

九州大学 工学部 正 員 橋 本 東 一 郎

" " 正 員 橋 本 晴 行

" " 学 生 員 中 田 和 孝

" " 学 生 員 末 次 忠 司

1. まえがき, 土石流の流動機構の研究では従来, 砂粒子間の衝突による力が最大の要素とみなされ, 他の要因は無視されてきた。ところが既報⁽¹⁾のように粒子の速度分布は上に凸の傾向を示し(図-7), 従来の考え方では説明できなくなっている。従って本研究は, 従来無視されてきた水の応力を求める一環として, 水と粒子の相対速度について検討を加えるものである。

2. 基礎方程式: 土石流を固液(粒子と水)2相流とみなすと, Murray⁽³⁾によれば基礎方程式は, 流下方向に x 軸, それと垂直に y 軸をとると

$$\text{質量保存式: 粒子の部分} \quad \frac{\partial}{\partial t}(\sigma C) + \frac{\partial}{\partial x}(\sigma C u) + \frac{\partial}{\partial y}(\sigma C v) = 0$$

$$\text{水の部分} \quad \frac{\partial}{\partial t}P(1-C) + \frac{\partial}{\partial x}P(1-C)u^w + \frac{\partial}{\partial y}P(1-C)v^w = 0$$

$$\text{運動方程式: 粒子の部分} \quad \begin{cases} x \text{ 方向} & \sigma C \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \sigma C g \sin \theta + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx}^p + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yx}^p + R_{ix} \\ y \text{ 方向} & \sigma C \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -(\sigma - \rho) C g \cos \theta + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xy}^p + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yy}^p + R_{iy} \end{cases}$$

$$\text{水の部分} \quad \begin{cases} x \text{ 方向} & P(1-C) \left(\frac{\partial u^w}{\partial t} + u^w \frac{\partial u^w}{\partial x} + v^w \frac{\partial u^w}{\partial y} \right) = P(1-C) g \sin \theta - \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx}^w + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yx}^w - R_{ix} \\ y \text{ 方向} & P(1-C) \left(\frac{\partial v^w}{\partial t} + u^w \frac{\partial v^w}{\partial x} + v^w \frac{\partial v^w}{\partial y} \right) = -P g \cos \theta - \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xy}^w + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yy}^w - R_{iy} \end{cases}$$

ここに, u, v は粒子の x, y 方向の速度, u^w, v^w は水の x, y 方向の速度, C は粒子の体積濃度, $\left(\frac{\partial \tau_{xx}^p}{\partial x}, \frac{\partial \tau_{yx}^p}{\partial y} \right)$ は粒子の衝突に起因する砂粒子間応力テンソル, R_{ix}, R_{iy} は水と粒子の相互作用による力である。等流の場合, 運動方程式は,

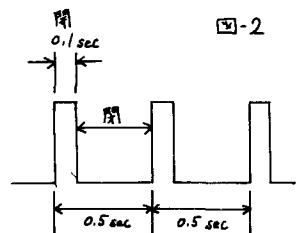
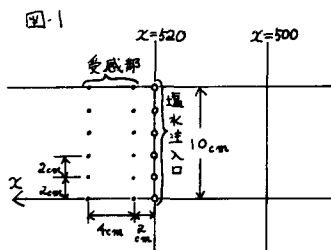
$$\text{粒子の部分} \quad \begin{cases} x \text{ 方向} & 0 = \sigma C g \sin \theta + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx}^p + R_{ix} & \text{--- ①} \\ y \text{ 方向} & 0 = -(\sigma - \rho) C g \cos \theta + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yy}^p + R_{iy} & \text{--- ②} \end{cases}$$

$$\text{水の部分} \quad \begin{cases} x \text{ 方向} & 0 = P(1-C) g \sin \theta + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx}^w - R_{ix} & \text{--- ③} \\ y \text{ 方向} & 0 = -P g \cos \theta - \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yy}^w - R_{iy} & \text{--- ④} \end{cases}$$

従って R_{ix} を評価できれば, ③式から水の応力 τ_{xx}^w を求めることができる。土石流では, R_{ix} は「粒子間衝突に伴う仮想質量力」と「粒子と水の相対速度に起因する抗力」とかう成るので, 抗力の評価において重要な粒子と水の相対速度を以下の実験より求めた。

3. 実験: 長さ7m, 高さ30cm, 幅15cmの可変勾配水路に平均粒径8.2mm, 密度 $\sigma = 1.4 \text{ g/cm}^3$ の人工軽量骨材を10cmの厚さに敷き, 予め河床を水で飽和させ, 勾配 $\theta = 12^\circ$, 単位幅流量 $q_0 = 198.0 \text{ cm}^3/\text{s}$, 及び $\theta = 10^\circ, q_0 = 198.0 \text{ cm}^3/\text{s}$ の2種類の実験を行なった。水の流速を測定するために 図-1 に示すように, 上流から520cmの地点の側壁に河床から2cmおきに6点塩水の注入口を設け, 電磁バルブで図-2に示すようなパルス状の塩水を注入する。

注入された塩水を注入口から下流2cm, 6cmにある受感器で感知し, 2点間の位相差によってその高さでの流速を求めた。図-3はその1例である。また, 粒子の速度については側面から, 固定した高速度16mmカメラを用いて $x = 500 \sim 520 \text{ cm}$ の範囲を100コマで撮映することにより測定した。



4. 実験結果: 図-4は塩水の注入された時間とその時の水位 H 、及び河床の位置 z を示した1例である。図-5は同一時刻における水の流速と粒子の速度の測定結果の1例である。この種の図によるとパルス①～⑨の全ての時間において、河床付近では水が粒子より速く、水表面付近では水の流速の測定値のバラツキが大きいが、粒子が水より速いようだ。また、同一条件下の実験を数回行なって、この図から水と粒子の相対速度

($u - u_p$) を求めてプロットしたのが図-6である。 $\theta = 12^\circ, 10^\circ$ いずれの場合も河床近くでは水が粒子よりも速く、 η が増加するにつれてその差は小さくなり、 $\eta = 0.4$ 付近で相対速度がなくなり、さらに η が増加するついでには粒子が水よりも速くなる。なお Reynolds 数 $Re = \frac{|u - u_p| d}{\nu}$ は $0 \sim 2000$ の範囲である。

図-7は、 $\theta = 12^\circ$ の粒子の速度分布の1例を示したものであり、さきに述べたように上に凸の傾向を示す。図-8は図-7に相当する水の流速分布を示したものである。それによると明らかに速度勾配が存在し、土石流における水の応力 τ_{yz} の寄与を示唆している。また、その分布形は粒子のそれと同様に上に凸の傾向を示すが、 $\eta = 0$ においては浸透流に接続するため有限の値をもつ。

5. あとがき、本研究により水の流速分布、水と粒子の相対速度分布が明らかとなった。しかし、水表面付近の水の流速に若干の疑問があり、今後は測定精度を上げるとともに、抗力係数と仮想質量力について検討を加え、水の応力 τ_{yz} に迫りたいと思う。

謝辞: 本研究に当り藤田和文氏、柴田敏孝氏に多大の助力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献;

- (1) 高橋 保; 京大防災研年報 S52
- (2) 橋, 橋本, 中村; 昭和53年度西部支部研究発表会講演集
- (3) J. D. Murray; J. Fluid. Mech (1965) vol 21

図-3

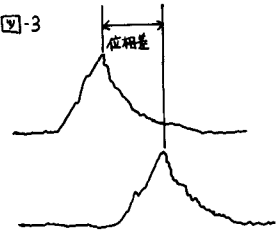


図-4

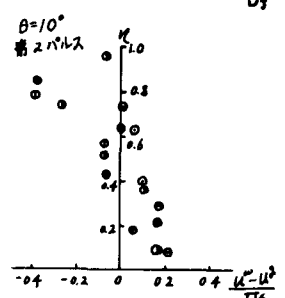
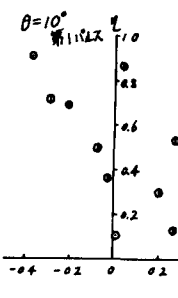
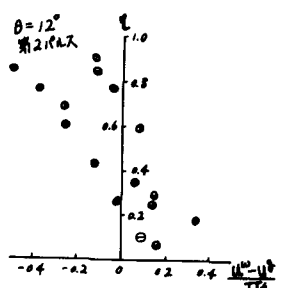
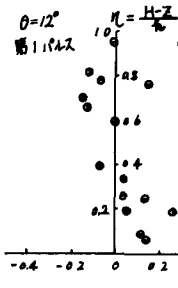
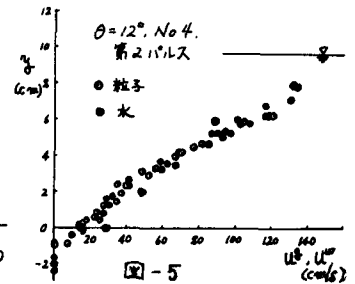
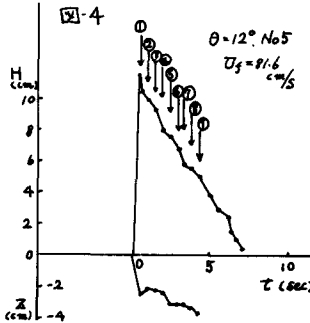


図-6

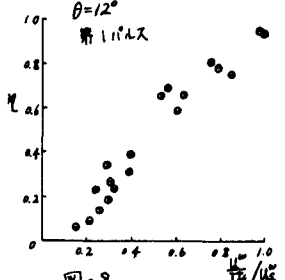
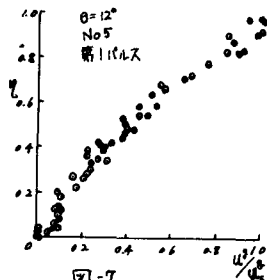


図-7

図-8