.05、Ca は基準面高さのである。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<sup>2)</sup>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、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。

### 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/ν=4.048 となった。ただし s=1.81(ヨナの水中比重)、g=980cm/s、水路勾配 I=1/1000 とする。図-6 は U\_\*c<sup>2</sup>/sgd と U\_\*c d/ν の関係<sup>3)</sup>を示したもので、砂を用いた多くの実験を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。

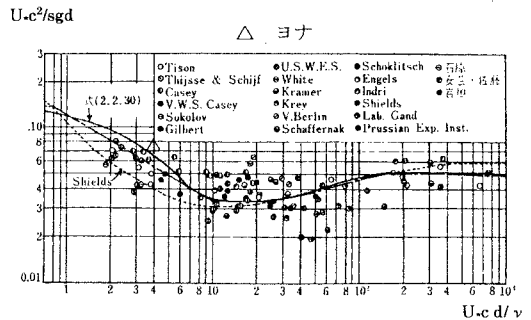


図-6 U\_\*c<sup>2</sup>/sgd と U\_\*c d/ν

### 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：微細砂を高濃度を含む流れの特性、水工学論文集、第37巻、pp517-522、1993
- 3) 岩垣雄一：限界掃流力の流体力学的研究、土木学会論文集、第41号、pp1-21、1956