

はじめに

従来、土石流中の巨礫などを念頭において、急勾配で浅い流れの中の大礫の移動限界が、大同¹⁾や久保田ら²⁾によつて議論されているが、いずれも固定床上での議論である。土石流が発生し、流下するような山地小流域の渓床では、大礫の移動する前により小さい砂礫が移動し、それらが礫に衝突して移動する場合や、大礫の周辺が洗掘されて移動する場合も考えられる。本研究は、急勾配移動床におかれた大礫の移動限界と移動速度について、固定床の場合と比較しながら実験的に検討したものである。

1. 実験施設及び実験概要

実験に用いた水路は、幅20cm、長さ5mの両面アクリル張の木製水路で、水路内に図-1に示す2種類の土砂を厚さ5cm、長さ3mに敷きつめ、下流端より1.2mの位置に大礫を置いて、水路上流端より所定の流量を給水した。実験に用いた大礫は、長径、中径、短径がそれぞれ、5cm、4cm、3.8cm及び7.5cm、7cm、5.8cmの2種類の自然礫である。

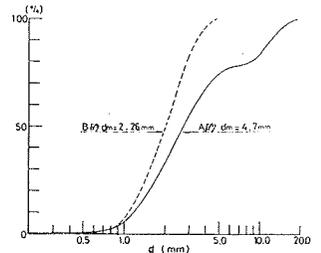


図-1 実験使用砂の粒径加積曲線

勾配は $\sin \theta = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.258$ の5種類とし、各勾配毎に $0.5 \sim 5 \text{ l/sec}$ の範囲で、全84ケースの実験を行ない大礫の移動、停止について観察した。また同時に、水路上流部2m区間にはB砂を張り付けた粗度板を設置して、固定床上での大礫の移動についても検討した。

2. 実験結果及び考察

2.1 静止マサツ角 静止マサツ角は砂礫の移動開始を論ずる場合に重要な要素である。

そこで、今回の実験使用砂及び大礫を用いて静止マサツ角の測定を行なった。従来の実験結果³⁾に今回の結果をプロットしてみたのが図-2である。図中、Dは大礫径、 $d = d_m$ で河床砂の平均粒径である。測定結果は、ややバラツキがあるが、従来の測定結果を補な、ているものと考えられ、礫形状の差による移動難易度の差が示されているものと考えられる。

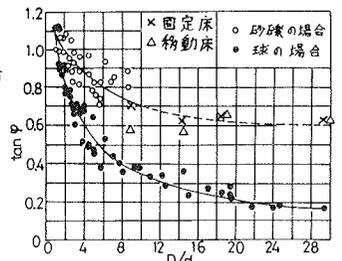


図-2 静止マサツ角とD/dの関係³⁾

2.2 移動限界 図-3は、D/d毎、勾配毎における大礫の移動限界を τ_{*c} で表示したものである。 τ_{*c} の決定は移動床の場合には各条件毎に τ_* と大礫の移動速度 v_g を求めて、 τ_* と v_g の関係をD/d及び勾配毎に図示し、図上から限界値 τ_{*c} を求めた。固定床の場合には各条件毎に大礫の移動状況を確認して限界を求めた。ここで τ_* は

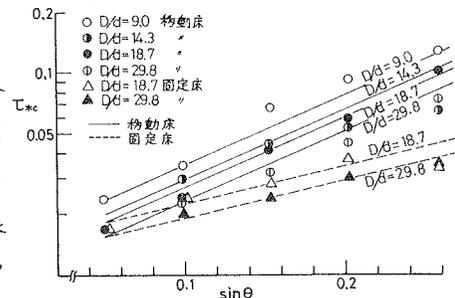


図-3 移動限界

$$\tau_* = \frac{\rho u_*^2}{S \rho D} \quad (1) \quad (u_*: \text{摩擦速度}, \rho: \text{流体の密度}, S: \text{礫の水中比重}, D: \text{大礫径}, g: \text{重力加速度})$$

$$\rho = \rho_w (1 - Cd) + \gamma Cd \quad (2)$$

(ρ_w ; 水の密度, ρ ; 大礫の密度, C_d ; 土砂濃度)としている。固定床の場合は $\rho = \rho_w$ である。移動床での値はややバラツキがあるが、 τ_{*c} は勾配及び D/d に関係している事がわかる。

図-4は久保田²⁾の実験式と本実験結果の比較を行なったものである。静止マサツ角に球の値を用いても礫の値を用いても本実験結果とは一致していない。

そこで、図-3上の推定線から各勾配毎の $(H/d)_c$ を求め実験値と比較したのが図-5である。図-5で移動床の場合の限界値 $(H/d)_c$ を示す実線が、勾配の増加につれて減少傾向とはならず $\tan\theta \approx 0.15$ 付近から増加している。

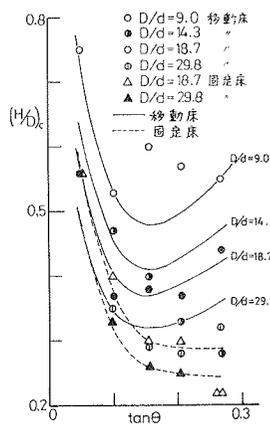


図-5 移動限界条件

これは、勾配がきつくなると流水が掃流から土石流へと変化する事による土砂混入の影響が表れるものと考えられる。図-6はこの影響について調べたものである。図中で H は土砂含み水深、 h は土砂を含まないとした時の換算水深である。

$\tan\theta \approx 0.15$ 付近を界として h/H の値が急激に小さくなる傾向がある。これは $\tan\theta > 0.15 \sim 0.2$ になると、わずかの流量でも土砂混入のため水深 H が急激に増加する事を示しているもので、図-5では礫の形状による影響及び流れにおける土砂混入の影響を考慮するとよく大礫の移動限界を説明出来る事を示した。

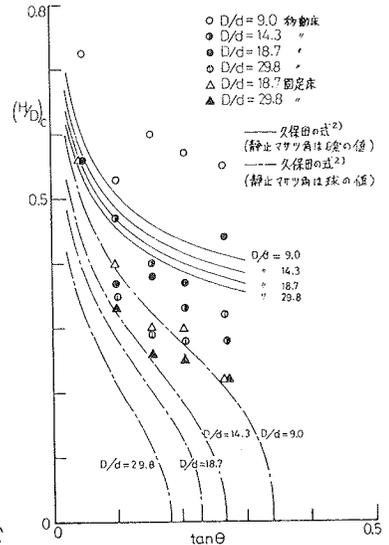


図-4 移動限界条件の計算値と実験値の比較

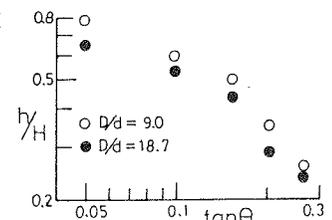


図-6 h/H の勾配による変化

2.3 大礫の移動速度

図-7は土石流フロントが大礫に到達した後のフロント位置と大礫の位置を示したものである。図中の実線は土石流フロントが通過した後に大礫が移動する場合であり、この場合は $v_2 \leq v_1$ となっている。点線は土石流フロント到達とほぼ同時に大礫が移動する場合であり、この場合には $v_2 \geq v_1$ となっている。

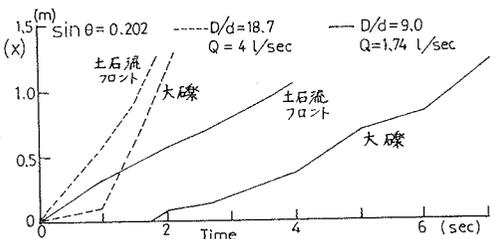


図-7 大礫の移動速度

3. 今後の問題点

以上、移動床における大礫の移動について実験結果を中心に述べて来た。その結果、大礫の移動限界には、礫の形状、礫のかみ合い効果及び土砂を含んだ流れの影響等が重要な要素になる事がわかった。しかし、移動限界については力学的検討やモデルでの検討等まだ検討すべき事項が残されており、今後はこれらの検討を含め、さらに実験条件等を種々変化させて検討を進める必要がある。

<参考文献>

- 1) 大同淳之; 土石流に関する基礎的研究 京都大学学位論文 1970
- 2) 久保田, 水原, 武居; 山地河川における散在礫の移動限界条件, 新砂防 114号, S 55, 3
- 3) 岩垣, 土屋; 砂面上におかれた礫の限界掃流力について, 土木学会論文集才41号, 22~38, 1956