

# 雲仙・普賢岳水無川土石流の流動特性

宮崎大学農学部 ○谷口義信・高峰光一

## 1 まえがき

雲仙・普賢岳水無川では、1993年4月28日・29日と5月2日には、これまでで最大規模と言われる土石流（火山泥流）が発生して、島原市の中安德町・南安德町・深江町の川原端地区・柴原地区が大きな被害を受けた。本研究ではまずこうした火山泥流と言われる土石流が、その構成材料の違い（河床堆積物または火砕流ダスト）によって、どのような挙動特性を示すかをレオロジー的観点から追究することを試みた。つぎに雲仙・普賢岳の火砕流によって生産された極めて微細な粒子からなる流体的にはほぼ均質と見なせるこの火山泥流に礫が混入したとき、混入率の変化によって、その見かけの粘性係数がどのように変化するかを、せん断抵抗の面から実験的に追究することを試みた。さらにVTR読み取りによる水深と流速から水無川土石流の流速係数を求め、この水深と平均粒径によって表される無次元数（ $h/d$ ）をパラメータとして、土石流の水理学的規模および濃度の推定を試みた。

## 2 雲仙普賢岳の土石流のレオロジー特性

雲仙・普賢岳では膨大な量の火砕流物質が生産されているが、同じ火砕流でも本体通過部分と火砕サージ通過部分では堆積物の粒径に差がみられる。ここではこれが土石流の流動性にどのような働きをするのかは明かにするため、回転円筒式装置を用いて、その流動試験を実施した。

水無川土石流堆積物と、水無川火砕流ダスト堆積物および大野木場小学校火砕流ダスト堆積物と水のみから成る混合流体（火山泥流）の流動試験結果から濃度0%（水）、45.2%、53.6%の場合の流体のせん断抵抗特性を比較して、示したのが図-1であり、回転速度の増加に伴い、せん断抵抗はいずれの濃度の場合とも増加しているが、特に水無川土石流堆

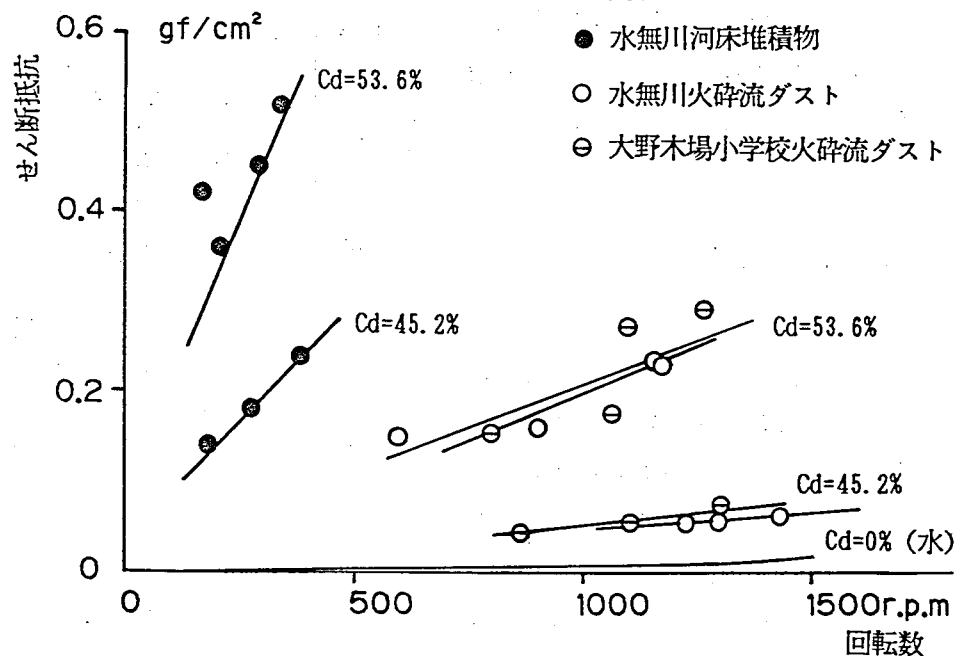


図-1 濃度0%、45.2%、53.6%における火山泥流のせん断抵抗

積物では、低い回転速度でもかなり大きなせん断抵抗を示すのに対し、水無川火砕流ダストおよび大野木場小学校火砕流ダストは相当大きな回転速度領域にならないとせん断抵抗は大きくならない。

図-2 は模型礫を混入した場合の雲仙・普賢岳水無川火山泥流の回転流動速度とせん断抵抗の関係を示したものである。図中の  $C$  は泥流の濃度であり、No.1以下は礫の混入率を示す。図-2 から明らかなように、礫の混入率が 8.50% 以上になると、回転速度の増加とともにせん断抵抗の増加も顕著になっている。一方図-3 は水無川の火砕流本体部堆積物の流動試験結果であるが、これから明

らかなように火砕流本体部堆積物は比較的低い回転速度領域でも大きなせん断抵抗を示すことがわかる。特に礫の混入率が、12.3% 以上になると、せん断抵抗は急に増加する傾向がみられる。

土石流の見かけの粘性係数の増加を、ここでは流体的にはほぼ均質とみなせる泥流中に礫

が混入した場合のせん断抵抗の増加と考えることにすれば<sup>1)</sup>、このときの比粘度  $\mu_r$  は次式のようにになる。

$$\mu_r = \mu / \mu_0 = 1 / \{1 - (0.01 \eta)^{1/3}\} \dots \dots (1)$$

ここに  $\mu$  : 土石流の粘性係数、 $\mu_0$  : 泥流の粘性係数、 $\eta$  : 礫の混入率 (%)。図-4 はこの実験結果を示したものであり、図中の曲線は式 (1) を示す。図-4 の結果をみると実験値はほぼ式 (1) の曲線上にのっていることがわかる。

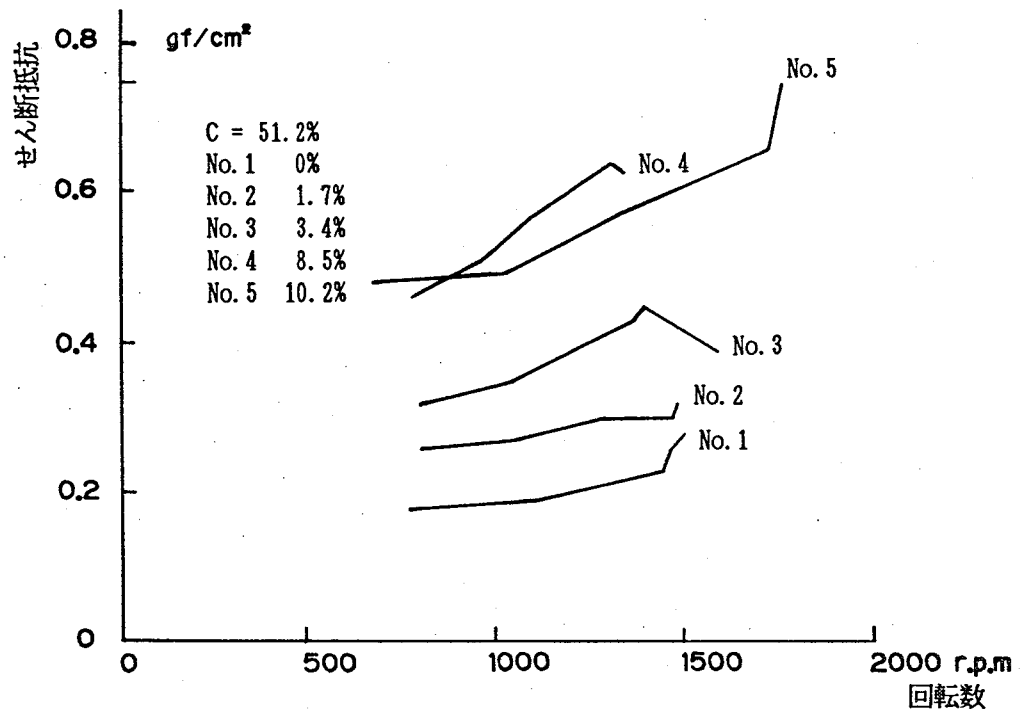


図-2 水無川河床堆積物流動試験

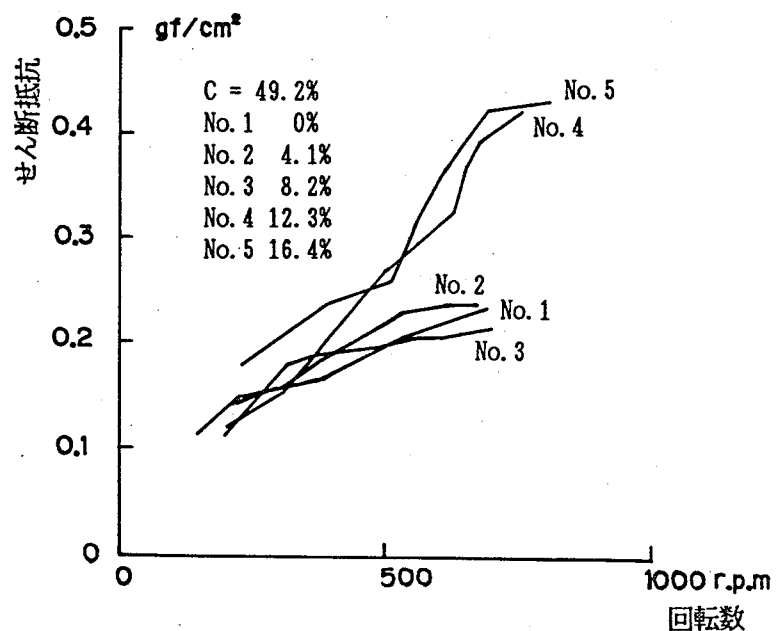


図-3 火砕流ダスト流動試験

### 3 水無川土石流の流速係数

土石流の流速係数 $\phi$ 、および平均流速 $U$ はそれぞれ次式で表される<sup>2) 3) 4)</sup>。ただしここでは土石流はダイラタント流体であるものとする。

$$\phi = U/(gRI)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$U = (2/5d) [gl/a_1 \sin \phi \{C_d + (1-C_d)(\rho/\sigma)\}]^{1/2} \cdot \{(C_*/C_d)^{1/3} - 1\} h^{3/2} \quad \dots\dots (3)$$

ここに  $U$ : 平均流速、 $R$ : 径深、 $l$ : 動水勾配、 $a_1$ : 常数、 $C_d$ : 土石流の濃度、 $C_*$ : 河床堆積物の濃度、 $\sigma$ : 土砂粒子の密度、 $\rho$ : 水の密度、 $\phi$ : 土砂の内部摩擦角。式(2)と

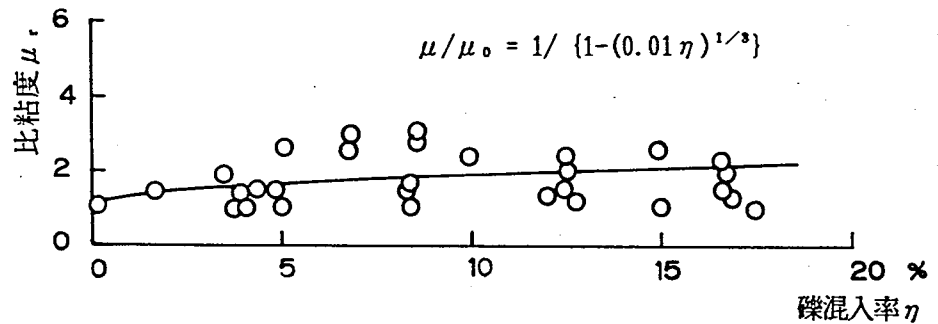


図-4 礫混入率と比粘度の関係

(3) より

$$\phi = f(C_d) (h/d) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$f(C_d) = (2/5) [1/a_1 \sin \phi \{C_d + (1-C_d)\rho/\sigma\}]^{1/2} \{(C_*/C_d)^{1/3} - 1\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

流速および水深については、テレビ長崎のVTR資料を用いて、画面上から読み取りを行った。その結果を示したのが表-1である。同結果によれば、水無川土石流の $\phi$ はほぼ4.5となる。 $\phi=4.5$ としてこの値を式(4)、(5)に代入したものが図-5の実線である。これから明かように $f(C_d)$

は $(h/d)$ が大きくなるにつれて、急激に小さくなる。つぎに $C_d$ と $f(C_d)$ の関係を示したものが図-5の破線である。同図から明かなように、 $C_d$ が増加するにつれて $f(C_d)$

は急激に減少している。これまでの流動試験の結果によれば、 $C_d$ の最小値はほぼ15%であることがわかっている。 $C_d=15\%$ のときの $f(C_d)$ の値は1.308となるので、このとき $(h/d)=3.44$ となる。したがって水無川の土石流では $(h/d)$

表-1 VTR読み取りによる1992年8月8日と1993年4月28・29日～5月2日土石流の流速、水深、流速係数

	流速 $V$ (m/sec)	水深 $H$ (m)	流速係数 $\phi$
1992.8.8	8.09	1.1	7.3
1993.4.28・29	3.39	3.4	2.0
	5.66	3.2	3.4
	9.06	3.2	5.5
	12.30	3.4	7.2
	6.44	3.2	3.9
	5.44	3.2	3.3
	5.99	3.4	3.5
	7.67	3.0	4.8

の最小値はほぼ 5 程度と考えられる。一方最大濃度は水無川土石流堆積物流動試験では 56% 程度であった。このとき  $f(C_d)$  の値は、0.056 となるので、 $h/d=80.4$  となる。したがって、最大値はほぼ 80 程度となる。水無川土石流河床堆積物試料からその粒径分布を求めたものが図-6 である。同図から流動中の土石流もこれと同じ粒径組成であったとして、その平均粒径を求めると  $d_m=6\text{cm}$  となる。ここで 1993 年 4 月 28 日～5 月 2 日の水無川土石流にたいして、この結果を適用してみる。このときの VTR 読み取りによる土石流の水深は 3.0m～3.4m であったのでこれから  $h/d$  を求めると、 $h/d=50\sim57$  となるので、式(4)、(5)を用いると、土石流濃度の推定値は  $C_d=54\%$  となる。

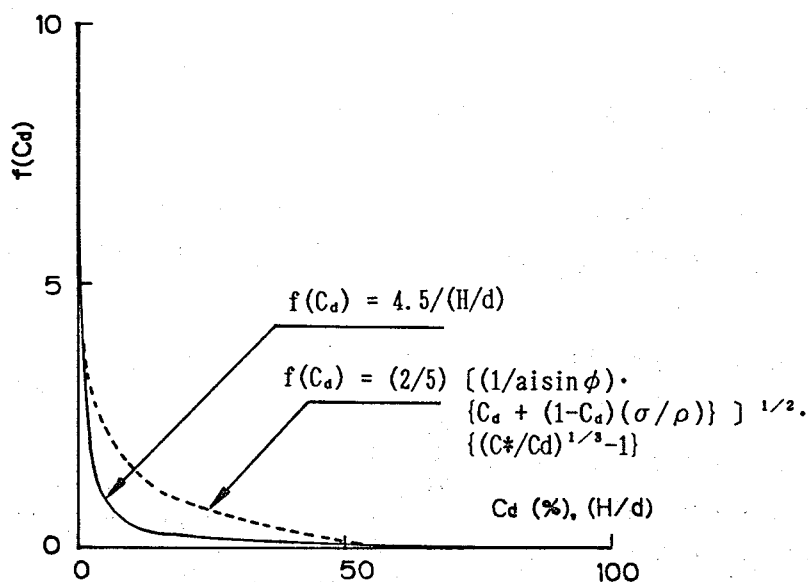


図-5  $(h/d)$  と泥流濃度  $C_d$  による  $f(C_d)$  の関係

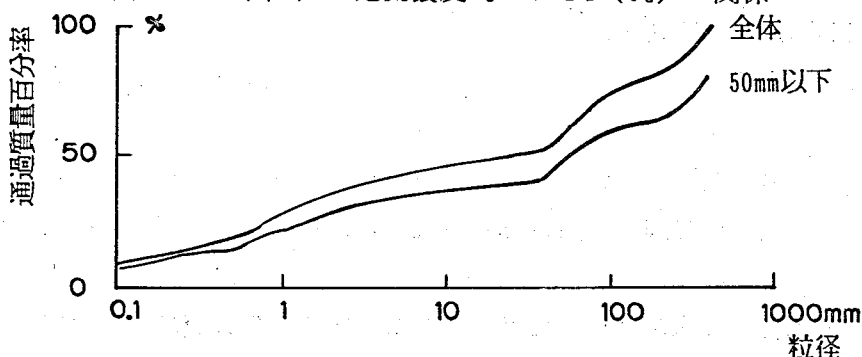


図-6 水無川土石流堆積物の粒径分布

#### 4 まとめ

本研究では雲仙・普賢岳水無川の火山泥流の流動特性、および 1993 年 4 月 28 日～5 月 2 日の土石流の流速係数について、レオロジー的、水理学的な追究を試みた結果、水無川土石流堆積物からなる火山泥流の方が水無川および大野木場小学校の火砕流ダストからなる火山泥流よりもせん断抵抗が大きく、流動性の低いことがわかった。そしてこの火山泥流に礫が混入した場合の土石流の見かけの粘性係数は礫混入率の関数で表すことができる。また水無川土石流の流速係数はほぼ 4.5 となり、流速係数を一定とすれば、濃度は無次元数  $(h/d)$  によって表される。したがって  $(h/d)$  が決まれば、それに対応する濃度が予測でき、また逆に濃度が決まれば、土石流の規模が推定できる。

#### 引用文献

- 1) 大同淳之 (1970) : 学位論文、pp. 80-81
- 2) 池谷 浩 (1978) : 建設省土木技術資料 1442 号、pp. 1-24
- 3) 平野宗夫 (1980) : 昭和 55 年度砂防学会講演集、pp. 74
- 4) 高橋 保 (1977) : 土石流の発生と流動に関する研究、京大防災研究所年報 20 (B)、pp. 413