

名城大学理工学部 正員 新井宗之
 京都大学防災研究所 正員 芦田和男
 京都大学防災研究所 正員 高橋 保

1. はじめに： 土砂を多量に含んだ流れの流動機構を論じる場合、流速分布を測定する必要があるが、従来、種々の流速分布測定方法が用いられている。粘土程度の粒径を主体とする流れの場合、応用ピトー管法で流速が測定された。数ミリ以上の比較的大きな粒径を含む場合には透明な水路の側壁から高速度カメラで流れを撮影し粒子の軌跡から流速を得ている。また、水路の側壁に光学センサーを2点設置しその相互相関から流速を得ている研究もある¹⁾。しかしながら、高速度カメラで撮影して解析する場合、側壁での流速のみしか測定していない、という問題の他に、粒径が小さくなると粒子の判別が難しくなるという問題が生じる。

ところで水に土砂を多量に含んだ流れの流動機構についてはすでにいくつかのことが明らかになっている。すなわち、比較的大きな粒径の場合には粒子と粒子が衝突し合う事による分散応力が大きな役割を演じており、せん断力は速度勾配の自乗に比例するか、粒径が小さな場合にはせん断力は速度勾配の1乗に比例することが明らかにされている。このような流動機構の差が現われる原因を明らかにすることは重要なことであり、その研究もなされて来ているが不明な点も多い。

流動機構の違いを生じる要因として、粒径に注目してみるならば、遷移的と思われる100~200 μ 付近の粒径の流動機構を考察する必要がありそう。

しかしながらこのくらいの粒径の流速分布を測定するためには、高速度カメラによる粒子の追跡は粒子が小さすぎるため大変難しい。そのため別の測定方法が必要とされる。本研究ではこれらの流速分布が測定できる測定システムを製作し測定したので、その概要と測定結果について考察する。

2. 実験方法： 水路は土石流を発生させる水路とそれを流下させ流速分布を測定する水路とからできている。上流側の水路は幅15cm、深さ25cm(一部30cm)長さ8mで、ここに土砂を敷きならし、飽和状態にしてから水を供給し土石流を発生させる。下流側の水路は幅12.5cm、深さ約20cm、長さ6m、側壁は透明アクリル製である。流速分布の測定点は下流端より2~3m上流で行った。水路こう配は9°実験材料は $d=0.021$ cmである。

流速測定： 流速測定の方法は塩水法²⁾の応用である。流れの中に電気伝導度の異なる物質を注入しその移動をセンサーで感知し、その時間差とセンサーの設置間隔から流速を求めるとのである。図-1に測定シス

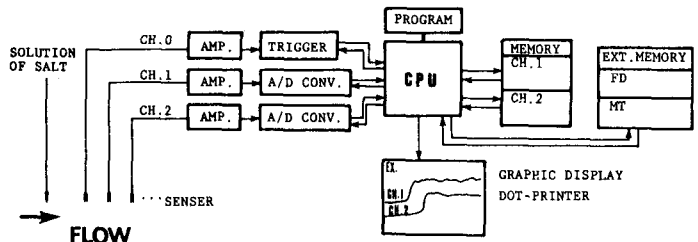


図-1 測定システムのブロック図

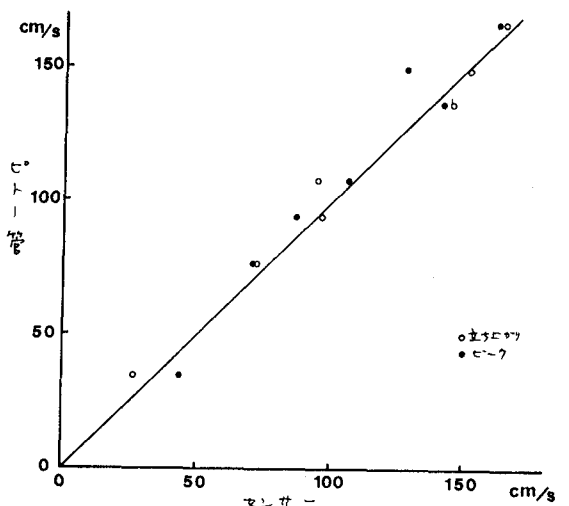


図-2 ピトー管による流速測定と本システムによる流速測定との比較(単位)

4のブロック図が示してある。センサーの直上流で塩水を注入し、電気伝導度の変化をセンサーで感知し、それをA/D変換し、数値をメモリーに記録する。必要ならば外部メモリーに記憶させておく。センサーは3つあるが、最初のCH.0のセンサーはCH.1, CH.2のセンサーがA/D変換を起動させるためのセンサーである。すなわち、塩水がセンサーCH.0を通過しはじめたならばA/D変換を始める。ここで測定回数が多く、外部記憶装置にデータを記録させる必要がある場合、比較的速いといわれるフロッピーディスクを使用しとしても、現象によっては記録時間がかかりすぎることもある。今回土石流の実験では現象の定常性の持続時間がいかに短いかわり、フロッピーディスクを用いても十分記録できない。そのためセンサーの増幅器とA/D変換器の間にデータローカを入れて、現象をまずデータローカに記録させた。この流速測定装置の4cmの径の清水によるピット管との流速測定と比較を行い、結果を図-2に示す。塩水の注入は定量バルブポンプにて行い、A/D変換のサンプリング時間は機械論でコントロールした場合 $54 \times 10^{-4} \text{ sec}$ である。

3. 測定結果及び考察 : 上記の方法により得られた流速分布の測定結果は図-3のようである。

グライダント流体としての流速公式を、

$$u = \frac{2}{3d} \left\{ \frac{g \sin \theta}{\rho_i \sin \alpha} \cdot [C_d + (1-\alpha) \frac{\rho}{\rho_i}] \right\}^{1/2} \cdot [(C_c / C_d)^{1/2} - 1] \cdot [h^{1/2} - (h-s)^{1/2}]$$

と係数 ρ_i を Bagnold が与えた 0.042 に等しいとして計算したものが図中の細い実線である。Bagnoldの実験結果によれば、粒濃度 λ が $\lambda < 14$ では ρ_i が 0.042 であり、 $\lambda > 14.5$ では ρ_i が増加するようになるが、図で示した実験では $\lambda = 4.4$

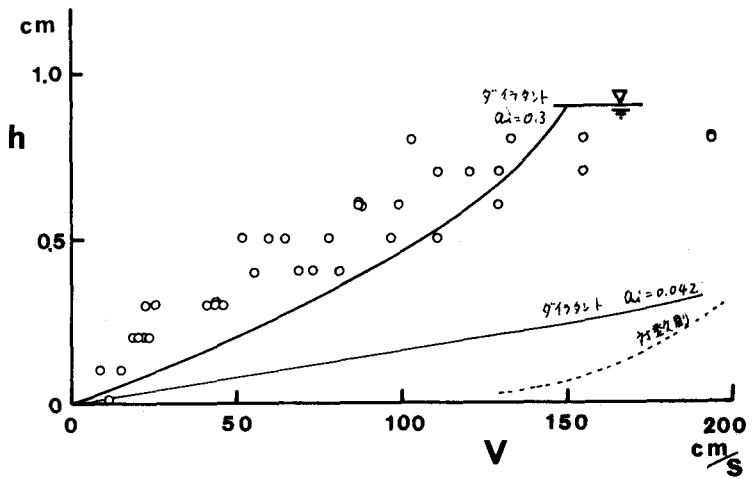


図-3 実測例

であるにもかかわらず $\rho_i = 0.3$ としなければ実験値と一致させることができない。しかしながら $\rho_i \in 0.3$ といふのは分布形はグライダント流体モデルがよく適合しているようである。

また粒土などの粒径を食んだ場合に適用する訂数則の式に、 $\tau_b = 0$ とし、 ρ を「深さ深度と比粘度の関係」から求めて計算すると図中の破線のようになる。

Bagnold はレイノルズ数に相当する inertia stress / viscous stress を G ($G^2 = \tau \rho d^3 / \mu^2$) で表わしており、これによれば図-3の実験は遷移領域にあたる。

4. まとめ : 粒子の軌跡を視認するのが難しいような粒子を多量に食んだ流体の流速分布を測定するシステムを示した。カメラなどによる撮影解析では「側壁の流速分布測定」を避けることはできないが、本方法では任意の点で測定可能である。

上記の方法により $d = 0.02 \text{ cm}$ 程度の粒径を食んだ流体の流速分布を測定した。これによればその流動機構は分散応力か大きな役割りを演じているように思われるが、 $\lambda < 14$ にもかかわらず、Bagnold の係数 ρ_i は 0.042 より一桁近く大きい。

今後、粒径等を系統的に変化させた実験により、流動機構をより深く明らかにしていくつもりである。

参考文献 1) S.L. Savage ; J. Fluid Mech. (1979), vol. 92, part 1. 2) 高橋 保 ; 水工学要報 講座, 1967
3) R.A. Bagnold ; Proc. Roy. Soc. A, vol. 225, 1954. 4) Timothy Ward, J.S. O'Brien ; I.A.H.S. Publ. No. 132, 1981, 5) 野田 誠 ; 水工学