

II-113

混合粒径からなる土石流の流動機構

北海道開発庁 正員 原田 達夫
 京都大学防災研究所 正員 高橋 保
 京都大学防災研究所 正員 中川 一

◆ はじめに ◆ 自然界において発生する土石流では、先端部に巨礫が集中するといった特徴的な現象がみられる。この現象は、大きな石礫ほど上向きの力を受けて流動層表面近くを流れるため、表面の速い流速に乗って粗い粒子が前方に移送されることにより起こるとされている。本研究ではそのメカニズムの解明を目的とし、混合粒径材料を用いた土石流の開水路実験を行って、流下に伴う流動層の粒度分布の変化を測定し、さらに数値シミュレーションを行ない、実験結果と比較・検討を行なった。

◆ 実験の概要 ◆ 実験装置の概形を図1に、実験材料である土砂の粒度分布を図2に示す。実験材料は、ほぼ均一な5種類の土砂を混合して用いた。厚さ10cmに敷いた土砂を水で飽和させた後、上流より給水を行なって土石流を発生させた。側面からビデオカメラで流れを撮影することによって流動深などを読みとった。下流端には流れを深さ方向に分離して採取する装置を設置し、また、その装置を移動させることによって、深さ方向に4段階、時間的に3段階、計12個のサンプルを採取した。採取したサンプルは、乾燥させた後にふるい試験を行なって粒度分布を測定した。土砂の敷長は1m, 2m, 3m, 4mと変化させ、計4ケースの実験を行なった。

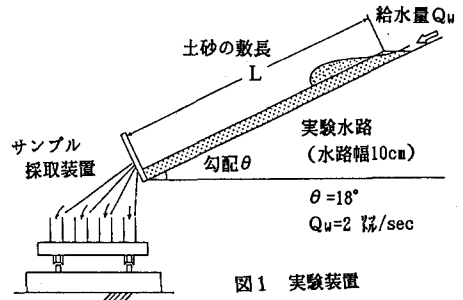


図1 実験装置

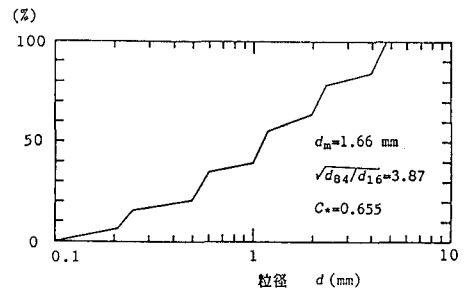


図2 実験材料

◆ 実験結果 ◆ 図3は、左から土砂の敷長1m, 2m, 3m, 4mのケースであり、上段が土石流先端部における各粒径ごとの濃度分布図、下段が平均粒径の分布図である。この図を左から順に見ていくと、土石流流下後1m, 2m, 3m, 4mの地点での流動層の濃度分布・平均粒径の分布がわかる。すなわち図3は、土石流先端部の流下に伴う流れの変化を示している。濃度分布図では、土石流の流下にもなると濃度分布が均一かつ高濃度になり、先端部に粗い粒子が集中していく様子が示されている。また平均粒径の分布図では、流動層の上方ほど平均粒径が大きい状態から、全層にわたって平均粒径が大きくなっている状態へ変化していく過程が示されている。

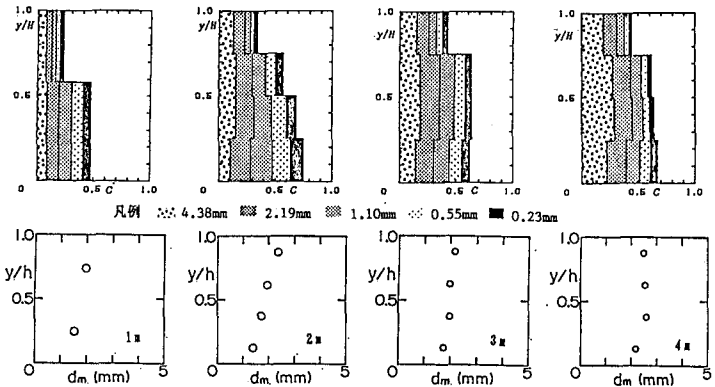


図3 濃度分布（上）及び平均粒径の分布（下）

◆ シミュレーション ◆ 前述の実験ケースと対応させて数値シミュレーションを行なった。このシミュレーションは、土石流ハイドログラフの予測のシミュレーション¹⁾の各時間ステップにおいて、粒径選別を計算するという方法をとっている。粒径選別の計算は、①土石流ハイドログラフの予測の数値シミュレーションより得られた土石流の流動層を、メッシュに分割する ②各メッシュにおける平均粒径より大きな粒子に対して (1)式に従って上向きの流速を与える

$$V_k(I, J) = 5 \log \frac{d_k}{d_m(I, J)} (\text{cm/sec}) \quad (1)$$

$V_k(I, J)$: 各メッシュにおける粒子 k の上向きの流速

$d_m(I, J)$: 平均粒径

d_k : 粒子 k の粒径

③それ以外の粒子に対しては、各メッシュにおける土砂全体の濃度がハイドログラフの予測のシミュレーションにより得られた断面平均濃度と等しくなるように下向きの流速を与える ④各メッシュにおいて、濃度の連続条件である (2)式より各粒径の濃度 $C_k(I, J)$ をもとめる

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (C u)}{\partial x} + \frac{\partial (C v)}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

以上の手順から粒径の選別を計算した後、再びハイドログラフの計算に戻り、この繰り返しによって土石流の流下における粒径選別作用を計算するものである。次に、計算結果と実験結果との比較を図4に示す。図4は土砂の敷長が4mの実験ケースでの、流動層における各粒径ごとの濃度分布図及び平均粒径の分布図である。図は左から土石流の先端部・中間部・後続部を示している。計算結果では、中間部・後続部において粗い粒子が流動層下部に全く存在しない等、実験結果に比べて過剰な分級を示している。またその結果、平均粒径の分布も先端部以外では実験値と合致していない。これは、(1)式で与えた粒子の上昇（下降）速度の値が大きいことや、また、その与え方が、粒径ごとに一方かつ一定値であることによるものと思われる。実際の流れでは、粗い粒子でも下向きの運動をするものが多数存在するので、上昇（下降）速度を与える際に、頻度分布を持った速度の与え方をする等、考慮する必要がある。

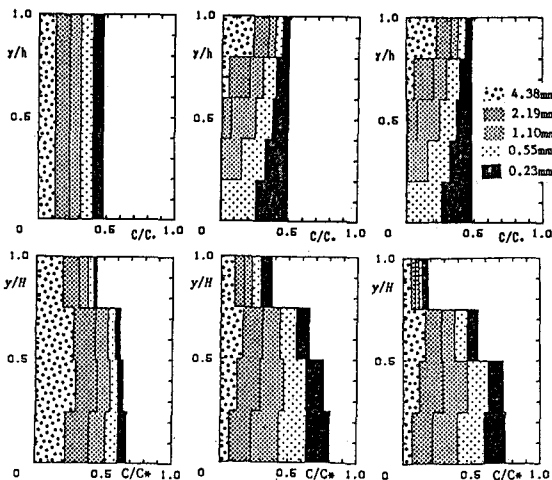


図4 (a) 濃度分布：計算結果（上）と実験結果（下）

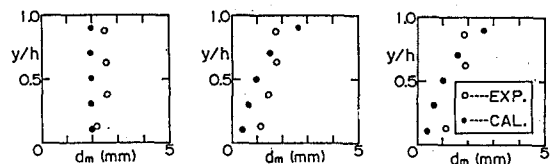


図4 (b) 平均粒径

◆ おわりに ◆ 以上、混合粒径からなる土石流の流動機構について、実験と数値シミュレーションから考察を行ったが、粒子の上昇（下降）速度の与え方等、粒径選別のメカニズムをどのように考えるかという点や、また、流動層の砂礫濃度が深さ方向に一様であるとしている点など、さらに検討していく必要があるものと思われる。

◆ 参考文献 ◆

- 1) T. TAKAHASHI, H. NAKAGAWA & S. KUANG: Estimation of debris flow hydrograph on varied slope bed, Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim (Proc. of the Corvallis Symp., August, 1987). IAHS Publ. no. 165. pp.167-177