

流動性崩壊の土石流化過程に関する研究

首都高速道路公団	正会員	成沢	光弘
京都大学防災研究所	フェロー	高橋	保
京都大学防災研究所	正会員	中川	一
京都大学防災研究所	正会員	里深	好文
京都大学大学院	学生員	樫本	真也

1 はじめに

本研究は、斜面崩壊土塊がそのまま土石流化するという現象に着目し、その変化プロセスの解明を目指している。すなわち、図 1 に示すように、底面付近の流動層がその上の崩壊土塊を除々に侵食しながら流動していると考え、この侵食の速度がどのような要因によって決定されるのかを明らかにしようとしている。

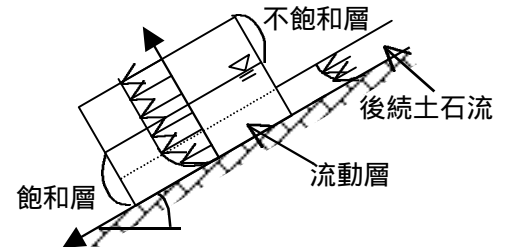


図 1

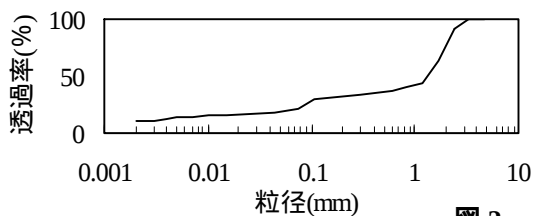


図 2

そのために、二種類の実験と一次元再現計算を行っている。実験では、粘土分を含む広い粒度分布を持つ土砂材料を用いている。その実験材料の粒度分布を図 2 に示す。この材料では、含水率によって材料の強度・飽和度が一意的に決まると考えられる。

2 崩壊土塊の侵食速度に関する実験

土塊の厚さとその強度が土塊の侵食速度にどのような影響を与えるかを調べるため、図 3 に示す一定速度で動くベルトコンベアを用いて実験を行っている。ベルトの速度は、43.6cm/s、85.6cm/s、131.8cm/s の 3 段階とし、それぞれに 6 通りの含水率の実験土塊を用いて実験を行った。

実験の結果、土塊の厚さの影響は侵食速度に顕著には現れなかった。土塊の含水率による侵食速度の変化を図 4 に、ベルトの速度に対する侵食速度の変化を図 5 に示す。これらの実験結果より 土塊が流動化したと考えられるケースについては侵食速度とベルトの速度には比例関係があること、土塊の含水率が大きくなるにつれて()侵食速度が増加する領域と()侵食速度が減少する領域の二つの領域が存在することなどが分かる。

()については、含水率が大きくなるほど土塊の支持力が小さくなり土塊が侵食されやすくなるためと考えられ、また()については、含水率が大きくなるほど土塊の強度が低下するため、流動層内での速度勾配が大きくなり流動層の厚さが薄くなるためであると考えられる。

3 崩壊土塊の流動化に関する実験

層の含水率が高く、層の含水率が低い実験土塊を水路に流下させる実験を行い、土塊が変形して土石流にいたる過程および土塊の移動速度と侵食速度との関係を検討する。なお、実験の際、土塊を箱型の実験装置に充填して流下させている。層での含水率は 13% であり、層での含

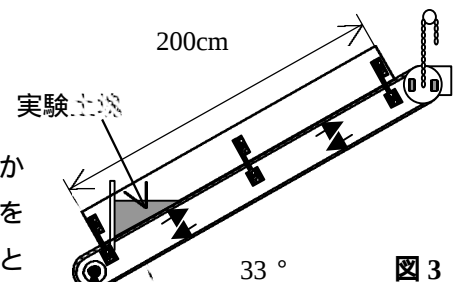


図 3

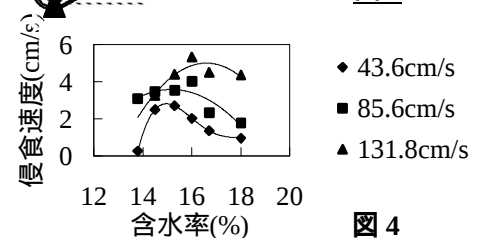


図 4

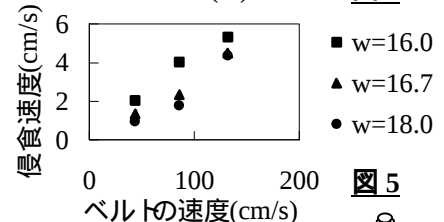


図 5

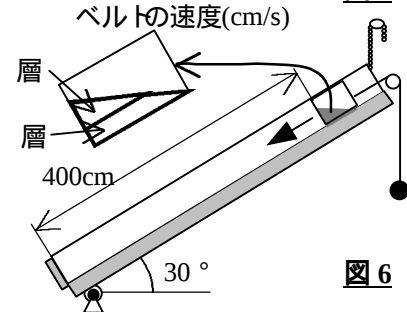


図 6

水率は 15～18%の間の 7 種類である。実験水路を図 6 に示す。

実験の結果、水路上に残された土砂が流動化する実験ケースと流動化しない実験ケースに分かれた。流動化した実験ケースの代表として、含水率が 16.7%とした場合の土塊の移動速度および侵食速度の時間変化を図 7 にしめす。また、土塊の侵食速度が最大となるまでの土塊の移動速度と侵食速度の関係を図 8 に示す。

図 7 から、土塊の変形プロセスを推定すると以下ようになる。前提として、実験中に土塊内の水が下降し、層と層の間には含水率が徐々に変化する遷移区間が生じていることを挙げておく。まず、土塊が移動を開始すると、その移動速度が大きくなるにつれて侵食速度も大きくなる。次に遷移区間では、含水率が低下してくるため土塊が侵食されにくくなり、その結果、土塊の移動速度は上昇するものの侵食速度は低下するようになる。最後に、層と底面が直接接触すると底面摩擦が大きく作用し、土塊の移動速度は徐々に低下しやがて土塊は停止する。

層での含水率が 17%以上の実験ケースでは、実験土塊は水路下流端まで到達したが、実験後の堆積土砂は、下層では低い含水率で上層では高い含水率となっていた。この原因は、実験開始時に層に存在していた低い含水率の土砂が水路下流端に捕捉され、その上に流動化した高い含水率の土砂が乗り上げるためである。これは、1997 年 7 月に起こった針原川土石流における堆積形状¹⁾と同様であると考えられる。また、図 8 から 2 の実験と同様に侵食速度と移動速度には比例関係があることが分かる。

4 一次元再現計算

図 9 のように流動土塊をモデル化し、一次元再現計算を行い、3 の実験結果と比較した。計算には右に示す式を用いている。なお、後続の土石流の影響は考慮していない。ここに、 U :土塊の移動速度、 h_l :流動化層の厚さ、 u_l :流動化層の平均流速、 H :土塊の厚さ、 L :土塊の長さ、 h_s :土塊中で水で飽和している部分の厚さ、 ρ_T :土塊の見かけ密度、 ρ_l :流動化層の見かけ流体密度、 μ_k :動摩擦係数、 f :流体抵抗係数、 α :係数、 β :係数、 i :侵食速度、である。

この計算では、係数 α と β が大きな影響を持っている。まず、係数 α は底面摩擦が流動層の上層に伝わる割合を示し、これは土塊の飽和度によって決定される。次に、係数 β は侵食速度 i と流動化層の平均速度 u_l との関係を表し、材料の強度によって決定されると考えている。含水率 16.7%の実験ケースと最高速度と最高侵食速度の値を同じくした時の計算結果を図 10 に示している。

この結果を見ると、先に述べた土塊の変化プロセスの傾向は再現できているが、侵食速度が最大になるまでの時間が大きく異なるなどといった課題が残る。

5 まとめ

- (1)崩壊土塊の侵食速度は移動速度に比例すると考えられる。
- (2)崩壊土塊の運動プロセスが推察された。
- (3)崩壊土塊の流動過程において一次元の数値計算を行った結果、飽和層と不飽和層の間に遷移区間を設けることによって土塊の変化プロセスの傾向を再現することができた。

参考文献 1) 山田考・南哲行・小山内信智・水野秀明:1997 年 7 月 10 日に鹿児島県針原川で深層崩壊に起因して発生した土石流の流下・堆積実態、砂防学会誌、vol51,no1,1998、pp46-54

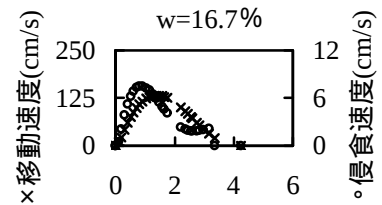


図 7

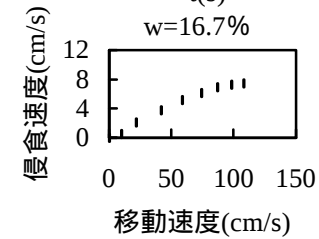


図 8

運動量保存則

$$\frac{d}{dt}(r_t L H U) = r_t g L H \sin q - \alpha r_t g L H \cos q \cdot m_k - (U - u_l) h_l r_l u_l - \frac{1}{2} r_l f u_l^2 L$$

土塊の体積保存則

$$\frac{d(HL)}{dt} = -(U - u_l) h_l$$

流動化層の厚さの変化

$$\frac{d(h_l L)}{dt} = iL - (U - u_l) h_l$$

侵食速度

$$i = \beta u_l$$

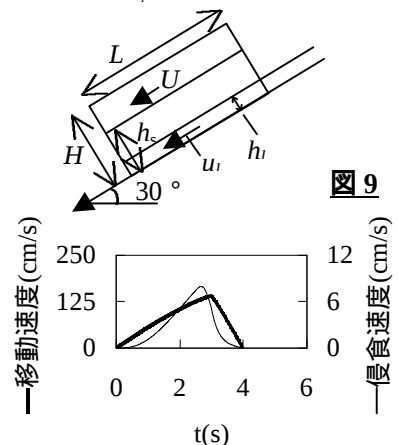


図 9

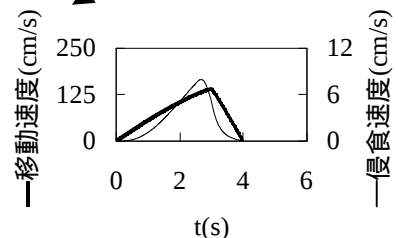


図 10