

はじめに

土石流の強烈的破壊力は流動体としての土石流の動水圧では説明できない点が多く、土石流先端部の衝突による衝撃力を的確に評価する必要がある。従来の研究においては主として後続流のほぼ定常流とみなせる部分における運動機構について、種々の解析が行われ、その適合性も確かめられているが、先端部の性質・運動機構については詳細な論議は行われていない。本研究は土石流先端部の運動機構を明らかにし、それを研究の進んでいる後続流の部分と結びつけて土石流を一体のものとしてとらえようとするものである。

1. 本研究における土石流

破壊作用の著しい砂礫型土石流を実験水路に発生させその挙動を観察した。使用水路は幅15cm、深さ15cm、長さ7mの側面がアクリル板張り水路床には使用した試料(表1-1)を張りつけてある。発生地点から3m下流で側面からビデオカメラ(60 $\frac{1}{30}$ s)で撮影し解析を行った。

ビデオより深さ方向における粒子の動きを読み取り、各粒子の5コマ($\frac{1}{12}$ 秒)間の移動距離をもとにして流速分布を無次元化したものが(図1-1)である。これには表面流速 U_s 、流動深 h の決定が問題となるが橋らに従って実験値から得られた回帰曲線が表面と交わる点をもって U_s とし、その $\frac{1}{100}$ の流速をもつ深さの点を流動層の底とみなした。図中ではとはフロント先端通過後の時間である。また、----はダイラタント流体の流速分布形であり、-x-, -o-は橋らの式において、 $u=0.1$ $x=0.3$, $u=0.35$ $x=0.3$ を採用したものである。 $t=1.0$ (s)では橋らの述べているような流速分布形を示しているが、 $t=0.25$ (s)ではかなり異なった分布形を示している。一方、ダイラタント流体との対応をみようとすると上述のように U_s , h の決定が問題になってくる。(図1-2)は流動深を最大流動深から0.5cmずつ小さくしてダイラタント流体の流速分布形と一致するような流動深 h_d を求めたものである。 $t=1.0$ (s)については元河床の表面から1cm程度まではダイラタント流体とみなせる。

2. 先端部の濃度

土石流の衝撃力を論じるうえで極めて重要な先端部について濃度を測定した。測定方法は(図2-1)に示すようなトラップを作製し、

material	diameter(ϕ mm)	C_+	σ (g/cm)
gravel	20~80	0.59	2.65

表1-1 試料の特性

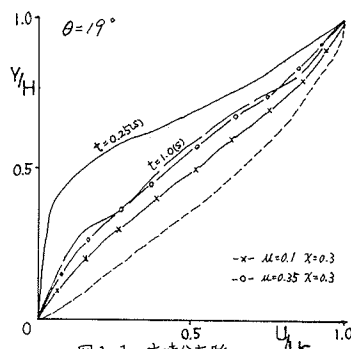


図1-1 流速分布形

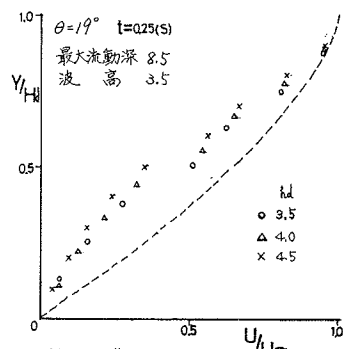
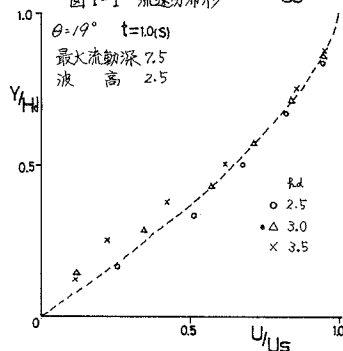
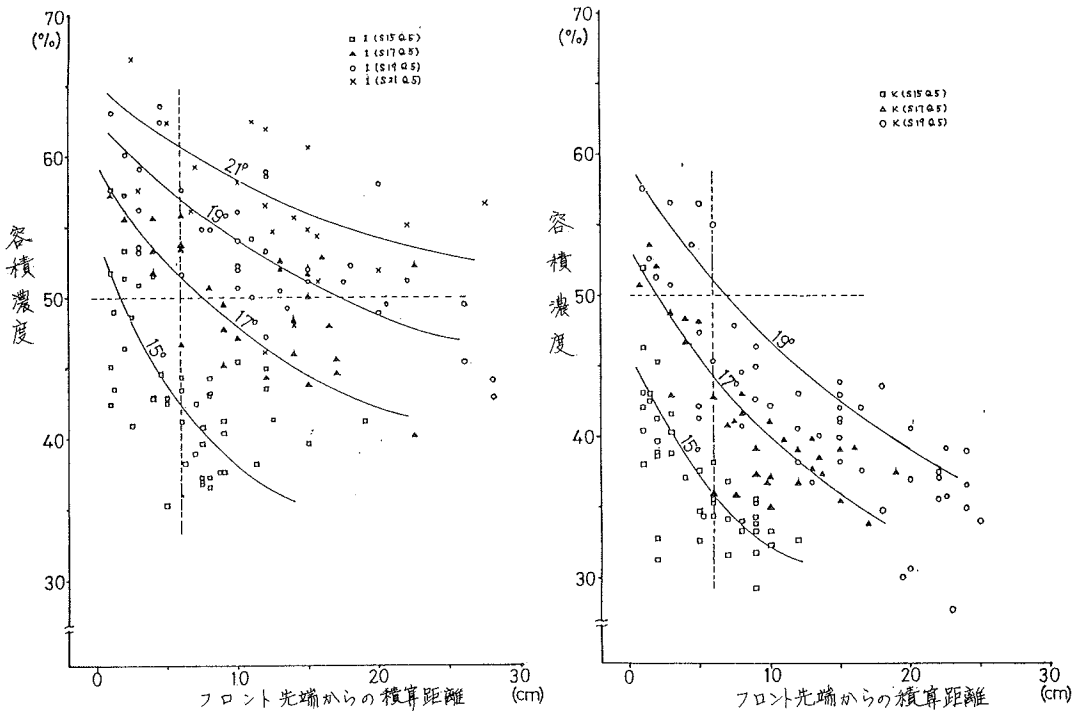
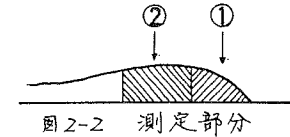
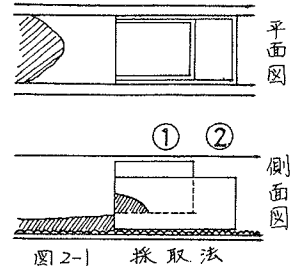


図1-2 ダイラタント流動深

先端部のごくわずかな部分を(図2-2)に示すように採取した。①と②を採取する場合の時間差は0.1秒ほどであるから、これを調節することは不可能である。そこで採取状況を側面からビデオカメラ(60 $\frac{1}{30}$)で撮影して解析を行った。またヘッドの移動速度もビデオから読み取った。(図2-2)の①、②の部分の濃度の算出は可能であるが実験ごとに①、②の流下方向の長さが異なるため比較が困難である。そこで①、①+②の重量を水の密度 $\rho=1.0(\text{g/cm}^3)$ として体積に換算してフロント先端からの積算量を容積濃度で表わした。(図2-3)は移動床、固定床における結果である。粒子が等粒径、球形でそれぞれが接触してそのすきまがすべて水で充填されていると想定すると容積濃度 C は $0.523 \leq C \leq 0.655$ となる。このことを考慮すると $C \geq 0.5$ ならばせん断変形に対する抵抗が大きい状態にあると考えられる。以下結果をまとめてみる。

1) 先端部に礫のかたまりが存在すると考えられるのは上述の $C \geq 0.5$ 、フロント先端からの距離6cmを目安とすれば移動床では $17^\circ, 19^\circ, 21^\circ$ 、固定床では 19° である。ただし、これはフロント部の粒子のすきまがすべて水で飽和されていると仮定して推定した容積濃度であって、実際には飽和さ水ているとは確認されていないのでこれらの値よりやや小さな値の可能性もある。

2) 先端部から後続流にかけての濃度低下は固定床ほど顕著である。これは移動床では元河床からの礫の供給があるのに対して固定床ではそ水がないという条件の差によるものと考えられるが、濃度が低下する機



構については今後の研究課題であらう。

3. 先端部の粒子の動き

実験は先端部の古状形の影響をできるだけ小さくするため、水路幅7cm、深さ15cm、長さ2.5mとし、粒子の動きが鮮明にとらえられるように粒子はすべて白色ペイントで着色した。勾配は 17° 、 19° 、給水量Qは2ℓ、3ℓ、4ℓ、移動床（敷厚5cm）を中心に行った。また、側面からの撮影にはハイスピードビデオ（200 $\frac{1}{30}$ ）を使用して粒子の動きを細かく解析した。

土石流先端部は本来非定常なものであるが、ヘッドの移動速度が一定であると考えると定常のものとして取り扱うことができる。つまり、ヘッドの移動速度を差し引いて土石流中における粒子の位置を決定し、粒子の中心点を $\frac{5}{1000}$ 秒ごとに追跡して移動状態をベクトルで表示した。（図3-1）が移動座標系によって土石流中の粒子の動きを示したものである。これによれば、フロント部では粒子の動きがあまりみられず、その後方に回転流のようにも見える上下方向の動きが激しい部分があり、それより後は上下方向の動きが徐々になくなり、ほぼ水平に等速で動いているようである。（図3-2）は仕意の断面の深さ方向における粒子の $\frac{20}{1000}$ 秒間の水平方向の移動距離を表わしたものである。先端から5cmあたりの流速分布形と15cmあたりのものとはかなり異なっているようである。勾配が 17° では先端付近の流速はすべて負の値を示している。これは 17° では土石流が水路の中央部ではヘッドの移動速度以上で進行し、側面では中央部から押し出されてきた部分を流下させるだけの力がないために生ずると考えられる。（図3-3）は各々の流速を固定座標系に戻し、表面流速 U_s 、流動深 h として無次元化して流速分布形である。 U_s 、 h の決定については水路幅等を考慮して U_s の $\frac{1}{20}$ の速度をもつ点を流動層の底の点として h を決定した。図中の-----はダイラタント流体の流速分布形である。先端から5cmあたりではダイラタント流体の流速分布形より下に凸の分布形を示している。15cmあたりでは1.で述べたような後続流に近い分布形に変化している。

4. 結論

- 1) 土石流先端部には極めて高濃度でほとんど礫のみと推定されるフロント部が存在している可能性が高い。
- 2) 移動床・固定床により先端部の形成に差がある。
- 3) 流速分布形の比較によれば先端部と後続流とは流れの状態が明らかに異なっており、ことにフロント部のすぐ後と思われる部分の流速分布形はダイラタント流体のものより下に凸の分布形をもっている。
- 4) 移動座標系にのせた場合にすべて負の流速がでる断面が存在する。

以上であるが、濃度の正確な把握、移動床・固定床の差異、移動座標系にのせた場合にすべて負になる流速分布形、ヘッドの移動速度と内部の粒子の移動速度、粒子の上下方向の動き等多くの課題を残している。今後、これらの課題に取り組んでゆくつもりである。

参考文献

- 1) 椿東一郎（ほか）：土石流における粒子間応力と流動特性，土木学会論文報告集 No.317 1982年
- 2) 谷口義信・高橋正祐：河床形床と土砂流動に関する実験的研究，新砂防 Vol.33 No.2 1980年
- 3) 平野宗夫・岩元賢：土石流先端部に関する実験的研究，新砂防 Vol.34 No.2 1981年

17°3L

図3-1-(a) 粒子の動き(移動座標系)

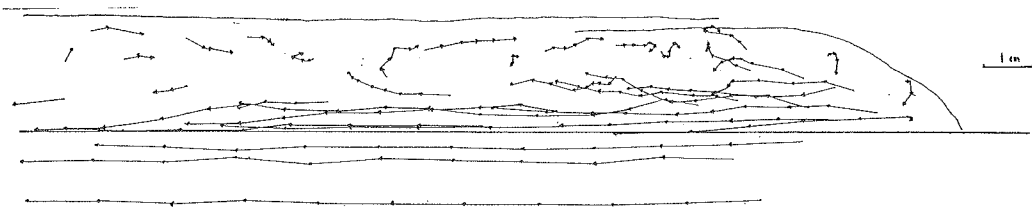


図3-2-(a) 流速分布(移動座標系)

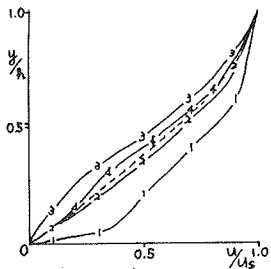
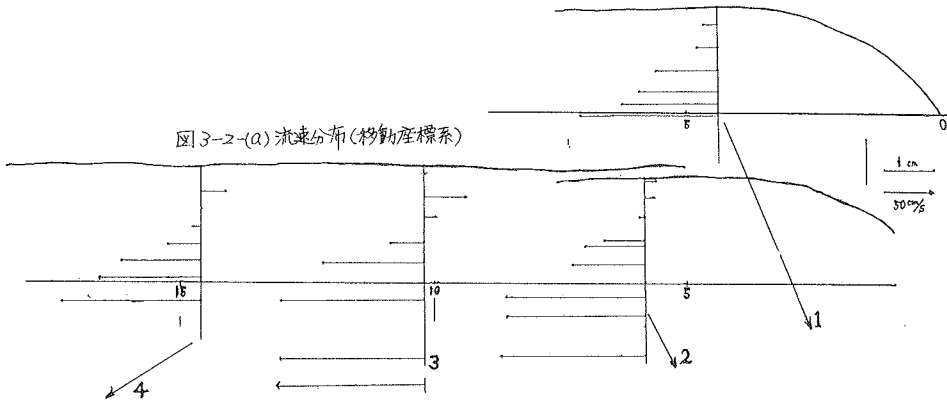


図3-3-(a) 流速分布形の比較

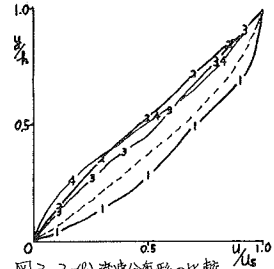


図3-3-(b) 流速分布形の比較

19° 3L

図3-1-(b) 粒子の動き(移動座標系)

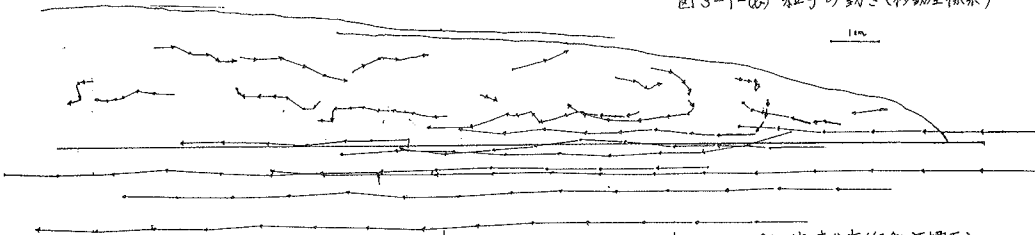


図3-2-(b) 流速分布(移動座標系)

