

京都大学大学院 ○欧 国 強
 京都大学農学部 小 橋 澄 治 水 山 高 久

1.はじめに

土石流は発生・流下・堆積という三つの過程からなる。ここで報告するのは、発達中の土石流の波形、流動深、各部位の粒子の挙動、先端部の構成・移動速度、各断面の流速分布などを実験的に検討したものである。

2.実験条件と方法

粒径が5mmのほぼ均一の土砂をあらかじめ水で濡らし、長さ1m、幅10cm、深さ15cmの側面アクリル板付きの鋼製水路に厚さ3cmで敷き均し、上端から一定流量の水を供給して土石流を発生させた。発生した土石流の全体像をハイスピードカメラで側面から撮影し（撮影範囲は上流から60cmまで）、ビデオトラックを用い1/200のコマ送りで映像を解析した。水路勾配は15°、20°、25°と30°に設定し、供給水量は10、15、20、25 l/minとする。

3.実験結果と考察

3.1 土石流の波形とその発達

今回の実験結果より、土石流の波形とその発達過程は主に水路勾配に左右され、上流からの給水流量の影響は小さいことがわかった。

3.1.1 緩勾配($\theta \leq 20^\circ$)の場合

図-1のように、緩勾配の場合には、土石流の波形は長方形に近い。ある距離($X=10\sim 20\text{cm}$)を流下すると定常流になる。

3.1.2 急勾配($\theta \geq 25^\circ$)の場合

図-2のように、急勾配の場合には、土石流の波形は三角形に近い、波高は流下距離の増加とともに大きくなる一方である。

なお、 θ が20~25°では、土石流の波形と波高の発達は上記二つの中間的な状況となると考えられる。

3.2 土石流の流動深ハイドログラフ

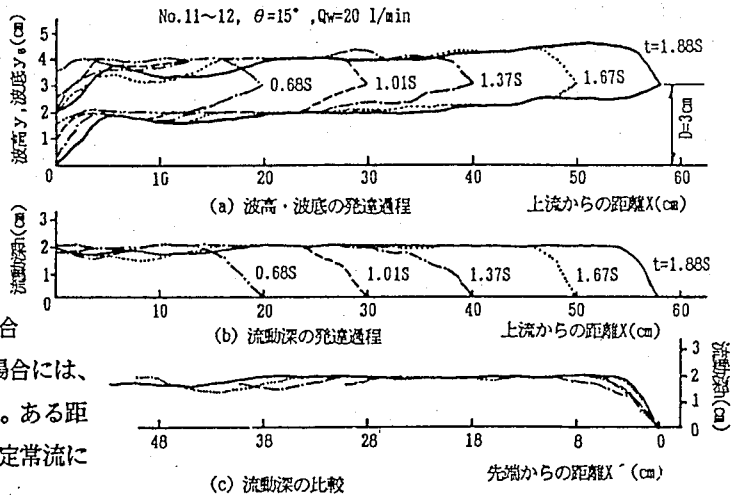


図-1 土石流波形の発達過程(緩勾配)

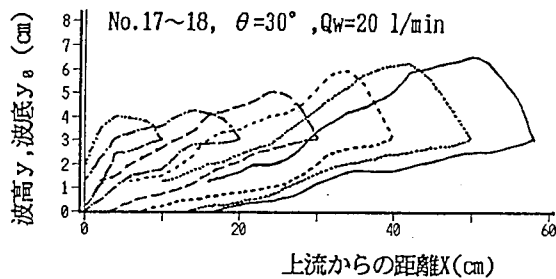


図-2 土石流波形の発達過程(急勾配)

波高の値から波底（移動層と不動層の境界）の値を差し引いて流動深を求める。

3.2.1 水路勾配 (θ) の影響

図-3は上流からの距離 $X=50\text{cm}$ の地点で各勾配ごとの流動深ハイドログラフである。ピークに到達するまでの時間は大きな差がないが、ピーク値は勾配の増加とともに大きくなること、緩勾配と急勾配の波形ははっきり異なることがわかる。

3.2.2 給水流量 (Q_w) の影響

図-4は $\theta=30^\circ$ 、 $X=50\text{cm}$ での各給水流量ごとの流動深ハイドログラフである。給水流量の影響はほとんどないことがわかる。

3.2.3 流下距離 (X) による変化

緩勾配では土石流がごく短距離で定常流になるので、ここには急勾配($\theta=30^\circ$)のみの結果を図-5に示す。流動深は流下距離の増加とともに増加してゆく。

3.3 土石流の流速

3.3.1 流動特性

土石流全体の粒子の挙動を観察した。流動方向への動きは図-6のような流速分布を持ち、後続流部（断面B、C、D）の流速がピーク地点（A）と先端部（F）より速く、ピーク波高（流動深）が発達してゆく。また、垂直方向への粒子の動きも存在し、流速の y 方向分量 (u_y) については、後続流部で $u_y > 0$ 、先端部で $u_y < 0$ 、ピーク付近（緩勾配の場合に定常流部も含む）で $u_y \approx 0$ という傾向の多いことが観察された。

流動方向の流速 u はピーク地点より後の方が速いというのは、流動層も不動層も後の方が薄く、不動層への水損失が後の方が少なく、上流からの給水流量が一定なので流動層内の水流量が後の方の

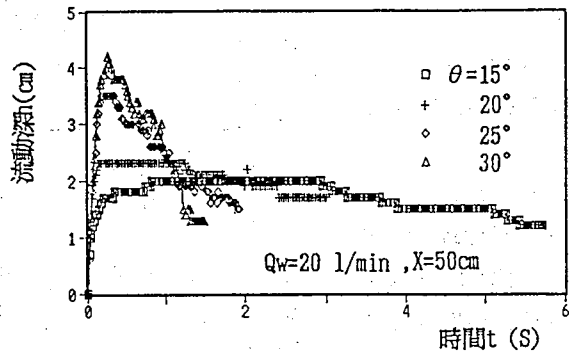


図-3 勾配別土石流流動深ハイドログラフの比較

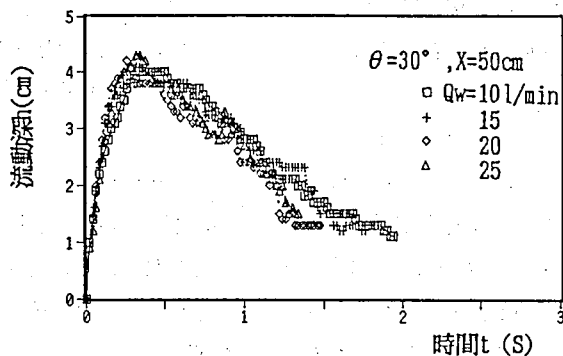


図-4 給水流量別土石流流動深ハイドログラフの比較

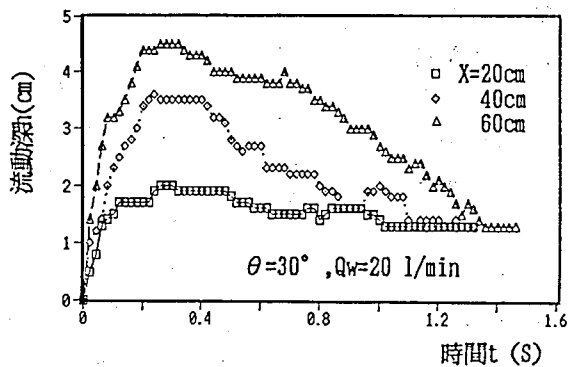


図-5 流下距離別土石流流動深ハイドログラフの比較

方が大きく、土砂濃度が小さくて流動性が高いからであると考えられる。

3.3.2 流速分布

高橋^{1), 2)}はBagnoldの理論に基づいて土石流をダイラタント流体としてその流速分布型を提案している。垂直方向に土砂濃度が一様の場合に(1)式、濃度分布が存在する場合に(2)式

$$u/u_s = 1 - (1 - Y)^{3/2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$u/u_s = 1 - 0.5(1 - Y)^{3/2}(2 + 3Y) \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。Y=y/h、h:流動深、u:水深yの流速、u_s:表面流速。

図-7は各断面における流速分布の一例である。(a)の中に破線で示されるのは先端部の移動速度(40cm/s)である。(a)より、流動表層部は後方ほどその流速が速いことが明瞭に示される。(b)は表面流速で無次元されたもので、各断面の流速分布型がほぼ一致、実験結果は(1)式と(2)式の間に散らばっている。

図-8はピーク地点での流速分布で、(a)は水路勾配ごと(b)は給水流量ごとのものである。両方ともばらつきがあるものの実験結果は(2)式よりむしろ(1)式によく対応している。すなわち、ピーク付近では深さ方向に土砂濃度がほぼ均一なためと考えられる。

3.4 先端部の移動

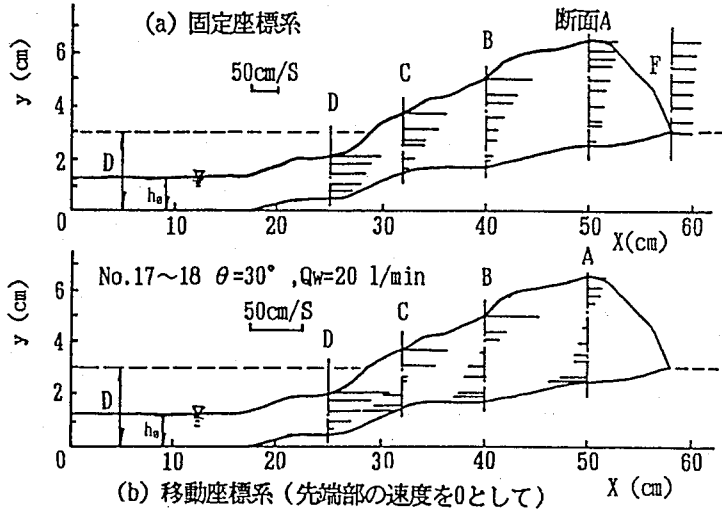


図-6 各断面における土石流流速分布

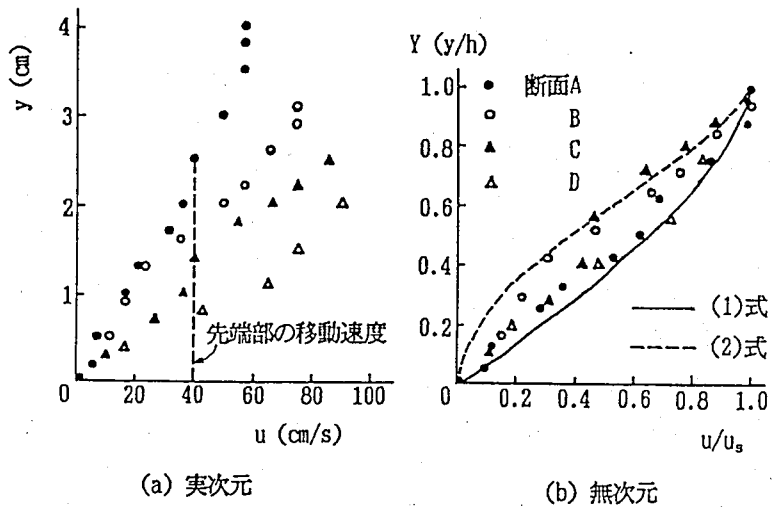


図-7 断面別土石流の流速分布

No. 15~16 $\theta=25^\circ$, $Q_w=20$ l/min

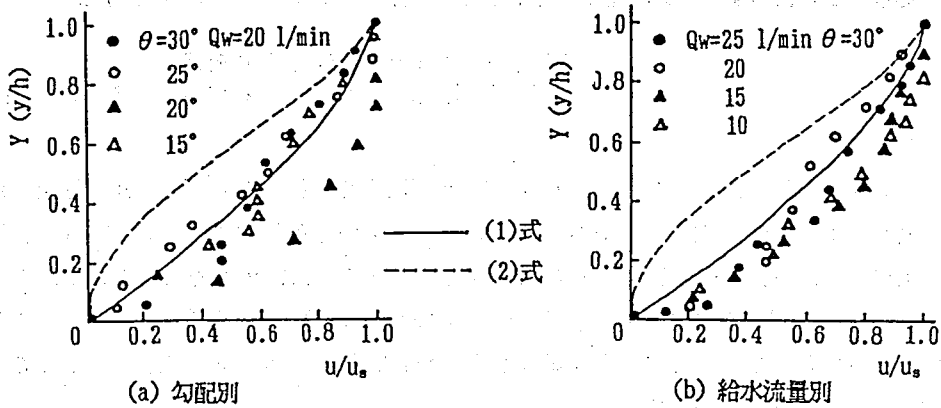


図-8 ピーク地点土石流の流速分布 (X=50cm付近)

3.4.1 先端部の形成機構

堆積層に一定流量の水を供給すると、土砂が最上流端から続々に侵食され土石流になる。前述のように後方の流速は前方より速いので、侵食された土砂が流速の速い表層部に乗って速やかに先端部に到達してゆく。深さ方向に流速差があるので最先端の粒子は速い部分（先端部移動速度に比べ）が重力によって遅い下層部へ崩壊する。

3.4.2 先端部の移動速度

先端部が独特の形成機構に従って、その運動は流動よりむしろ移動と呼ぶ方がよい。図-9は勾配別、図-10は給水流量別の先端部の移動距離と到達時間との関係である。先端部の移動速度は移動距離とは関係なくほぼ一定となり、また水路勾配の影響は弱いものの急勾配の方がやや速く、給水流量が大きいほど移動速度は速いことが分かった。

4. おわりに

以上、ほぼ乾燥する移動床において土石流の波形、発達、流動深、流速、先端部の移動特性などを検討した。いくつかの知見が得られたが、固定床や飽和移動床に関する実験や理論的分析は今後の課題として研究したい。

参考文献

- 1) 高橋保(1977):土石流の発生と流動に関する研究、京大防災研究所年報第20号B-2、pp.405~434
- 2) 高橋保(1983):土石流の流動機構、混相流シンポジウム論文集、pp.187~203

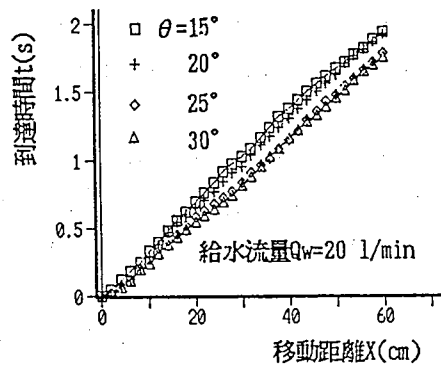


図-9 勾配別先端部移動距離と到達時間との関係

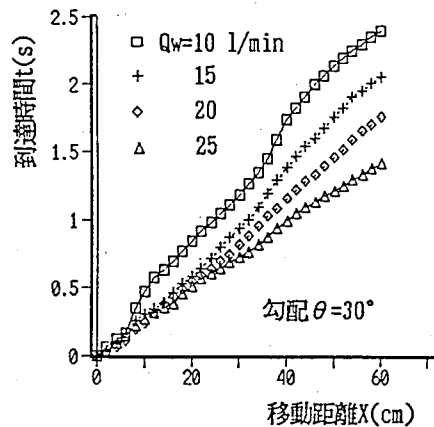


図-10 給水流量別先端部移動距離と到達時間との関係