

# 009 リング状水路を用いた固液混相流実験

京都府立大学 ○ 三好 岩生 , 野間 大祐

## 1. はじめに

これまでの土石流の流動機構に関する研究では、固体粒子群が層流状で運動している場合と固体粒子群を含めて乱流状で運動している場合に分けられて議論されてきた。しかし、それらの流れの構造を決定する条件については明らかにされていない。その原因としては、これまでに提案されている土石流の構成則がこのような問題に十分対応していないことと、実験的にこのような問題を明らかにするための情報を得にくいことが考えられる。そこで、新しく考案・試作したリング状水路を用いた実験から得たデータに基づいて、固液混相流の流れの構造に関する検討を行った。

## 2. 実験方法

実験に用いた装置は、図-1 に示すようなリング状水路である。水路部は幅 7cm, 高さ 12cm で、外径 90cm のリング状になっており、底面には平均粒径 2mm の砂で粗度を設けてある。水路内に試料となる流体材料を入れ、流体の表面を粗度を付けたせん断板で強制的にせん断することによってせん断流が発生する。水路自体は摩擦のほとんど無い軸によって固定されているために回転方向に自由に動くようになっており、水路の一端を張力計に固定することによってせん断板から流体を介して水路に伝えられたせん断力を測定できる。この装置によって発生する流れは、水深方向にせん断応力が一定であり、単純せん断流を容易に作り出すことができる。また、試料として用いる固体粒子の粒径、比重やその量を変化させることによって、固液混相流の固体濃度や相体水深などを任意に設定することが可能である。流体材料として用いたのは粒径が 6mm で比重がほぼ 1 の球形の粒子と水であり、両者の比重がほぼ同じであるために粒子がほとんど均一に分散し、流れは水深方向に一樣な物性を持つことになる。相体水深や固体濃度、せん断速度を変えながら、発生した流れを水路側面からハイスピードビデオ (200f.p.s) で撮影して流速分布を調べるとともに、せん断応力を水路底面に与えられるせん断力を測定した。

## 3. 実験結果および考察

実験によって得られた流速分布を図-2 に示す。水路底面の粗度と表面側の粗度が異なるために流速分布は上下対称とはなっていないが、それぞれの境界から離れた領域にはほぼ上下対称になっている。水路底面においてひずみ速度が極端に大きくなっているのは底面近傍では粒子粒子濃度が小さくなるため粘性底層が存在するためと考えられる。底面付近の粘性底層と思われるひずみ速度の大きい領域を除いた部分を見ると、濃度が高いときには直線的な流速分布形を、低いときには S 字状の曲線的な流速分布形を示すことがわかる。これは、流体の物性によるもので

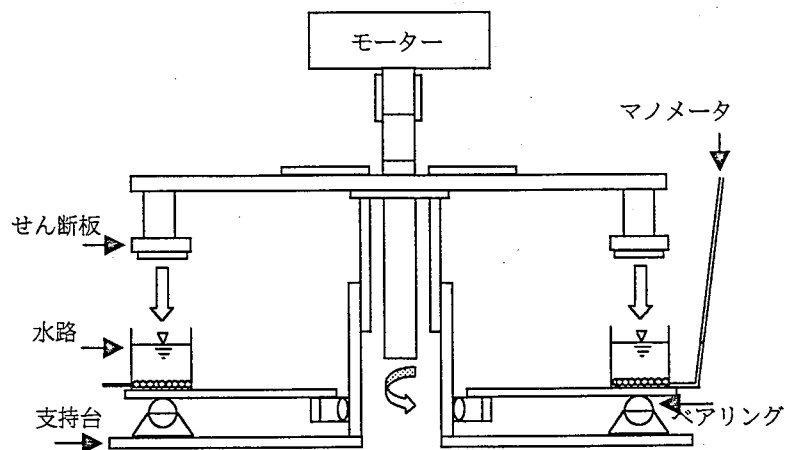


図-1 実験装置 (リング状水路)

あり、直線的な流速分布を示すのはこれまで土石流の流動機構として検討されてきたような固液混相流としての抵抗が働いている場合であり、曲線的な流速分布は一般的な清水乱流のように境界からの影響を含んだメカニズムが働いている場合であると考えられる。

土石流のような固液混相流の構成則については、江頭ら<sup>1)</sup>によって次のように考えられている。

$$\tau = \tau_s + \tau_d + \tau_f \quad \dots (1)$$

ここに、 $\tau$ は流れに作用するせん断応力

、 $\tau_s$ は粒子間のクーロン摩擦によるせん断応力、 $\tau_d$ は粒子間の非弾性衝突によるエネルギー損失に応じたせん断力、 $\tau_f$ は間隙水の乱れによるせん断応力である。ここでは固体粒子の比重がほぼ1であるために第1項を無視して、

$$\tau = \tau_d + \tau_f = \left\{ k_g \sigma (1 - e^2) d^2 c^3 + \rho k_f d^2 \frac{(1 - c)^{5/3}}{c^{2/3}} \right\} \left( \frac{du}{dz} \right)^2 \quad \dots (2)$$

とすることができる。ここで扱う流れのように、作用するせん断応力と粒子濃度がz方向に一定であるならばひずみ速度も一定になることがわかる。一方、清水乱流の抵抗則は $\tau = \rho l^2 (du/dz)^2$ であり、通常の清水流では $l = \kappa z$ という壁法則が適用可能とされている。流れのせん断抵抗力が(2)式のものであるとして $\mu' = (du/dy)^2$ の形に整理すると

$$\mu' = k_g \sigma (1 - e^2) d^2 c^3 + \rho k_f d^2 \frac{(1 - c)^{5/3}}{c^{5/3}} \quad \dots (3)$$

となる。堀田<sup>2)</sup>と同様にこの $\mu'$ を土石流の粘性係数と考え、 $\pi$ 定理に基づいて土石流のレイノルズ数を求め、無次元速度を乗じて慣性応力と粘性応力の比の形にすると

$$Re_{s2} = \frac{\rho U_0 h}{\mu'} \quad \dots (4)$$

となる。この $Re_{s2}$ および清水流のレイノルズ数

$$Re = \rho U_0 h / \nu$$

と抵抗係数 $f = \tau / U_0^2$ を比較したのが図-3

である。なお、ここでの $\tau$ と $U_0$ は実測値を用いて計算している。

$Re_{s2}$ と $f$ の関係を見ると、濃度が低い場合には

乱流構造をとるものと思われるが、全ての条件で $f \sim Re_{s2}^{-1}$ のような関係が見られ、清水流での層流と同じような結果となっている。また、実際には粘性項が慣性項に較べて相対的に小さくなる低濃度領域の方が $Re_{s2}$ が小さくなっているが、これは濃度範囲が用いた構成則の適用範囲を逸脱していることが原因であり、このような領域では(2)式のような構成則を適用できないことを意味している。また、 $Re$ と $f$ の関係を見ると、清水流と同じ傾向が見られるが、固体濃度が大きいと $Re_{s2}$ と同じ傾向を見せる領域が現れる。これらより、このような流れの構造を判断するためには規準となる抵抗則を慎重に検討する必要があることがわかる。

参考文献

- 1) 江頭ら：京大防災研年報，31，B-2，2) 堀田：平成12年度砂防学会研究発表会概要集

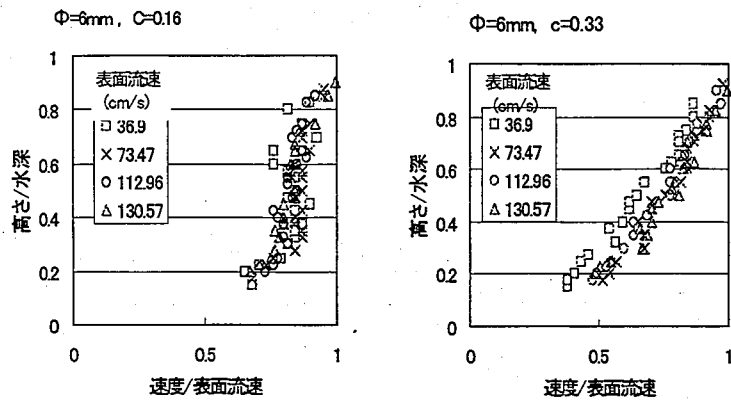


図-2 流速分布の一例

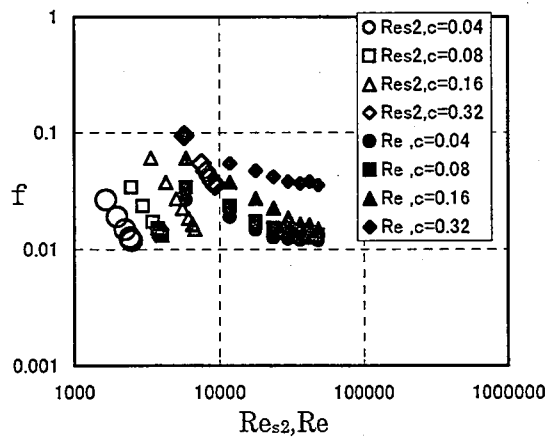


図-3  $Re_{s2}, Re$  と  $f$  の関係