

1. はじめに

水路床を上流方向に土石流段波と同じ速度で動かすことのできる循環式の円形回転流動装置を考案、試作し、これを用いていくつかの実験を行った。

本報ではこの装置の特徴、利点を述べ、この装置を用いて発生させた土石流の特性と土石流の流動に伴う散逸エネルギーに関する実験について報告する。

2. 装置の概要と特徴

装置の概要を図1に示す。本体は空洞の円盤状でこの中に試料を入れ、円盤の中心にある軸によって支持し、回転させるようにした。水路床となる周辺部内壁にはスリップを防止するために5mm径のガラスビーズを張り付けて粗度をつけた。駆動方法は本体と同軸にプーリーを取り付け、このプーリーを滑車を経て吊したおもりの落下によって回した。本体の大きさは回転半径が45cm、水路の幅が6mmである。今回使用した試料は5mm径のガラスビーズであり、水路幅がほぼ一粒径となっている。

この装置の特徴、利点としては次のものが考えられる。

- ① 定常流動を簡単に、長時間に渡って作り出せる。流動の絶対的な位置が不変であり、ハイスピードビデオなどを用いることによって粒子の動きが極めて正確に把握できる。
- ② 流動体の内容および量のコントロールが自由にできる。物質的に完全に系が閉じている中で液相と固相の量を各々独立にコントロールできるため、完全な液体流から粒子流まで連続的に濃度を変えることができると同時に、それらの量もまた可変である。
- ③ 流速を自由にコントロールできる。回転角速度と回転半径を変えることによって流速がコントロールされる。また半径を変えることにより、曲率の流動に対する影響、遠心力などが評価できる。
- ④ 発生する流動は先端部から最後部まで全ての部分を内包している。
- ⑤ エネルギー的に完全に系が閉じている。
- ⑥ 自由水面を有する。

更に現行の試作型では、

- ⑦ 一粒径幅の流動をつくることができ、観察が容易である。

3. 発生した混相流の特性

前章で述べたようにこの装置で発生する流動は先端部から最後部まで全ての部分を含んでおり、各部分の特性について詳しく観察することができた。発生した土石流の一例を図2に示す。

この流動は全長が約40cm、最大波高が4.8cmで

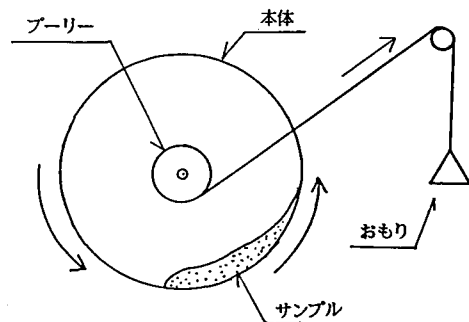


図1 実験装置

あり、全体の平均容積濃度は0.33であった。 $\phi=5\text{mm}$ のガラスビーズという比較的大きい単一粒径の試料を用いていることや、一粒径幅の流動であるということ、これらから容積濃度がかなり小さい値となること、さらに水路床に曲率があることなど、一般的な土石流と違った性質を持っているにも関わらず、外形的にはほぼ土石流状の形態とみることができる。図2中の矢印はいくつかの内部粒子の1/100秒毎の動きを追ひ、ベクトルで表示したものである。図3はこの流動の先端部、後続疑似定常部、末端部の三断面での流速分布形である。各断面での平均容積濃度は0.36、0.34、0.27であった。これらを見ると先端部では比較的流速分布が小さく、濃度の高いプラグ状の部分が回転するように動いていることがわかる。後続流部では末端に至るまであまり流速分布形に変化がみられないが、末端部では濃度が小さくなり、波高が小さくなるために無次元化した表示では各データ間のばらつきが大きくなっている。いずれにせよ流速分布形を見る限りこれまでに報告されている土石流と同じような性質を持った流動であるといえるだろう。

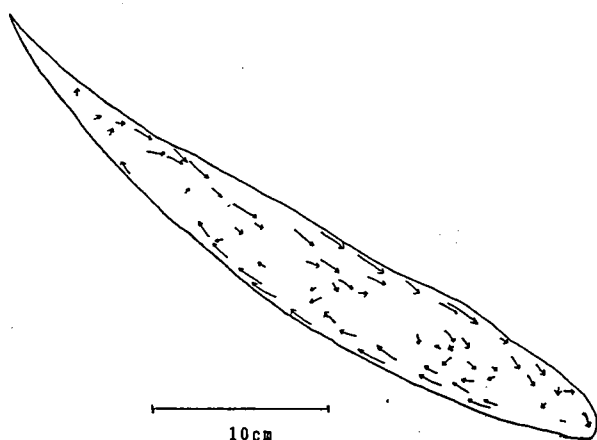


図2 発生した混相流と内部粒子の5/100秒間の動き

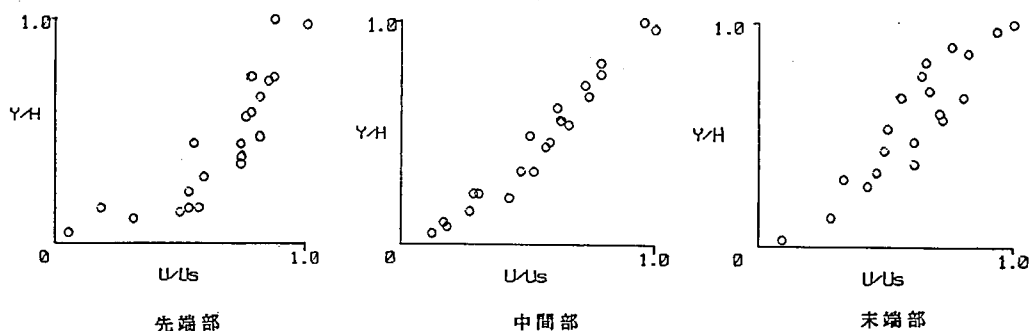


図3 三断面での流速分布

4. 混相流の流動に伴う散逸エネルギーについて

2の②、⑤で述べたように、この装置は物質的、エネルギー的に完全に系が閉じているために、内部の固液混相体の流動に伴う散逸エネルギーを定量的に評価することが可能である。そこで、次のような方法でこの散逸エネルギー量を測定する実験を行った。

まず、供給エネルギーと消費エネルギーの関係から

$$mgh = \Omega(v) + I\omega^2/2 + mv_w/2 + C\dot{h} + MgR \quad (1)$$

ここに m : おもりの質量、 g : 重力加速度、 h : おもりの落下距離、 Ω : 流体の散逸エネルギー量、 v : 水路床の速度 (移動座標系でみた流体の速度)、 I : 装置本体の回転モーメント、 ω : 本体の角速度、 v_w : おもりの速度、 C : 摩擦損失の係数、 M : 流体の質量、 H : 流体の重心の鉛直方向の移動距離である。左辺は供給エネルギーで、これはおもりが失う位置エネルギーである。右辺は消費エネルギーで、第1項は流体の散逸エネルギー、第2項は装置本体の回転による運動エネルギー、第3項はおもりの運動エネルギー、第4項は回転軸などで起こる摩擦によって失われるエネルギー、第5項は流体の位置エネルギーであり、流体の散逸エネルギーは水路床の速度の関数であるとした。

(1) 式を時間 t で微分することにより

$$mgv_w = d\Omega(v)/dt + I\beta + m\alpha + Cv_w + Mg \cdot dH/dt \quad (2)$$

ここに、 β : 本体の角加速度、 α : おもりの速度である。一連の運動が定常状態で行われるとき、(2) 式の右辺第2、第3、第5項は消える。また、第4項は予備実験によって評価できることから、次の(3)式によって散逸エネルギーを導いた。

$$mgv_w = d\Omega(v)/dt + Cv_w \quad (3)$$

実験によって得たデータを水路床の速度と流体の単位体積、単位時間当りの散逸エネルギー量との関係で整理したのが図4である。これを見ると速度の増加に従ってある曲線に沿って散逸エネルギー量も増加することがわかる。また、同じ速度では流体の粒子濃度が高いと散逸エネルギーも多いことがわかる。

次にこの実験結果を一般の開水路での実験で起きる流動と比較しながら、固液混相流の流動に伴う散逸エネルギーについて考察する。

勾配が一定である開水路上の流動での供給エネルギー E は

$$E = mgv \cdot \sin \theta \quad (4)$$

で与えられ、これは、流体の密度が一定とすると流速 v の一次関数となり、開水路でえられる定常流はこの直線の上で供給エネルギーと消費エネルギーがつり合う点で起こることになる。一方回転流動装置では任意のエネルギーを与えるとそれに応じた流速で供給エネルギーと散逸エネルギーがつりあい、広範囲の流速で定常流を得ることができる。つまり、図5に示すように流速と散逸エネルギーの関係において、開水路ではある勾配に対して全ての現象はある直線上で起こり、この中で定常流が起こるのは一点であるのに対して、回転流動装置内での現象はこの図において2次元へと広がり、定常流動が起こるのもある曲線上へと広がる。

5. おわりに

土石流の流動機構を考える上で一つの基本となる固液混相流の実験的研究の一手段として、循環式円形回転流動装置を考案、試作し、その特徴、利点をまとめ、これによって発生する固液混相流の特性について述べるとともに、この装置を用いた固液混相流の流動に伴う散逸エネルギーについての実験を行った。

この装置によって発生する流動は実際の土石流とかなり違った条件を持つが、2次元での流速分布

形を見ると、これまでに言われてきたような土石流の各部分での流速分布形をまとめたような形が明確に見られ、この装置の利点を活かすことによって土石流をはじめとする混相流の流動機構の解明にとって有用な情報が得られると考えられる。

また実験から固液混相流の流動に伴う散逸エネルギーは同じ粒子濃度では流速の増加にしたがってある曲線に沿って大きくなり、同じ流速に対しては流体の粒子濃度が大きくなれば散逸エネルギーも大きくなることがわかった。

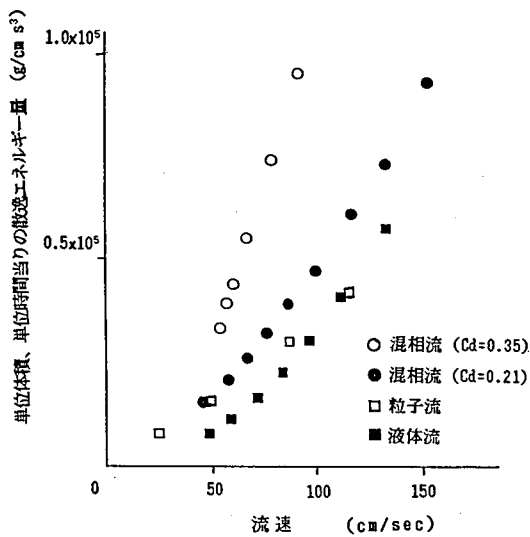


図4 実験結果

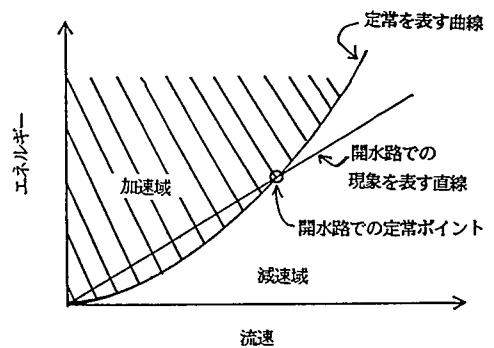


図5 流速と散逸エネルギーの関係